

MONITORAMENTO DA SAFRA DE CANA-DE-AÇÚCAR: ELEMENTOS ECONÔMICOS E CONTRIBUIÇÕES DO SENSORIAMENTO REMOTO

ary@cnpm.embrapa.br

Apresentação Oral-Comercialização, Mercados e Preços

**ARYEVERTON FORTES DE OLIVEIRA¹; DANIEL DE CASTRO VICTORIA²;
LILIAN CRISTINA ANEFALOS³.**

1,2. EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE, CAMPINAS - SP - BRASIL; 3. INSTITUTO AGRONÔMICO, CAMPINAS - SP - BRASIL.

MONITORAMENTO DA SAFRA DE CANA-DE-AÇÚCAR: ELEMENTOS ECONÔMICOS E CONTRIBUIÇÕES DO SENSORIAMENTO REMOTO

Grupo de Pesquisa: Comercialização, Mercados e Preços

Resumo

Este trabalho apresenta um esforço interdisciplinar de pesquisa para integrar técnicas de sensoriamento remoto com a análise econômica. Essencialmente, a pesquisa apresentada neste trabalho busca aumentar o conjunto de conhecimentos e de informações sobre evolução da produção e da colheita de cana, em diversas localidades da região Centro-Sul do Brasil, que sustente o conhecimento da relação entre esta movimentação e o comportamento das variáveis de mercados sucroalcooleiros. A discussão sobre a relação entre safra de cana-de-açúcar e preços, tanto da matéria-prima quanto de seus produtos derivados, tem implicações importantes para as análises de eficiência dos sistemas agroindustriais, para a regulação e para o planejamento da atividade. Informações imparciais e críveis têm papel decisivo nas análises conjunturais e estruturais do setor, e os dados de sensoriamento remoto podem contribuir significativamente nesta direção. Métodos de análises de séries temporais para aproveitar o conteúdo informativo dos dados de sensores remotos com alta frequência temporal e desenvolver aplicações para monitoramento, explicação e previsão de valores das variáveis agronômicas e de mercado, uma vertente desta proposta de pesquisa. Particularmente, estão sendo desenvolvidos métodos para tratamento eficiente dos dados de sensores remotos com alta frequência temporal e grande cobertura de área de produção da cana-de-açúcar, passíveis de vasta aplicação em análises regionais e locais. Tais informações são atualizadas e disponibilizadas para a quinzena mais recente, o que permite uma mensuração adequada aos propósitos de teste da hipótese de pesquisa. Esta frequência de informação também oferece uma oportunidade de desenvolvimento de um serviço para acompanhamento da safra de cana e otimização no uso das informações de satélite para novas aplicações dos resultados da pesquisa, a serem identificadas no contato com agentes do sistema agroindustriais, uma iniciativa da equipe do projeto de pesquisa.

Palavras-chaves: Monitoramento de safra; sensoriamento remoto; análise de séries temporais; cana-de-açúcar; formação de preços



PORTO ALEGRE, 26 A 30 DE JULHO DE 2009

SOBER 47^o CONGRESSO
SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA,
ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL

DESENVOLVIMENTO RURAL E SISTEMAS AGROALIMENTARES: OS AGRONEGÓCIOS NO CONTEXTO DE INTEGRAÇÃO DAS NAÇÕES

Abstract

This work presents an effort of an interdisciplinary research, to integrate techniques of remote sensing with economic analysis. Essentially, the research presented aims increase the knowledge and information on evolution of the production and the harvest of sugar cane, in diverse localities of the region Center-South of Brazil, that supports the knowledge of the relation between this movement and the behavior of the variable of sugarcane related markets. The issue on the relation between sugarcane harvest and prices, as a raw material of derived products, has implications for the analyses of efficiency of the agro-industrial systems, the regulation and the planning of the activity. Impartial and credible information have decisive role in the conjunctural and structural analyses of the sector, and the data of remote sensing can significantly contribute. Methods of analyses of time series to use to advantage the informative content of the data of remote sensors with high frequency and to develop applications for monitoring, explanation and forecast of values of the variables and market. Particularly, they are being developed methods for efficient treatment of the data of remote sensors with high frequency and great covering of area of production of the sugarcane, capable of vast application in regional and local analyses. Such information are brought up to date and it allows an adequate measurement. This high frequency of information also offers to a chance of development of a service for accompaniment of the sugarcane harvest and use of the information of satellite for new applications, to be identified in the contact with agro-industrial agents of the system, an initiative of the team of the research project.

Key Words: Harvest; remote sensing; time series analysis sugarcane; prices formation.

1. INTRODUÇÃO

Os ciclos anuais de produção primária determinam a oferta de matéria-prima e produtos derivados ao longo dos complexos agroindustriais, influenciando a formação de preços, armazenagem e as transações entre os agentes em cadeias produtivas. O volume de informações sobre os ciclos de produção da cana e sua interação com elementos mercadológicos no Brasil, no entanto, permanece pequeno, e a pesquisa em condução na Embrapa Monitoramento por Satélite visa mensurar a evolução de tais ciclos e avaliar possíveis relações que esses estabelecem com preços da cana-de-açúcar e dos produtos derivados. Busca-se a construção de indicadores da evolução da safra e investigar relações estatísticas que favoreçam o acompanhamento e previsão da produção e dos preços.

Acredita-se que uma relação estreita entre a evolução temporal dos preços de cana crua, açúcar e álcool (nos mercados físico e de futuros) e a intensidade na evolução da safra da cana em determinada região. Esta hipótese de pesquisa representa um importante item para a agenda de discussões na cadeia produtiva, com potencial de subsidiar discussões de agentes reguladores do sistema agroindustrial sobre a gestão dos estoques das *commodities* e outros instrumentos para regular preços ao longo dos meses, o desenvolvimento de normas e mecanismos contratuais. Esforços consideráveis têm sido envidados para analisar a situação da oferta e demanda de álcool.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Dado o propósito desta pesquisa de estabelecer uma relação entre a evolução temporal da produção e da safra de cana e a interação entre essa e os preços no setor sucroalcooleiro, é necessário rever o processo de formação de preços e de estruturação do sistema agroindustrial, a partir da vasta literatura econômica produzida no Brasil. Em linhas gerais, Barros e Moraes (2002) ressaltam que a partir dos anos 1930 o setor viveu sob a égide do Estado, com a criação do Instituto do Açúcar e do Alcool em 1933. Segundo Szmrecsányi (1979), o IAA objetivava resolver os problemas de superprodução da agroindústria canavieira com o planejamento e controle da produção, para ajustar a oferta e a demanda e estimular a fabricação de álcool anidro. A atividade era direcionada para a produção de açúcar, sendo o álcool um subproduto da fermentação do mel, até a criação do PROÁLCOOL, em 1975, que mudou o cenário para o setor. Shikida (1998) explica que de 1975 a 1985 os preços internacionais e a instabilidade no fornecimento do petróleo tornaram estratégica a fabricação de álcool como combustível, e o governo atuou na regulamentação e na criação de incentivos para promover investimentos na agroindústria da cana, especialmente com a redução do IPI e do IPVA. Ramos (1999) destaca o controle de preços, garantias, subsídios, cotas regionais de produção (Centro-Sul e Norte-Nordeste), controle de novas empresas e restrição ao capital estrangeiro como instrumentos utilizados pelo Estado nas intervenções sobre o setor.

