

# Uso de imagens de satélites para detecção de queimadas nas áreas canavieiras de São Paulo

*Orientador: Dr. Jurandir Zullo Junior*

*Coorientador: Prof. Dr. Guilherme V. Nunes Ludwig*

*Candidato: Wesley Ricardo da Silva Satelis*

Projeto submetido ao PIBIC (Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica), processo seletivo 2019 (Edital IC Nº 01/2019).

## Resumo

Os dados de sensoriamento remoto estão mais acessíveis hoje em dia e existem tecnologias adequadas para receber, distribuir, tratar e processar longas séries de imagens de satélites (STIS), que podem ser utilizadas para melhorar métodos tradicionais de monitoramento e previsão de safras agrícolas. No Brasil, a cana-de-açúcar é cultivada em grandes campos e é a principal cultura agrícola utilizada para produzir etanol, biocombustível com potenciais benefícios para o meio ambiente como uma maneira de mitigar emissões de gases de efeito estufa. A intensificação da colheita mecanizada de cana-de-açúcar será inevitável, devido à evolução tecnológica, o que possibilitará um maior ganho ambiental e resultará, principalmente, em menor emissão de poluentes atmosféricos e na melhoria da qualidade do solo. Desde o início do Protocolo Agroambiental do Setor Sucroenergético em São Paulo, a colheita mecanizada ocorre e houve uma redução de mais de 90% da área de queima de cana-de-açúcar autorizada. Nesse contexto, o objetivo do projeto é monitorar a colheita de cana-de-açúcar da safra 2019/2020, por meio de imagens do satélite GOES-16, quantificando as áreas colhidas com queima e sem queima de cana-de-açúcar. O banco de imagens do satélite GOES-16 do Cepagri será utilizado para monitorar as áreas de plantio de cana-de-açúcar do estado de São Paulo e verificar as áreas de colheita com queima da cultura. A análise dos dados será feita utilizando imagens de NDVI diárias e imagens de focos de incêndios das áreas de plantio da cultura, no período de abril a setembro de 2019, que corresponde ao período de colheita. Os dados de satélite serão modelados como séries temporais nas regiões de plantio a cada hora, especialmente dependentes entre si. Esses modelos levarão em conta os valores de intensidade do NDVI e de focos de incêndio.

# 1. Introdução

A cultura da cana-de-açúcar possui função cada vez mais estratégica na economia do país devido ao interesse em conciliar as preocupações relacionadas ao meio ambiente e a utilização dos combustíveis fósseis, que considera o balanço do lançamento de carbono na atmosfera e seus danosos efeitos no aquecimento global. Assim, o segmento industrial brasileiro, quando produz o etanol, oferta para o mercado um combustível que não afeta a camada de ozônio e é obtido a partir de uma fonte renovável.

Com propósito de redução da emissão de gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera, vem ocorrendo a eliminação gradativa do emprego de fogo para despalha da cana-de-açúcar, nas lavouras do estado de São Paulo. A mecanização da colheita sem queima prévia evita a emissão de gases de efeito estufa e beneficia o solo, pois deixa sobre ele a palha que antes era queimada, protegendo-o contra erosão e contribuindo para o aumento da sua fertilidade e teor de matéria orgânica (CONAB, 2018). Desde o início do Protocolo Agroambiental do Setor Sucroenergético em São Paulo, a colheita mecanizada ocorre, na maior parte das vezes, sem o uso da prática de queima das lavouras, com uma redução de mais de 90% da área de queima de cana-de-açúcar autorizada (Figura 1).

