

## ÍNDICE DE VEGETAÇÃO ESPECTRAL PARA ESTUDO DO DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA E NÃO IRRIGADA

Regiane de Carvalho Bispo<sup>1</sup>, Fernando Braz Tangerino Hernandez<sup>2</sup>, Ivo Zution Gonçalves<sup>3</sup>,  
Christopher Michael Usher Neale<sup>4</sup>, Antônio Heriberto de Castro Teixeira<sup>5</sup>

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento vegetativo, relacionando com a soma térmica, através de um índice de vegetação a partir de imagens do satélite Landsat 8 (Operational Land Imager – OLI) para a cultura da cana-de-açúcar irrigada e não irrigada. O estudo foi realizado em área comercial do município de Andradina, Estado de São Paulo. Foram utilizadas imagens multiespectrais de satélite para obtenção do índice de vegetação SAVI, também foi determinado o graus-dias acumulados a partir dos dados de uma estação meteorológica utilizando temperatura máxima e mínima diárias durante a safra de 2017/2018. Os maiores valores de SAVI encontrados para cana-de-açúcar tanto irrigada como a não irrigada foi de 0,61, com o R<sup>2</sup> de 0,97 e 0,89, respectivamente. Sendo assim, o SAVI apresentou bons resultados e, ainda similar para o monitoramento do desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar para ambas as áreas (irrigadas e não irrigadas), durante os estágios fenológicos, com exceção dos estágios de desenvolvimento de colmos e maturação, devido principalmente as condições climáticas e manejo.

**PALAVRAS-CHAVE:** SAVI, sensoriamento remoto, graus-dias.

## SPECTRAL VEGETATION INDEX FOR STUDY OF VEGETATIVE DEVELOPMENT OF IRRIGATED AND NON IRRIGATED SUGARCANE

**ABSTRACT:** This research aimed to evaluate the vegetative development, relating to the accumulated heat, through a vegetation index from Landsat 8 (Operational Land Imager -

<sup>1</sup> Doutoranda em Irrigação e Drenagem, Faculdade de Ciências Agronômica, UNESP, CEP 18610-034, Botucatu, SP. Fone (18) 3743-1959. e-mail: regianecarvalhoks@gmail.com

<sup>2</sup> Prof. Titular, Depto de Fitossanidade, Engenharia rural e Solos, UNESP, Ilha Solteira, SP.

<sup>3</sup> Pós-doutorando, Daugherty Water for Food Global Institute, UNL, Lincoln, NE, USA.

<sup>4</sup> Prof. Doutor, Daugherty Water for Food Global Institute, UNL, Lincoln, NE, USA.

<sup>5</sup> Prof. Doutor, Universidade Federal de Sergipe, Aracajú, SE.

OLI) satellite images for irrigated and non-irrigated sugarcane. The study was conducted in a commercial area of Andradina, São Paulo. Multispectral satellite images were used to obtain the SAVI vegetation index, it was also determined the accumulated degree days from data from a weather station using daily maximum and minimum temperature during the 2017/2018 crop. The highest SAVI values found for both irrigated and non-irrigated sugarcane were 0.61, with  $R^2$  of 0.97 and 0.89, respectively. Thus, SAVI presented good results and, still similar to the monitoring of sugarcane vegetative development for both areas (irrigated and non-irrigated), during the phenological stages, except for the stages of stem development and maturation, mainly due to climatic conditions and management.

**KEYWORDS:** SAVI, remote sensing, degree-days.

## INTRODUÇÃO

O cultivo da cana-de-açúcar apresenta-se com grande potencial para suplementação de energia, tanto no que diz respeito à produção de etanol, quanto à produção de energia elétrica por meio da queima do bagaço nas usinas. Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial, sendo o estado de São Paulo responsável por 53,6% de toda produção nacional onde nesse cenário, tem se destacado a região do Noroeste Paulista (CONAB, 2019). No entanto, o setor vem sofrendo nos últimos anos e uma das causas são os fatores climáticos, tem gerado resultados negativos para o setor.

