

Monitoramento da dinâmica de uso da terra utilizando imagens de satélite de baixa resolução espacial

João Paulo da Silva ^{1,2}
Luciana Alvim Santos Romani ²
Renata Ribeiro do Valle Gonçalves ³
Maria Leonor Ribeiro Casimiro Lopes Assad ¹

¹ Universidade Federal de São Carlos – UFSCar/CCA
Caixa Postal 153 – 13600 – 970 – Araras – SP, Brasil
jp_e@hotmail.com
assad@cca.ufscar.br

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

³ Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura – CEPAGRI
Universidade Estadual de Campinas – Campinas – SP, Brasil
renata@cpa.unicamp.br

Abstract. The adoption of new technologies as well as expansion of the flex fuel vehicles market have been responsible to the increasing of sugarcane production fields in the last decades. To follow this expansion dynamic, it's important to apply techniques to monitor the land use change, besides geotechnologies such as remote sensing. NDVI, a well-known vegetation index, can be used to aid at monitoring crops and the land use. This index is a response to the vegetation biomass, being measured by several orbital sensors such as AVHRR/NOAA. Time series obtained from satellites can be analyzed in order to identify trends and methods as Mann-Kendall can be applied. In this context, this article presents an approach based on Mann-Kendall test on NDVI time-series extracted from AVHRR/NOAA to evaluate the land use change in sugarcane crop fields. The study period comprehends 2001 to 2010 using reference points imported from Canasat project. After applying the Mann-Kendall trend test in the whole time-series database, results were plotted in a SIG software to generate maps of land use change. Several maps were generated, most of them to show changes that occurred by year, one to identify the number of changes in each reference point, other to identify the number of changes in all the studied period and another one to show whether changes that occurred were positive or negative. This work concluded that remote sensing is useful for monitoring crop and land use change, specially to show the sugarcane expanding to the west of São Paulo state.

Keywords: remote sensing, NDVI, time series, Mann-Kendall trend test.

1. Introdução

A produção da cana-de-açúcar no país tem aumentado no século XXI devido à adoção de novas tecnologias e à expansão das áreas dedicadas à cultura. A safra brasileira de cana-de-açúcar 2013-2014 ultrapassou 650 milhões de toneladas tendo São Paulo como seu principal produtor e responsável por 60% da produção da região Centro-Sul, que por sua vez responde por 91% da produção nacional. Entre os anos de 2001 e 2010, as áreas canavieiras de São Paulo passaram de 2,5 para 5 milhões de hectares (Unica, 2014). Para acompanhar essa dinâmica de expansão de áreas de cana-de-açúcar, é importante que sejam utilizadas técnicas que permitam o monitoramento do uso da terra, fornecendo as informações adequadas no menor intervalo de tempo possível. Assim, o uso de geotecnologias para monitoramento do uso da terra se justifica devido ao baixo custo de implantação, facilidade de desenvolvimento e agilidade na obtenção de resultados (Castanho & Teodoro, 2010).

Técnicas de monitoramento como o sensoriamento remoto podem vir a ser o meio mais prático que um país pode ter para produzir informações sobre seus principais produtos agrícolas (Gallego, 2004). Seu uso combinado com ferramentas de sistemas de informações geográficas (SIG) permitem identificar padrões espaço-temporais de parâmetros biofísicos (Bezerra et al., 2014), como o índice de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), proposto por Rouse et al. (1973) e obtido por meio da diferença, razão, ou outra transformação de dados para representação da cobertura vegetal do terreno. Seu valor varia entre -1 e 1 que representam, respectivamente, ausência total de vegetação e densa cobertura vegetal. Vários trabalhos foram desenvolvidos utilizando o NDVI para avaliar sua relação com os diferentes estádios de desenvolvimento de culturas (Bredemeier et al., 2013), monitoramento de safra de soja (Gusso, 2013), além de avaliar a dinâmica espectro-temporal de florestas subtropicais (Rosa et al., 2013).