Após a forte intervenção do estado no setor, foi extinto em março de 1990 o Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), segundo Alves e Bacchi (2004). Barros e Moraes (2002) descrevem que entre março de 1996 e fevereiro de 1999 os preços de todos produtos do setor foram liberados, em processo de mudanças institucionais que limitou o papel do Estado e exigiu uma reorganização do sistema agroindustrial como um todo. Segundo os autores, os conflitos até então mediados pelo Estado passaram por um processo de reorganização, com novos papéis definidos para os atores no setor e uma diferente interação entre setores público e privado. Políticas regulatórias foram alvos particulares de mudanças, e dois grupos de interesses distintos surgiram ligados às duas principais regiões produtoras do país: o Centro-Sul e o Norte-Nordeste.

No período de desregulamentação foi realizada uma análise das transações entre produtores e usinas por NEVES et al (1998). Os autores identificaram, apesar da limitação na amostra do estudo, que durante o período de desregulamentação a relação entre os agentes era conflituosa, e recomendaram a elaboração de contratos de longo prazo como uma forma de lidar com a instabilidade, a dificuldade de planejamento, a desmobilização e a necessidade de especialização no sistema agroindustrial.

Barros e Moraes (2002) ressaltaram a luta dos fornecedores de cana-de-açúcar pela prorrogação do tabelamento de preços dos produtos. No Norte-Nordeste havia demandas pela utilização do sistema de cotas, enquanto no Centro-Sul, alguns Estados reivindicavam a intervenção para expandirem a produção e resolverem problemas de custos com transportes em regiões produtoras.

Com o fim da intervenção do governo na fixação de preços, em São Paulo foi constituído o CONSECANA em meados de 1997, um grupo formado por representantes dos produtores de cana e dos usineiros, que estabeleceu um sistema para a remuneração da cana-de-açúcar, com regras para o relacionamento. O preço da cana passou a ser fixado com base no preço médio ponderado do Açúcar Total Recuperável (ATR), calculado a partir do preço do açúcar, dos diferentes tipos de álcool, na condição Posto Veículo

Usina/Posto Veículo Destilaria, praticados durante todo o período da safra, e em função do mix de produção de cada unidade industrial. O caldo de cana pode ser usado para produção de açúcar e álcool, e Marjotta-Maistro (2002) chama atenção para a tomada de decisão de produção de um ou outro produto com base em preços e na demanda dos mercados interno e externo, o que estabelece uma forte relação entre os preços dos produtos.

Após a desregulamentação do setor sucroalcooleiro, segundo Mello e Paulillo (2005), as relações de poder têm sofrido transformações significativas, o que delineia uma nova estrutura de governança sucroalcooleira. Os autores ressaltam que a partir da desregulamentação a associação que representa os interesses dos fornecedores de cana elevou seu poder de aglutinação enquanto os industriais passaram a enfrentar dificuldades para orquestrar interesses.

Destarte, historicamente os preços da cana-de-açúcar, do açúcar e do álcool já foram estabelecidos por determinação governamental, por flutuações de oferta e demanda nos mercados e por coalizão entre agentes do setor. Esforços consideráveis são envidados para analisar a situação da oferta e demanda dos produtos e os aspectos regulatórios da atividade ainda estão na pauta de discussão. Magalhães (2006) declara que desde junho de 2006, por meio de uma portaria, boa parte das usinas de açúcar e álcool do Centro-Sul do país estão informando seus volumes de produção mensais de álcool a Agência Nacional do Petróleo, para estabelecer um maior controle sobre a oferta do combustível no país. Destaca o interesse da agência reguladora de desenvolver mecanismos de contrato de longo prazo entre usinas e distribuidoras. A experiência internacional, como relatam Amaral et al. (2003), é de forte intervenção governamental no setor de açúcar, o que torna o processo de formação de preços sujeito a recorrentes alterações estruturais, dificultando a análise de séries temporais dos produtos.

Sobre a formação de preços, Alves (2002) estudou o período pós-desregulamentação com foco na relação entre preços internos e os recebidos com as exportações de açúcar, a relação dos preços do álcool anidro com os preços do açúcar cristal industrial e com os preços do açúcar cristal empacotado ao produtor. O autor, no entanto, se deparou com relações pouco significativas em alguns casos. Marjotta-Maistro (2002) relacionou preços de álcool hidratado com os de açúcar e álcool anidro, estabelecendo uma relação direta, mas uma relação contrária à esperada com os preços da cana. Autores como Alves e Bacchi (2004) estudaram a relação de oferta e preços de exportações de açúcar com um modelo de auto-regressão vetorial, um avanço em relação a Barros et al. (2002), que estimaram a relação através da análise de regressão. Outro trabalho disponível que investiga a relação entre oferta e demanda de exportações de açúcar é o de Reis e Crespo (1998).

As citações anteriores mostram parte da discussão subjacente ao processo de formação de preços e regulação da atividade, ainda presente nas discussões sobre o setor. Não foi encontrada literatura interligando indicadores de evolução de safra (especificamente, avanço da área colhida) com os preços da cana, do açúcar e do álcool, como proposto nesta pesquisa. Além dos aspectos econômicos, a análise dos índices de vegetação deve estar baseada nos aspectos de desenvolvimento da cultura. Na cana-de-açúcar, segundo Machado (1987), três fases ficam perfeitamente caracterizadas: uma fase inicial em que o crescimento é lento (0 a 200 dias após plantio); uma fase de crescimento rápido no qual 70 a 80% de toda matéria seca é acumulada (200 a 420 dias após plantio);

uma fase final em que o crescimento é novamente lento, acumulando cerca de 10% da matéria seca total que é a fase de maturação (420 aos 566 dias após plantio).

Durante 566 dias, Gava et al. (2007) acompanharam o desenvolvimento da cana de açúcar (cultivares IAC91-1099 e IACSP96-3060) em Jaú SP as médias das temperaturas máximas e mínimas foram, respectivamente, de 29,0 e 15,0 °C, e a precipitação pluvial no período totalizou 1.480 mm. O acúmulo de matéria seca na parte aérea, apresentou uma forma sigmóide característica de crescimento vegetal, parecendo não haver influência varietal, entretanto, por todo o período de crescimento monitorado, valores médios foram constantemente maiores para IAC91-1099. No acúmulo de massa de material seco de um vegetal, na maioria dos casos, observa-se as três fases de ontogênese na planta. Nas duas cultivares a máxima taxa de produção de matéria seca (TPMS) ocorreu aos 316 dias após plantio. A TPMS é um parâmetro importante por demonstrar o incremento de matéria seca por unidade de área e por unidade de tempo, sendo classificada como produtividade primária líquida.

