

ANÁLISE UNIVARIADA DE SÉRIES TEMPORAIS DO NDVI (AVHRR/NOAA) DA CANA-DE-AÇÚCAR E DE CONDIÇÕES AGROCLIMÁTICAS DESCRITAS PELO ÍNDICE ISNA

RENATA RIBEIRO DO VALLE GONÇALVES¹ e JURANDIR ZULLO JUNIOR²

¹Engenheira Cartógrafa, doutoranda da Faculdade de Engenharia Agrícola – Feagri /Unicamp, Campinas-SP, Fone: (19)3521-1127, renaribeiro@yahoo.com.br. ²Engenheiro Agrícola, Pesquisador Dr. do Cepagri/Unicamp, Campinas-SP.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 – GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções – Belo Horizonte – MG.

RESUMO: O estado de São Paulo é o maior produtor de cana-de-açúcar do Brasil, que por sua vez, é o maior produtor mundial e conta com uma posição privilegiada para atender as necessidades mundiais de açúcar e álcool combustível. Para tanto, é necessário estimar a produção da cana-de-açúcar com a maior precisão e antecipação possíveis. Sendo assim, esse trabalho teve o objetivo de avaliar como o NDVI e o ISNA se comportam e se inter-relacionam temporalmente visando a realização da previsão destes índices, no período de abril a dezembro de 2007, em regiões produtoras da cultura no estado de São Paulo. Avaliou-se as séries temporais de imagens do AVHRR/NOAA, descritas pelo NDVI, e a variabilidade agroclimática, descrita pelo ISNA, existente ao longo dos seis anos-safra utilizados (2001 a 2007). As análises univariadas apresentaram correlações significativas entre os dados agroclimáticos e a resposta espectral da cana-de-açúcar com erros relativos inferiores a 15% entre os valores previstos e os observados nos primeiros meses. Os resultados são de grande utilidade no apoio à estimativa da produção da cana-de-açúcar no país.

PALAVRAS-CHAVE: sensoriamento remoto, balanço hídrico e previsão de safras.

UNIVARIATE ANALYSIS OF TIME SERIES OF SUGAR CANE'S NDVI (AVHRR/NOAA) AND AGROCLIMATIC CONDITIONS DESCRIBED BY WRSI INDEX

ABSTRACT: The state of São Paulo is the largest producer of sugar cane in Brazil, which is the world's largest producer and has a unique position to attend the global needs of sugar and alcohol fuel. For this it is necessary to estimate the production of sugar cane with the greatest accuracy and anticipation possible. Thus, this study's objective was to evaluate how the NDVI and WRSI are behaving and inter-temporally relate to the achievement of the forecast of these indices through the period April to December 2007, in producing regions of Sao Paulo state. Time series of images of the AVHRR/NOAA, described by NDVI, and agroclimatic variability, reported by WRSI, existing over the period used (2001 to 2007), were evaluated. Univariate analysis showed significant correlations among agroclimatic data and spectral response of sugar cane with relative errors lower than 15% among provided and observed values at the first months. The results are very useful to support the sugar cane's production forecast in the country.

KEYWORDS: remote sensing, water balance and crop yield forecasting.

INTRODUÇÃO: A cultura da cana-de-açúcar possui função cada vez mais estratégica na economia brasileira devido à necessidade e interesse de substituição dos combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia, como o álcool, por exemplo. De acordo com CONAB (2005), a produção está fortemente concentrada no Estado de São Paulo, responsável por 59% do total nacional, com destinação de 91,3% ao setor sucroalcooleiro. Os satélites da série NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), embora tenham sido desenvolvidos originalmente para aplicações meteorológicas, vêm sendo muito empregados no monitoramento da vegetação em escalas regional e global, havendo, também, estudos visando a ampliação da sua utilização no monitoramento agrícola. Para ressaltar a resposta espectral da vegetação em função da cobertura vegetal sobre o solo se utiliza, normalmente, índices de vegetação, que são quantidades obtidas através da razão, diferença ou outra transformação dos dados originais, para representação das características da cobertura vegetal. Nesse trabalho, foi utilizado o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), definido por ROUSE et al. (1973). Uma das formas de avaliar a influência do clima na produção da cana-de-açúcar pode ser através da utilização de índices agroclimáticos, que englobam os principais parâmetros atmosféricos simultaneamente, ao invés do emprego de cada um deles separadamente. Como exemplo, cita-se o Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA), calculado através de simulações do balanço hídrico ao longo do ciclo da cultura. O objetivo desse trabalho foi, portanto, avaliar como o NDVI e o ISNA se comportam e se inter-relacionam temporalmente visando a realização da previsão destes índices, no período de abril a dezembro de 2007, em regiões produtoras de cana-de-açúcar no estado de São Paulo.