Os satélites da série AVHRR/NOAA (*Advanced Very High Resolution Radiometer/National Oceanic and Atmospheric Administration*) têm se destacado pelo seu potencial na estimativa de área plantada. Os satélites da série NOAA têm crescente importância no acompanhamento de áreas agrícolas e de vegetação natural, devido à sua capacidade de monitoramento da vegetação em grandes extensões (Gonçalves et al. 2013).

Técnicas de análise de tendência são aplicadas para verificar se os fatores observados apresentam tendência crescente ou decrescente ao longo do tempo (Hirsch & Helsel, 2002). Análise de tendência para séries temporais também podem ser empregadas na avaliação de mudança de uso da terra ao longo das safras, como a cana-de-açúcar, para se avaliar a expansão anual da cultura (Adami et al. 2012). Seiler & Gloaguen (2012) monitoraram a vegetação de um ecossistema da Nigéria em função de cheias ocorridas nas suas bacias utilizando séries de NDVI extraídas de imagens do satélite AVHRR/NOAA.

Neste contexto, este artigo apresenta um modelo baseado na técnica de Mann-Kendall para monitorar a mudança de uso da terra e a expansão da cana-de-açúcar utilizando séries temporais de NDVI extraídas de imagens do satélite AVHRR/NOAA.

Este artigo está organizado da seguinte forma: na próxima seção são definidos o Material e Métodos, na Seção 3 são relatados os Resultados e finalmente as Conclusões são apresentadas na Seção 4.

2. Metodologia do Trabalho

A área de estudo definida para este trabalho foi o estado de São Paulo, localizado entre as coordenadas 54°00' e 43°30' longitude oeste e 25°30' e 19°30' latitude sul. O período estudado compreendeu aos anos de 2001 a 2010, perfazendo um total de nove safras de cana-de-açúcar.

As imagens do satélite AVHRR/NOAA foram adquiridas do banco de imagens do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura da Universidade Estadual

de Campinas (CEPAGRI/UNICAMP). O produto utilizado desta base de dados foram os dados mensais de NDVI agrupados por safra, com início em Abril e término em março do ano seguinte.

A análise foi realizada apenas em pontos de cultivo de cana-de-açúcar do estado, portanto para referenciar estes pontos foi utilizada uma máscara de coordenadas da cultura do projeto Canasat (Rudorff et al. 2010) da safra 2009-2010 (Figura 1). Esta máscara permite conhecer quais os pontos de fato estão ocupados com cana-de-açúcar no final do período estudado. Dessa forma, os mesmos pontos foram analisados para todos os anos, possibilitando o estudo da dinâmica de uso da terra ocorrida nestes pontos de referência.

