

Potencialidade dos índices de vegetação EVI e NDVI dos produtos MODIS na separabilidade espectral de áreas de soja

Joel Risso¹
Rodrigo Rizzi¹
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
joelrisso@gmail.com, rodrigo.rizzi@ufpel.edu.br, 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: Spatial distribution and spectral-temporal variations of agricultural lands have been largely analyzed from regional to global scales using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) derived from images with low spatial and high temporal resolutions acquired by the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) sensor. The Enhanced Vegetation Index (EVI) designed for MODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensor onboard of Terra and Aqua spacecrafts reduces the atmospheric and background contamination and also minimizes the NDVI saturation problem over lands with high biomass such as tropical forest. In this paper we investigated the performance of both EVI and NDVI Vegetation Indexes (VI) from 250 m MODIS product (MOD13Q1) for monitoring vegetation canopy conditions in order to discriminate soybean crop from forested and bare soil areas. A thematic map derived from Landsat-TM images was used as reference map to evaluate the VI temporal behavior for the targets of interest. In order to model the spectral-temporal curves for these targets for both VI a fifth-order polynomial equation was applied and a definite integral was then used to calculate the area bounded by the curves. Although both MODIS VI temporal profiles showed almost similar response throughout soybean growing season, we found that NDVI is more effective in discriminating soybean areas from forest and bare soil during the soybean pre-planting period while EVI is more valuable and improves the contrast between those areas during the soybean peak canopy development.

Palavras-Chave: remote sensing, crop monitoring, satellite images, sensoriamento remoto, monitoramento agrícola, imagens de satélite.

1. Introdução

O programa *Earth Science Enterprise* lançado pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) em 1991 tinha como desafio o desenvolvimento de satélites e outras ferramentas para o estudo intensivo do planeta. Um dos objetivos do programa era oferecer suporte para o monitoramento da agricultura e das florestas, disponibilizando imagens de sensores orbitais capazes de permitir inferências sobre a dinâmica espaço-temporal da superfície da Terra (Rudorff et al., 2007; NASA, 2008).

Assim, no ano de 1999, ocorreu o lançamento do primeiro sensor MODIS (*MODerate resolution Imaging Spectroradiometer*). Por ocasião do surgimento do MODIS, Huete et al. (1997) propuseram um novo Índice de Vegetação (IV), denominado *Enhanced Vegetation Index* (EVI), que passou a ser disponibilizado pelo

EOS (*Earth Observing System*) juntamente com o bem conhecido *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI; Rouse et al., 1973). A disponibilização rápida e ininterrupta das imagens MODIS permite análises regulares da vegetação em nível global, incluindo a avaliação de aspectos fenológicos da vegetação e a detecção de mudanças de uso e cobertura do solo (Huete et al., 2002). A estreita correlação entre a dinâmica espaço-temporal da vegetação e os IVs, corrobora o potencial dos mesmos no monitoramento da cobertura vegetal sobre extensas áreas.

De maneira geral, o NDVI é mais sensível à presença de clorofila e outros pigmentos responsáveis pela absorção da radiação solar na banda do vermelho, enquanto que o EVI é mais sensível à variação da estrutura do dossel, incluindo o Índice de Área Foliar (IAF), a fisionomia da planta e a arquitetura do dossel (Gao et al., 2000; Huete et al., 2002). Uma peculiaridade inerente ao NDVI é sua rápida saturação, o que o torna pouco sensível à detecção de variações no aumento da biomassa vegetal a partir de uma determinada fase de crescimento das plantas (Asrar et al., 1984).

Por outro lado, o EVI foi desenvolvido para promover a redução das influências atmosféricas e do solo de fundo do dossel no monitoramento da vegetação (Justice et al., 1998). Além disso, alguns trabalhos sugerem que o EVI apresenta substancial melhora na sensibilidade às alterações do dossel em relação ao NDVI, principalmente em áreas de maior densidade de biomassa (e.g. florestas) (Huete et al., 2002). Apesar disso, a diferença entre a sensibilidade dos dois IVs parece não ser tão evidente ao avaliar-se seu comportamento sobre o monitoramento de culturas agrícolas (Wardlow et al., 2007). É justamente o comportamento espectro-temporal distinto dos IVs supracitados frente às espécies vegetais com diferenças pronunciadas de biomassa durante o pico de desenvolvimento que pode facilitar a discriminação de culturas agrícolas em imagens obtidas por meio de sensores orbitais.