A produção e safra de cana no estado de São Paulo já foi monitorada através do sensor MODIS em trabalho técnico-científico por Aguiar et al. (2005). Contudo, o método de classificação da imagem utilizado pelo autor não explorou as interações temporais das informações e não relacionou a mesma com informações de mercado. A contribuição para a elaboração de previsões e a discussão sobre as relações dessas variáveis com as de mercado não entraram em discussão. Nesta proposta de pesquisa, o número de pontos amostrados para monitoramento por sensores remotos será significativo, economizando esforços de processamento de imagens para acompanhamento da colheita e permitindo a ampliação eficiente da área monitorada para outros Estados da região Centro-Sul, não monitorados em Aguiar et al. (2005), sem perda significativa de qualidade nas informações conjunturais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Análise harmônica

A análise harmônica, também conhecida como análise de Fourier, decompõe um sinal que ocorre ao longo do tempo em sinais no espaço de frequências e um termo aditivo, representado pelo valor médio da série temporal. Na prática, significa decompor a variação anual da série temporal em termos que representem a média da série e oscilações anuais, semestrais, quadrimestrais e assim por diante. Cada termo é composto por uma função senoidal que apresenta valores distintos de amplitude e fase, indicando a magnitude dos sinais e quando estes atingem o máximo, respectivamente. A transformada discreta de Fourier é dada por (1):

$$F(u) = \frac{1}{T} \sum_{k=0}^{T-1} f(x) e^{-j \frac{2\pi}{T} k} \quad (1)$$

onde $f(x)$ é uma série de valores amostrais; T é o número de observações na série temporal; k é um índice representando a observação atual e j é um número imaginário. Os termos real e imaginário são transformados nos valores de amplitude e fase a partir das equações (2) e (3):



$$F_{\text{amplitude}} = \left(F_{\text{real}}^2 + F_{\text{imaginário}}^2 \right)^{1/2} \quad (2)$$

$$F_{\text{fase}} = \text{atan} \left(F_{\text{imaginário}} / F_{\text{real}} \right) \quad (3)$$

Jakubauskas et al. (2001) mostraram que com apenas os primeiros termos da análise harmônica já é possível captar a maior parte da variação da série temporal e que este tipo de análise poderia ser utilizada na identificação de diferentes culturas agrícolas (Figura 4).

Considerando o comportamento observado por sensoriamento remoto da atividade fotossintética nas principais coberturas vegetais temos que, coberturas agrícolas com uma safra no período de um ano, como a cana-de-açúcar, apresentam um forte sinal com oscilação anual (primeira componente harmônica) enquanto que o sinal semestral (segunda componente) é baixo. Já culturas agrícolas, com ciclos mais curtos, apresentam forte sinal semestral (segunda componente), principalmente quando são feitas duas safras no ano. Caso seja feita apenas uma safra curta em um ano, a análise de Fourier indicará dois sinais fortes, um anual e outro semestral. Coberturas sem grande variação de NDVI (índice de vegetação da diferença normalizada, que associa-se fortemente à atividade fotossintética em determinado instante) ao longo do ano, como florestas não decíduas e plantações florestais, resultam em baixos sinais anuais e semestrais (primeira e segunda componentes) com elevado sinal constante (componente harmônico zero), referente ao NDVI médio anual da cobertura. Neste caso, florestas plantadas e remanescentes florestais se confundem.

O mesmo método foi utilizado para a classificação de diferentes fisionomias florestais, identificando florestas decíduas e perenes (Yu et al. 2004) e na detecção de áreas desflorestadas, bem como a identificação da época em que o desmatamento ocorreu (Lacruz et al. 2005).

3.2. Modelos de Box & Jenkins

Séries temporais constituem-se de observações de uma variável, coletadas com regularidade ao longo do tempo. Uma das principais metodologias para sua previsão é a de modelos do tipo Box & Jenkins, que postulam ser uma série a realização de um processo estocástico desconhecido, gerador de observações probabilísticas com expressiva dependência serial. Pela metodologia ajustam-se modelos cujos principais grupos seriam:

- Modelos Univariados – utilizados para a previsão a partir dos valores defasados da própria série temporal.
- Modelos de Intervenção – empregados para a incorporação de choques exógenos sobre as séries temporais, considerando também a influência dos valores defasados.
- Funções de Transferência – somam aos modelos anteriores termos que captam a influência de outras variáveis, em seus valores presentes e defasados, sobre os valores atuais das séries de interesse.

Os modelos expressam uma relação dinâmica entre os valores, principalmente nas componentes auto-regressivas (AR), integradas (I) e de médias móveis (MA). Com base nos dados e através de um ciclo iterativo é feita a especificação, a identificação e a escolha dos modelos que passam para a fase de previsão onde os valores podem ser comparados

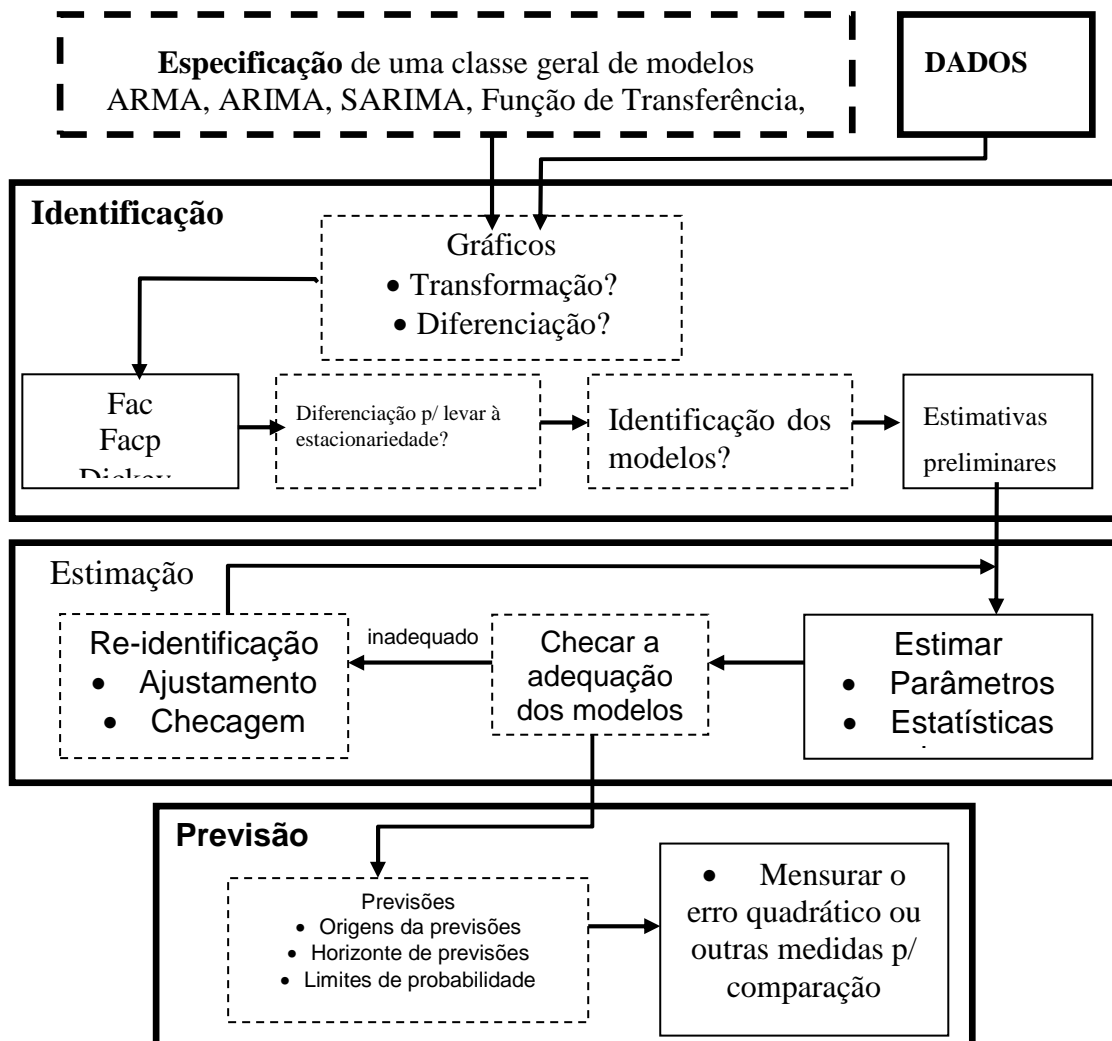


PORTO ALEGRE, 26 A 30 DE JULHO DE 2009

SOBER ⁴⁷º CONGRESSO
SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA,
ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL

DESENVOLVIMENTO RURAL E SISTEMAS AGROALIMENTARES: OS AGRONEGÓCIOS NO CONTEXTO DE INTEGRAÇÃO DAS NAÇÕES

com os previstos por outros modelos. A Figura 3 apresenta uma seqüência de procedimentos, baseada em Jenkins (1979, pág. 102) e Morettin e Toloí (1987, pág 154), que sumariza as principais etapas para a construção de modelos univariados. Sempre que um modelo mostrar resultados não satisfatórios ao pesquisador, repete-se o processo iterativo.



Representa-se o processo estocástico pela passagem de um ruído branco a_t , (uma série i.i.d. com média zero e variância constante) por um filtro linear estável $\psi(B)^1$ gerando uma variável aleatória, com as seguintes características:

1) Média: $E(Z_t) = \mu$ (4)

2) Variância: $\sigma^2 = E[Z_t - \mu]^2$ (5)

3) Autocovariância: $\gamma_k = Cov[Z_t, Z_{t+k}] = E[Z_t - \mu][Z_{t+k} - \mu]$ (6)

As funções de autocorrelação (fac) e de autocorrelação parcial (facp) são essenciais para a identificação dos componentes auto-regressivos (AR), integrados (I) e de médias móveis (MA) dos modelos. Se os dados exibirem sinais de não estacionaridade, ou seja, a média e a variância não forem constantes ao longo do tempo como previsto pela representação do processo estocástico, as funções fac e facp apresentam valores que

¹ B é um operador defasagem, tal que, $BZ_t = Z_{t-1}$.



decrecem lentamente muito lentamente com o aumento das defasagens, sendo preciso diferenciar os dados para atender aos requisitos da modelagem.

Para dados estacionários, de séries originalmente estacionárias ou nas diferenças a partir de séries com raízes unitárias, são construídos os modelos ARMA univariados com p componentes auto-regressivos e q componentes de médias móveis. Em termos gerais, os modelos ARMA(p,q) podem ser representados por uma expressão como:

$$\phi(B)Z_t = \theta(B)a_t, \quad (7)$$

onde se encontram os seguintes polinômios, com graus p e q , respectivamente:

$$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p \text{ e } \theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q \quad (8)$$

Se os modelos forem compostos apenas por termos auto-regressivos, isto é, forem um ARMA($p,0$), define-se que $\theta(B) = 1$. Se houverem apenas termos de médias móveis, obtém-se um ARMA($0,q$) para o qual $\phi(B) = 1$. Em geral, as raízes do polinômio $\phi(B) = 0$ devem estar fora do círculo unitário para que o processo seja estacionário, enquanto que as raízes de $\theta(B) = 0$ devem estar fora do círculo unitário para que o processo seja invertível, ou seja, para que todos os parâmetros MA possam ser traduzidos em componentes AR. Entretanto, se a condição de estacionariedade da série Z_t não for satisfeita, deve-se aplicar um número finito de diferenças nos valores das séries para tentar encontrar um processo estacionário w_t . Neste caso, para a primeira diferença, obtém-se:

$$w_t = Z_t - Z_{t-1} = (1 - B)Z_t = \Delta Z_t \quad (9)$$

sendo Δ chamado de operador diferença

Após serem aplicadas d diferenças para se obter uma série estacionária w_t é possível modelar a série resultante como um ARMA(p,q). Como Z_t é a integral de w_t , diz-se que Z_t segue um modelo auto-regressivo-integrado-médias móveis, ou seja, um ARIMA(p,d,q). Formalmente:

$$\phi(B)\Delta^d Z_t = \theta(B)a_t \quad (10)$$

ou

$$\phi(B)(1 - B)^d Z_t = \theta(B)a_t \quad (11)$$

Os modelos acima podem ser escritos de três maneiras alternativas:

1) forma de choques aleatórios (útil para cálculo da variância de previsão)

$$\begin{aligned} Z_t &= a_t + \psi_1 a_{t-1} + \psi_2 a_{t-2} + \dots \\ &= \psi(B)a_t \end{aligned} \quad (12)$$

2) forma invertida

$$Z_t - \pi_1 Z_{t-1} - \pi_2 Z_{t-2} - \dots = \pi(B)Z_t = a_t \quad (13)$$

3) forma usual de equação de diferenças (útil para cálculo de previsões)

$$Z_t = \xi_1 Z_{t-1} + \xi_2 Z_{t-2} + \dots + \xi_{p+d} Z_{t-p-d} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (14)$$

Termos com defasagens coincidentes com o ciclo estacional podem ser incluídos no modelo, gerando a especificação conhecida como ARIMA sazonal, ou

SARIMA(P,D,Q)(p,d,q), que será uma alternativa para investigação dos dados de índices de vegetação da cana-de-açúcar, que possui ciclo anual. Com o objetivo de previsão em mente, a especificação de formas funcionais mais complexas (com modelos de intervenção ou funções de transferência) será empregada se a incerteza na previsão a dois ou três passos mostrar-se grande.

3.2.1. Transformação dos dados

Jenkins (1979, pág. 96) mostra que para transformar os dados em valores logarítmicos pode-se recorrer à subdivisão das séries original e transformada em sub-amostras, montando um gráfico que relacione a média e a amplitude dos valores de cada sub-amostra. A inclinação que a seqüência de pontos apresenta indica o tipo de transformação adequada aos dados, sendo preferível a transformação que torne a seqüência de pontos paralela ao eixo horizontal das médias das sub-amostras.

3.2.2. Identificação

Após especificar uma classe de modelos univariados é preciso identificar as ordens p , q e d do modelo. O primeiro parâmetro a ser identificado é o grau de integração d necessário para estabilizar os dados. Isto pode ser feito grosseiramente através da análise dos correlogramas ou observando se valor de $\phi_1 = 1$ para a série em nível. De modo mais preciso, a detecção de raiz unitária pode ser feita com o teste de Dickey & Fuller.

Para séries estacionárias o procedimento consiste em identificar os termos autorregressivos e de médias móveis dos modelos. Isto pode ser feito através da análise dos correlogramas. Os termos de média móvel podem ser captados pela função de autocorrelação (fac) estimada \hat{r}_k . Em geral, os valores da função de autocorrelação decaem para níveis próximos de zero quando se considera qualquer defasagem maior que q . Para os termos autorregressivos, é necessário empregar a função de autocorrelação parcial (facp) estimada $\hat{\phi}_{kk}$, que mensura a correlação entre Z_t e Z_{t+k} excluindo a dependência dos valores intermediários $Z_t, Z_{t+2}, \dots, Z_{t+k-1}$.