Máscara de pontos de cultivo de cana-de-açúcar na safra 2009-2010

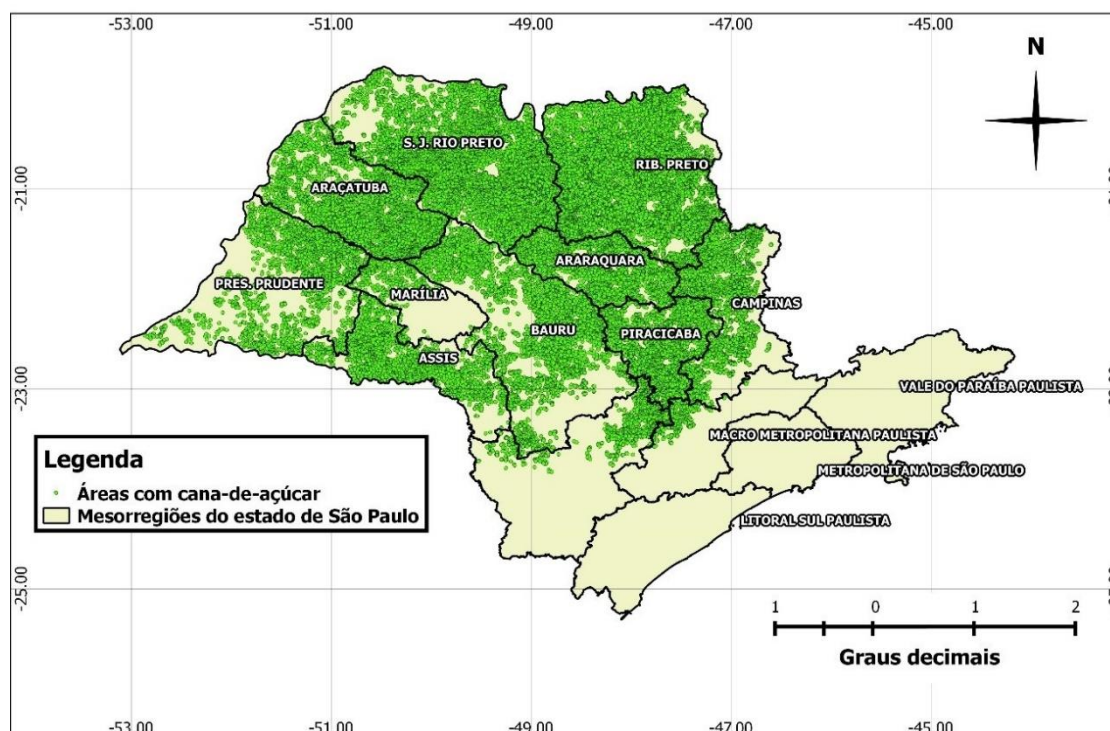


Figura 1. Máscara de pontos de áreas canavieiras do estado de São Paulo - Safra 2009-2010 (Fonte: projeto Canasat-INPE).

Utilizando o software SatImagExplorer (Chino et al. 2010), as coordenadas de referência do projeto Canasat foram plotadas nas imagens AVHRR/NOAA para extração das séries de dados de NDVI. O SatImagExplorer permite que o usuário especifique as áreas de interesse na extração de imagens de satélite extrapolando esta seleção para todas as imagens subsequentes. Esta característica permite que o sistema seja utilizado na extração de séries para pontos de coordenadas bem definidos, sem que haja diferenciação de coordenadas entre uma imagem e outra.

Foram extraídas 40.549 séries de NDVI para cada ano-safra e mais 40.549 séries de NDVI para todo o período estudado (9 anos consecutivos), perfazendo um total de 405.490 séries temporais.

A análise de tendência por safra foi feita aplicando às séries temporais, o teste de Mann-Kendall (Kendall, 1975; Mann, 1945), um teste não-paramétrico que se baseia na hierarquização dos dados para checar se a tendência em uma série temporal é ou não significativa. Para as análises considerando todo o período, foi necessário analisar as séries por estações, e para isso foi utilizado o teste Sazonal de Mann-Kendall (Hirsch et al, 1982), que divide as séries temporais em blocos para testar se há ou não tendência significativa.

As séries temporais de NDVI extraídas foram processadas no software R para aplicação do teste de Mann-Kendall. A vantagem no uso deste software é a possibilidade de desenvolvimento de algoritmos para aplicação do teste em grandes quantidades de dados. Assim, dois algoritmos foram gerados, um para aplicação do teste de Mann-Kendall, que foi feito nas séries anuais e outro para a aplicação do teste Sazonal de Mann-Kendall, utilizado na série do período total, onde foi considerada a sazonalidade. A análise estatística foi aplicada com 95% de significância nas séries extraídas das imagens utilizando as coordenadas da máscara do projeto Canasat. Os resultados foram exportados para um banco de dados contendo as coordenadas de localização, o valor do coeficiente tau (τ) para determinação de tendência positiva ou negativa na mudança de uso da terra e o valor-p para aferir se a mudança é significativa ou não.

