

Aplicação de séries temporais EVI/MODIS na identificação do uso e ocupação do solo anterior ao cultivo da cana-de-açúcar

Anibal Gusso¹
Marcos Adami¹
Wagner Fernando da Silva¹
Daniel Alves de Aguiar¹
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{anibal, adami, wagner, daniel, bernardo}@dsr.inpe.br

Abstract. Vegetation indices have been widely used in numerous applications to detect land use change and to derive biophysical parameters related to vegetation status. During the last few years sugarcane has greatly expanded its cultivated area. Therefore, the direct and indirect land use cover change in response to sugarcane expansion has becoming a relevant issue to evaluate the real benefit of renewable biofuels in order to partially mitigate greenhouse gases emissions. The main goal of this study was to identify the prior land use of the converted sugarcane field either from agricultural or pasture land, based on EVI (Enhanced Vegetation Index) time-series profiles derived from MODIS data acquired from 2001 to 2007. This study was carried out over 126 converted sugarcane fields that were previously used either by crop fields or by pasture, in Paraná State. Annual EVI time-series profiles for each year (2001 to 2007) were generated for the sugarcane expanded fields over agriculture and pasture land which were then compared to the sugarcane profile of 2007. EVI time-series successfully mimic not only the sugarcane crop phenology but also the typical spectral trajectory of agricultural and pasture land indicating that the EVI time-series have the potential to identify the previous land occupation of the recent planted sugarcane fields.

Palavras-chave: Sugarcane; agriculture; time-series; EVI/MODIS; Cana-de-açúcar; agricultura; séries temporais; EVI/MODIS.

1. Introdução

A demanda crescente por fontes alternativas de energia como os biocombustíveis, têm resultado em uma intensa expansão da área ocupada para o cultivo da cana-de-açúcar, especialmente no Centro Sul do Brasil. O sensoriamento remoto da superfície terrestre tem sido usado com sucesso na detecção da dinâmica da vegetação por ser capaz de indicar as mudanças gradativas ocorridas durante seu desenvolvimento (Sakamoto et al. 2005). Em áreas agrícolas, as mudanças gradativas o perfil característico de uma determinada vegetação também dão indicações sobre a dinâmica do manejo, uso e ocupação do solo. Para isto, o uso de dados de sensoriamento remoto para a observação da dinâmica agrícola requer, fundamentalmente, o imageamento contínuo da vegetação (Goetz, 1997). Na última década, índices espectrais de vegetação como o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o EVI (*Enhanced Vegetation Index*) têm demonstrado potencial no monitoramento agrícola e em várias aplicações feitas por cientistas, agências governamentais e instituições educacionais na detecção de mudanças ou na estimativa das propriedades biofísicas da vegetação (Leeuwen et al., 1999). Rouse (1974) define os índices de vegetação como a combinação de duas ou mais bandas espectrais, selecionadas com o objetivo de melhorar a relação destes dados com os parâmetros da vegetação.

O Projeto Canasat, que é uma cooperação entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), União da Agroindústria da Cana-de-Açúcar (UNICA), Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) e o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), tem disponibilizado dados freqüentes e detalhados sobre as áreas ocupadas pelo cultivo da cana-de-açúcar e sua dinâmica de desenvolvimento praticada em toda a região Centro-Sul do Brasil.

Atualmente, o Estado do Paraná é um dos principais produtores de cana-de-açúcar apresentando expressiva expansão da área de cultivo na região Centro-Sul do Brasil. O Paraná é o segundo maior produtor e, de 2006 para 2007, aumentou a área de ocupação com a cultura da cana em 62,4% o que corresponde a um aumento de 41,2 mil ha e tem atualmente quase 4,0% da área de cana cultivada no Centro-sul do Brasil (Canasat, 2008). Este expressivo aumento na área de cultivo da cana-de-açúcar é resultado da mudança do uso e ocupação do solo em grande escala. A identificação do uso anterior ao cultivo da cana-de-açúcar torna-se imprescindível para o estabelecimento de políticas públicas de ordenamento do território e abastecimento; e análises socioeconômicas sobre os impactos destas mudanças (Nassar et al., 2008).

