

Análise da relação entre os perfis de NDVI obtidos dos sensores AVHRR/NOAA e MODIS nas áreas produtoras de cana-de-açúcar em São Paulo

Renata Ribeiro do Valle Gonçalves¹
Jurandir Zullo Junior¹
Octávia Marquezini^{1,2}
Bruno Ferraz do Amaral³
Elaine Parros Machado de Sousa³
Luciana Alvim Santos Romani²

¹ Cepagri/Feagri - Unicamp
Cidade Universitária – 13083-970 - Campinas - SP, Brasil
renaribeiro@yahoo.com.br
jurandir@cpa.unicamp.br

² Embrapa Informática Agropecuária
Caixa Postal 6041 – 13083-886 - Campinas - SP, Brasil
luciana.romani@embrapa.br
octavia.marquezini@colaborador.embrapa.br

³ Universidade de São Paulo – USP/ICMC
Av. Trabalhador são-carlense, 400 - 13566-590 - São Carlos - SP, Brasil
brunoslash@grad.icmc.usp.br
parros@icmc.usp.br

Abstract. The production of cane sugar in Brazil, in general, has been growing in recent years and has increasingly strategic role in the economy. Thus, it is important to propose innovative and technologically feasible solutions to help the generation of more efficient, objectives, precise, early and adequate models to monitoring and forecasting of the national crop. This study has the main objective of compare NDVI data from AVHRR/NOAA and MODIS/TERRA in productive sugarcane areas in São Paulo, from April 2001 to March 2010. Initially, were made the selection of sugarcane planting points in São Paulo and the extraction of NDVI profiles from AVHRR/NOAA and MODIS/TERRA. After that, clustering analysis using K-Medoids and DTW were made in 5 clusters with NDVI profile and, finally, the statistical analysis (Pearson correlation) done with clusters of the planted area, harvested area and crop yield. The clusters identified pixels related to the sugarcane planting areas and spectral mixture. The MODIS/TERRA showed values of R greater than the AVHRR/NOAA, because the sensor has a spatial resolution of 250m, with more details of sugarcane areas. However, the AVHRR/NOAA also obtained satisfactory results. This shows that it is possible to use data from low spatial resolution sensors to monitor and follow harvests of crops planted over large areas. The advantage of these sensor systems is their high temporal resolution, low cost and global coverage.

Palavras-chave: remote sensing, time serie, clustering, sensoriamento remoto, séries temporais, agrupamento.

1. Introdução

Para culturas agrícolas que abrangem grandes áreas, como é o caso da cana-de-açúcar no Brasil, que ocupa cerca de 8 milhões de hectares ou cerca de 2,5% de toda a terra arável do país (Única, 2011), técnicas de geoprocessamento aplicadas a imagens orbitais de alta resolução temporal apresentam grande potencial de mapear e monitorar os ciclos fenológicos das culturas. A utilização de séries temporais de imagens de satélites, como os da série AVHRR/NOAA e MODIS/TERRA podem ser de grande utilidade no desenvolvimento de métodos de monitoramento e previsão de safras da cana-de-açúcar no país.

Os satélites da série NOAA têm grande potencial de utilização em métodos operacionais e objetivos de previsão de safras, tanto na estimativa da área plantada quanto na da produtividade (Gonçalves et al., 2012). Os sensores mais utilizados para a composição das séries temporais são o AVHRR/NOAA, com imagens diárias desde a década de 1970 e, mais recentemente, o MODIS/TERRA, com imagens diárias a partir de 2000. A vantagem destes sensores é que a aquisição diária permite o uso de imagens compostas temporais, o que remove em grande parte a interferência de nuvens. O sensor MODIS apresenta uma vantagem devido à maior resolução espacial (250 m contra 1,1 km do AVHRR/NOAA).

Para o monitoramento da vegetação, utilizam-se índices de vegetação espectral, que são valores obtidos por meio de transformações espectrais dos dados originais, para a representação das características da cobertura vegetal, como por exemplo, o NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada). O NDVI é obtido pelas bandas do vermelho e infravermelho próximo, varia de -1 a +1, sendo que quanto maior for a diferença entre o fator de refletância no infravermelho próximo e no vermelho, maior é o seu valor.