Após a aplicação do teste estatístico para todas as séries, foi feito o mapeamento dos resultados para analisar a mudança de uso da terra utilizando o software Quantum GIS¹. Os mapas foram gerados de forma a evidenciar a ocorrência de mudança de uso da terra para cada ano-safra pelos pontos onde ocorreram mais mudanças em todo o período observado e os pontos onde houve tendência positiva ($\tau > 0$) ou negativa ($\tau < 0$) de NDVI.

3. Resultados e discussão

Em relação a mudança de uso da terra por safra, 2002-2003 (Figura 2) e 2008-2009 (Figura 3) foram as safras mais significativas. Os pontos em verde indicam mudança significativa e os pontos em vermelho indicam que não houve mudança significativa, segundo o teste de Mann-Kendall. Na safra 2002-2003 nota-se maior área de mudança no centro e oeste do estado, enquanto na safra 2008-2009 os pontos de mudança estão distribuídos. No geral, é possível notar maior mudança na direção oeste do estado, o que pode indicar expansão do cultivo da cana-de-açúcar neste sentido, já que a região é considerada de alta e média aptidão para o cultivo da cana-de-açúcar (Manzatto et al., 2009).

Disponível em: ¹ <http://www.qgis.org/en/site/>

Resultado da análise de tendência nos pontos de referência na safra 2002-2003

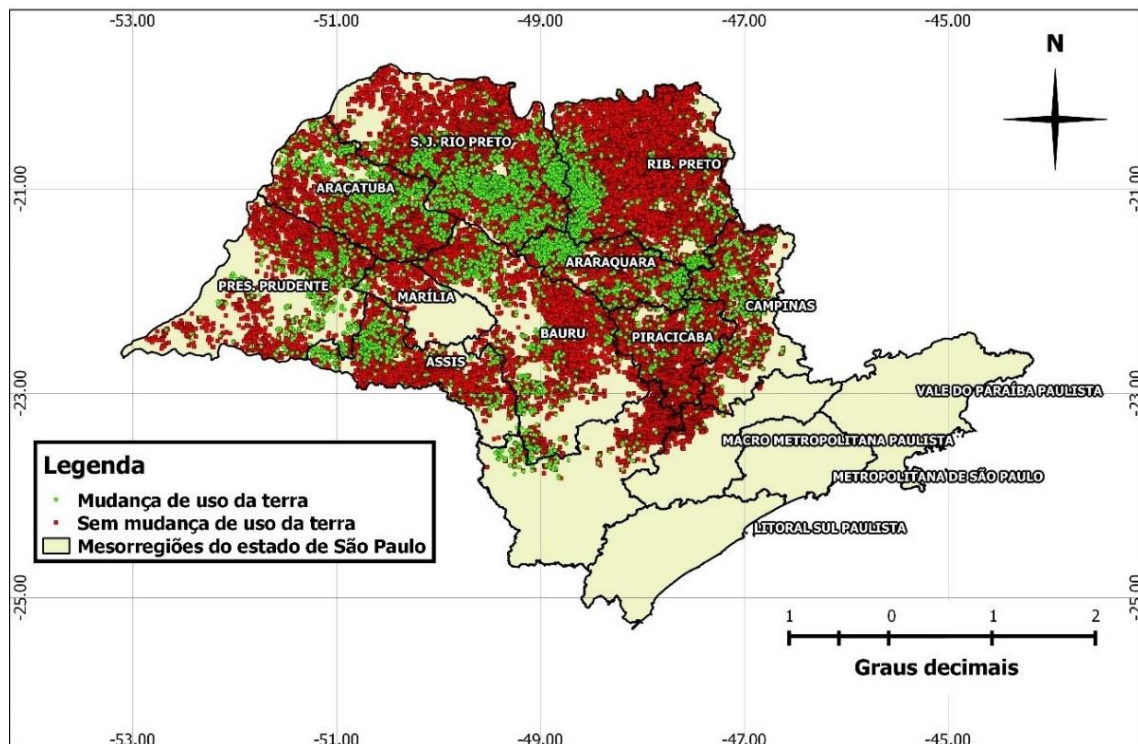


Figura 2. Mudança de uso da terra nos pontos de referência na safra 2002-2003.