A expressão para a função de autocorrelação estimada é dada por:

$$r_j = \frac{c_j}{c_0}, \quad j = 0, 1, \dots, N-1. \quad (15)$$

onde c_j é a estimativa da função de autocovariância

$$c_j = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-j} [(Z_t - \bar{Z})(Z_{t+j} - \bar{Z})], \quad j = 0, 1, \dots, N-1 \quad (16)$$

e N é o número de observações na série.

Substituindo as estimativas r_j da função de autocorrelação nas equações de Yule-

Walker e resolvendo essas para $k=1, 2, \dots$, obtém-se as estimativas $\hat{\phi}_{kk}$ da função de autocorrelação parcial para k defasagens. Formalmente:

$$r_j = \hat{\phi}_{k1} r_{j-1} + \dots + \hat{\phi}_{kk} r_{j-k}, \quad j = 1, \dots, k \quad (17)$$

Segundo Morettin e Tolo (1987) na prática considera-se como valores de autocorrelações significativamente diferentes de zero os que satisfizerem a condição:

$$|r_j| = 2\hat{\sigma}(r_j), \quad j > q \quad (18)$$

$$\text{sendo } \hat{\sigma}(r_j) = \sqrt{\frac{1}{N} \left[1 + 2 \sum_{v=1}^q r_v^2 \right]}, \quad j > q$$

Para as autocorrelações parciais, considera-se como significativamente diferentes de zero aquelas que satisfazem a condição:

$$|\hat{\phi}_{jj}| > \frac{2}{\sqrt{N}}, \quad j > p \quad (19)$$

Para verificar a ordem de integração das séries temporais serão adotados os procedimentos de Fuller (1976) e de Dickey & Fuller (1979 e 1981), com uso dos critérios de Akaike e Schwarz para complementar o esforço de determinação do grau de integração nos dados. Uma descrição detalhada dos procedimentos é apresentada pelo líder desta proposta, em Oliveira (2000).

3.2.3. Estimação

O processo de estimação dos modelos, aqui omitido, pode ser encontrado em Morettin & Tolo (1987, pág. 237) ou em Hamilton (1994).

3.2.4. Verificação

O processo de verificação da capacidade dos modelos estimados representarem adequadamente os dados pode sugerir alternativas para a reformulação dos modelos. Em primeiro lugar pode-se recorrer ao superajustamento dos modelos para verificar se a inclusão de outros parâmetros reduz expressivamente a variância residual.

Outros testes recaem sobre os resíduos². Como esses devem se comportar como um ruído branco no modelo verdadeiro, espera-se que as autocorrelações estimadas estejam próximas de zero. Segundo Morettin e Tolo (1987, pág. 259), pode-se tomar os valores $|r_k| > 2/\sqrt{n}$ como indicadores de quebra do comportamento de ruído branco, embora com ressalvas para pequenos valores de k , para os quais estes limites subestimarão a significância.

3.2.5. Previsão

O processo de previsão de valores, aqui omitido, é descrito em Morettin e Tolo (1987). Cabe destacar que a capacidade de aderência e previsão dos modelos será avaliada com relação aos demais, pelos critérios apresentados a seguir.

² Neste trabalho empregar-se-ão os testes com correlogramas dos resíduos. Para conhecer alternativas de testes, ver Morettin e Tolo (1987, pág. 259 a 271)

3.3. Dados

A área de estudo para a classificação de séries temporais de imagens NDVI (medida de atividade fotossintética) foi a região de Ribeirão Preto. Uma rotina computacional para a análise harmônica de uma série temporal de imagens foi implementada na linguagem Python (<http://www.python.org/>), com o auxílio das bibliotecas Numpy (<http://numpy.scipy.org/>) e GDAL (<http://www.gdal.org/>). A rotina possibilita a obtenção das imagens de amplitude e fase dos termos da transformação de Fourier (algoritmo *Fast Fourier Transform* - FFT) a partir de uma série temporal de imagens raster no formato GeoTiff. A região de Ribeirão Preto, SP (lat 21°12'S lon 47°48'O, Modis tile h13v11) foi escolhida como área teste por apresentar boa diversidade de cobertura vegetal (cana-de-açúcar, culturas anuais, silvicultura e remanescentes florestais). Foram obtidas 23 imagens da composição de 16 dias do NDVI, com resolução espacial de 250 m, sensor MODIS (produto MOD13Q1) do ano de 2005 para a composição da série temporal. As imagens, disponibilizadas no formato HDF e projeção Sinusoidal pelo *Land Processes Distributed Active Archive Center* (LP DAAC) (<ftp://e4ftl01u.ocs.nasa.gov/>), foram convertidas para o formato GeoTiff, com sistema de coordenadas geográficas, utilizando o pacote computacional *Modis Reprojection Tool* (<http://lpdaac.usgs.gov/landdaac/tools/modis/index.asp>). A série temporal utilizada foi de um ano, portanto, as imagens de amplitude e fase da primeira componente harmônica de Fourier representam a oscilação anual. Já a segunda e terceira componentes representam as oscilações semestrais e quadrimestrais. A imagem amplitude da componente 0 representa a média da série temporal, enquanto sua imagem fase é, por definição, igual a 0.

A análise de série temporais, por modelos Box-Jenkins, foi aplicada aos preços da tonelada da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, publicadas pelo Instituto de Economia Agrícola (<http://www.iea.sp.gov.br>).

4. Resultados e discussão

4.1. Análise de Fourier para monitoramento da safra de cana-de-açúcar: resultados preliminares

A imagem composta do sensor TM, satélite Landsat 5, da mesma área é apresentada a fim de facilitar a compreensão (Figura 1). O comportamento oscilatório dos termos associa-se aos ciclos produtivos, determinados pelo manejo das coberturas vegetais e pela flutuação estacional da atividade fotossintética. Na imagem de amplitude da componente 0 são identificadas diversas feições, como as áreas urbanizadas e extensas superfícies com água, com valores baixos de NDVI, em função de baixa atividade fotossintética. Também são identificadas áreas de silvicultura e remanescentes florestais, onde o NDVI se mantém elevado ao longo do ano. Já áreas com culturas agrícolas aparecem com um valor de NDVI intermediário pois estão cobertas com vegetação em apenas uma parte do ano (Figura 2).