O sensoriamento remoto surge como instrumento de elevado potencial, tanto na coleta como no processamento de dados referentes às áreas agrícolas (Motomiya et al., 2012). Os dados adquiridos através dele, tais como imagens de satélite em diferentes níveis de resolução espacial e temporal tem sido uma ferramenta útil para monitoramento das culturas principalmente em grandes áreas. Por meio de técnicas de sensoriamento remoto é possível adquirir informações relacionadas com o uso e ocupação do solo, estágios fenológicos das culturas agrícolas, estresses hídricos e nutricionais (Rudorff e Moreira, 2002), assim como fornecer informações sobre a estimativa de evapotranspiração das plantas (Jensen, 2009).

Um dos métodos importantes nas para análise de áreas agrícolas é a obtenção dos índices de vegetação (VI). Os cálculos dos VI, que são medidas radiométricas adimensionais, foram criados para distinguir as informações espectrais da vegetação em relação as demais superfícies da terra (Oliveira et al., 2009) e indicar a quantidade e qualidade da vegetação em uma área imageada (Jensen, 2009). Entre os diversos índices propostos pode-se destacar o

*Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) (Huete, 1998), que tem o objetivo de minimizar os efeitos do solo (principalmente em áreas irrigadas) no sinal da vegetação através de uma constante de ajuste do solo (Rêgo et al., 2012). Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi construir o perfil, relacionando com os graus-dias acumulado, do índice SAVI a partir de imagens do satélite Landsat 8 e analisar o comportamento do VI no desenvolvimento vegetativo da cultura da cana-de-açúcar irrigada e não irrigada.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado em uma área comercial de cana-de-açúcar do município de Andradina, Estado de São Paulo, entre os meses de Junho de 2017 e Agosto de 2018, tendo como coordenadas geográficas latitude 20° 43' 43,6" S; longitude 51° 16' 30,3" W e altitude 360 m. O campo de produção de cana-de-açúcar deste estudo é cultivado com as variedades RB96 – 6928 e CTC 4, em Latossolo Vermelho, a área que recebe irrigação é por gotejamento subsuperficial, com gotejadores enterrados a 0,30 cm da superfície do solo.

Foram utilizadas imagens multiespectrais do sensor Operational Land Imager – OLI, anexado ao satélite Landsat-8, com resolução espacial de 30 metros e temporal de 16 dias. As imagens foram adquiridas através de uma parceria da NASA (National Aeronautics and Space Administration) e USGS (United States Geological Survey), disponível gratuitamente on-line (<https://glovis.usgs.gov/app#>). As imagens foram baixadas em nível-2, com reflectância da superfície e livre de nuvens sobre a área de estudo. As imagens referentes à área de estudo estão referenciadas nas órbitas 222 e 223 ponto 74, as mesmas foram processadas no ArcGIS 10.4.1.

Foi realizada a operação algébrica entre as bandas para obtenção dos índices de vegetação SAVI, conforme a seguinte equação:

$$SAVI = \frac{(1 + L)(\rho_5 - \rho_4)}{(L + \rho_5 + \rho_4)} \quad (1)$$

Onde o L é uma constante denominada de fator de ajuste do índice SAVI, igual a 0,5.  $\rho_{4,5}$  são as reflectâncias das superfícies, para as bandas utilizadas do satélite Landsat-8.