MATERIAL E MÉTODOS: A área de estudo foi a região nordeste do estado de São Paulo, grande produtora de cana-de-açúcar, que está situado entre as coordenadas geográficas 54°00' e 43°30' de longitude oeste e 25°30' e 19° 30' de latitude sul. Nessa área, foram selecionados dez municípios produtores de cana-de-açúcar para serem analisados, como ilustra a Figura 1a. Foram utilizadas imagens do AVHRR/NOAA adquiridas de abril/2001 a dezembro/2007, disponíveis no Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura, da Universidade Estadual de Campinas (CEPAGRI/UNICAMP), correspondendo a seis safras agrícolas consecutivas de cana-de-açúcar. O processamento das imagens do AVHRR/NOAA foi realizado pelo sistema automático de navegação NAVPRO. O NAVPRO é um sistema para processamento e geração automática de produtos de imagens AVHRR/NOAA, desenvolvido por pesquisadores do *Colorado Center for Astrodynamics Research (CCAR), Aerospace Engineering Sciences*, da Universidade do Colorado (Boulder/EUA), e implementado segundo descrição feita por ANTUNES (2005) e ESQUERDO (2007). O sistema é compatível com a plataforma Linux e executado em “script Shell”, o qual realiza todo o processamento das imagens de forma automática, fazendo a conversão de formato, calibração radiométrica, correção geométrica (georreferenciamento preciso) e a geração de produtos (ESQUERDO, 2006), como o NDVI. O cálculo do NDVI foi feito a partir de imagens diárias do AVHRR/NOAA pré-processadas, (isto é, imagens após calibração radiométrica, georreferenciamento preciso e recorte de São Paulo), sendo obtido através da Equação 1, que utiliza as bandas 1 (vermelho) e 2 (infravermelho próximo) do AVHRR/NOAA.

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (1)$$

sendo, ρ_{IV} o fator de refletância no infravermelho próximo e ρ_V o fator de refletância no vermelho. Nesse processo, foram excluídos os pixels obtidos 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) de

NDVI (Figura 1b) por meio de rotinas IDL descritas por ESQUERDO (2007). Com essas composições, geraram-se perfis temporais com valores de NDVI.

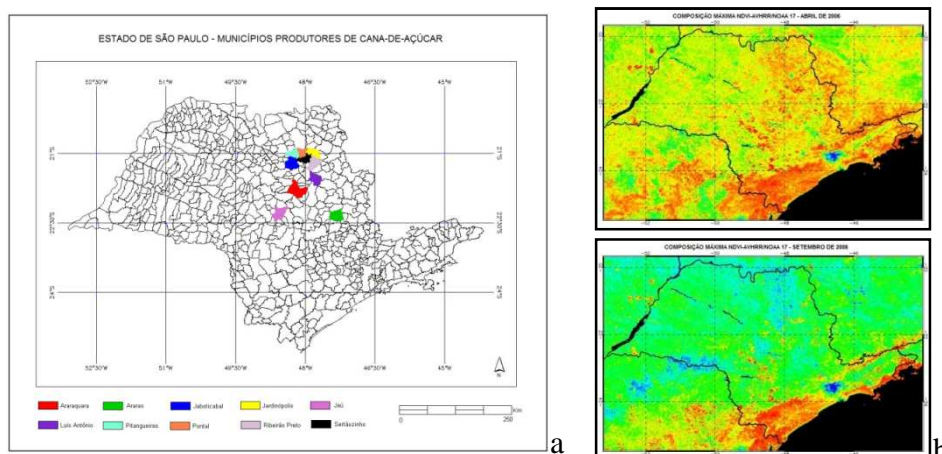


Figura 1: a) Municípios selecionados produtores de cana-de-açúcar. Fonte: GONÇALVES (2008). b) Composição de valor máximo de NDVI.

Para determinar os valores do índice ISNA, obtido pela Equação 2, estimou-se o balanço hídrico, conforme metodologia proposta por THORNTHWAITE & MATHER (1955) e difundida no Brasil por CAMARGO (1962), utilizando dados climáticos (temperatura e precipitação) de 2001 a 2007.

$$ISNA = \frac{ETR}{ETM} \quad (2)$$

sendo, ETR a evapotranspiração real e ETM a evapotranspiração máxima.