O NDVI tem sido utilizado no monitoramento de vegetações naturais e áreas agrícolas por apresentar correlação com os seguintes parâmetros agrônômicos: biomassa (Justice e Hiernaux, 1986; Anyamba e Tucker, 2005), índice de área foliar (Prince, 1993; Wang et al., 2005), peso da vegetação úmida, peso da vegetação seca e porcentagem de cobertura vegetal (Senay e Elliot, 2002). Gallo et al. (2005) apresentou um estudo do monitoramento da mudança da vegetação e propriedades da superfície terrestre, utilizando dados de NDVI do AVHRR/NOAA e MODIS/TERRA. Este estudo comparou os valores de NDVI dos dois sensores, e comprovou que os dados do sensor AVHRR são semelhantes aos dados do sensor MODIS e são fundamentais para o acompanhamento contínuo da superfície vegetal terrestre. Diante disso, a questão tratada neste trabalho é: os mesmos resultados podem ser alcançados em regiões agrícolas brasileiras? Embora as séries do MODIS/TERRA sejam mais utilizadas em agricultura do que as do sensor AVHRR/NOAA, é importante avaliar se o monitoramento de culturas cultivadas em grandes áreas como a cana-de-açúcar pode ser realizado por sensores de resolução mais baixa. De forma complementar, a durabilidade da série do sensor AVHRR está garantida devido ao lançamento do sensor no satélite METOP, o que não é possível garantir em relação ao MODIS.

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi comparar dados de NDVI do AVHRR/NOAA e de NDVI do MODIS/TERRA em áreas produtivas de cana-de-açúcar no estado de São Paulo, no período de abril de 2001 a março de 2010.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo foi o estado de São Paulo, que está situado entre as coordenadas geográficas 54° e 43°30' de longitude oeste e 25°30' e 19° 30' de latitude sul. Foram utilizadas máscaras das áreas de plantio de cana-de-açúcar do estado de acordo com o Canasat/Inpe (<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/>), como ilustra a Figura 1.

A Figura 2 mostra o fluxograma da metodologia, dividida em quatro etapas: (i) seleção dos pontos com o plantio de cana-de-açúcar no estado de São Paulo (Figura 1); (ii) extração de perfis de NDVI/AVHRR/NOAA e NDVI/MODIS/TERRA; (iii) análise de agrupamento

dos dados, utilizando K-Medoids e DTW; e, (iv) análise estatística (correlação de Pearson) dos agrupamentos com a área plantada, área colhida e quantidade produzida.

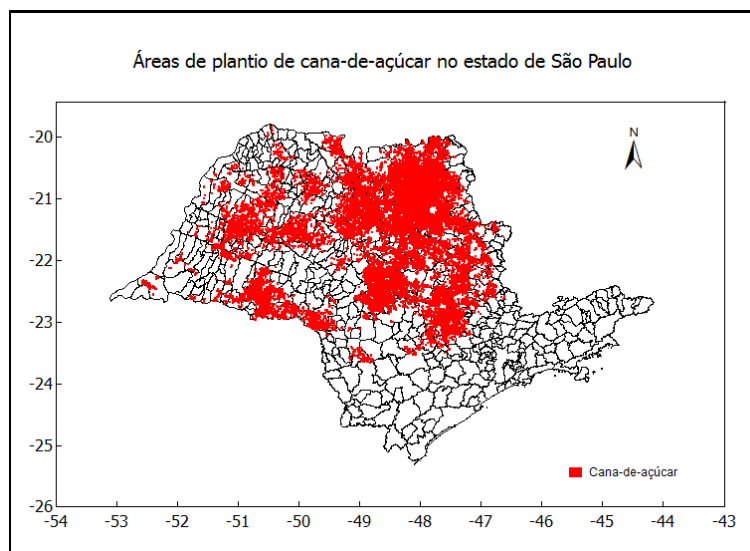


Figura 1. Áreas de plantio de cana-de-açúcar do estado de São Paulo.