De tal modo, algumas pesquisas envolvendo monitoramento agrícola por meio de imagens MODIS exploraram as séries temporais dos IVs visando não o monitoramento sazonal da vegetação, mas a identificação e discriminação de diferentes espécies vegetais em uma dada região. Neste caso, o potencial dos IVs deflagra-se na capacidade de geração de informações acerca da distribuição espacial de grandes culturas agrícolas, servindo como suporte para a tomada de decisões governamentais e de todo setor. Como exemplo destas pesquisas podem ser citados os trabalhos de Epiphanyo (2007), que empregou a classificação que utiliza a Superfície de Resposta Espectro-Temporal (SRET) proposta por Vieira (Vieira, 2000) e o de Rizzi et al. (2008), que propuseram o *Crop Enhancement Index* (CEI) para avaliar os valores mínimos e máximos do EVI ocorridas dentro de um calendário agrícola definido com vistas à identificação e quantificação de áreas cultivadas.

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo fazer uma análise comparativa dos produtos EVI e NDVI das imagens MODIS para avaliar o seu desempenho na identificação de áreas de soja no Estado do Mato Grosso.

2. Metodologia

A área de estudo engloba 30 segmentos de 30 x 30 km distribuídos sobre os principais pólos produtores de soja do Estado do Mato Grosso. Estes segmentos dizem respeito a um mapa temático utilizado como dado de referência neste trabalho, elaborado por Epiphanyo (2007) a partir da interpretação visual de imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) a bordo do satélite Landsat-5, adquiridas na fase de máximo desenvolvimento vegetativo da soja na região, para a safra 2005/06. 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 áreas de soja no campo. Muito embora este mapa tenha sido produzido visando à identificação das áreas de soja, o mesmo contém outras classes temáticas que foram exploradas no presente trabalho, sendo elas solo exposto e mata. Na Figura 1, são apresentados os 30 segmentos que compreendem a área de estudo, bem como as órbitas e os pontos das imagens TM/Landsat que foram utilizadas por Epiphanyo (2007) na produção deste mapa de referência.

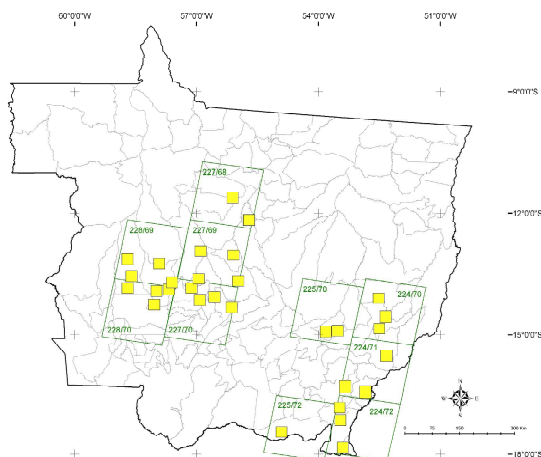


Figura 1. Área de estudo no Estado do Mato Grosso. Os segmentos de 30 x 30 km que se referem às regiões analisadas neste trabalho estão representados em amarelo. Fonte: Epiphanyo (2007).

Na análise comparativa entre os índices EVI e NDVI utilizaram-se imagens compostas de 16 dias (Huete et al., 1999) do sensor MODIS a bordo do satélite Terra, mais especificamente o produto MOD13Q1 coleção 5.0, com resolução espacial de 250 m. O NDVI é dado pela Equação 1.

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V} \quad (1)$$

em que, IVP = reflectância no infravermelho próximo; V = reflectância no vermelho.

O EVI foi formulado a partir de uma combinação de outros dois IVs: 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 2:

$$EVI = G * \frac{IVP - V}{IVP + C_1 * V - C_2 * A + L} \quad (2)$$

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 (7,5); L = fator de correção para a interferência do solo (1); G = fator de ganho (2,5). Os coeficientes C₁ e C₂ podem ser alterados de acordo com condições regionais, sendo que os produtos disponibilizados pelo EOS utilizam as especificações acima.