Nassar et al. (2008) identificaram o uso anterior ao cultivo da cana por meio de imagens TM/Landsat e técnicas de interpretação visual. Estas técnicas garantem alta confiabilidade aos resultados, entretanto é morosa e requer uma grande quantidade de interpretes em estudos de caráter regional. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é avaliar o potencial de séries temporais de dados EVI/MODIS na identificação de padrões de conversão do uso e ocupação do solo para cana-de-açúcar

2. Metodologia

A área de estudo está delimitada entre as latitudes com coordenadas $-22^{\circ}00'$ e $-25^{\circ}00'$ e as longitudes $-50^{\circ}00'$ e $-54^{\circ}00'$, que compreende à região norte e noroeste do Estado do Paraná. A Figura 1 ilustra as áreas de cana-de-açúcar que foram expandidas sobre áreas de pasto e sobre áreas agrícolas, entre 2001 e 2007, determinadas por (Nassar et al., 2006). Observa-se que a expansão sobre áreas de pastagem se deu principalmente no noroeste do Estado, região tradicional em bovinocultura extensiva de corte. Enquanto que a expansão sobre áreas agrícolas se deu na porção centro-norte do Estado, tradicional região produtora de soja <<http://www.seab.pr.gov.br>>.

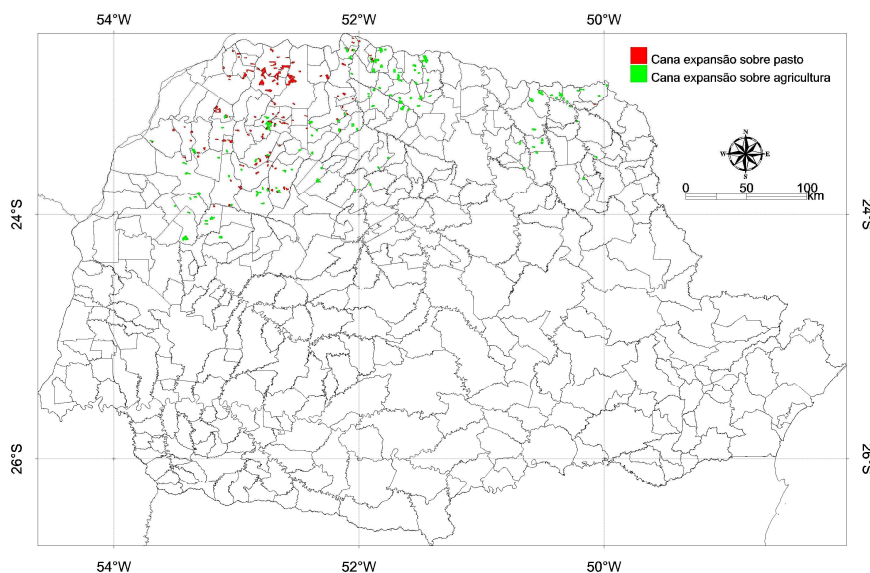


Figura 1. Localização das áreas de expansão da cana no Estado do Paraná.

Foram utilizados somente dados do produto de índice de vegetação da coleção 5, MOD13Q1-V005 (composições multitemporais de 16 dias e resolução espacial nominal de 250 metros), obtidos do sensor MODIS/Terra, processados pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e disponibilizados gratuitamente em: <<https://wist.echo.nasa.gov/api/>>. Optou-se pelo EVI/MODIS por incluir características

combinadas do NOAA/AVHRR e do Landsat/TM como resolução espacial moderada, imageamento freqüente e resolução espectral melhorada (Justice et al., 1998), além de ser capaz de reduzir os efeitos atmosféricos e de contaminação provocada pelo solo (Huete et al., 2002). Os resultados de processamento da coleção 5, também apresentam melhoramentos em relação às correções aplicadas na coleção 4 (V004), principalmente, a redução da presença de ruídos associada aos efeitos atmosféricos (Huete em 2007).

O período estudado compreende o dia juliano 001 (jan) de 2001 até o dia 353 (dez) de 2007 e foi dividido em intervalos de 16 dias de acordo com o início das composições. Em cada ano analisado, as composições de 16 dias estão identificadas por seqüência numérica de 1 a 23. Foram analisadas áreas de expansão da cana-de-açúcar, do ano safra 2006/07, obtidos do projeto Canasat. Nassar et al. (2008) usaram estas mesmas áreas para avaliação do uso anterior ao cultivo da cana-de-açúcar e a reclassificaram em *Agricultura*, para as áreas anteriormente ocupadas com outras culturas, e *Pastagem*, para as áreas anteriormente ocupadas com pastagem.. Para cada uma destas classes foram selecionados 126 dos maiores talhões e observado o comportamento temporal do EVI. Cada grupo foi analisado separadamente. Para cada um dos talhões selecionados foram extraídos os valores de EVI em cada período nos 23 períodos e, a partir desses valores, geraram-se gráficos tipo boxplot. O conjunto dos boxplots de todos os períodos fornece o perfil anual do EVI.