Para a execução deste trabalho, utilizou-se o banco de imagens do satélite AVHRR/NOAA do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura, da Universidade Estadual de Campinas (Cepagri/Unicamp). Foram utilizadas imagens dos satélites NOAA-16 e NOAA-17 de abril de 2001 a março de 2010. O processamento das imagens do AVHRR/NOAA foi realizado pelo sistema automático de navegação NAVPRO (Esquerdo et al., 2006). O sistema realiza todo o processamento das imagens de forma automática, fazendo a conversão de formato, calibração radiométrica, correção geométrica (georreferenciamento preciso) e geração de produtos, como o NDVI.

O cálculo do NDVI foi feito a partir de imagens diárias do AVHRR/NOAA utilizando as bandas 1 e 2, que correspondem ao vermelho e infravermelho próximo, respectivamente. Nesse processo, foram excluídos os pixels com ângulo zenital solar maior que 70° e ângulos de varredura maiores que 42°. Esses pixels receberam o valor -1,1. Para amenizar o efeito da atmosfera nas imagens, geraram-se Composições de Valor Máximo (MVC) mensal de NDVI.

As imagens MODIS/TERRA utilizadas foram adquiridas pelo produto MOD13Q1 no mesmo período (2001 a 2010). O produto MOD13Q1 é indicado para tal aplicação, uma vez que fornece imagens dos índices de vegetação NDVI e EVI compostas de 16 dias, com correção atmosférica, georreferenciadas, resolução espacial de 250 m, além de fornecer indicadores de qualidade da imagem, como contaminação por nuvens, sombras e falhas no sensor. Estas imagens estão disponíveis no site da NASA (http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/#utf8=%E2%9C%93&spatial_map=satellite&spatial_type=rectangle).

Para gerar os perfis temporais, de 2001 a 2010, com valores de NDVI das imagens AVHRR/NOAA (NDVI mensal com resolução espacial 1,1km) e MODIS (NDVI 16 dias com resolução espacial 250m), das áreas de plantio de cana-de-açúcar do estado de São Paulo, utilizou-se o software *SatImagExplorer* (Chino et al., 2010). No *SatImagExplorer*, também foi feito o agrupamento de cinco clusters das áreas de cana-de-açúcar (máscara do Canasat/Inpe) pelo método K-Medoids com a distância DTW, das séries de NDVI, para todo período analisado.

O K-Medoids é um método de agrupamento (*clustering*) que ao invés de representar o grupo pela média de seus elementos, o algoritmo busca, como representante, o elemento mais central do cluster, chamado *medoid*. Dessa maneira, para cada cluster, todos os objetos

pertencentes a ele são testados como candidatos a *medoid*, e apenas o que for o mais centralizado é o escolhido (Amaral et al., 2011). Neste trabalho, foi aplicada a abordagem que visa trabalhar com as séries de valores de NDVI, de modo que cada elemento do conjunto é definido por uma série de NDVI correspondente a uma ou várias safras de cana-de-açúcar. Nessa abordagem, foi utilizada a métrica DTW, por ser uma função de distância muito aplicada na análise de séries temporais (Berndt e Clifford, 1994).

No software *Minitab 14* (www.minitab.com) foi realizada a correlação linear de Pearson utilizando os cinco clusters resultantes das áreas de plantio de cana-de-açúcar, das séries temporais de NDVI dos dois sensores, e dados de área plantada, área colhida e quantidade produzida de cana-de-açúcar dos municípios do estado de São Paulo. Estes dados foram adquiridos pelo site do IBGE (<http://www.sidra.ibge.gov.br/>).

