

Monitoramento do período de máximo crescimento vegetativo na cultura da cana-de-açúcar através da análise temporal dos Índices de Vegetação (IVs)

Anderson Antonio da Conceição Sartori¹

Victor Costa Leda¹

Vanessa Durante Polonio¹

Célia Regina Lopes Zimback¹

Universidade Estadual Paulista – UNESP/FCA

Caixa Postal 237 – 38807100 – Botucatu – SP, Brasil

sartori80@gmail.com, victorleda@gmail.com, van_polonio@hotmail.com,

czimback@gmail.com

Abstract. Modern agricultural production depends on close monitoring of crop conditions. Vegetation indices have been used in the characterization of agricultural areas, the determination and estimation of leaf area index, biomass and photosynthetic active radiation. This study aimed to analyze and interpret the temporal evolution of Vegetation Indices (VIs), referring to images captured by the Landsat-8, in an area with sugarcane during the 2013/2014 harvest. Analysis was related to period of maximum vegetative growth of the crop in the summer months of November and January, which is critical in determining the final productivity of sugarcane. The temporal analysis using vegetation indices (VIs) were calculated as indicators of the state of nitrogen, chlorophyll and vegetation vigor. The VIs was used: "Green" NDVI (chlorophyll content), RATIO (content accumulation of N leaf), Cigreen (total chlorophyll content) and Enhanced Vegetation Index (EVI) (biomass density). The results showed high values in targets with high density of the crop for both seasons. It was observed that there was an increase in field of indices and biomass, mainly in the central area of the field. The field of sugarcane studied, despite showing the same temporal trend in the VIs, introduces differences in spectral response and therefore may be stratified. The study showed that there is potential in using vegetation indices in characterizing the effect of the crop of sugarcane by offering to subsidize the crop forecasting.

Palavras-chave: vegetation indices, crop monitoring, temporal analysis, índice de vegetação, monitoramento agrícola, análise temporal.

1. Introdução

A importância do sensoriamento remoto na agricultura é delimitar e caracterizar zonas homogêneas de manejo para aperfeiçoar a gestão agrícola como adubação, irrigação ou outras operações agrotécnicas (Franzen et al., 2002; Yane et al., 2007; Benedetto et al., 2013). Modernas produções agrícolas dependem do monitoramento próximo do estado das culturas. Isto permite uma gestão eficiente dos recursos disponíveis para obter maior lucratividade com práticas agrícolas sustentáveis (Thenkabail et al., 2012).

Uma tecnologia muito utilizada na agricultura de precisão se baseia no conhecimento de como a vegetação processa a radiação eletromagnética, técnica esta realizada por meio do sensoriamento remoto (Ponzoni, 2001).

Os índices de vegetação têm sido utilizados no monitoramento de áreas agrícolas, na determinação e estimativa do índice de área foliar, biomassa e da radiação fotossintética ativa. Os avanços tecnológicos de sensores remotos permitem analisar, através de imagens de satélites, a distribuição espacial de áreas cultivadas, as possíveis modificações da cobertura vegetal em diversas épocas, possibilitando o monitoramento das áreas vegetadas (Lira et al., 2009).

A quantidade das folhas verdes da planta é uma variável chave usada pelos fisiologistas e modeladores de culturas para estimar cobertura vegetal, bem como o crescimento da cultura e previsão da produtividade. Estas folhas desempenham um papel importante em vários

processos biofísicos tais como a transpiração das plantas e as trocas de CO₂ (Thenkabail et al., 2012).

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas do mundo, cultivada em mais de 100 países, e representa uma importante fonte de mão de obra no meio rural. Apesar desta difusão mundial, cerca de 80% da produção mundial está concentrada em dez países. O Brasil e a Índia respondem, em conjunto, por pouco mais da metade da cana produzida mundialmente (Novacana).

No Brasil, a cana-de-açúcar é a terceira cultura anual em termos de ocupação de área, atrás da soja e do milho, devido, em particular, à excelente eficiência da conversão fotossintética da cana, que permite uma produtividade excepcional, em torno de 75 t/ha em média (Novacana).

Este trabalho objetivou em analisar e interpretar a evolução temporal dos índices de vegetação (IVs), relativos às imagens captadas pelo satélite Landsat-8, em área com cana-de-açúcar no município de São Manuel-São Paulo, durante a safra 2013/2014. A análise foi referente ao período de máximo crescimento vegetativo da cultura (parâmetros biofísicos e biomassa da vegetação). Portanto, essas características devem influenciar a resposta espectral do dossel e definir o rendimento final da cana-de-açúcar.