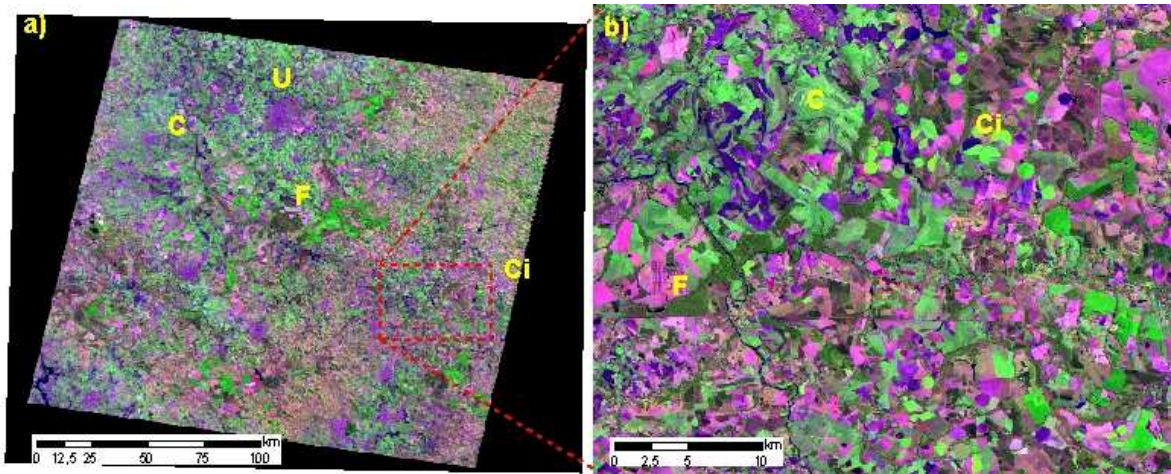


Figura 1. a) Imagem composta colorida (5,4,3), Landsat TM5, para a região de Ribeirão Preto e b) detalhe em área com culturas anuais irrigadas, silvicultura e cana-de-açúcar.

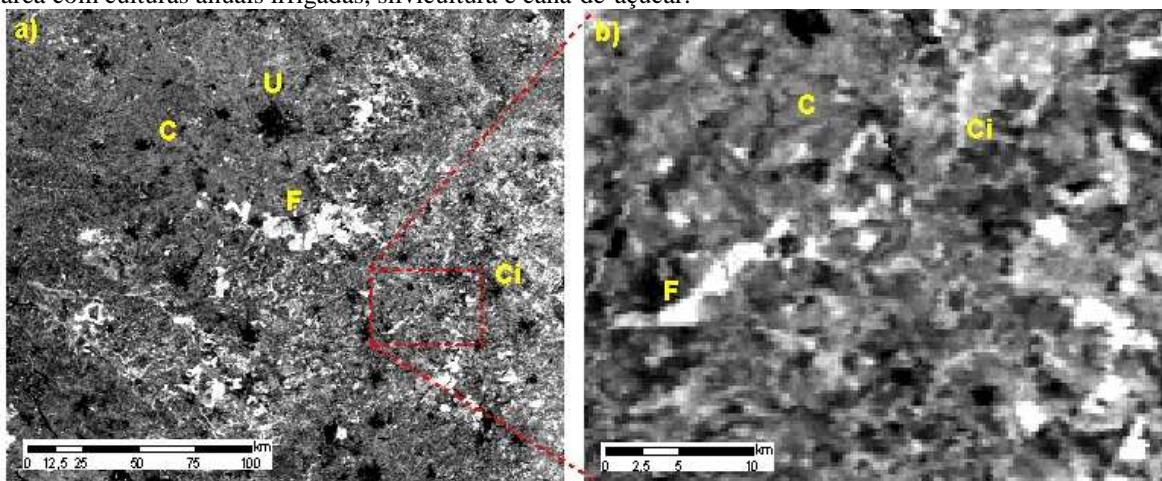


Figura 2. a) Amplitude da componente 0, correspondente a média anual do NDVI para a região de Ribeirão Preto e b) detalhe em área com culturas anuais irrigadas, silvicultura e cana-de-açúcar. Urbanizações (U) e áreas florestais (F) aparecem com baixa amplitude anual, bem como culturas irrigadas (Ci), com oscilação semestral. Áreas com cana-de-açúcar (C) aparecem em destaque.

Na primeira componente temos a representação dos fenômenos com oscilações anuais (Figura 3). Coberturas com pouca ou nenhuma variação do NDVI ao longo do ano aparecem com valores muito baixos, independentemente do valor médio de NDVI. Desta forma, tanto áreas urbanizadas e superfícies de água, quanto remanescentes florestais e silviculturas apresentam baixa amplitude. Áreas agrícolas com variação anual de NDVI apresentam amplitude mais elevada, como pode ser visto nas áreas de cana-de-açúcar.

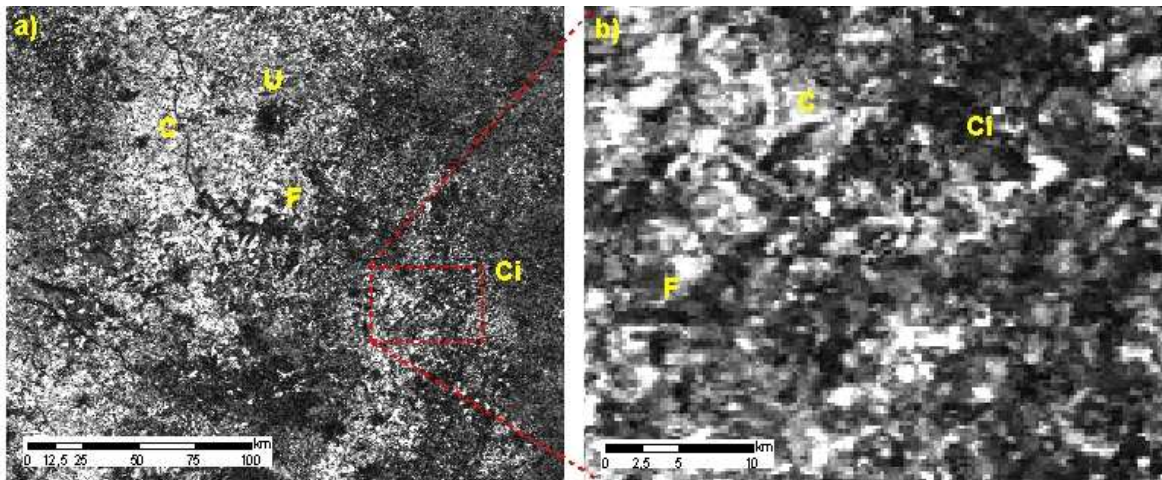


Figura 3. a) Amplitude da componente 1, correspondente a oscilação anual do NDVI para a região de Ribeirão Preto e b) detalhe em área com culturas anuais irrigadas, silvicultura e cana-de-açúcar. Urbanizações (U) e áreas florestais (F) aparecem com baixa amplitude anual, bem como culturas irrigadas (Ci), com oscilação semestral. Áreas com cana-de-açúcar (C) aparecem em destaque.

A segunda componente harmônica representa oscilações semestrais (Figura 4). Nesta, áreas com baixa variação de atividade fotossintética (NDVI) ao longo do ano ou apenas variação com ciclo longo (12 meses) apresentam baixa amplitude. É o caso das áreas com cana-de-açúcar que apresentam apenas uma variação anual de NDVI. Coberturas com oscilações de NDVI de 6 meses apresentam maior amplitude, identificando outras culturas anuais como soja, milho, feijão etc. É importante ressaltar que, caso a cobertura apresente dois ciclos regulares (duas safras no ano), a maior parte da variação do NDVI será captada na segunda componente, sendo que a amplitude da primeira componente será baixa. Porém, caso a cobertura apresente apenas um ciclo curto (uma safra de 6 meses seguida de pousio), serão identificados sinais na primeira e segunda componentes. Isto porque um sinal com apenas uma oscilação curta no ano é decomposto pela transformação de Fourier em uma oscilação anual e uma semestral enquanto que duas oscilações ao longo do ano é explicado apenas pela segunda componente.