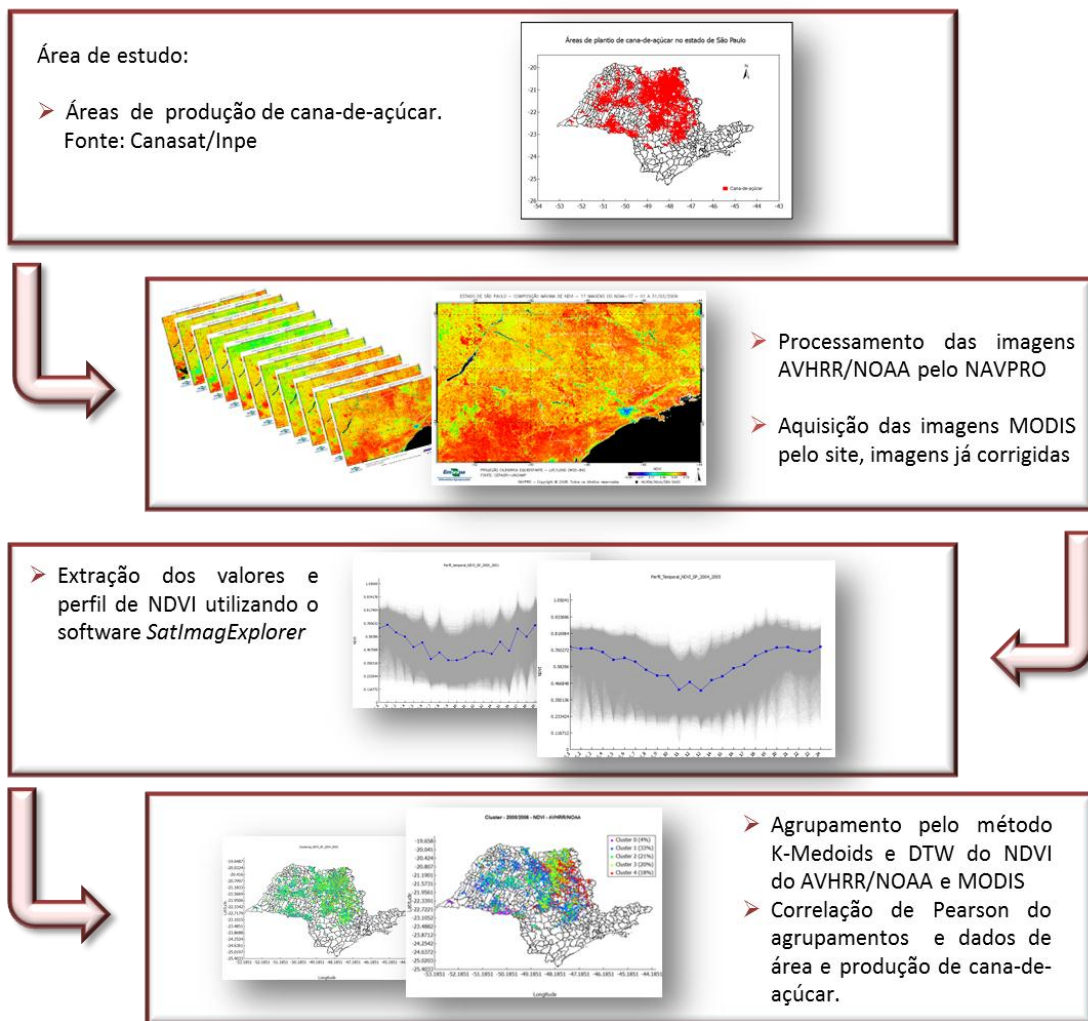


Figura 2. Fluxograma indicando as etapas desenvolvidas neste trabalho.

3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos pelo agrupamento das séries temporais de NDVI do AVHRR/NOAA e do NDVI do MODIS estão apresentados nas Figuras 3 e 4, respectivamente. As Figuras 3 e 4 apresentam, como exemplo, os clusters das áreas de plantio da cana-de-açúcar no estado de São Paulo e o perfil temporal destes clusters para dois anos-safra, 2005/2006 e 2009/2010.