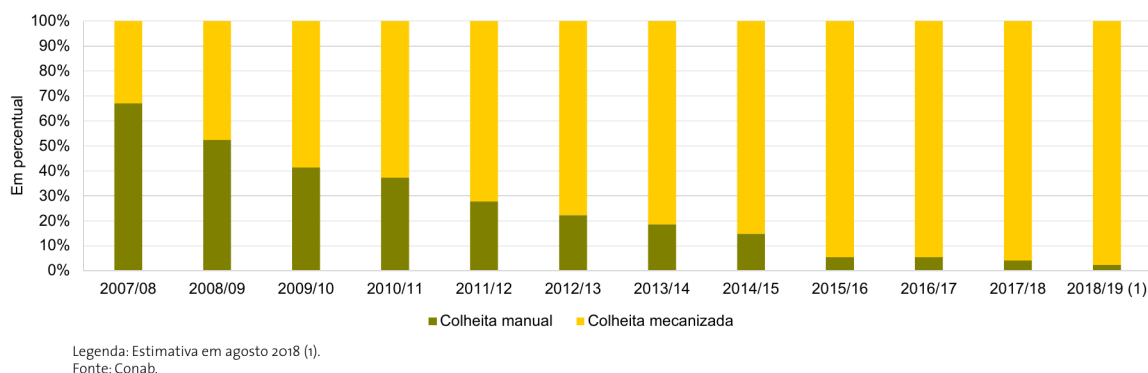


Figura 1: Percentual de colheita manual e mecanizada em São Paulo de 2007 a 2018.

O mapeamento e monitoramento das lavouras de cana-de-açúcar, com e sem a prática da queima da palha, torna-se importante para avaliar a eficácia do protocolo de intenções que a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA-SP) e a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA) assinaram, em junho de 2007. Dessa forma, a utilização de dados de sensoriamento remoto é importante para um país com grandes dimensões continentais e diversidade de usos da terra. NOVAES et al. (2011) e MELLO (2009) afirmam que técnicas de análise espacial com imagens de satélites são essenciais para o mapeamento e monitoramento da colheita da cana-de-açúcar com queima da palha. RUDORFF et al. (2010) e GONÇALVES et al. (2012a e 2012b) confirmaram que imagens de satélite são eficientes para auxiliar a avaliação de características importantes do cultivo da cana-de-açúcar, proporcionando resultados relevantes para o debate sobre a produção sustentável de etanol. ADAMI et al. (2012), avaliando a precisão do mapeamento temático da cana-de-açúcar por meio de imagens de satélites, chegaram a estimativas precisas das áreas de cana-de-açúcar para fins de estatísticas agrícolas para o monitoramento da expansão de cultura no país.

Neste contexto, a utilização de imagens de satélites é viável devido à diversidade de sistemas sensores disponíveis atualmente, com as mais variadas resoluções e periodicidade adequadas para utilização em aplicações agrícolas, com baixo custo de aquisição e de processamento das imagens. Existem vários satélites comerciais de observação da Terra de interesse da agricultura, com diferentes resoluções espaciais, temporais, espectrais e radiométricas. Dentre eles, destacam-se os de alta resolução espacial (Ikonos, Quick-Bird, Geoeye e Rapideye), os de média resolução espacial (Landsat, Spot e CBERS), e os de baixa resolução espacial, porém com alta periodicidade temporal (AVHRR/NOAA, MODIS, CBERS/WFI e GOES-16). As séries de satélites AVHRR/NOAA, MetOp e GOES, embora sejam destinadas primeiramente para fins meteorológicos, também são importantes na proposição de soluções inovadoras e tecnologicamente viáveis para auxiliar o monitoramento e previsão de safras nacionais, a partir do monitoramento regional da vegetação natural e de áreas agrícolas (GONÇALVES et al. 2013).

O satélite meteorológico GOES-16 apresenta características que permitem sua utilização em estudos terrestres, com resolução espacial próxima de um quilômetro e disponibilidade de canais nas bandas correspondentes ao vermelho e infravermelho próximo, úteis em estudos de cobertura vegetal. Devido à sua alta resolução temporal e garantia de cobertura global, é elevada a possibilidade de obtenção de imagens em boas condições, isto é, com pouca nebulosidade e baixa inclinação de visada, ao longo do ciclo de desenvolvimento de uma cultura agrícola comercial.

O GOES-16 possui muitas vantagens sobre os sistemas atuais, principalmente no que se refere à resolução temporal (uma imagem a cada 10 minutos) e à capacidade de geração de mais de 50 produtos que podem ser aplicados a várias áreas do conhecimento. Além da utilização para previsão e monitoramento do tempo e do clima, eles podem ser utilizados em várias aplicações ambientais, tais como, mapeamento da vegetação por índices de vegetação, detecção de incêndios, monitoramento da concentração de ozônio e medições de temperatura da superfície do mar. A utilização de séries temporais de imagens de índices de vegetação e detecção de incêndios pode ser de grande utilidade no desenvolvimento de métodos de monitoramento e mapeamento da colheita com queima e sem queima da cana-de-açúcar no país, pois são baseadas na detecção de mudanças do comportamento espaço-temporal.