A seqüência metodológica utilizada no desenvolvimento do presente trabalho encontra-se esquematizada na Figura 2.

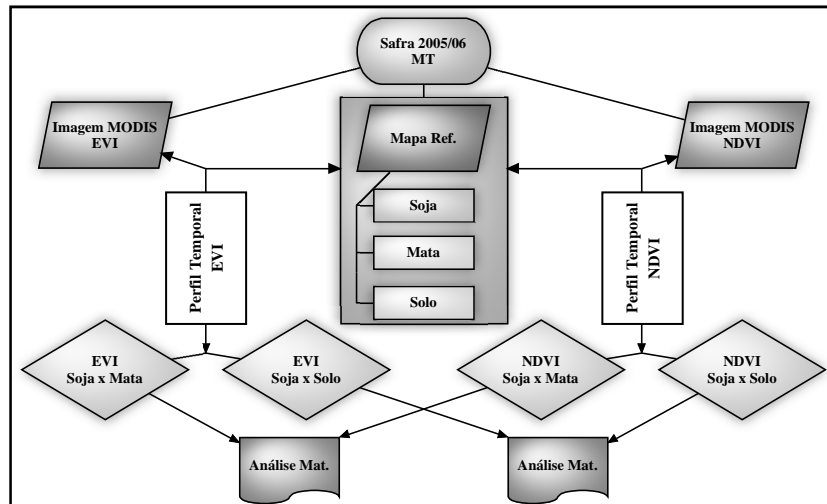


Figura 2. Representação esquemática da metodologia do trabalho proposto.

Com vistas a uma avaliação independente entre períodos em que os alvos apresentam características de resposta espectral distintas frente aos dois IVs, efetuou-se a separação da série temporal das imagens MODIS em dois intervalos: entressafra e safra. Para tanto, adotou-se o seguinte critério: período de entressafra 2005/06, compreendido entre fevereiro e dezembro de 2005 (Dia Juliano (DJ) 33 a 365), e período de safra 2005/06, compreendido entre novembro de 2005 (DJ 321) e março de 2006 (DJ 80).

Em cada período, foi necessário determinar a variação média de ambos os IVs ao longo do tempo para cada classe temática representada no mapa de referência. Para tanto, associando-se as imagens MODIS ao mapa de referência, foi possível determinar o valor médio¹ dos pixels que representam cada classe temática em cada imagem, tanto para o EVI quanto para o NDVI. Na modelagem matemática do perfil temporal dos IVs ajustou-se um polinômio de quinta ordem aos valores médios verificados, por meio de uma interpolação polinomial. A apreciação desses dados ocorreu em duas situações: “soja x mata” e “soja x solo”. Então, para determinar o potencial de discriminação de cada IV das áreas de soja ante as demais classes temáticas, optou-se pela avaliação da área dentre as curvas temporais. Para tal, o alicerce desta avaliação concentrou-se na resolução de uma operação de diferença entre duas integrais definidas. A intersecção entre as duas curvas (verificada no início e no final de cada intervalo) determinou os limites das integrais definidas (Equação 3). Por conseguinte, a área compreendida entre duas curvas, que representam a variação temporal dos índices, traduz o quão as classes temáticas diferem espectralmente nas imagens MODIS. Os limites superior e inferior da integral equivalem aos pontos de intersecção entre as curvas ajustadas do perfil temporal em cada IV, ou seja, o “momento” em que os valores dos IV, modelados por meio dos polinômios, se equivalem para ambas as classes.

$$A = \int_a^b f(x).dx \quad (3)$$

em que: A= área sob a curva de ajuste dos valores de IV; a = ponto de intersecção inicial entre curvas para um determinado período; b = ponto de intersecção final entre as curvas para um determinado período; f(x) polinômio interpolador dos valores de IV.

¹ Embora numericamente os valores de EVI e NDVI possam variar entre -1 e 1, nos produtos MODIS os valores são distribuídos com um fator multiplicador igual a 10.000. Tais valores foram assim utilizados no presente trabalho de modo a facilitar a modelagem matemática e a visualização e discussão dos resultados.