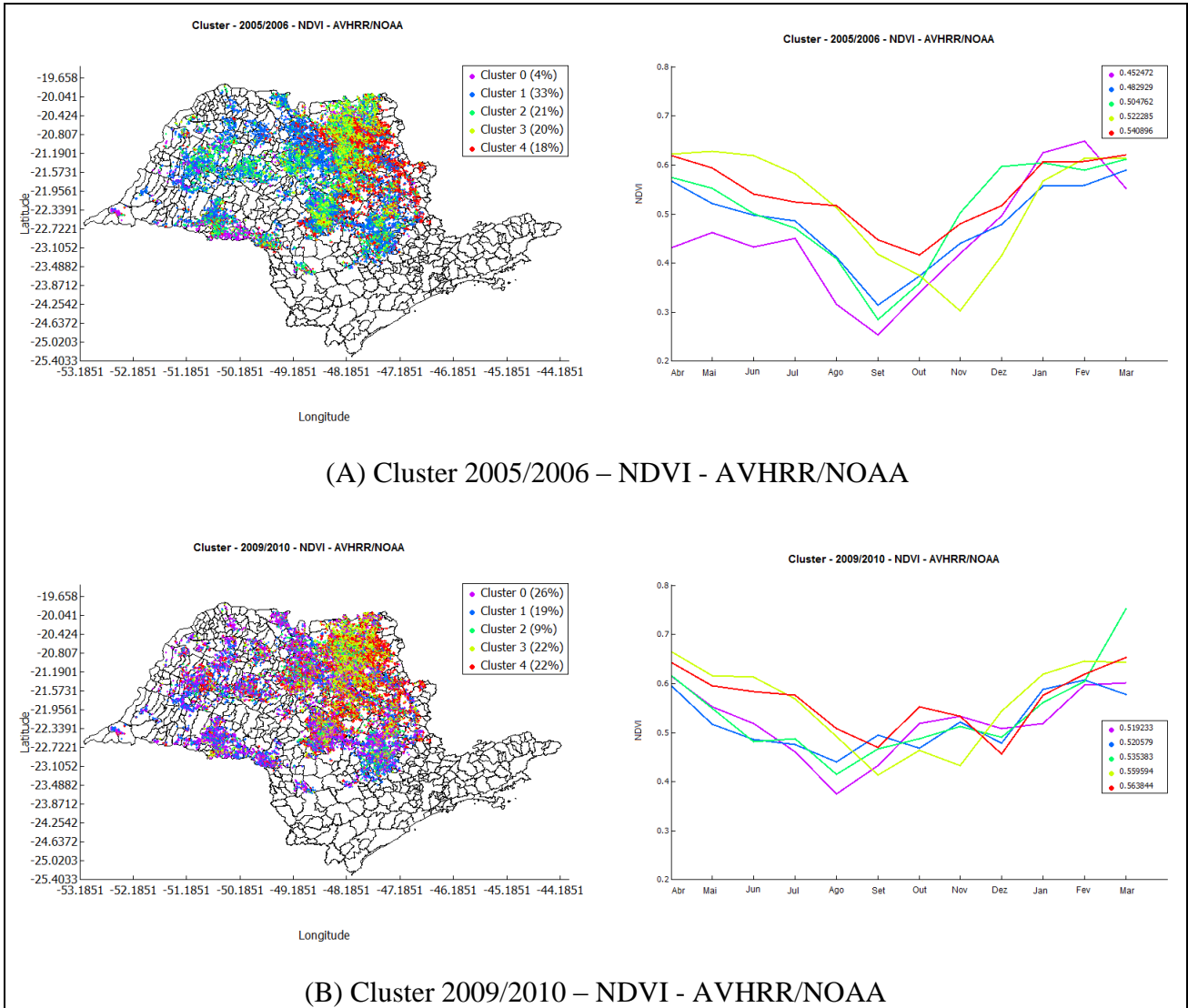
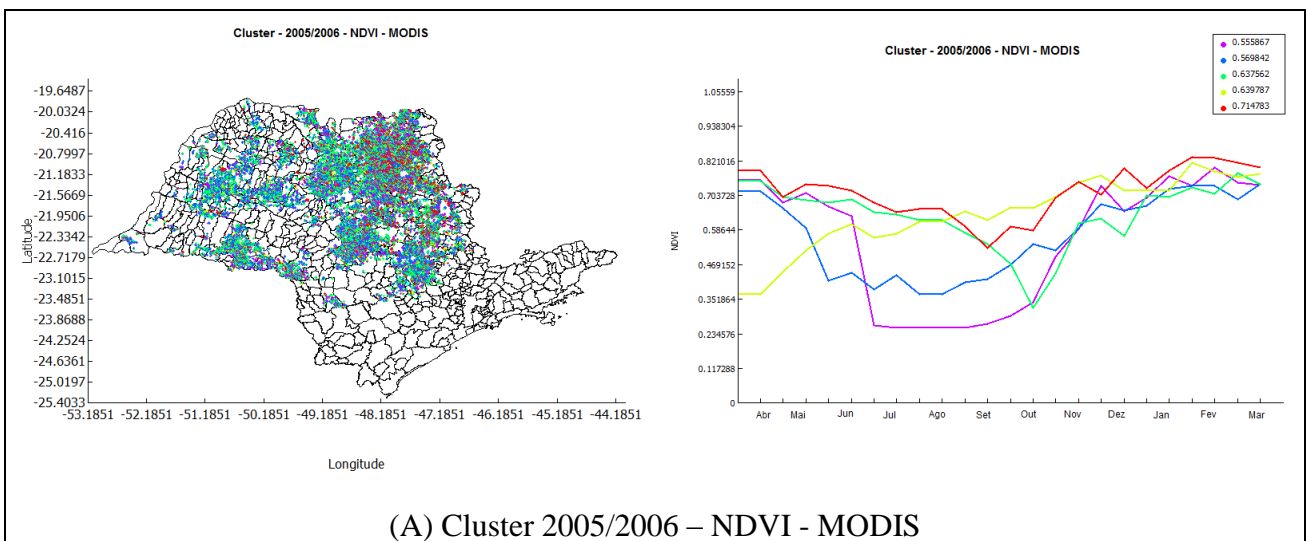