2. Material e Métodos

2.1 Área do estudo

A área de estudo está localizada no município de São Manuel, na Fazenda Boa Vista, cerca de 8 km do centro urbano em uma região central do estado de São Paulo.

O município de São Manuel encontra-se próximo às coordenadas de 22° 45' de latitude sul e 48° 30' de longitude a oeste de Greenwich. Sua altitude média é de 520 m, com as temperaturas médias mínimas e máximas, no verão, de 19 e 29 °C e, no inverno de 12 e 25 °C, respectivamente. O tipo climático predominante na região é o Cwa, de acordo com o critério de Köppen, caracterizado como clima tropical de altitude, com inverno seco e verão quente (Nascimento; Pereira, 1988).

2.2 Clima: chuva e temperatura

Dados climáticos de chuva e temperatura do ar, relativo ao ciclo da cana-de-açúcar 2013/2014 foram obtidos a partir das estações meteorológicas convencionais de superfície do Centro Integrado de Informação Agrometeorológica (CIIAGRO), localizado na cidade de São Manuel - São Paulo (Brasil).

Com a aquisição e plotagem dos dados meteorológicos de precipitação média mensal (mm) e temperatura do ar (°C) (Figura 1) foi possível inferir as possíveis influências sobre a cultura da cana.

As maiores precipitações mensais durante o período de estudo foram 188,0 mm e 152,2 mm em janeiro e fevereiro 2014, respectivamente, enquanto no inverno os meses de junho e agosto foram secos com 15,0 mm e 1,0 mm, respectivamente. A temperatura média durante os meses mais frio (maio-agosto) está entre 18.8 °C e 18.4 °C e entre 24.6 °C e 25.5 °C nos meses mais quentes (dezembro-fevereiro).

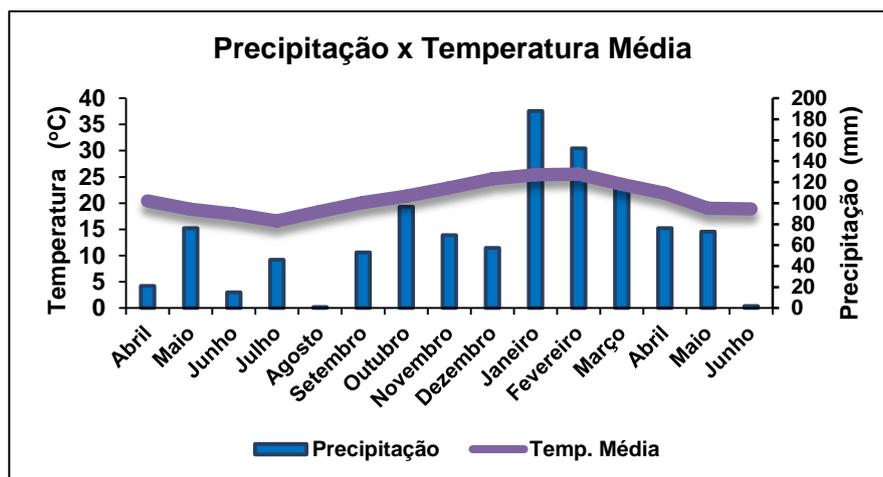


Figura 1. A precipitação média mensal (mm) e temperatura (°C) registrados pela estação agrometeorológica de São Manuel –SP, para o ciclo da cana-de-açúcar.

2.3 Imagem Landsat-8 e pré-processamento

A plataforma Landsat-8 opera com dois instrumentos, sendo o primeiro, Operational Land Imager (OLI), com nove bandas espectrais, incluindo a banda pancromática e o segundo Thermal Infrared Sensor (TIRS), com duas bandas termais (USGS, 2013). Foram utilizadas duas cenas: a primeira referente a 11 de novembro de 2013 e a segunda 30 janeiro de 2014, órbita/ponto 220/076, resolução radiométrica de 16bits, resolução temporal 16 dias, projeção da imagem UTM, datum WGS 84, (projeção cilíndrica) sendo necessário projetá-las para o hemisfério Sul.

As informações obtidas por meio de imagens orbitais têm influência tanto dos fatores da atmosfera quanto da superfície. Na maioria das aplicações o alvo de interesse é a superfície e o sinal da atmosfera pode ser considerado um ruído que atrapalha a obtenção de informações dos alvos (Antunes et al., 2003). Atualmente, existem inúmeros modelos para correção atmosférica. Neste estudo foi aplicado método de correção atmosférica DOS (Dark Object Subtraction) de Chavez (1988 e 1989). Para tanto, foi utilizada as informações contidas no metadata do Landsat-8.