Resultado da análise de tendência nos pontos de referência na safra 2008-2009

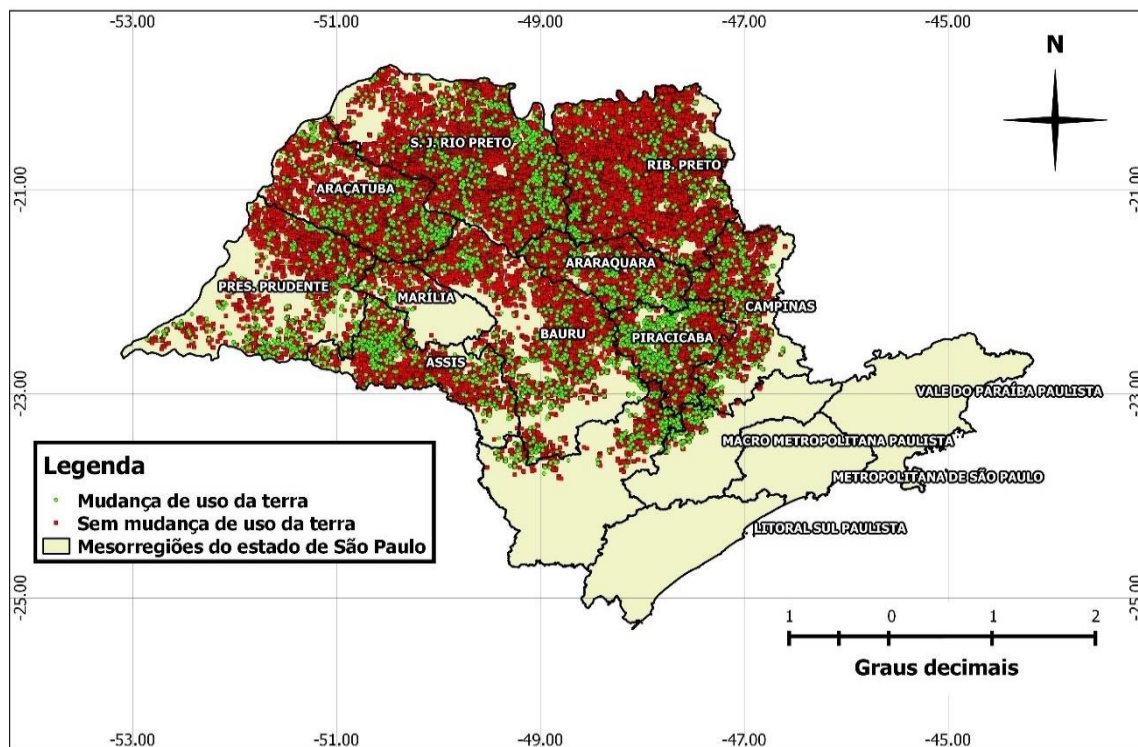


Figura 3. Mudança de uso da terra nos pontos de referência na safra 2008-2009.

Na Figura 4, 59% dos pontos de referência não apresentaram mudança de uso da terra, ou seja, foram cultivados com cana-de-açúcar durante todo o período. Estes pontos compreendem regiões tradicionais da produção canieira como Ribeirão Preto, Araraquara,