Figura3. Agrupamento dos valores de NDVI do sensor AVHRR/NOAA para os anos-safra 2005/2006 (A) e 2009/2010 (B).



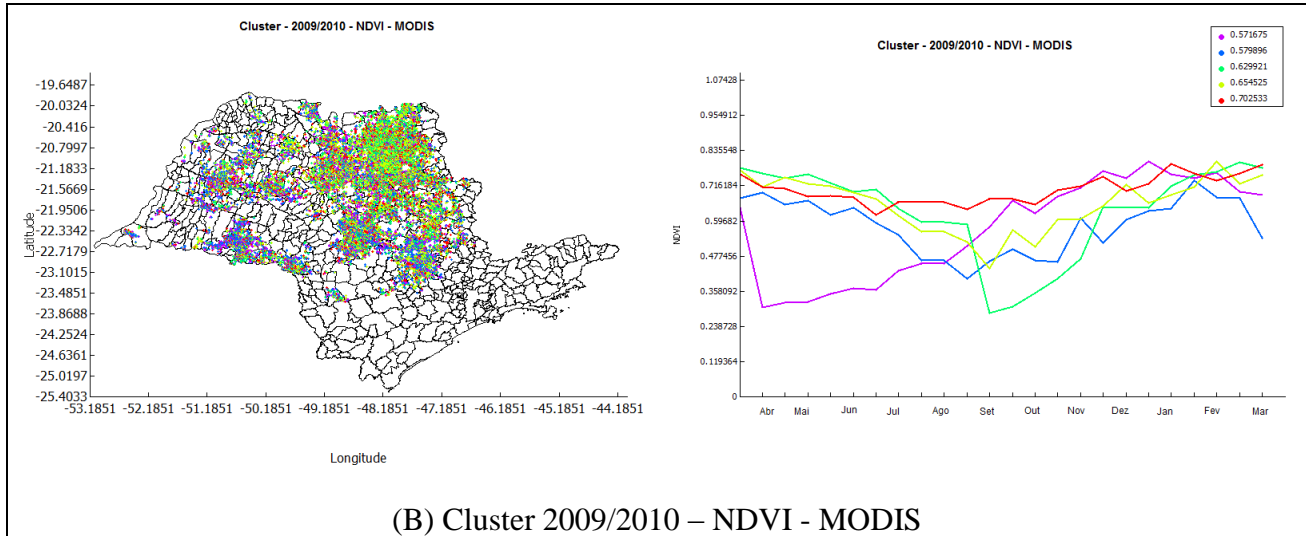


Figura4. Agrupamento dos valores de NDVI do sensor MODIS para os anos-safra 2005/2006 (A) e 2009/2010 (B).

