

## **Automatização de análise de dados remotos para monitoramento da dinâmica da expansão agrícola<sup>1</sup>**

*João Paulo da Silva<sup>1</sup>, Luciana Alvim Santos Romani<sup>2</sup>, Renata Ribeiro do Valle Gonçalves<sup>3</sup>,  
Maria Leonor Ribeiro Casimiro Lopes Assad<sup>4</sup>, Jurandir Zullo Júnior<sup>3</sup>.*

<sup>1</sup> Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil, joao.silva@feagri.unicamp.br

<sup>2</sup> Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, São Paulo, Brasil,  
luciana.romani@embrapa.br

<sup>3</sup> Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil, renata@cpa.unicamp.br,  
jurandir@cpa.unicamp.br

<sup>4</sup> Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental, Universidade Federal de São Carlos, Araras, São Paulo, Brasil, assad@cca.ufscar.br

### **RESUMO**

A expansão de áreas agrícolas representa desenvolvimento para o setor devido ao aumento na produção, mas também pode trazer riscos aos recursos naturais. O uso do sensoriamento remoto tem auxiliado no monitoramento desta expansão, gerando informações que subsidiam a análise sobre o uso da terra e auxiliam na criação de práticas e políticas que favoreçam a sustentabilidade deste sistema, porém, a grande quantidade de dados envolvida deve ser gerenciada de maneira eficiente para justificar sua aplicação. Este artigo apresenta um framework que integra diversas ferramentas computacionais para fazer a análise da dinâmica de ocupação da terra ao longo do tempo. O framework integra ferramentas para extração de séries temporais, análise estatística e visualização espacial dos resultados. Para validar o framework proposto foram analisadas séries temporais de imagens contendo valores de NDVI dos sensores AVHRR/NOAA e TERRA-MODIS para o estado de São Paulo de 2001 a 2009. Os resultados das análises para a cultura da cana-de-açúcar mostram que a expansão no período estudado ocorreu na direção oeste do estado. Além disso, este framework mostra-se

---

<sup>1</sup> Inspirado no trabalho desenvolvido pelo autor para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal de São Carlos. O financiamento do presente trabalho é atribuído à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, com colaboração da Embrapa Informática Agropecuária, CEPAGRI/UNICAMP e Universidade Federal de São Carlos.

uma solução de baixo custo operacional para a aplicação deste tipo de análise em grandes quantidades de dados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensoriamento remoto, Teste de Mann-Kendall, Análise de tendência, ferramentas computacionais, Cana-de-açúcar.

### **ABSTRACT**

The crop areas expansion represents the industry development in due to the production increment, but it could bring risks to natural resources. The use of remote sensing have aided at this expansion monitoring, generating information that support the land use change analysis and helps to create practices and policies that favors this system's sustainability, however, the large amount of data involved must be managed efficiently to justify its application. This article presents a framework that integrates several computer tools to analyze land use change dynamic along time. The framework integrates tools that extract time series, apply statistical analyze and visualize results. To validate the framework proposed, NDVI time series extracted from AVHRR/NOAA and TERRA-MODIS sensors for São Paulo from 2001 to 2009 were analyzed. Results show that the expansion observed in the period occurred westward of the state. Besides, this framework shows itself a low operational cost solution to apply in this kind of analysis in large amount of data.

**KEYWORDS:** Remote sensing, Mann-Kendall Test, Trend analysis, Computer tools, Sugarcane.

### **INTRODUÇÃO**

No Brasil, a evolução da ocupação de terras pela cana-de-açúcar se pautou na busca de fontes alternativas para os combustíveis fósseis para superar a crise e dependência do petróleo (Instauração do Proálcool – 1975 até 1990) e pela importância econômica da cultura em razão da exportação de açúcar (SZMRECSÁNYI; MOREIRA, 1991). Entre as safras 2001-2002 e 2008-2009, o estado de São Paulo, maior produtor de cana-de-açúcar do país, aumentou sua área plantada de 2,5 milhões para 5 milhões de hectares e a produção de 293 mil para 569 mil toneladas (UNICA, 2015).