Assis, São José do Rio Preto, Piracicaba, Bauru e Marília. Por outro lado, 29% dos pontos indicavam áreas onde houve uma mudança significativa no uso da terra durante todo o período (pontos em verde na Figura 4). Esta situação pode ter ocorrido por dois motivos: (1) essas áreas já eram cultivadas com cana-de-açúcar e passaram por reforma de canavial em algum momento entre os anos de 2001 e 2010, (2) nestas áreas não havia cana-de-açúcar na safra 2001-2002, mas, em algum momento, elas passaram a ser utilizadas com cultura canavieira, portanto classificando-as como áreas de expansão. Em 12% dos pontos de referência (pontos em azul da Figura 4) observou-se a maior dinâmica na mudança de uso da terra. Neste caso, três hipóteses foram levantadas: (1) áreas de expansão que podem ter tido mais de um tipo de cultivo antes do plantio da cana-de-açúcar, (2) áreas onde a cana-de-açúcar foi plantada após a safra 2001-2002 e sofreu reforma antes da safra 2009-2010 ou (3) áreas tradicionais de cana-de-açúcar que sofreram mais de uma renovação entre as safras de 2001-2002 e 2009-2010. Na Figura 4, cada célula da malha representa uma quantidade variável de pontos, onde a cor da célula vai indicar mudança na presença de pelo menos um ponto que apresente mudança significativa.

Dinâmica da mudança nos pontos de referência no período 2001-2010

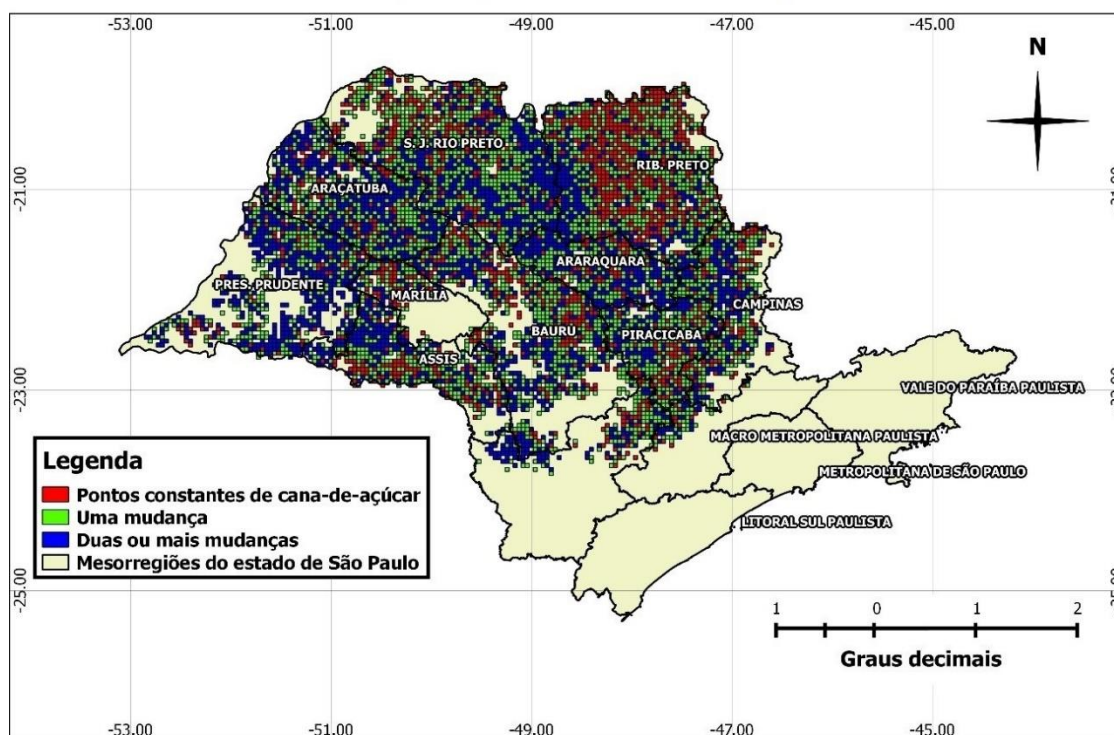


Figura 4. Quantidade de mudanças significativas observadas nos pontos cultivados com cana-de-açúcar entre 2001-2010.

A Figura 5 mostra a tendência ao longo do período estudado. Áreas onde as séries apresentaram tendência positiva significam que os valores de NDVI cresceram ao longo do período estudado e áreas onde as séries apresentaram tendência negativa tiveram os valores de NDVI reduzidos ao longo do período estudado.