3. Resultados e Discussão

As áreas agrícolas apresentaram uma freqüência maior de alteração na sua dinâmica anual e com valores mínimos típicos próximos a 0,3 e valores máximos próximos a 0,7. Entretanto, apresentam duas situações de mínimo e duas de máximo, bem definidas no ciclo anual (Figura 2). Tipicamente, a cobertura de pasto apresenta pequena variação no perfil de desenvolvimento mantendo a mediana do EVI entre 0,3 (de agosto a setembro) e 0,5 (de dezembro a fevereiro). Nos mesmos períodos, o perfil de desenvolvimento da cana-de-açúcar tem uma dinâmica muito similar ao pasto, também observado por Xavier et al., (2006), com duas situações anuais distintas bem definidas e as Medianas variando entre 0,3 e 0,6 (Figura 2).

3. 1. Expansão sobre áreas agrícolas

As Figura 2 e 3 ilustram os perfis temporais das áreas de cana-de-açúcar expandidas sobre áreas agrícolas e sobre pastagens, respectivamente. Na Figura 2 observa-se o perfil característico de culturas agrícolas entre os anos 2001 e 2005, alcançando os maior desenvolvimento vegetativo entre os períodos 1 e 3 de cada ano (valores de EVI mais altos). Nos períodos, 4 e 5 tipicamente, ocorre uma queda nos valores de EVI, indicando a fase de colheita da cultura de verão. Novamente, a partir do período 10 ocorre uma elevação do EVI, indicando a safra de inverno.

Entretanto, a partir de 2006 esse comportamento é diferente, não ocorre a queda acentuada no EVI, que seria esperada durante a colheita das culturas como soja e milho, nos períodos 5 e 6 (final de fevereiro e início de março) de 2006. Nota-se claramente que em 2006 não há a presença da cultura de inverno entre os períodos 7 e 16 dos anos de 2001 a 2005. Os valores de EVI, deste período, são mais constantes e mais baixos. Esse comportamento indica que a cultura da cana-de-açúcar encontra-se em desenvolvimento e devido à redução da disponibilidade hídrica do solo, e entre os períodos 9 e 16 (maio a agosto), a mesma apresenta baixa taxa de desenvolvimento vegetativo.

A partir do período 18 (final de setembro e início de outubro), o EVI se eleva. Com o início do período chuvoso a cana-de-açúcar se desenvolve mais rapidamente cobrindo o solo. No ano de 2007 a colheita da cana-de-açúcar, que inicia em abril, se manifesta com baixos valores de EVI.