Em suma, a obtenção dos valores de unidades de área dentre as curvas, para os dois intervalos (entressafra e safra), surge como forte indicador da potencialidade do IV na discriminação das áreas de cultivo de soja perante os outros alvos. Afora isso, efetuou-se a identificação das datas em que essas diferenças foram mais acentuadas entre as classes, para os dois IVs, de forma a assegurar a confiabilidade da informação obtida pela análise matemática.

3. Resultados e Discussão

Na Figura 3 são apresentados os perfis temporais médios, com as respectivas curvas de ajuste dos valores verificados de EVI e NDVI nos temas soja e mata, assim como a imagens MODIS correspondentes às datas de máxima diferença nos valores de IV entre os temas. Neste caso, as Figuras 3a e 3b se referem ao período da entressafra e as Figuras 3c e 3d se referem ao período da safra (2005/06).

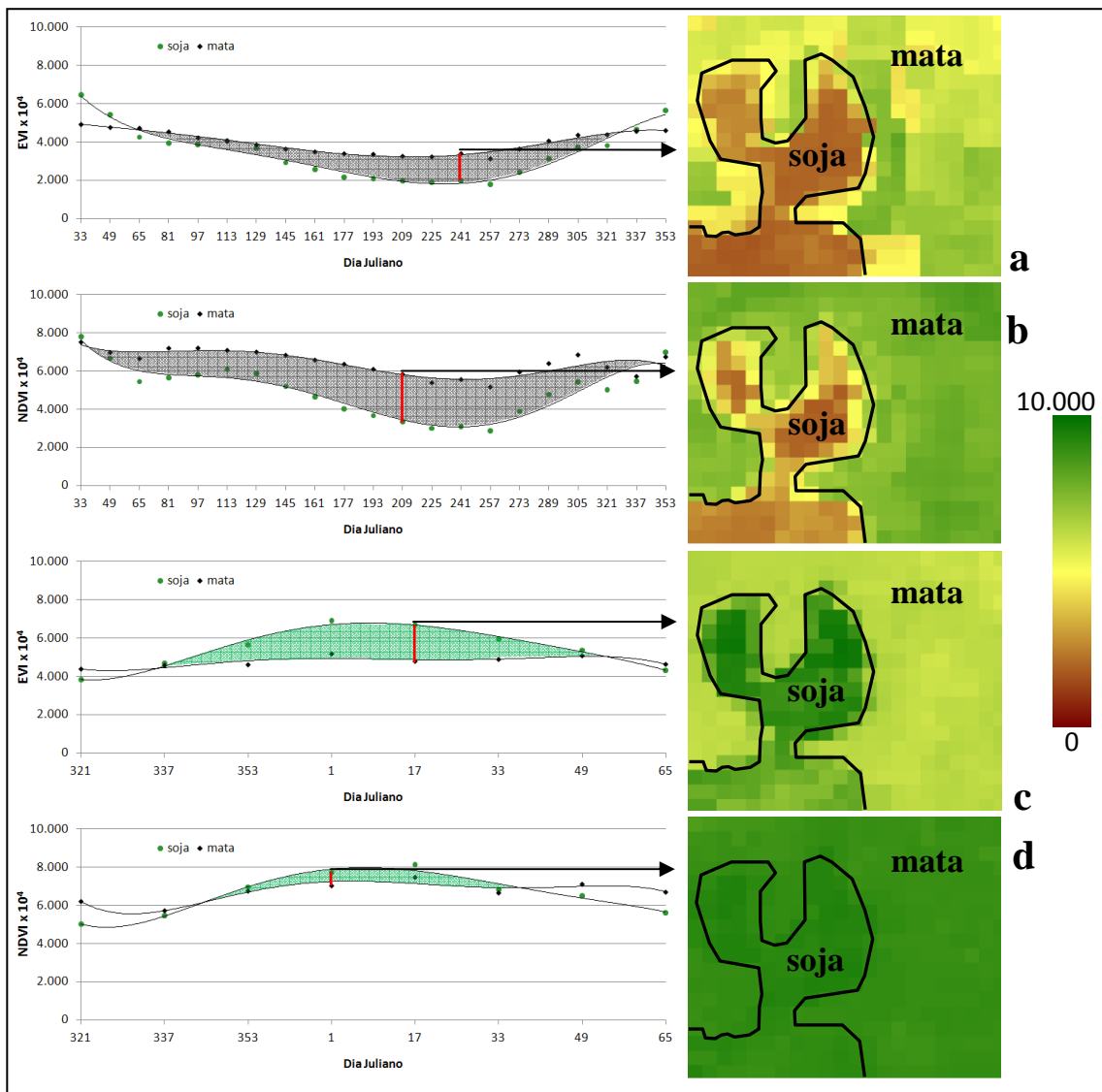