Com a expansão canavieira e a preocupação com a preservação dos recursos naturais, torna-se necessário monitorar esta dinâmica. O levantamento de informações é indispensável para auxiliar a tomada de decisões e a criação de políticas que favoreçam o desenvolvimento sustentável. Neste sentido, geotecnologias como o sensoriamento remoto se apresentam como alternativas eficientes para monitorar o uso e cobertura da terra (RONQUIM et al., 2015).

O sensoriamento remoto consiste na obtenção de informações sobre um alvo qualquer sem que seja necessário entrar em contato com ele. Estas informações são obtidas por sensores acoplados a diversos tipos de plataformas, que vão desde postes fixos ou veículos aéreos não-tripulados (VANT's) até satélites situados na órbita terrestre (NOVO, 2010). Junto aos avanços trazidos pela adoção do uso de sensores remotos para monitoramento ambiental, surge também a necessidade de se gerenciar a grande quantidade de dados gerada para a extração de informações relevantes. Portanto, muitos pesquisadores têm utilizado séries temporais de dados remotos para avaliar variações em fatores climáticos e ambientais, tentando correlacionar e explicar suas causas e/ou consequências. Dentre as muitas possibilidades de análise de séries temporais extraídas de dados remotos destacam-se o monitoramento climático (CARDOSO et al., 2012; MINUZZI, 2010) e o mapeamento de uso da terra e da cobertura vegetal (BORGES; SANO, 2014).

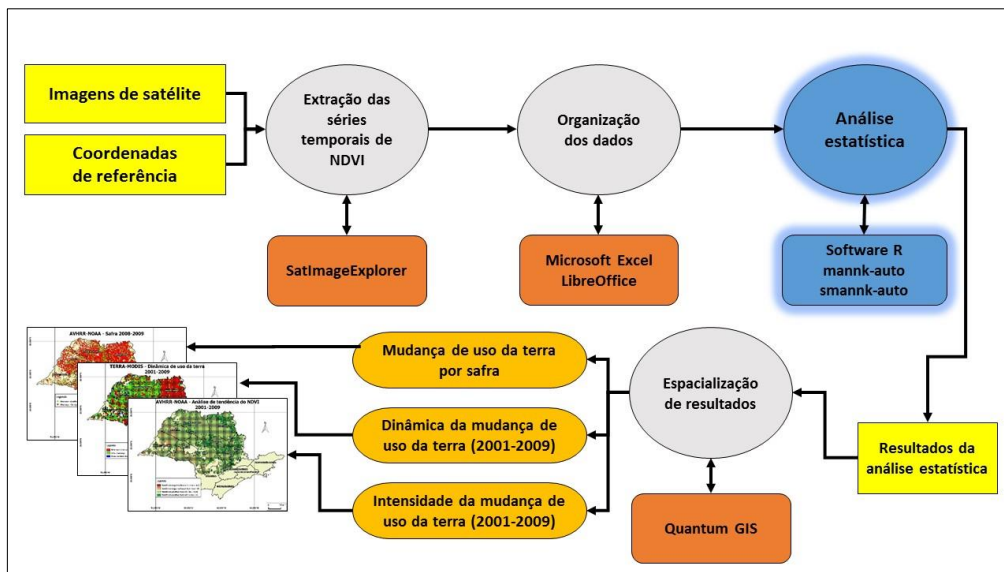
Como a análise de séries temporais envolve grande quantidade de dados e tem elevado custo operacional, uma alternativa para tornar o trabalho mais viável é a aplicação de técnicas de automação para tratamento destes dados, substituindo o trabalho humano, para fornecer soluções mais rápidas e econômicas (ALENCAR et al., 2007). O uso de sistemas computacionais na agricultura possibilita a análise de grandes quantidades de informação auxiliando na criação de estratégias para o aumento da produção agrícola e proteção ambiental (DE LA ROSA et al., 1993; YANG et al., 2002).

Com base nas informações apresentadas, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um framework para automatizar a análise e detecção da mudança de uso da terra utilizando séries temporais extraídas de imagens de satélite.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Neste trabalho, foram utilizadas séries temporais do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) extraídas de satélites e baseadas em coordenadas de referência para a condução de três análises: identificação da mudança de uso da terra por safra, classificação do número de mudanças ao longo do período e identificação do tipo e da intensidade que essas mudanças ocorreram. Posteriormente, os resultados foram utilizados para confeccionar diferentes tipos de mapas que ilustram estas mudanças. A figura 1 mostra o fluxograma das etapas de desenvolvimento:

Figura 1 – Fluxograma de etapas do projeto.