## **2. Objetivo Geral**

O projeto tem, como objetivo geral, monitorar a colheita de cana-de-açúcar da safra 2019/2020, por meio de imagens do satélite GOES-16, quantificando as áreas colhidas com e sem queima.

## **3. Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos são: i) Analisar a variação dos valores do NDVI da cana-de-açúcar no estado de São Paulo no período de colheita da cultura; ii) Selecionar as áreas colhidas de cana-de-açúcar e verificar se houve ou não colheita por queima; iii) Quantificar a área colhida de cana-de-açúcar por queima e não queima.

## 4. Material e Métodos

### 4.1. Geoprocessamento

Para execução deste trabalho, serão utilizados dados oficiais de colheita da cana-de-açúcar no estado de São Paulo do IBGE, Conab e Única. Os dados adquiridos serão das áreas colhidas manualmente, com máquinas e com queima da safra 2019/2020. Os dados geoespaciais das áreas de plantio e colheita da cana-de-açúcar serão adquiridos no sistema Canasat/Inpe.

A Figura 2 apresenta as áreas de plantio de cana-de-açúcar do estado de São Paulo que serão utilizadas para verificar a colheita com queima da cultura, utilizando as imagens do satélite GOES-16. Desta maneira, serão selecionadas as imagens diárias do satélite GOES-16, recebidas e armazenadas no Cepagri/Unicamp. O processamento das imagens será feito utilizando as bandas 2 e 3 para o cálculo do NDVI diário e as bandas 2, 7, 14 e 15 para delimitar focos de incêndios nas áreas de plantio de cultura, no período de abril a setembro de 2019, que corresponde ao período de colheita da cultura.

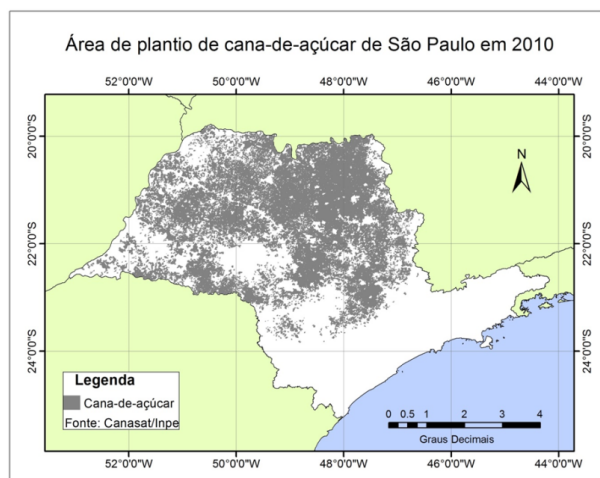


Figura 2: Área de plantio de cana-de-açúcar do estado de São Paulo.

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é o mais estudado e utilizado, definido por ROUSE et al. (1973) e dado por

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V}$$

onde,  $\rho_{IV}$  é o fator de refletância no infravermelho próximo ( $0.7 - 1.1\mu m$ ) e  $\rho_V$  no vermelho ( $0.7 - 1.1\mu m$ ).

Os valores do NDVI variam entre -1,0 e 1,0, sendo maior quanto maior for a diferença entre o fator de refletância no infravermelho próximo e no vermelho. Os valores próximos a zero correspondem a superfícies sem vegetação.

As imagens de NDVI serão processadas diariamente para o acompanhamento da cultura, sendo que se houver variação significativa desse índice de um dia para outro, será inferido

que houve colheita da cana-de-açúcar. Detectadas as áreas de colheita, as imagens de focos de incêndios serão processadas a cada hora para os dias em que houver variação do NDVI e verificadas a correlação entre as áreas colhidas e os focos de incêndios.