De acordo com Novo et al., (2010), Rudorff et al., (2010) e Wilkinson & Herrera (2010), a expansão da cana-de-açúcar ocorre principalmente sobre áreas de pastagens. Nas safras 2008-2009 e 2009-2010, a maior expansão da cana-de-açúcar ocorreu sobre áreas de pastagem, e representaram, respectivamente, 82,8% e 79,4% do total sobre outras culturas (MAPA, 2012; MAPA, 2010).

Tipo de tendência nos pontos de referência no período 2001-2010

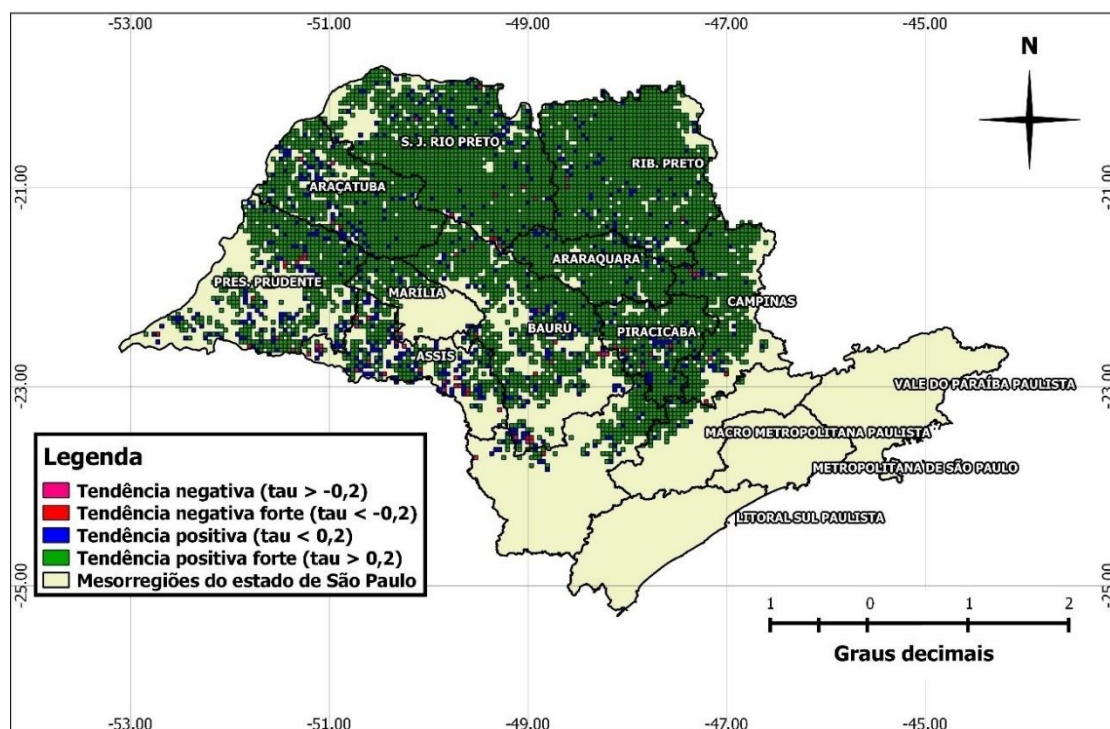


Figura 5. Tipo de tendência observada nas áreas canaveiras de referência entre 2001-2010.

O acompanhamento por safra baseado em dados de sensoriamento remoto permitiu obter informações sobre a produção anual de cana-de-açúcar no estado de São Paulo com maior rapidez comparado a métodos convencionais como a avaliação em campo. Isto porque todo o processamento dos dados é feito de maneira automatizada e a análise dos resultados é facilitada com a espacialização dos resultados obtidos.

4. Conclusões

Este artigo apresentou um modelo baseado na técnica de Mann-Kendall para monitorar a mudança de uso da terra e a expansão da cana-de-açúcar utilizando séries temporais de NDVI extraídas de imagens do satélite AVHRR/NOAA. Uma das contribuições do trabalho foi mostrar que séries temporais de imagens de satélite efetivamente podem ser utilizadas no monitoramento da mudança de uso da terra, expansão e detecção de tipos de plantio da cana-de-açúcar.