Fonte: (AUTOR, 2015).

### ***Aquisição das imagens e extração das séries temporais***

O estudo abrangeu as safras 2001-2002 e 2008-2009, de grande desenvolvimento do setor sucroenergético. As imagens utilizadas foram obtidas do banco de imagens do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura, da Universidade Estadual de Campinas (CEPAGRI/UNICAMP). Foram utilizados dados de dois satélites diferentes, o Advanced Very High Resolution Radiometer, mantido pela National Oceanic and Atmospheric Administration (AVHRR-NOAA) e o Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer, administrado pela NASA (TERRA-MODIS). A escolha destes satélites se deu pela capacidade de ambos de monitoramento do NDVI (GONÇALVES et al., 2013). Séries temporais mensais foram extraídas do AVHRR-NOAA e séries quinzenais do TERRA-MODIS.

As coordenadas de referência utilizadas derivam do projeto CANASAT (RUDORFF et al., 2010) e representam a localização de todos os talhões identificados com cana-de-açúcar no estado de São Paulo, no ano de 2009. A extração das séries temporais das imagens de NDVI por meio das coordenadas de referência foi feita utilizando-se o software SatImageExplorer (CHINO et al., 2010) e todas as séries extraídas foram exportadas para arquivos do tipo texto. Com um software de planilha eletrônica, as séries temporais foram organizadas em dois tipos de arquivos: um contendo apenas os dados de uma safra para todos os pontos e outro contendo todas as safras de todas as coordenadas. Devido à diferença de periodicidade entre as imagens dos dois satélites e para fins de comparação, as séries

quinzenais do satélite TERRA-MODIS foram resumidas em médias mensais, seguindo o padrão adotado para o AVHRR-NOAA.

### ***Automatização da análise estatística***

A aplicação da análise estatística foi feita pelo teste de Mann-Kendall (KENDALL, 1970) e pelo teste Sazonal de Mann-Kendall (HIRSCH, 1982). Estes testes fazem a análise de tendência de séries temporais e indicam se a série apresenta ou não tendência ao longo do tempo (HIPEL; MCLEOD, 1994).

Em razão da grande quantidade de séries extraídas das imagens, foram projetados em linguagem R, de distribuição livre, os algoritmos “mannk-auto” e “smannk-auto”, que fazem automaticamente a aplicação dos testes de Mann-Kendall e Sazonal de Mann-Kendall, respectivamente. Seu funcionamento se dá pela leitura dos arquivos contendo as séries temporais, construção das coleções de dados e aplicação em massa dos testes estatísticos. Os resultados exportados contêm as coordenadas geográficas, o índice  $\tau$  (tendência observada pelo teste) e o valor-p.

### ***Espacialização dos resultados***

Foram utilizados os resultados da análise de tendência para a confecção dos mapas que mostram a dinâmica de uso da terra nos pontos de referência. Em todas as análises foi considerado um nível de 95% de confiança (valor-p < 0,05) para diferenciar se houve ou não mudança significativa. Nos mapas de análise por safra foram plotados os pontos com e sem mudança significativa, diferenciados pela cor. Nos mapas de número de mudanças e tipo de mudança ao longo de todo o período foram utilizadas malhas, onde cada célula representa o comportamento dos pontos por ela representados. Nesta etapa do projeto, foi utilizado o software Quantum GIS, um sistema de informação geográfica que também tem acesso livre.