## 4.2. Metodologia estatística

Os dados de satélite podem ser modelados como séries temporais (observadas nas regiões de plantio a cada hora), espacialmente dependentes entre si. Seja, inicialmente, uma série individual correspondendo aos valores de intensidade de NDVI, denotada por

$$\{Y_t\}_{t=1,2,\dots},$$

em que  $t$  corresponde à  $t$ -ésima hora de medição após um tempo inicial  $t_0$ . A série  $Y_t$  pode ser modelada por um processo autoregressivo ou de média móvel (ARMA) (MORETTIN et al. 2006), ajustado por efeitos sazonais, como, por exemplo, a variação do dia para noite, mas, principalmente, incluindo um componente de ponto de mudança (AMINIKHANGHAHI et al. 2017), em que o regime estacionário da série temporal é alterado por um fenômeno cujo tempo e mudança de intensidades são desconhecidos – neste caso, a queimada. Por exemplo, um modelo ARMA( $p, q$ ) incluindo  $m$  possíveis pontos de mudança pode ser escrito como

$$Y_t = \mu + \sum_{i=1}^m \alpha_i \mathbf{1}\{t > t_i\} + \sum_{r=1}^p \rho_r Y_{t-r} + \varepsilon_t + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j},$$

com  $\sum_{i=1}^m \alpha_i = 0$ , onde  $\mu$  é a média do processo,  $\alpha_i$  é o efeito do  $i$ -ésimo ponto de mudança no período  $t_i$ ,  $i = 1, \dots, m$ , e  $Y_{t-r}$  corresponde ao índice NDVI medido em  $r$  intervalos de tempo no passado. Nota-se que o exemplo não inclui um **componete** para remover sazonalidade e efeitos do dia e noite, por exemplo.

O objetivo da modelagem é separar e identificar os efeitos da variabilidade de diversos componentes, inclusive o efeito da auto-correlação das séries. Entretanto, o interesse principal no modelo de pontos de mudança é identificar quantos pontos de mudança foram observados no histórico ( $m$ ), em quais momentos ( $t_1, t_2, \dots, t_m$ ) e qual a mudança resultante ( $\alpha_1, \dots, \alpha_m$ ). Serão utilizadas ferramentas computacionais disponíveis para análise de pontos de mudança individuais, sob perspectivas Bayesianas (KILLICK et al. 2014).

O segundo estágio da modelagem de pontos de mudança é considerar a informação espacial deles – isto é, a configuração de queimadas em uma região, e como a informação de séries temporais vizinhas pode ser incorporada para melhorar a qualidade de predição dos pontos de mudança. Uma visão geral da estatística espacial e espaço-temporal pode ser encontrada em CRESSIE (1993) e CRESSIE et al. (2011).

Na prática, a análise de séries temporais dependentes entre si é um problema bastante caro computacionalmente (GAMERMAN 2010). Uma estratégia comum é considerar o conjunto de pixels vizinhos como um processo Markoviano no reticulado, isto é, considerar a série temporal  $Y_t$  também indexada por um ponto espacial  $\mathbf{s}_0$  imerso no domínio com coordenadas normalizadas para coincidirem com o  $\mathbb{Z}^2$  (denotada por  $Y_{t,\mathbf{s}_0}$ ). Seja a vizinhança  $\mathbf{s}_0$  definida como sendo o conjunto de pontos  $V_0 = \{\mathbf{s} \in \mathbb{Z}^2 : 0 < \|\mathbf{s} - \mathbf{s}_0\|_1 \leq 1\}$ . Um processo

espaço-temporal condicionalmente auto-regressivo (CAR) é tal que  $Y_{t,s_0}$ , dado  $\{Y_{t,s}\}_{s \in V_0}$ , é independente de  $\{Y_{t,s}\}_{s \notin V_0}$  (BESAG 1974). Naturalmente, determinar o que é uma vizinhança apropriada e qual o impacto da escolha da vizinhança na estimação de pontos de mudança é um problema em aberto, cuja investigação também será objetivo deste projeto de pesquisa.

## 5. Cronograma de atividades

A Tabela 1 apresenta o cronograma das atividades que serão desenvolvidas no período de vigência do projeto, de 01 de agosto de 2019 a 31 de julho de 2020.