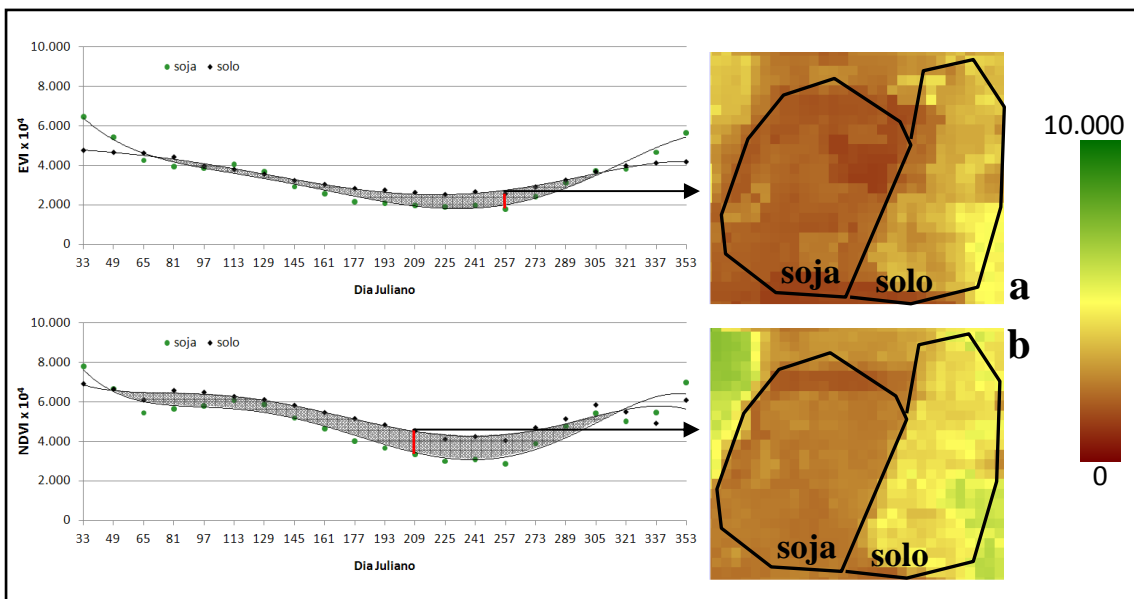
Figura 3. Perfil temporal do EVI e do NDVI nas áreas de soja e de mata para os intervalos de entressafra (3a e 3b) e safra (3c e 3d) e as imagens MODIS referentes às datas em que houve maior diferença entre os IVs.

A análise da Figura 3 ilustra o potencial dos índices para separar áreas de soja de áreas de mata. Durante o período de entressafra (Figuras 3a e 3b), a área entre as curvas

de ajuste dos IVs (representada em cinza) verificada para o EVI (14.057) foi 54% inferior à do NDVI (30.850). Além disso, a maior diferença de um IV entre soja e mata também foi atribuída ao NDVI (imagem 209), quando a diferença entre os temas foi de 2.466, enquanto que para o EVI (imagem 241) foi de 1.426 (42% inferior ao NDVI). Ou seja, fica evidente que o NDVI separa melhor os temas soja e mata no período da entressafra quando comparado ao EVI, particularmente por ocasião do pré-plantio da soja.