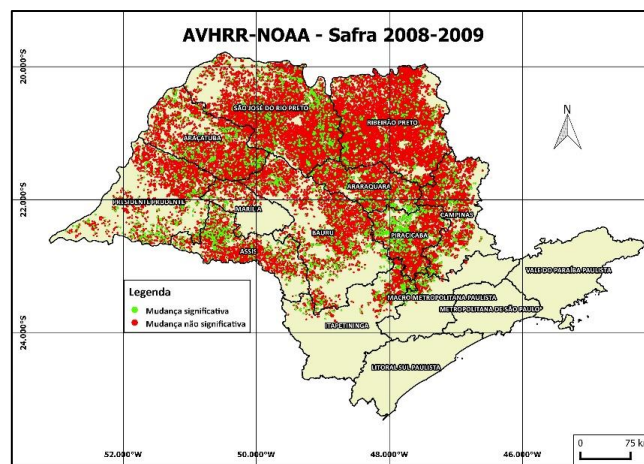
## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O framework desenvolvido se baseia na integração das funcionalidades de diversos softwares para fazer a avaliação da dinâmica de uso da terra. A principal funcionalidade deste framework fica a cargo do algoritmo de aplicação da análise estatística, que permite ao usuário processar grandes quantidades de séries temporais num curto período de tempo. Estes algoritmos foram projetados para que comportem séries temporais extraídas em outras escalas espaço-temporais permitindo, portanto, seu uso para outras fontes de dados. Outros trabalhos vêm sendo desenvolvidos para diferentes finalidades utilizando as funcionalidades do

software R, como monitoramento agrometeorológico (OLIVEIRA Jr. et al., 2013) e automatização da geração de gráficos de resultados (COSTA et al., 2013).

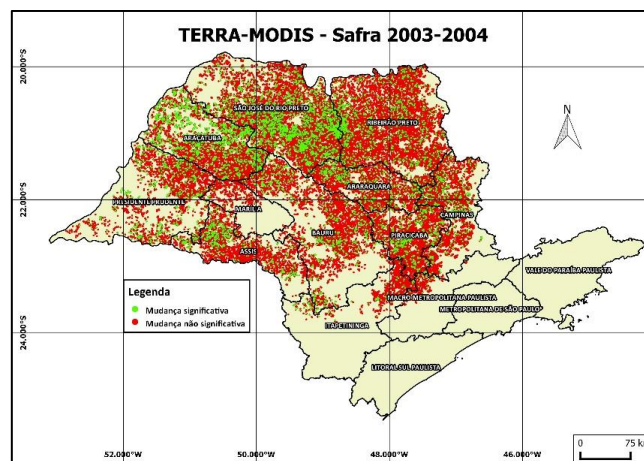
Os mapas (Figuras 2, 3 e 4) gerados a partir do framework proposto mostram a dinâmica da cultura da cana-de-açúcar no estado de São Paulo sob diferentes abordagens. A análise por safra mostra as mudanças significativas (verde) e não significativas (vermelho) de uso da terra (Figura 2) e sua distribuição espacial a cada ano-safra (Figura 3). A intensidade das mudanças varia entre as safras e entre a fonte de dados utilizada, no caso os dois satélites, que apesar de apresentarem a mesma resolução espacial, possuem resolução temporal diferente.

Figura 2 – Mudança de uso da terra por safra.



Fonte: (AUTOR, 2015).

Figura 3 – Mudança de uso da terra por safra.

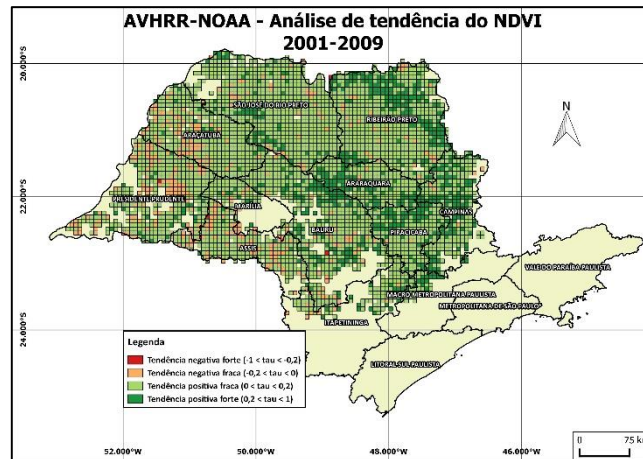


Fonte: (AUTOR, 2015).

Os mapas gerados para a análise de todo o período mostram como as áreas se comportaram durante todo o período e a natureza destas mudanças. A figura 4 mostra que as

séries temporais apresentaram, na grande maioria, tendência significativa crescente fraca ( $0 < \tau < 0,2$ ) e forte ( $0,2 < \tau < 1$ ) ao longo do tempo. Trabalhos anteriores mostram que a expansão da cultura da cana na direção oeste do estado ocorre principalmente em áreas de pastagem (BIOETANOL, 2008).