Foi calculado também os graus-dias, como descrito a seguir:

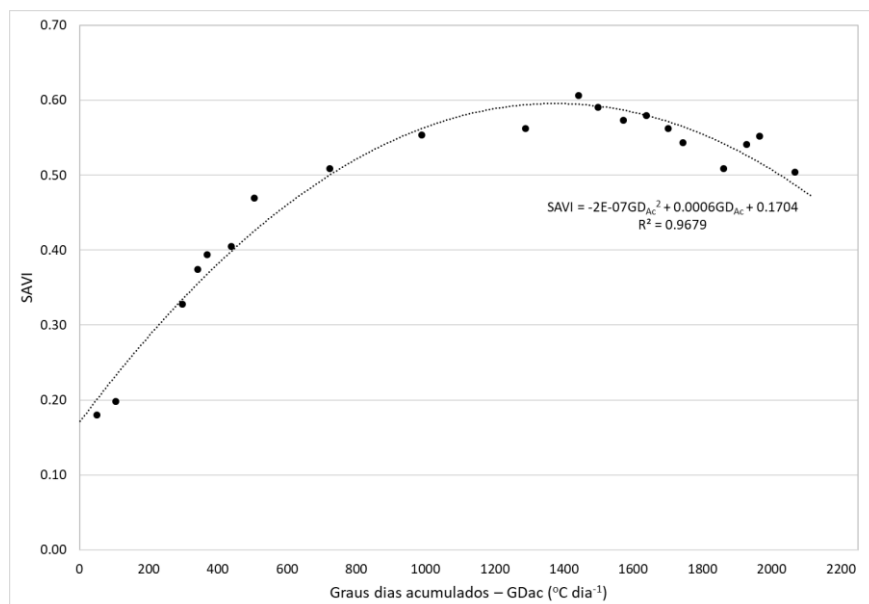
$$GD = \frac{TM + Tm}{2} - Tb \quad (2)$$

Onde GD é o graus-dia em °C; TM é a temperatura máxima do dia em °C; Tm é a temperatura mínima do dia em °C; Tb é a temperatura basal igual a 18 °C, de acordo com Doorembos e Kassan (1979). Outros estudos também têm fixado a temperatura basal da cana-de-açúcar entre 8 e 18°C (Ebrahim et al., 1998). Os dados de temperatura foram obtidos pela Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista e acessados através do Canal Clima da UNESP Ilha Solteira (<http://clima.feis.unesp.br>) a partir da Estação Itapura.

Os dados foram submetidos à análise regressão quadrática, de modo que o modelo escolhido foi aquele que melhor se ajustou aos dados obtidos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 1, observa-se que para cana-de-açúcar irrigada o valor máximo de SAVI foi 0,61 nos 1442 graus dias acumulados, sendo correspondente aos 239 dias após a colheita, entre as fases fenológicas de crescimento do colmo e maturação. Silva et al. (2018), em estudos avaliando o desenvolvimento fenológico da cana-de-açúcar, encontraram o maior valor de SAVI entre a fase de transição do desenvolvimento dos colmos e maturação dos colmos. O valor médio na fase de maturação dos colmos foi de 0,55, o maior encontrado durante o ciclo da cultura. Frasson, et al. (2007), ao analisarem a variabilidade temporal do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), um outro índice vegetativo, em variedades de cana-de-açúcar observaram valores maiores ao 120 e 150 dias, sendo na fase de crescimento de colmo.