Quando a análise temporal dos IVs se refere ao período de safra (Figuras 3a e 3b), ocorre uma clara inversão no potencial dos IVs na diferenciação entre os temas soja e mata. A área entre as curvas dos IVs (representada em verde) para o NDVI (1.797) passa a representar apenas 29% daquela observada entre as curvas de ajuste do EVI (6.217). Ainda assim, a máxima diferença entre os temas mata e soja no NDVI (DJ 001) correspondeu a um valor em módulo de 704, enquanto que para o EVI (DJ 017) foi de 1.904. Ou seja, essa diferença para o NDVI equivale a apenas 37% da máxima diferença para o EVI, reforçando a informação da área entre as curvas espectrais modeladas. Isso torna evidente a superioridade do EVI frente ao NDVI para diferenciar áreas de soja de áreas de mata no período de crescimento e desenvolvimento da cultura agrícola.

Na Figura 4 são apresentados os perfis temporais médios, com as respectivas curvas de ajuste dos valores verificados de EVI e NDVI nos temas soja e solo, assim como a imagens MODIS correspondentes às datas de máxima diferença nos valores de IV entre os temas. Neste caso, as Figuras 4a e 4b se referem ao período da entressafra e as Figuras 4c e 4d se referem ao período da safra (2005/06).



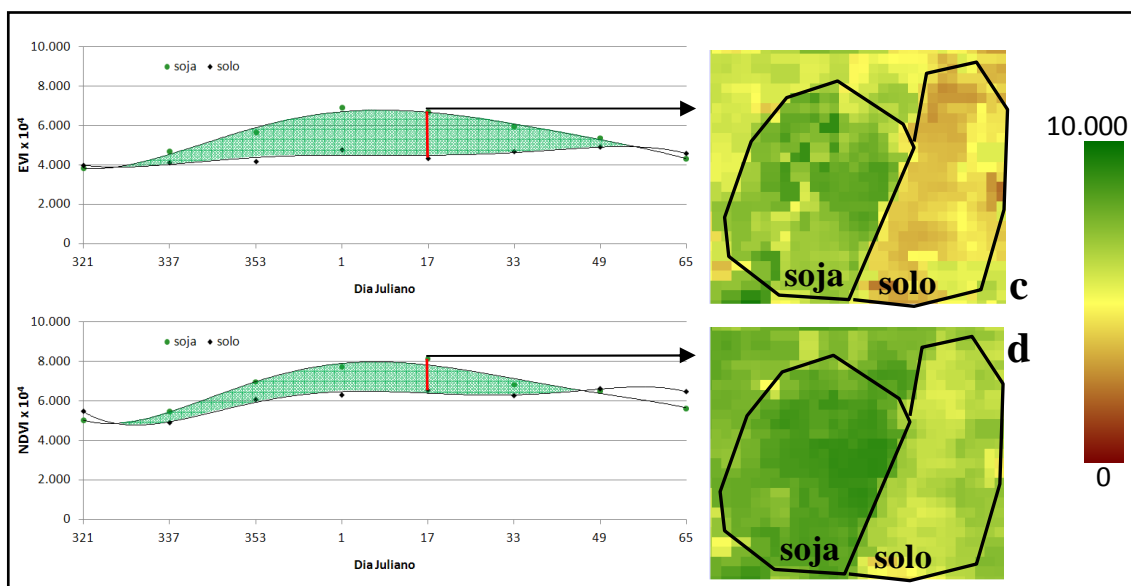


Figura 4. Perfil temporal do EVI e do NDVI nas áreas de soja e de solo para os intervalos de entressafra (4a e 4b) e safra (4c, 4d) e as imagens MODIS referentes às datas em que houve maior diferença entre os IVs.

A Figura 4 permite avaliar o potencial do EVI e do NDVI para separar as áreas de soja das áreas de solo. Nas Figuras 4a e 4b (entressafra) a diferença entre as curvas temporais do NDVI para os temas solo e soja apresentou uma de área (representada em cinza) de 12.586, ao passo que para o EVI esta área foi de 6.117. Isso indica que o potencial de discriminação do EVI para estes temas foi 51% inferior ao NDVI. Além disso, as imagens que se referem às datas de maior diferença entre os temas para os dois IVs mostrou que para o NDVI (DJ 209) a diferença, em módulo, foi de 1.160 enquanto que o EVI (DJ 257) foi em 765 (34% inferior ao NDVI). Isto ratifica a hipótese de que a área entre as curvas temporais dos IVs de cada tema indicam o potencial que o IV tem para discriminar entre os temas soja e solo exposto.