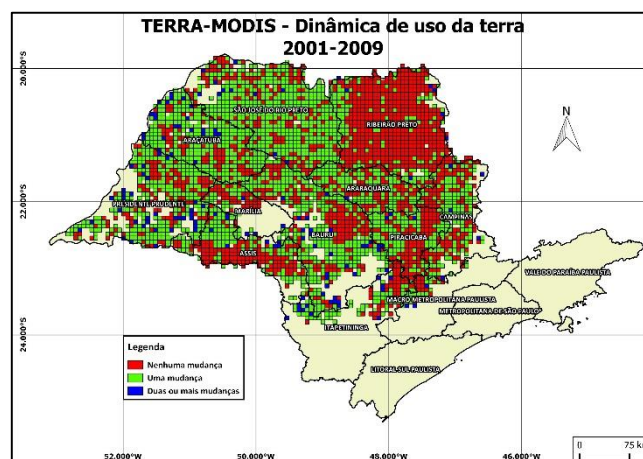
Figura 4 – Tipo de mudança das séries de NDVI.



Fonte: (AUTOR, 2015).

A avaliação do número de mudanças ocorridas nos pontos de referência durante todo o período estudado (Figura 5) mostra que em áreas já tradicionalmente conhecidas de cana não foram observadas mudanças (vermelho), enquanto grande parte das áreas sofreu apenas uma mudança (verde), ou seja, passou de algum outro uso anterior para cana-de-açúcar. Este comportamento ocorre principalmente na direção oeste do estado, concordando com estudos como o de Shikida (2013) que mostram o desenvolvimento do setor sucroenergético em direção à região centro-sul do país.

Figura 5 – Tipo de mudança das séries de NDVI.



Fonte: (AUTOR, 2015).

## CONCLUSÕES

O framework auxilia na aplicação de modelos de análise de séries temporais, podendo ser adotado como uma ferramenta rápida e econômica de avaliação de mudança de uso da terra.

Os resultados obtidos pela aplicação deste framework mostram, em concordância com outros estudos, que a cana-de-açúcar tem expandido suas áreas na direção oeste paulista durante o período estudado.

Ferramentas de distribuição livre podem ser utilizadas em todas as etapas de desenvolvimento, barateando o custo deste tipo de análise incentivando seu uso por órgãos de pesquisa e empresas prestadoras deste tipo de serviço.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, CNPq, FAPESP, Embrapa e CEPAGRI/UNICAMP pelo financiamento e apoio no desenvolvimento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ALENCAR, C.A.B.; CUNHA, F.F. da; RAMOS, M.M.; SOARES, A.A.; PIZZILOLO, T.A.; OLIVEIRA, R.A. de. **Análise da automação em um sistema de irrigação convencional fixo por miniaspersão**. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v. 15, n. 2, p. 109-118, abr./jun. 2007.

**BIOETANOL de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: BNDES; Brasília, DF: CGEE, 2008.

BORGES, E. F.; SANO, E. E. **Séries temporais de evi do modis para o mapeamento de uso e cobertura vegetal do oeste da Bahia**. Bol. Ciênc. Geod, Curitiba, v. 20, n. 3, p. 526-547, Sept. 2014. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1982-21702014000300526&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-21702014000300526&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 28 jun 2015.

CARDOSO, L. S. et al. **Disponibilidades climáticas para macieira na região de Vacaria, RS**. Cienc. Rural, Santa Maria, v. 42, n. 11, p. 1960-1967, nov. 2012. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782012001100009&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782012001100009&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 28 jun 2015.

CHINO, D. Y. T., ROMANI, L. A. S. E 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.

COSTA, L. C. N.; ALMEIDA, F. N.; SILVA, M. V. G. B.; VERNEQUE, R. S.; ARBEX, W. **Automação da Representação de Resultados de Classificação Linear para Características de Tipo**. In: IX Congresso Brasileiro de Agroinformática, 10. 2013, Cuiabá. Anais



eletrônicos... Cuiabá: 2013. Disponível em <  
[http://200.129.241.80/sbiagro/sbianais/paginas/trabalhos/119617\\_1.pdf](http://200.129.241.80/sbiagro/sbianais/paginas/trabalhos/119617_1.pdf)> Acesso em 30 jun  
2015.