**Figura 1.** Relação SAVI e graus dias acumulados para cana-de-açúcar irrigada.

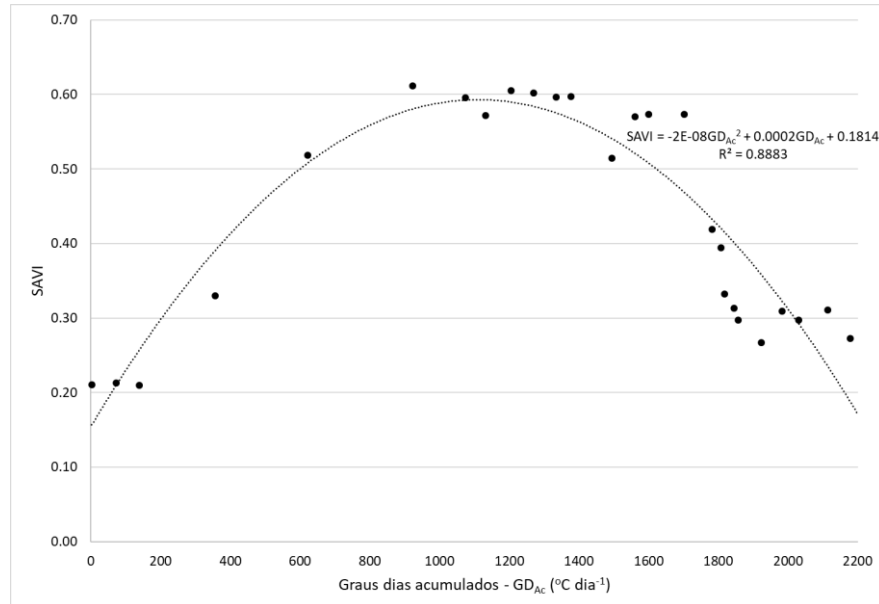
Ainda na figura 1, nota-se que os menores valores de SAVI estão na fase inicial, de emergência e brotação. Os valores de SAVI voltam a decrescer a partir dos 1600 graus dias acumulados, aproximadamente, chegando a 0,50. Isso ocorre quando a cultura se encontrava na fase de maturação do colmo (corte da irrigação), sendo essa fase responsável por amarelecimento e conseqüentemente seca das folhas que se encontram na altura mediana da planta, indicando que já está sendo depositado açúcar nessa região, diminuindo assim a reflectância no comprimento de onda do vermelho próximo e aumento do vermelho visível, conseqüentemente reduzindo SAVI e, por fim, a taxa fotossintética das plantas

Na figura 2, são apresentados os dados da relação SAVI e Graus dias acumulados para cana-de-açúcar não irrigada, os dados iniciais de SAVI para a área irrigada e não irrigada são similares, aproximadamente 0,20. O valor máximo encontrado igualou ao da área irrigada, SAVI de 0,61. Entretanto, na fase de maturação o declínio ocorreu aos 1782 graus dias acumulados chegando a valores mínimos de índice SAVI 0,27. Podemos ainda observar, maior variação entre os dados com um  $R^2$  igual 0,88. Essa variação pode ser devida as condições e manejo que a área foi submetida.

Esteves et al., (2012) avaliaram as variações do albedo, NDVI e SAVI durante um ciclo da cana-de-açúcar no Norte Fluminense, identificaram durante o período de crescimento vegetativo um breve período de baixa disponibilidade hídrica em razão de baixas precipitações na região, e conseqüentemente, decréscimo dos valores médios do SAVI. Segundo Inman-Bamber (2004) a necessidade hídrica máxima ocorre durante a fase de crescimento e perfilhamento, sendo nessa fase indispensável o suprimento hídrico por irrigação ou chuva. Ainda de acordo com Bispo et al. (2017) em estudo para determinação da estimativa do consumo relativo de água para cana-de-açúcar na região do Noroeste Paulista, a cultura da cana apresenta menores riscos de perdas de produtividade por deficiência hídrica, nas fase brotação, entretanto nas de perfilhamento e crescimento do colmo, é necessário utilização de irrigação.

Na cana-de-açúcar irrigada e não irrigada na fase de maior demanda hídrica, crescimento de colmo onde encontrou-se valores de SAVI similares nas duas condições, isso devido a ocorrência de chuvas na região, assim uniformizando o armazenamento de água no solo nas duas áreas estudadas. Para Almeida & Fontana, em pesquisa avaliando índices de vegetação em diferentes manejos na cultura da soja, a tendência foi de os tratamentos irrigados apresentarem valores maiores de índices vegetativos, quando comparados aos tratamentos não irrigados. Este tipo de resposta espectral é esperado, visto áreas irrigadas

tendem a apresentar maior vigor vegetativo devido as maiores trocas gasosas entre as folhas e a atmosfera, consequentemente maior absorção do vermelho visível para o processo fotossintético, demonstrando comportamento mais saudável.