Como indicado pelos resultados apresentados, a cana-de-açúcar tem expandido em direção ao oeste do estado de São Paulo. De forma complementar, a análise das séries temporais indicou uma área maior com tendência positiva forte, ou seja, áreas em que valores de NDVI cresceram ao longo do período estudado. Estudos futuros utilizando técnicas de sensoriamento remoto poderão contribuir para avaliar sobre qual tipo de cobertura a cana-de-açúcar vem avançando e em que condições tem se dado esta expansão.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Embrapa, CNPq pelo financiamento da pesquisa, ao Cepagri-Unicamp pelas imagens NOAA.

Referências bibliográficas

Adami, M.; Rudorff, B.F.T.; Freitas, R.M.; Aguiar, D.A.; Sugawara, L.M.; Mello, M.P. **remote sensing time series to evaluate direct land use change of recent expanded sugarcane crop in brazil**. Sustainability 2012, 4, 574-585.

- Bezerra, Joel M. et al. **Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte**, Brasil. Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande, v.18, n.1, Janeiro. 2014.
- Bredemeier, Christian et al. **Estimativa do potencial produtivo em trigo utilizando sensor óptico ativo para adubação nitrogenada em taxa variável**. Cienc. Rural, Santa Maria, v. 43, n. 7, July 2013
- Castanho, R. B. Teodoro, M. A. **O uso de geotecnologias no estudo da produção agropecuária**. Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium, v. 1, p. 136-153, 2010.
- 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. Gallego, F.J. **Remote sensing and land cover area estimation**. International Journal of Remote Sensing, v.25, p.3019-3047, 2004.
- Gusso, Anibal. **Integração de imagens NOAA/AVHRR: rede de cooperação para monitoramento nacional da safra de soja**. Rev. Ceres, Viçosa, v. 60, n. 2, Apr. 2013.
- 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.
- Helsel, D.R. and R. M. Hirsch, 2002. **Statistical Methods in Water Resources Techniques of Water Resources Investigations**, Book 4, chapter A3. U.S. Geological Survey. 522 pages.
- Hirsch, R.M., Slack, J.R. and Smith, R.A. (1982), **Techniques for trend assessment for monthly water quality data**. Water Resources Research 18, 107-121.
- Kendall, M. G. **Rank Correlation Methods**, 4th Edition. London: Charles Griffin, 1975. 202 p.
- Mann, H. B. **Nonparametric tests against trends**. Econometrica, 1945. Cap. 13, p. 245-259.
- Manzatto, C. V. (org.). **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 55p.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Perfil do setor do açúcar e do álcool no Brasil**. Ano: 2012.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Perfil do setor do açúcar e do álcool no Brasil**. Ano: 2010.
- Novo, A. L.; Jansen, K.; Slingerland, M.; Giller, K. **Biofuel, dairy production and beef in Brazil: Competing claims on land use in São Paulo State**. Journal of Peasant Studies, v.37, p.769-792, 2010.
- Rosa, Paulo Afonso et al. **Dinâmica da floresta do Parque Estadual do Turvo com índices de vegetação**. Floresta Ambiental, Seropédica, v. 20, n. 4, Dec. 2013.
- 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.
- 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.
- Seiler, R.; Gloaguen, R. **(Non-) linear phenological trends in an ecosystem with multiple growing seasons derive from AVHRR-NDVI time series**. In: IEEE International 174 Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2012, Munich. Proceedings... IEEE, 2012, p. 6789-6792.
- União Da Agroindústria Canavieira De São Paulo (UNICA). **Produção da cana-de-açúcar no Brasil**. 2014.
- Wilkinson, J.; Herrera, S. **Biofuels in Brazil: Debates and impacts**. Journal of Peasant Studies, v.37, p.749-768, 2010.