O método K-Medoids agrupou os perfis temporais de NDVI, de acordo com um perfil de NDVI padrão, em 5 clusters. Estes clusters identificaram pixels relacionados às áreas de plantio de cana-de-açúcar e mistura espectral. Os resultados de ambos os sensores (AVHRR/NOAA e MODIS) mostraram que a maioria dos pixels do estado de São Paulo pertence a clusters de intervalos entre 0,52 a 0,65, os valores abaixo ou acima deste intervalo são considerados mistura espectral (áreas de cana-de-açúcar com outros alvos).

O cluster 0 corresponde a valores mais baixos da série temporal de NDVI. A assinatura deste cluster é menos semelhante ao perfil de NDVI padrão como pode ser visto nos gráficos das Figuras 3 e 4. Este cluster é constituído por pixels com mistura espectral, pois os sensores apresentam baixa resolução espacial. Esta mistura espectral pode ser com pixels de solo exposto, solo preparado para plantio ou áreas de cana-de-açúcar colhida ou em reforma.

Os clusters 1, 2, e 3 correspondem a áreas de plantio de cana-de-açúcar sem mistura espectral. Na região nordeste do estado, a região mais produtora de cana-de-açúcar, corresponde aos clusters 2 e 3 (Figuras 3 e 4). Estes clusters apresentam um perfil de NDVI com maior valor médio, o que indica maior produção de cana-de-açúcar, e clusters que representam a cultura sem mistura espectral. Os clusters variam de ano para ano, pois o ambiente está sempre modificando, isto é, o plantio de cana-de-açúcar e de outras culturas é dinâmico.

O cluster 4 corresponde a valores mais altos da série temporal de NDVI. A assinatura deste cluster não é muito semelhante ao perfil de NDVI padrão como pode ser visto nos gráficos das Figuras 3 e 4. Este cluster é constituído por pixels com mistura espectral, podendo ser mistura com áreas de reflorestamento, mata ou culturas perenes.

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam valores de correlação linear de Pearson (R) entre os clusters, área plantada, área colhida e quantidade produzida de cana-de-açúcar, respectivamente. Nestas Tabelas (1, 2 e 3) são apresentados somente clusters que obtiveram os maiores valores de correlação linear.

Tabela 1. Correlação linear entre os valores de NDVI e área plantada.

Cluster	01/02	02/03	03/04	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10
AVHRR/NOAA	3	3	3	3	3	2	2	3	3
R	0,810	0,859	0,919	0,865	0,829	0,864	0,814	0,785	0,763
MODIS	0	1	2	3	2	1	1	3	3
R	0,919	0,913	0,939	0,934	0,948	0,918	0,864	0,862	0,828

P-valor = 0, com nível de significância 95%.

Tabela 2. Correlação linear entre os valores de NDVI e área colhida.

Cluster	01/02	02/03	03/04	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10
AVHRR/NOAA	3	3	3	3	3	2	2	3	3
R	0,810	0,859	0,919	0,865	0,829	0,864	0,814	0,786	0,745
MODIS	2	1	2	3	2	1	1	3	3
R	0,919	0,913	0,939	0,934	0,948	0,918	0,864	0,862	0,817

P-valor = 0, com nível de significância 95%.

Tabela 3. Correlação Linear entre os valores de NDVI e quantidade produzida.

Cluster	01/02	02/03	03/04	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10
AVHRR/NOAA	3	3	3	3	3	2	2	3	3
R	0,798	0,847	0,918	0,878	0,856	0,850	0,789	0,776	0,753
MODIS	2	1	2	3	2	1	1	3	3
R	0,912	0,913	0,946	0,937	0,951	0,904	0,845	0,861	0,818

P-valor = 0, com nível de significância 95%.

De acordo com as Tabelas 1, 2 e 3, no período analisado (2001 a 2010) o sensor AVHRR/NOAA mostrou que os clusters 2 e 3 foram os que apresentaram maior produção de cana-de-açúcar. Para o sensor MODIS, os clusters 1, 2 e 3 foram os que apresentaram maior produção da cultura. Os anos-safra 2004/2005, 2008/2009 e 2009/2010 apresentam maior correlação linear entre o cluster 3 e os dados de área plantada, colhida e quantidade produzida, tanto para o AVHRR/NOAA quanto para o MODIS.