**Figura 2.** Relação SAVI e Graus dias acumulados para cana-de-açúcar não irrigada

## CONCLUSÕES

O índice de vegetação SAVI se mostrou um bom índice para monitoramento do desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar. Para cana-de-açúcar irrigada e não irrigada a curva teve um comportamento similar durante o ciclo, diferenciando-se apenas entre as fases de desenvolvimento de colmos e maturação, isso pode ser devido as condições climáticas e manejo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, T. S., FONTANA, D. S. Utilização de Índices de Vegetação da Diferenciação de Condições de Manejo da Cultura Da Soja. In: XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. **Anais**, Belo Horizonte: EMBRAPA. 2009.

BISPO, R. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; TEIXEIRA, A. H. C. Balanço hídrico e estimativa do consumo relativo de água da cultura da cana-de-açúcar na região Noroeste Paulista. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, IRRIGA e INOVAGRI, v.1, n.1, p. 94-101, set. 2017.

CANAL CLIMA da UNESP Ilha Solteira: área de hidráulica e irrigação. Ilha Solteira: UNESP, 2019. Disponível em: <<http://clima.feis.unesp.br>>. Acesso em: 26 de julho 2019.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: Cana-de-açúcar. Safra 2018/2019. Segundo levantamento, Brasília, p. 1-65, agosto 2019.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. FAO, Yield response to water. FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33. Rome, 1979. 193p.

EBRAHIM, M. K.; ZINGSHEIM, O.; EL-SHOUBAGY, M. N.; MOORE P. H.; KOMOR E. Growth and sugar storage in sugarcane grown at temperatures below and above optimum. **Journal of Plant Physiology**, v. 153 p. 593-602. Marc. 1998.

ESTEVES, B. S.; SOUSA, E. F.; MENDONÇA, J. C.; MUNIZ, R. A.; SILVA, R. M. Variações do albedo, NDVI e SAVI durante um ciclo da cana-de-açúcar no Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.4, p.663-670, 2012.

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 89, p. 107-122, Sept. 2004.

FRASSON, F. R., MOLIN, J.P., POVH, F. P., SALVI, J. V.; Comportamento temporal do NDVI Mensurado com sensor óptico ativo para diferentes variedades de cana-de-açúcar. **BioEng**, Campinas, 1 (3): 237-244, set/dez., 2007.

JENSEN, J. R. (1949) Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres / tradução José Carlos Neves Epiphany et al. São José dos Campos. SP. 2009.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, p. 295 – 309, 1988.

MOTOMIYA, A. V. A., MOLIN J. P., MOTOMIYA, W. R., BAILO, F. H. R. Mapeamento do índice de vegetação da diferença normalizada em lavoura de algodão. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 42, p. 112-118, 2012.

OLIVEIRA, T. H.; GALVÍNIO, J. D.; SILVA, J. S.; SILVA, C. A.V.; SANTIAGO, M. M.; MENEZES, J. B.; SILVA, H. A.; PIMENTEL, R. M. M. Avaliação da Cobertura Vegetal e do Albedo da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó com Imagens do Satélite Landsat 5. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, **Anais**, Natal: INPE, abril, p. 2865-2872, 2009.

RÊGO, S. C. A.; LIMA, P. P. S.; LIMA, M. N. S.; MONTEIRO, T. R. R. Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI e SAVI no município de São Domingos do Cariri-PB. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p. 1217-1229, 2012.

RUDORFF, B. F. T.; MOREIRA, M. A. Sensoriamento Remoto Aplicado a Agricultura, Capítulo 9. 2002, INPE, São José dos Campos. INPE-8984-PUD/62.

SILVA, T. L. L. F. DE A.; DORNELES, M. M.; BRITO, G. H. Series temporais do índice de vegetação savi em área convencional de cana-de-açúcar durante o ciclo da cana-soca em cultivo, utilizando imagens derivadas do satélite landsat 8 sensor oli. In: III Congresso Internacional de Pesquisa e Extensão, **Anais**, Goianésia: UniEvangélica, Janeiro, p. 2678-2680, 2018.