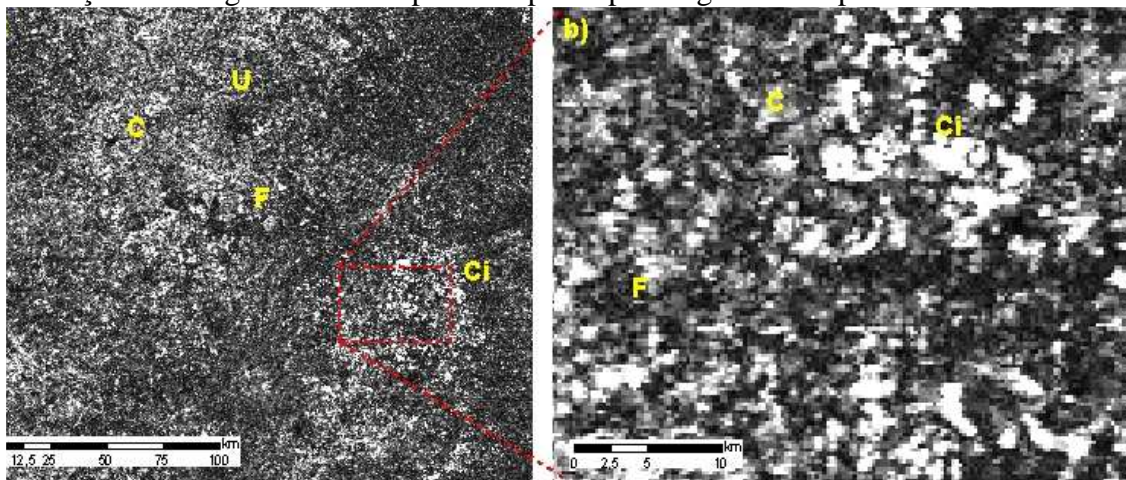


Figura 4. a) Amplitude da componente 2, correspondente a oscilação semestral para a região de Ribeirão Preto e b) detalhe em área com culturas anuais irrigadas, silvicultura e cana-de-açúcar. Urbanizações (U) e áreas florestais (F)

aparecem com baixa amplitude anual e áreas com cana-de-açúcar (C) com valores intermediários. Áreas com culturas irrigadas (Ci) aparecem em destaque.

A terceira componente representa oscilações mais curtas (quadrimestrais). Como coberturas vegetais raramente apresentam oscilações curtas e constantes, esta componente não traduz nenhum fenômeno natural comum. No entanto, a análise de Fourier se baseia na decomposição de uma série temporal em séries harmônicas, e a terceira componente tem papel importante no ajuste da série temporal, quando esta é recomposta a partir dos diversos harmônicos.

A composição colorida RGB a partir das amplitudes das componentes 1, 0 e 2 auxilia na compreensão (Figura 10). Locais escuros na imagem significam áreas em que o NDVI se manteve baixo e sem oscilações durante toda a série temporal (urbanizações e superfícies de água). Tons verdes mostram áreas em que o NDVI se manteve elevado durante toda a série temporal porém com pouca variação (remanescentes florestais e silvicultura). Culturas com um ciclo longo, como a cana-de-açúcar, aparecem em tons de rosa enquanto que áreas onde são feitas duas safras no ano aparecem em cores azuis intensas (regiões com irrigação por pivô central, por exemplo). Áreas com culturas com um ciclo curto no ano apresentam tonalidades intermediárias entre vermelho e azul (componentes 1 e 2). Coberturas como pastagem, em que a variação do NDVI não é tão intensa ao longo do ano, também apresentam coloração intermediária entre os harmônicos 0 e 1. A partir de imagens de apenas uma data, dificilmente são identificadas a cobertura vegetal das áreas que com solo exposto no momento de aquisição da imagem. A utilização de séries temporais não está sujeita a este problema pois a informação utilizada não se trata da cobertura em um instante no tempo mas sim, de sua variação ao longo do período de estudo, mais associada ao uso que a uma condição momentânea da cobertura vegetal.

Até o momento da conclusão deste texto, os cálculos da fase dos diferentes componentes harmônicos têm produzido valores aparentemente inconsistentes. Isto pode ser por interferência de nuvens ou escolha equivocada de pixels, contaminados por diferentes coberturas vegetais. Espera-se superar esta limitação com a continuação da pesquisa. Com o andamento da pesquisa, métricas da evolução da safra serão obtidas para os anos que precedem o do atual exemplo.

4.2. Modelos de Box-Jenkins para preços da cana-de-açúcar: uma abordagem univariada

O trabalho conduzido até o momento desenvolveu modelos univariados de Box-Jenkins para análise das séries temporais de preços da cana-de-açúcar, fornecidos pelo Instituto de Economia Agrícola, da Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo. Os dados passaram por transformação logarítmica, para estabilizar a variância dos mesmos. O período analisado foi de janeiro de 2000 a fevereiro de 2009, totalizando 109 observações.

Os correlogramas dos valores em nível mostram um decaimento da função de autocorrelação contrário à idéia de presença de uma raiz unitária. Valores nas diferenças não contribuíram para melhoria no ajuste dos modelos e por isso foi desprezada a modelagem com a primeira diferença.

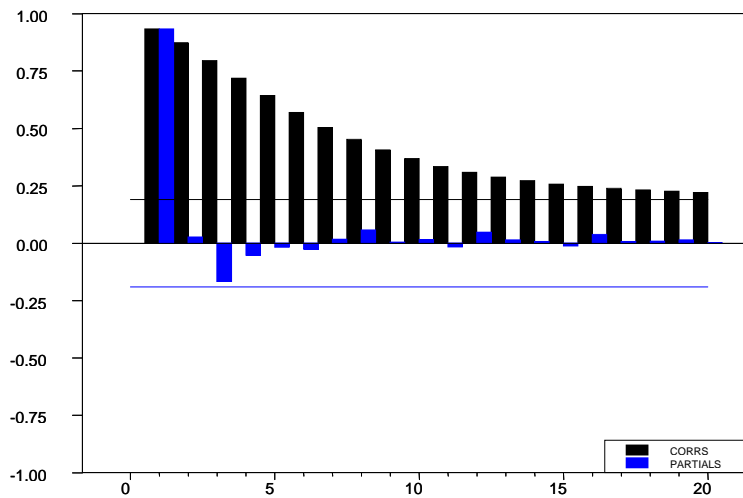


Figura 5. Autocorrelação e autocorrelação parcial dos logaritmos dos preços da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo.

Tanto a função de autocorrelação quanto a de autocorrelação parcial são significativamente elevadas na primeira defasagem. Em função disto, no processo de identificação duas formas alternativas foram dadas a o modelo.

A primeira forma considerou um termo constante e um termo autorregressivo de primeira ordem no modelo. Os coeficientes encontrados foram de (3.46 e 0.94), respectivamente, com valores p muito próximos a zero. A análise dos correlogramas dos resíduos revela um bom ajustamento e controle da memória do processo, mas alguns valores permanecem significativos para as autocorrelações.