O MODIS apresentou valores de R maiores que o AVHRR/NOAA. Isso ocorreu, pois o sensor tem resolução espacial de 250m, tendo mais detalhes da área de plantio de cana-de-açúcar. O AVHRR/NOAA também obteve resultados satisfatórios. Isso mostra que é possível utilizar dados de sensores de baixa resolução espacial (1,1km) para monitorar e acompanhar safras de culturas agrícolas em grandes áreas plantadas.

4. Conclusão

Este trabalho propôs a utilização de métodos de mineração de séries temporais associados a imagens de sensores orbitais (AVHRR/NOAA e MODIS/TERRA) de baixa resolução espacial como uma alternativa de acompanhamento das culturas cultivadas em grandes áreas, embora a mistura espectral possa ocorrer. A vantagem destes sistemas sensores é a sua alta resolução temporal, baixo custo e cobertura global. Os dois sensores apresentaram resultados satisfatórios, sendo possível visualizar áreas de maior produção de cana-de-açúcar, apresentada pelos clusters 1, 2 e 3 e áreas de mistura espectral, clusters 0 e 4.

O método permite acompanhamento da cana-de-açúcar em escala regional e devido à frequência de trabalhos com imagens de satélite, a indústria do etanol pode usar essa abordagem para analisar o NDVI da cana-de-açúcar em diferentes regiões do país com baixo custo.

Agradecimentos

Os autores agradecem o financiamento das instituições: CNPq, FAPESP e Embrapa.

Referências Bibliográficas

Amaral, B. F.; Chino, D. Y.; Romani, L. A. S.; Gonçalves, R. R. V.; Sousa, E. P. M.; Traina, A. J. M. Análise e mineração de dados de sensores orbitais para acompanhamento de safras de cana-de-açúcar. In XXXI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, **Anais...** Natal. p.1472-1481, 2011.

Anyamba, A.; Tucker, C.J. Analysis of sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981-2003. **Journal of Arid Environments**, v. 63, n.3, p.596-614, 2005.

Berndt, D. J.; Clifford, J. Using dynamic time warping to find patterns in time series. In **Proceedings** of AAAI94 Workshop on Knowledge Discovery in Databases, Seattle, USA., 1994. p. 359-370.

Chino, D. Y. T.; Romani, L. A. S.; Traina, A. J. M. Construindo séries temporais de imagens de satélite para sumarização de dados climáticos e monitoramento de safras agrícolas. In: **REIC**, v. 10, p. 1-16. 2010.

Esquerdo, J. C. D. M.; Antunes, J. F. G.; Baldwin, D. G.; Emery, W. J ; Zullo Jr, J. An automatic system for AVHRR land surface product generation. **International Journal of Remote Sensing**, v.27, p.3925-3942, 2006.

Gallo, K.; Ji L.; Reed B.; Eidenshink, J.; Dwyer, J. Multi-platform comparisons of MODIS and AVHRR normalized difference vegetation index data, 2005. **Remote Sensing of Environment**, n.99, p.221-231, 2005.

Gonçalves, R. R. V.; Zullo Jr, J.; Romani, L. A. S.; Nascimento, C. R.; Traina, A. J. M. Analysis of NDVI time series using cross-correlation and forecasting methods for monitoring sugarcane fields in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, 33:15, pp. 4653-4672, 2012.

Justice, C.O.; Hiernaux, P.H.Y. Monitoring the glasslands of the Sahel using NOAA AVHRR data: Niger, 1986. **International Journal of Remote Sensing**, v.7, n.11, p.1475-1498, 1986.

Prince, J.C. Estimating leaf area index from satellite data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.31, n.3, p.727-734, 1993.

Senay, G.B.; Elliot, R.L. Capability of AVHRR data in discriminating rangeland cover mixtures. **International Journal of Remote Sensing**, v.23, n.2, p.299-312, 2002.

União da agroindústria canavieira de São Paulo (UNICA). **Produção da cana-de-açúcar no Brasil**. 2011. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>> Acesso em: 10 janeiro 2011.

Wang, Q.; Adiku, S.; Tenhunen, J.; Granier, A. On the relationship of ndvi with leaf area index in a deciduous forest site. **Remote Sensing of Environment**, v. 94, n.2, p.244-255, 2005.