Tabela 1: Cronograma das atividades previstas

Etapa	Meses											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
1	x	x	x							x	x	x
2	x	x							x	x		
3	x	x	x									
4				x	x	x	x					
5							x					
6							x	x	x	x	x	
7										x	x	
8											x	x

As etapas referentes ao desenvolvimento do projeto encontram-se a seguir:

1. Revisão bibliográfica
2. Coleta de dados de cana-de-açúcar colhida (máquina e queima)
3. Coleta de imagens da época de colheita de cana-de-açúcar do satélite GOES-16
4. Processamento das imagens de NDVI e de focos de incêndio
5. Relatório parcial de atividades
6. Análise estatística dos dados e imagens adquiridos nos itens anteriores
7. Elaboração de artigo para XXVII Congresso de Iniciação Científica da UNICAMP
8. Relatório final de atividades

## 6. Referências

- ADAMI, M. P.; AGUIAR, M.; MELLO. 2012. “A Web Platform Development to Perform Thematic Accuracy Assessment of Sugarcane Mapping in South-Central Brazil.” *Remote Sensing* 4 (10): 3201–14.
- AMINIKHANGHAHI, D. J., S.; COOK. 2017. “A Survey of Methods for Time Series Change Point Detection.” *Knowledge and Information Systems* 51 (2): 339–67.
- BESAG, J. 1974. “Spatial Interaction and the Statistical Analysis of Lattice Systems.” *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)* 36 (2): 192–225.
- CONAB. 2019. “Cana-de-Açúcar: Acompanhamento Da Safra Brasileira: Cana-de-Açúcar – Safra 2018/19 - Terceiro Levantamento.” [www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana](http://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana).
- CRESSIE, C. K., N.; WIKLE. 2011. *Statistics for Spatio-Temporal Data*. New York: Wiley.
- CRESSIE, N. 1993. *Statistics for Spatial Data, 2nd Edition*. New York: Wiley.
- GAMERMAN, D. 2010. “Dynamic Spatial Models Including Spatial Time Series.” *Handbook of Spatial Statistics*, 437–48.
- GONÇALVES, J.; COLTRI, R. R. V.; ZULLO JUNIOR. n.d. “Relação Entre O índice Evi E Dados de Precipitação Nas áreas de Plantio de Cana-de-Açúcar Na Região Central Do Brasil.” 4º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal - Geopantanal, 2012b, Bonito, MS.: Anais - Geopantanal.
- GONÇALVES, J.; MARQUEZINI, R. R. V.; ZULLO JUNIOR. 2013. “Análise Da Relação Entre Os Perfis de Ndzi Obtidos Dos Sensores Avhrr/Noaa E Modis Nas áreas Produtoras de Cana-de-Açúcar Em São Paulo.” XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2013, Foz do Iguaçu, PR. Anais - SBSR: Anais - SBSR.
- GONÇALVES, P. P.; ZULLO JUNIOR, R. R. V.; COLTRI. n.d. “EVI’S Estimation to Improve the Monitoring of Sugarcane Using Trmm Satellite Data.” IEEE Geoscience; Remote Sensing Symposium (IGARSS 2012), 2012a, Trento, Italia.
- KILLICK, I., R.; ECKLEY. 2014. “Changepoint: An R Package for Changepoint Analysis.” *Journal of Statistical Software* 58 (3): 1–19.
- MELLO, M. P. 2009. “Classificação Espectro-Temporal de Imagens Orbitais Para O Mapeamento Da Colheita Da Cana-de-Açúcar Com Queima Da Palha.” 130.
- MORETTIN, C., P. A.; TOLOI. 2006. *Análise de Séries Temporais*. Blucher.
- NOVAES, B. F. T.; ALMEIDA, M. R.; RUDORFF. 2011. “Análise Espacial Da Redução Da Queima Na Colheita Da Cana-de-Açúcar: Perspectivas Futuras Ao Cumprimento Do Protocolo Agroambiental.” 31 (3).
- ROUSE, R. H.; SCHELL, J. W.; HAAS. 1973. “Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with Ert.” 1: 309–17.
- RUDORFF, D. A. D.; SILVA, B. F. T.; AGUIAR. 2010. “Studies on the Rapid Expansion

of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data.” 2: 1057–76.