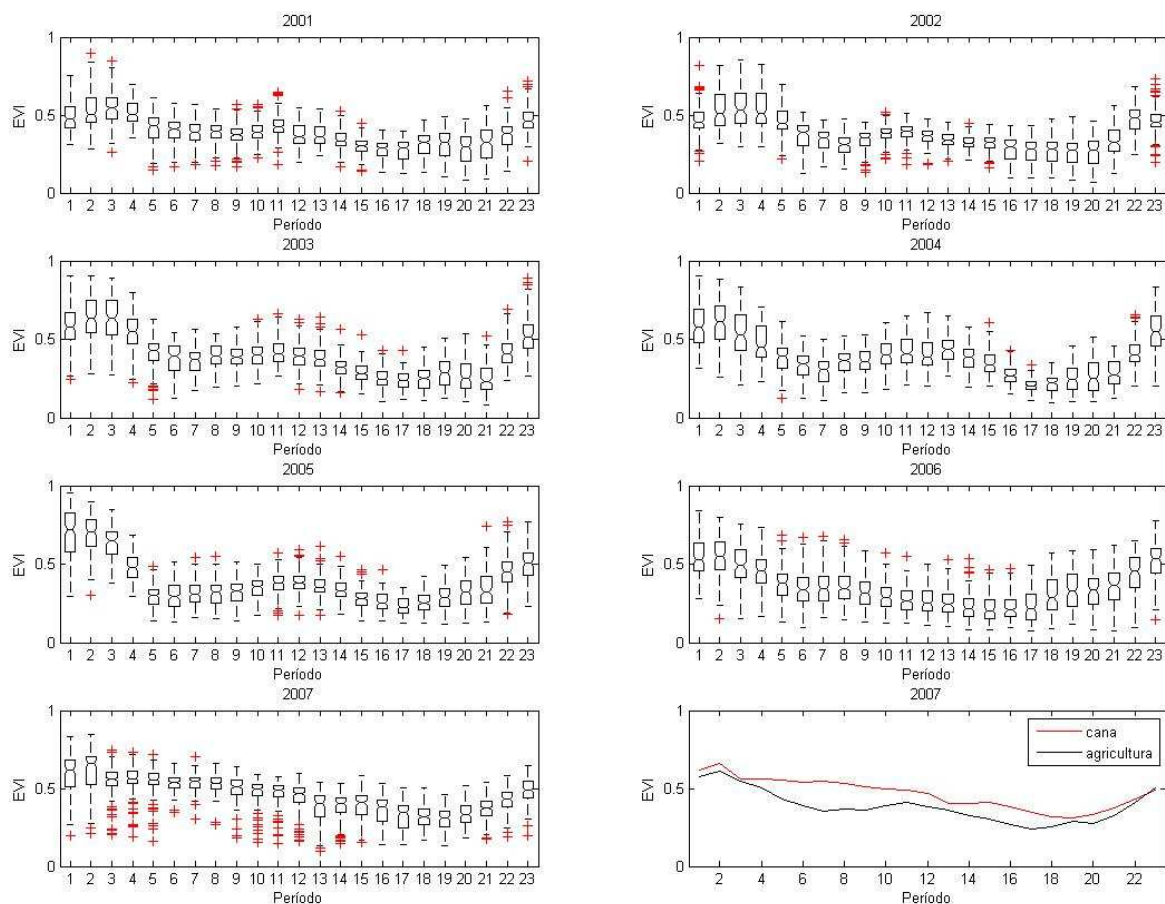


Figura 2. Gráficos boxplot do perfil de desenvolvimento agrícola e das medianas.

3. 2. Expansão sobre áreas de pasto

Os perfis de EVI para as áreas de pastagem também são bem característicos durante os anos de 2001 e 2005 (Figura 3). A amplitude dos valores de EVI é menor em relação às áreas agrícolas. Entretanto, há maior presença de *outliers*, pois áreas de pastagens são mais heterogêneas do que áreas agrícolas. Além disso, durante estes anos, há um ciclo de desenvolvimento anual, com maiores valores de EVI nos períodos chuvosos e menores valores nos períodos de seca. Isto, devido à redução da disponibilidade hídrica do solo, marcadamente na região de expansão sobre áreas de pasto, entre os períodos 9 e 16 (maio a agosto). A partir de 2006 ocorre um aumento da amplitude dos valores de EVI e um comportamento semelhante ao ocorrido nas áreas de expansão sobre áreas agrícolas, o que indica que a pastagem foi substituída.

A Figura 4 ilustra os perfis da mediana de EVI para as áreas de pastagem e áreas agrícolas, no momento anterior e posterior à substituição por cana-de-açúcar.