Esses dados foram obtidos no endereço www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/, do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas do Instituto Agrônomo de Campinas (CIIAGRO - IAC). Com o balanço hídrico, foi possível calcular as evapotranspirações real, potencial e máxima para períodos decendiais (10 dias), com armazenamento de água disponível no solo de 125mm, $K_c = 1$, isto é, evapotranspiração máxima igual à evapotranspiração potencial. Estabeleceu-se que a cultura de cana-de-açúcar estava no mesmo estágio de crescimento vegetativo e com o ciclo vegetativo de um ano, no qual o plantio inicia-se em agosto e a colheita em julho. Essa padronização foi utilizada porque a imagem AVHRR/NOAA tem baixa resolução espacial e cada pixel da imagem apresenta uma combinação das respostas espectrais de diversos talhões de cana-de-açúcar, nos diversos estágios de desenvolvimento.

Fez-se uma análise de séries temporais univariadas do NDVI e do ISNA no período de 2001 a 2007 utilizando o software Minitab 14 (MINITAB, 1998). O modelo escolhido para analisar as séries temporais univariadas foi o Auto-Regressivo Integrado e de Médias Móveis Sazonal Multiplicativo (SARIMA) de ordem $(p, d, q) (P, D, Q)_s$, descrito pela Equação 3, que é um caso particular do modelo Auto-Regressivo Integrado e de Médias Móveis (ARIMA) de ordem (p, d, q) , proposto por BOX e JENKINS (1976).

$$\varphi(B)\Phi(B^s)\Delta^d\Delta_s^D X_t = \theta(B)\Theta(B^s)\varepsilon_t \quad (3)$$

sendo, $\varphi(B)$ o operador auto-regressivo estacionário de ordem p ; $\Phi(B^s)$ o operador auto-regressivo sazonal de ordem P , estacionário; Δ^d o operador diferença, d indicando o número de diferenças; Δ_s^D operador diferença sazonal, D indicando o número de diferenças sazonais; $\theta(B)$ o operador de médias móveis invertível de ordem q ; $\Theta(B^s)$ o operador de médias móveis invertível sazonal de ordem Q e ε_t é o ruído branco.

Os modelos obtidos com essas análises foram utilizados para avaliar como as variáveis se comportam temporalmente visando a previsão dos valores de NDVI e ISNA no período de

abril de 2007 a dezembro de 2007. Os valores previstos por esses modelos foram comparados com os dados observados no mesmo período.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Selecionou-se o município de Jaboticabal para apresentar os resultados obtidos. O valor da correlação cruzada entre o NDVI e o ISNA do município foi igual a $R = 0,576$ e P-valor igual a zero (nível de confiança 95%). A correlação cruzada apresentou o NDVI com um mês de defasagem em relação ao ISNA, isto é, o NDVI respondeu ao clima depois de um mês. O valor para a correlação cruzada entre o NDVI e o ISNA foi $R = 0,798$, com P-valor igual a zero (nível de confiança 95%).

Pela análise de séries temporais univariadas, o modelo ajustado para o NDVI foi um SARIMA (1, 0, 0) (0, 1, 1)_{S = 12}, e para o ISNA foi um SARIMA (1, 0, 0) (0, 1, 1)_{S = 12}. Os modelos univariados ajustados são descritos pelas Equações 4 e 5.

$$NDVI_{t+1} = 0.002 + 0.6077NDVI_t + NDVI_{t-11} + 0.6077NDVI_{t-12} + \varepsilon_{t+1} + 0.6761\varepsilon_{t-11} \quad (4)$$

$$ISNA_{t+1} = 0.001 + 0.5807ISNA_t + ISNA_{t-11} + 0.5807ISNA_{t-12} + \varepsilon_{t+1} + 0.91851\varepsilon_{t-11} \quad (5)$$

sendo, ε o ruído branco.

A previsão do NDVI, segundo a Tabela 1, apresentou erros relativos inferiores a 20,8%. O erro relativo médio para o período considerado foi de 5,57%. No caso da previsão do ISNA, segundo a Tabela 1, o erro relativo médio nos meses analisados foi de 26,88%. A maior diferença ocasionada na previsão do ISNA deve-se à maior variabilidade desses dados. As Figuras 2a e 2b apresentam os valores previstos e observados de NDVI e ISNA, respectivamente, e mostram, também, que todas as previsões feitas para o NDVI e o ISNA foram satisfatórias, pois os valores previstos ficaram dentro do intervalo de confiança.