Quanto à forma alternativa de modelagem, com a inclusão de um termo autorregressivo e um termo de média móvel de primeira ordem, o resultado foi mais satisfatório. Ambos os termos são significativos, com valores de p próximos a 0. Os correlogramas dos resíduos mostram uma baixa dependência serial dos valores, indicando que esta forma atende melhor aos requisitos para fins de modelagem e previsão de valores.

Não foi constatada a presença de termos sazonais, descartando-se a forma SARIMA para modelagem de preços.

Esses resultados parciais sustentam que, a curto prazo, os preços são altamente relacionados com seus próprios valores. Previsões a dez passos são apresentadas na figura 6 abaixo.



Figura 6. Série histórica (em azul) e previsões (em preto) de preços (em logarítimo) da tonelada da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, a dez passos.

A série histórica foi escolhida para um período de intervenção limitada do Estado no setor, mantendo-se a estrutura de formação de preços estável. Este é um requisito para a modelagem univariada de Box-Jenkins, que requer homogeneidade no processo estocástico.

Esses resultados são parciais, e com o avanço na pesquisa, espera-se que os dados da evolução de safra e medição da área plantada viabilizem aprimoramentos na previsão dos preços e permita a detecção de influências de preços sobre a evolução da safra, com antecipações de corte sendo melhor detectadas, por exemplo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho em desenvolvimento, ainda que possua resultados preliminares limitados, explora uma interface promissora de investigações entre as áreas de sensoriamento remoto e a análise econômica. Esta abordagem amplia a possibilidade de teste de hipóteses teóricas sobre os mecanismos de formação de preços e a influência de expectativas no planejamento de produção em setores agrícolas.

As aplicações de séries de Fourier com dados de sensoriamento remoto apresentam limitações para fornecimento de informações sobre a evolução da safra, sendo desejável investigar novos métodos que explorem os valores com ajuste local mais flexível, para obtenção das datas de corte de talhão e não de pico na atividade fotossintética, como se obtém com a análise da fase nas séries de Fourier.

Até o momento da conclusão deste texto, os cálculos da fase dos diferentes componentes têm produzido valores aparentemente inconsistentes, mas a análise harmônica mostra ser um instrumento eficiente para identificação de áreas plantadas com cana-de-açúcar. Espera-se superar esta limitação com a continuação da pesquisa, e conseguir elaborar uma métrica para a evolução da safra, em termos de percentual de talhões colhidos por mês em determinada região. Com o andamento da pesquisa, métricas da evolução da safra serão obtidas para os anos que precedem o do atual exemplo.



REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, D. A. ; SILVA, W. F. ; RIZZI, R. ; RUDORFF, B. F. T. ; BERKA, L. M. S. ; PAES, L. A. D. . Monitoramento da Colheita da Cana. In: Bernardo F. T. Rudorff; Yosio E. Shimabukuro; Juan C. Ceballos. (Org.). O Sensor MODIS e suas Aplicações Ambientais no Brasil. 1 ed. São José dos Campos: Bookimage, 2006, v. 1, p. 373-378.
- ALVES, L.R.A. Transmissão de preços entre produtos do setor sucroalcooleiro do Estado de São Paulo. Piracicaba. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo.
- ALVES, L.R.A.; BACCHI, M. R. P. Oferta de exportação de açúcar do Brasil. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 42, n. 1, p. 9-33, jan./mar. 2004.
- AMARAL, T. M.; NEVES, M. F.; MORAES, M. A. D. Cadeias produtivas do açúcar do estado de São Paulo e da França: comparação dos sistemas produtivos, organização, estratégias e ambiente institucional. Agric. São Paulo, SP, 50(2):65-80, 2003. Disponível em <http://www.iea.sp.gov.br/out/publicacoes/pdf/asp-2-03-5.pdf>. Acesso em 09/09/2007.
- BARROS, G.S. C.; BACCHI, M.R.P.; BURNQUIST, H.L. Estimação de equações de oferta de exportação de produtos agropecuários para o Brasil (1992/2000). Texto para Discussão, Brasília: IPEA, n.865, mar. 2002.
- BARROS, G. S. C. ; MORAES, M. A. F. D. . A desregulamentação do setor sucroalcooleiro. Revista de Economia Política, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 156-173, 2002
- DICKEY, D.A.; FULLER, W.A. Distribution of the estimator for auto-regressive time series with a unit root. Journal of the American Statistical Association, v.74, n.366, p.427-431, Jun. 1979.
- DICKEY, D.A.; FULLER, W.A. Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. Econometrica. Chicago, v.49, n.4, p.1057-1072, Jul. 1981.
- FULLER, W. A. Introduction to Statistical Time Series. Wiley. New York, 1976.
- GAVA, G. J. C. , SILVA M. A., JERÔNIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S. Análise do Crescimento de Duas Cultivares de Cana-de-Açúcar (*Saccharum sp*). In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 2007 (CD).
- HAMILTON, J.D. Time series analysis. Princenton University Press. Princenton: New Jersey. 1994.
- JENKINS, G. M. Practical experiences with modelling and forecasting time series. GJP Publications, Lancaster, 1979.
- MACHADO, E.C. 1987. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (Coord.) Cana-de-açúcar: Cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill,. v.1, cap.1, p.56-87.
- MAGALHÃES, M. JORNALCANA, AGOSTO DE 2006. LINK: <http://www.jornalcana.com.br/pdf/152/%5Cpolitseto.pdf>
- MARJOTTA-MAISTRO, M.C. Ajustes nos mercados de álcool e gasolina no processo de desregulamentação. Piracicaba, 2002. 180p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- MELLO, F. O. T; PAULILLO, L. F. Metamorfoses da rede de poder sucroalcooleira paulista e desafios da auto-gestão setorial. Agricultura em São Paulo, São Paulo, v.52, n.1, p. 41-62, jan/fev, 2005.



PORTO ALEGRE, 26 A 30 DE JULHO DE 2009

SOBER 47^o CONGRESSO
SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA,
ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL

DESENVOLVIMENTO RURAL E SISTEMAS AGROALIMENTARES: OS AGRONEGÓCIOS NO CONTEXTO DE INTEGRAÇÃO DAS NAÇÕES

-
- NEVES, M. F. & WAACK, R. & MARINO, M. K. O Sistema Agroindustrial da Cana-de-Açúcar: Caracterização das Transações entre Empresas de Insumos, Produtores de Cana e Usinas: 559 - 572. Anais do Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural - SOBER, Agosto de 1998.
- OLIVEIRA, A. F. Modelos para estimar a razão de hedge de variância mínima: aplicação para mercados de futuros agropecuários. ESALQ, Piracicaba, junho de 2000. Dissertação de mestrado.
- REIS, J.N.P.; CRESPO, J.E.Q. Um modelo econométrico para as exportações de açúcar do Brasil. Agricultura Em São Paulo, São Paulo, v.45, n.1, p.17-32, 1998.
- SHIKIDA, P. F. A. A evolução diferenciada da agroindústria canavieira no Brasil de 1975 a 1995. Cascavel: Edunioeste, 1998. 149p.
- SZMRECSÁNYI, T. O planejamento da agroindústria canavieira do Brasil (1930-1975). São Paulo: Hucitec/UNICAMP, 1979.