Tendo em vista que a elaboração do mapa de referência foi realizada com informações vinculadas ao período de máximo desenvolvimento da soja na região, observou-se uma proximidade evidente entre as curvas temporais de soja e de solo para o período da entressafra (Figuras 4a e 4b). Característica prevista, uma vez que durante o intervalo da entressafra a implantação de outras culturas que não adotem práticas de irrigação fica praticamente inviabilizada em função do período de seca na região. Desse modo, as áreas de cultivo de soja, nesse período, tendem a apresentar predominantemente cobertura de palha e/ou de solo exposto.

Novamente, quando o intervalo em questão refere-se ao período de safra (Figuras 4c e 4d), ocorre uma inversão no potencial dos IVs na diferenciação entre os temas soja e mata. A área entre as curvas de ajuste para os valores de EVI entre as áreas de solo e soja foi de 8.158, ao passo que no NDVI essa área foi de 5.102 (37% inferior ao EVI). Além disso, a máxima diferença entre os temas para o EVI (DJ 017) foi de 2.347 perante uma diferença (DJ 017) de 1.611 no NDVI (31% inferior ao EVI).

Estes cenários assinalam que, em metodologias que visem a identificação e quantificação de áreas cultivadas por meio de séries temporais, um melhor resultado pode ser obtido ao se utilizar o NDVI no período da entressafra e o EVI no período de safra. Essa constatação visa auxiliar no desenvolvimento de metodologias para identificação e quantificação da cultura da soja, especialmente em regiões onde o tamanho das lavouras seja compatível com a resolução espacial das imagens do sensor MODIS.

4. Conclusões

A análise espectro-temporal dos IVs visando avaliar a capacidade de discriminação espectral das imagens MODIS para áreas de soja em relação a áreas de mata e de solo exposto mostrou que o NDVI é mais eficiente durante o período de entressafra, mais especificamente durante a fase de pré-plantio. Já, durante o período de safra, a separabilidade entre os alvos mostrou-se mais evidente para o EVI, particularmente no período de máximo desenvolvimento da soja.

Referências Bibliográficas

Asrar, G.; Fuchs, M.; Kanemasu, E. T.; Hatfield, J. L. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. **Agronomy Journal**. v.76, n. 2, p. 300-306, 1984.

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.

Gao, X.; Huete, A. R.; Ni, W.; Miura, T. Optical–Biophysical Relationships of Vegetation Spectra without Background Contamination. **Remote Sensing of Environment**, n. 74, p. 609–620, 2000.

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: 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.

Justice, C. O.; Vermote, E.; Townshend, J. R. G.; DeFries, R.; Roy, P. D.; Hall, D. K.; Salomonson, V.; Privette, J. L.; Riggs, G.; Strahler, A.; Lucht, W.; Myneni, B.; Knyazikhin, Y.; Running, W. S.; Nemani, R. R.; Wan, Z.; Huete, A. R.; Leeuwen, W. V.; Wolfe, R. E.; Giglio, L.; Muller, J. P.; Lewis, P.; Barnsley, M. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p.1228-1247, 1998.

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.

NASA – National Aeronautics and Space Administration. **Overview of the Earth Science Enterprise (ESE)**. 2008. Disponível em: <<http://earthobservatory.nasa.gov/Library/ESE>>. Acesso em: out. 2008

Rizzi, R.; Risso, J.; Epiphanyo, 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, 2008. **Comunicação pessoal**.

Rouse J. W.; Haas Jr, R. H.; Schell J. A. and D. W. Deering, “Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS”, **Third ERTS Symposium**, NASA SP-351 I, 309–317, 1973.

Rudorff, B. F. T.; Shimabukuro, Y. E.; Ceballos, J. C. **O sensor Modis e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 428 p.

Vieira, C. A. O. **Accuracy of remotely sensing classification of agricultural crops: a comparative study**. 2000. 352 p. Tese (Degree of Doctor of Philosophy) - University of Nottingham, Nottingham. 2000.

Wardlow, B. D.; Kastens, J. H., & Egbert, S. L. Using USDA crop progress data for the evaluation of greenup onset date calculated from MODIS 250-meter data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 72 n. 11, p.1225–1234. 2006.