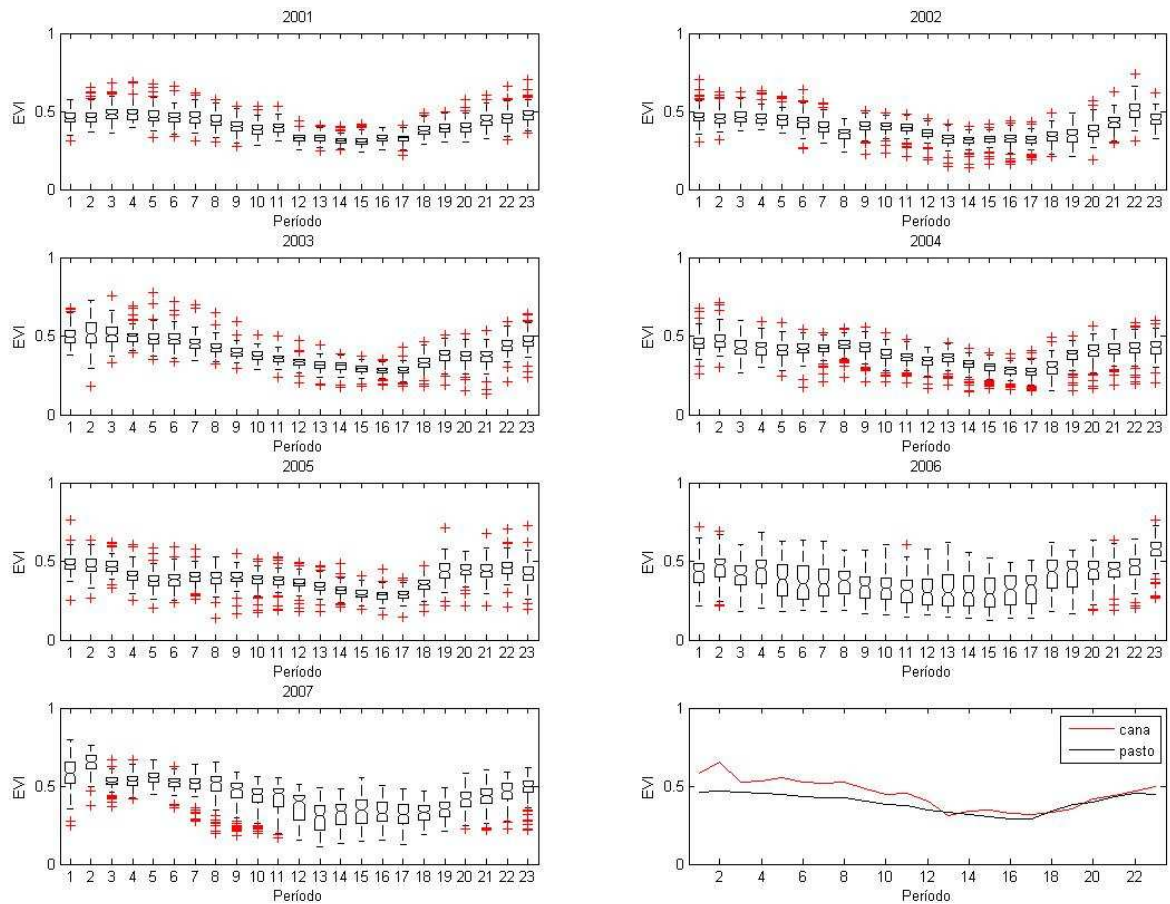


Figura 3. Gráficos boxplot do perfil de desenvolvimento da pastagem e cana expansão e das medianas.