DE LA ROSA, D. et al. **Expert evaluation system for assessing field vulnerability to agrochemical compounds in Mediterranean regions**. Journal of Agricultural Engineering Research, London, v.56, n.2, p.153-164, 1993. Disponível em:  
<[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6WH1-45P12Y2-S&\\_user=972058&\\_rdoc=1&\\_fmt=&\\_orig=search&\\_sort=d&\\_docanchor=&view=c&\\_acct=C000049648&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=972058&md5=30e198bd86ceed800a9ca256312ce655](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6WH1-45P12Y2-S&_user=972058&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_acct=C000049648&_version=1&_urlVersion=0&_userid=972058&md5=30e198bd86ceed800a9ca256312ce655)>. Acesso em: 27 de jun. 2015.

GONÇALVES, R. R. V.; ZULLO JUNIOR, J.; MARQUEZINI, O.; AMARAL, B. F.; SOUSA, E. P. M.; ROMANI, L. A. S. **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**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2013, Foz do Iguaçu, PR. Anais - SBSR, 2013. p. 640-647.

HIPEL K.W, MCLEOD AD. 1994. **Times series modelling of water resources and enviromental systems**. Developments in Water Science 45: 1013p.

HIRSCH, R.M., Slack, J.R. and Smith, R.A., **Techniques for trend assessment for monthly water quality data**, Water Resources Research, 18, 107-121, 1982.

KENDALL, M. G. **Rank correlations methods**. 2 ed., New York: Hafner, 1970.

MINUZZI, R. B. **Tendências na variabilidade climática de Santa Catarina, Brasil**. Rev. bras. eng. agríc. ambient, Campina Grande , v. 14, n. 12, p. 1288-1293, Dec. 2010. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662010001200006&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662010001200006&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 28 jun 2015.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2010. 388p.

OLIVEIRA JR., J. I.; ROSA, M. B.; TSUKAHARA, R. Y.; SILVA, A. P.; ROSA, G. B.; MAINARDES, S. G.; OLIVEIRA, A. N.; BOITO, B. L. L. **Integração da linguagem R em Sistemas de Monitoramento Agrometeorológico visando a simulação**. In: IX Congresso Brasileiro de Agroinformática, 10. 2013, Cuiabá. Anais eletrônicos. Cuiabá: 2013. Disponível em < [http://200.129.241.80/sbiagro/sbianais/paginas/trabalhos/118690\\_1.pdf](http://200.129.241.80/sbiagro/sbianais/paginas/trabalhos/118690_1.pdf) > Acesso em 30 jun 2015.

RONQUIM, C. C.; GUILARDI, V.; AGUIAR, D. A. DE; ROQUE, A. A. DE O.; RUDORFF, B. F. T.; DRUGOWICH, M. I.; MOREIRA, M. A. **Uso de geotecnologias para análise da dinâmica das áreas de citros e cana-de-açúcar nos últimos 26 anos na Bacia do Mogi-Pardo**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. Anais... São José dos Campos: INPE, 2015. p. 3361-3368.

RUDORFF, B. F. T.; AGUIAR, D. A. de.; SILVA, W. F. da; SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M. A. **Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) using Landsat Data**. Remote Sensing, v.2, p.1057-1076, 2010.

SHIKIDA, P. F. A. Expansão canavieira no centro-oeste: limites e potencialidades. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 122-137, 2013.

SZMRECSANYI, T.; MOREIRA, E. P. **O desenvolvimento da agroindústria canavieira do Brasil desde a Segunda Guerra Mundial**. Estud. av., São Paulo, v. 5, n. 11, p. 57-79, Apr. 1991. Disponível em:  
<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S010340141991000100006&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340141991000100006&lng=en&nrm=iso)> Acesso em: 10/06/2015.

UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO (UNICA). **Produção da cana-de-açúcar no Brasil**. 2014. Disponível em:  
<<http://www.unicadata.com.br/index.php?idioma=1> />. Acesso em: 10/06/2015.

YANG C. et al. **Use of hyperspectral imagery for identification of different fertilization methods with decision-tree technology**. Biosystems Engineering, Amsterdam, v.83, n.3, p.291-298, 2002.