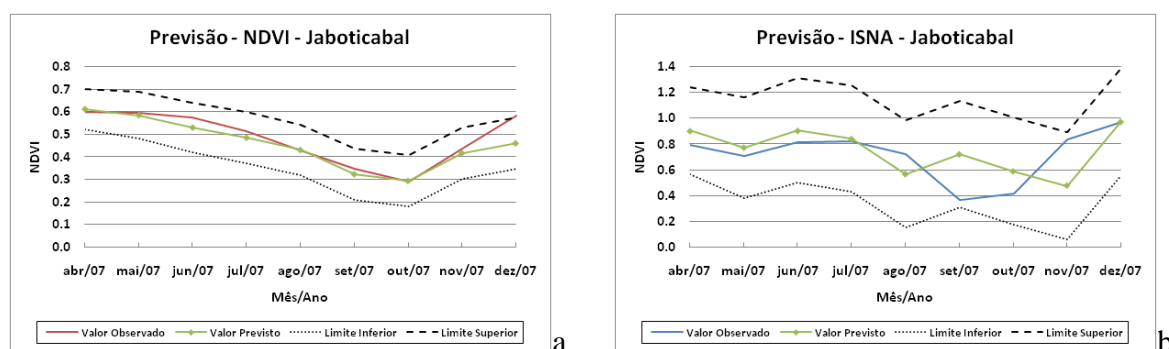


Figura 2: Gráficos de previsões do NDVI (a) e do ISNA (b) de abril a dezembro de 2007 para o município de Jaboticabal.

Tabela 1: Valores observados, previstos e erros relativos do NDVI e do ISNA para os meses de abril a dezembro de 2007, para o município de Jaboticabal.

Mês	NDVI			ISNA		
	Observado	Previsto	Erro Relativo (%)	Observado	Previsto	Erro Relativo (%)
Abril	0,5991	0,6128	2,3	0,7965	0,9038	13,5
Maió	0,5944	0,5858	1,4	0,7073	0,7747	9,5
Junho	0,5751	0,5314	7,6	0,8197	0,9056	10,5
Julho	0,5121	0,4866	5,0	0,8199	0,8412	2,6
Agosto	0,4300	0,4315	0,3	0,7248	0,5678	21,7
Setembro	0,3486	0,3249	6,8	0,3644	0,7226	98,3
Outubro	0,2901	0,2947	1,6	0,4123	0,5888	42,8
Novembro	0,4367	0,4173	4,4	0,8362	0,4777	42,9
Dezembro	0,5824	0,4614	20,8	0,9740	0,9764	0,2

CONCLUSÕES: Com os resultados das análises de séries temporais univariadas, os modelos descritos pelas Equações 4 e 5 permitem estimar a resposta espectral (representada pelos valores de NDVI) e as condições agroclimáticas (expressas pelos valores do índice ISNA) em safras futuras a partir dos valores desses índices em safras passadas subsequentes, em cada um dos dez municípios paulistas analisados, conforme apresentado para Jaboticabal. São equações úteis para o planejamento agrícola em escala regional, pois permitem acompanhar o desenvolvimento da cana-de-açúcar de forma objetiva e sistemática a partir de dados fornecidos por sensores remotos e estações meteorológicas de superfície. Ressalta-se que a incorporação de novos anos-safra pode ser uma forma de aumentar a precisão dos modelos desenvolvidos.

AGRADECIMENTOS: À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, J. F. G. **Aplicações de lógica fuzzy para estimativa de área plantada da cultura de soja utilizando imagens AVHRR/NOAA**. 91p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2005.

BOX, G. E P.; JENKINS, G. M. **Time Series Analysis: Forecasting and Control**. Holden Day, San Francisco, 1976.

CAMARGO, A. P. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.21, n.12, p.163-213, 1962.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Cana-de-açúcar: Safra 2005/2006 – Segundo Levantamento**. 2005. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em: 22 abril 2008.

ESQUERDO, J. C. D. M. **Utilização de perfis multi-temporais do NDVI/AVHRR no acompanhamento da safra de soja no oeste do Paraná**. 168p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

ESQUERDO, J. C. D. M.; ANTUNES, J. F. G.; BALDWIN, D. G; EMERY, W.; ZULLO JÚNIOR, J. An automatic system for AVHRR land surface product generation. **International Journal of Remote Sensing**, v.27, n.18, p.3925-3942, 2006.

GONÇALVES, R. R. V. **Relação entre a resposta espectral da cana-de-açúcar, registrada nas imagens dos satélites AVHRR/NOAA, em São Paulo, e dados agroclimáticos, no período de 2001 a 2008**. 2008. 185p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

MINITAB. **User's Guide 2: data analysis and quality tolls**. USA: Minitab Inc., 1998.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3., Washington, 1973. **Proceedings...** Washington: NASA, v.1, p.309-317, 1973.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **Climatology**, v.8, n.1, 1955. 104p.