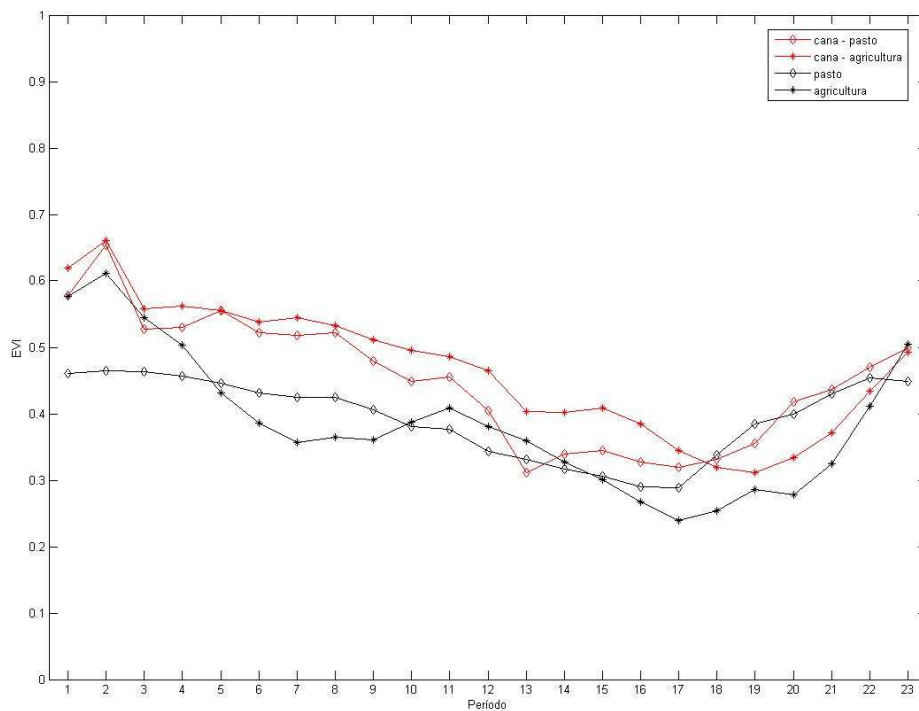


Figura 4 – Comparação das medianas entre comportamento temporal de áreas de cana sobre antigas áreas de pastagem e áreas agrícolas.

Na figura 4, observa-se ainda que as medianas das áreas de cana implantadas sobre as áreas agrícolas e de pastagem são similares o que sugere que os tratos culturais aplicados, nestes dois tipos de uso do solo, resultaram um desenvolvimento vegetativo semelhante.

4. Conclusões

Séries temporais do EVI/MODIS, obtido de imagens do satélite Terra, têm resolução espacial e temporal satisfatória para identificar as mudanças no padrão do perfil de desenvolvimento, de áreas agrícolas e pasto, em cultivo da cana-de-açúcar. As alterações decorrentes da expansão do cultivo da cana-de-açúcar, sobre áreas agrícolas e de pasto, são acompanhadas de uma alteração definida no padrão da evolução temporal da vegetação.

Agradecimentos

Sinceros agradecimentos à equipe do LAF (Laboratório de Sensoriamento Remoto em Agricultura e Floresta) e colaboradores no INPE.

Referências Bibliográficas

Canasat. Tabelas e relatórios.

Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/mapdsr/tabelas.jsp>>. Acesso em: novembro. 2008.

Goetz, S. J. Multi-sensor analysis of NDVI, surface temperature and biophysical variables at a mixed grassland. **International Journal of Remote Sensing**, 18, 71-94, 1997.

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**, 83, 195–213, 2002.

Justice, C. O.; Vermote, E.; Townshend, J. R. G.; Defries, R.; Roy, D. P.; Hall, D. K.; Salomonson, V. V.; Privette, J. L.; Riggs, G.; Strahler, A.; Lucht, W.; Myneni, R. B.; Knyazikhin, Y.; Running, S. W.; Nemani, R. R.; Zhengming, W.; Huete, A. R.; Leeuwen, W. V.; Wolf, R. E.; Giglio, L.; Muller, J. P.; Lewis, P.; Barnsley, M. J. The moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): Land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, 36, 1228-1249, 1998.

Leeuwen, W.J.D.; Huete, A.R. and Laing, T.W. MODIS vegetation index compositing approach: A prototype with AVHRR data. **Remote Sensing of Environment**, 69, 264-280, 1999.

Nassar, André M.; Rudorff, Bernardo F. T.; Antoniazzi, Laura B.; Aguiar, Daniel A. de; Bacchi; Miriam R. P.; Adami, Marcos. Prospects of the Sugarcane Expansion in Brazil: Impacts on Direct and Indirect Land Use Allocation and Changes. In: Peter Zuurbier, Peter; de Vooren, Jos van (eds). **Sugarcane ethanol**. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2008. cap. 3, p. 63-93.

National Aeronautics and Space Administration (NASA), Disponível em: <https://wist.echo.nasa.gov/api/>> último acesso em: novembro 2008.

Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A., Deering, D. W. and Harlan, J. C., **Monitoring the vernal advancement and retrogradation** (greenwave effect of natural vegetation), NASA/GSFC type III Final Report, Greenbelt, MD, 1974.

Sakamoto, T.; Yokozawa, M.; Toritani, H.; Shibayama, M.; Ishitsuka, N.; & Ohno, H. A crop phenology detection method using time-series MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, 96, 366–374, 2005.

Secretaria da Agricultura de do Abastecimento do Paraná (SEAB).

Disponível em: <<http://www.seab.pr.gov.br/>>. último acesso em: novembro 2008.

Xavier, A. C.; Rudorff, B. F. T.; Shimabukuro, Y. E.; Berka, L. M. S. and Moreira, M. A. Multi-temporal analysis of MODIS to classify sugarcane crop. **International Journal of Remote Sensing**, 27, 755-768, 2006.