2.4 Escolha das imagens Landsat-8 para o estudo

As imagens escolhidas foram no período de máximo crescimento da cultura (parâmetros biofísicos, biomassa da vegetação), nos meses de verão novembro e janeiro, o que é fundamental para determinar a produtividade final da cana-de-açúcar (Tabela 1).

Tabela 1. Estádios fenológicos do crescimento da cana-de-açúcar.

Cana-de-açúcar	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set		
CS 12m				R	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	C					
Estágio Fenológico					Período de repouso fisiológico						Período de máximo desenvolvimento				Período máximo maturação							
Estações	Verão/Outono				Inverno/Primavera						Verão/Outono						Inverno/Primavera					
	CS=Cana Soca				Ago - meses de colheita						R= Rebrotas				C= Colheita							
					Jan – sem colheita						CS 12m = RB 867515 (variedade estudada)											

A cana-de-açúcar é uma gramínea semi perene, mostrando o potencial máximo de produção na fase vegetativa, exigindo para completar seu ciclo, conteúdo de água e estresse térmico, a fim de acumular sacarose nos colmos. Vários fatores podem causar alterações no metabolismo da planta e em características externas, especialmente sobre as folhas. Portanto, essas características devem influenciar a resposta espectral do dossel da cana.

2.5 Índices de Vegetação (IVs)

A análise temporal utilizando os índices de vegetação (IVs) foi calculada como indicadores do estado de nitrogênio, concentração de clorofila e vigor da vegetação. Segundo Gitelson et al. (1996), substituindo a banda vermelha por banda verde, "Green" NDVI mostra-se mais sensível à concentração de clorofila sobre uma ampla gama de conteúdo de clorofila. Valores de GNDVI para plantas variam de 0 a 1 segundo Equação 1.

$$\text{GNDVI} = (\rho\text{NIR} - \rho\text{Green}) / (\rho\text{NIR} + \rho\text{Green}) \quad (1)$$

Outro índice utilizado para inferir, monitorar a cobertura e vigor da vegetação através de imagens de sensores multiespectrais, o RATIO, este índice foi escolhido porque leva em consideração a banda espectral do verde (G), os índices baseados na banda do verde (0.52-0.59 nm) resultam em um melhor e mais frequente correlação do que os baseados em vermelho para teor de acúmulo de N foliar (Bronson et al., 2003).

$$\text{SR} = \rho\text{NIR} / \rho\text{Green} \quad (2)$$

Índice de clorofila (CI_{Green}) foi especificamente proposto para caracterizar o teor de clorofila total (Equação 3). Estudos tem testado as relações entre conteúdo de clorofila total e IVs, mostrando que alguns IVs podem explicar mais de 87% de variação no conteúdo de clorofila em culturas (Peng et al. 2011); Gitelson et al. (2003) e (2005).

$$\text{CI}_{\text{Green}} = (\rho\text{NIR} / \rho\text{Green}) - 1 \quad (3)$$

O índice de vegetação melhorado (EVI) foi aplicado para otimizar o sinal da vegetação, melhorando a sensibilidade de sua detecção em regiões com maiores densidades de biomassa, e para reduzir a influência do sinal do solo e da atmosfera sobre a resposta do dossel. Nesse sentido, o EVI foi calculado através da Equação 4 (Justice et al., 1998):

$$\text{EVI} = G (\text{NIR} - \text{Vermelho}) / (L + \text{NIR} + C1 \text{ vermelho} - C2 \text{ azul}) \quad (4)$$

onde: L é fator de ajuste para o solo; G é o fator de ganho e C1 e C2 são coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera. Os valores dos coeficientes adotados pelo algoritmo do EVI são: L=1, C1=6, C2=7,5 e G= 2,5 (Huete et al., 1997; Justice et al., 1998).

3. Resultados e Discussão

Analisando a evolução dos índices (Figuras 2, 3, 4 e 5), no período estudado (novembro de 2013 a janeiro 2014), foi possível observar comportamentos que caracterizam o crescimento e o desenvolvimento da cana-de-açúcar, através do aumento dos valores dos índices neste período. A resposta espectral do dossel da cana-de-açúcar, obtida no seu estágio de máximo crescimento, tem relação direta com a produtividade da cultura.

Os GNDVI (Figura 2) apresentaram valores elevados em alvos com alta densidade da cultura para as duas épocas. Isto demonstra que os índices que são baseados em contraste entre as bandas do infravermelho próximo e bandas do visível, neste caso a banda do verde, demonstram uma grande relação com biomassa verde. Segundo Gitelson et al. (1996),

substituindo faixa verde a faixa vermelha, "Green" NDVI mostram-se mais sensíveis à concentração de clorofila.

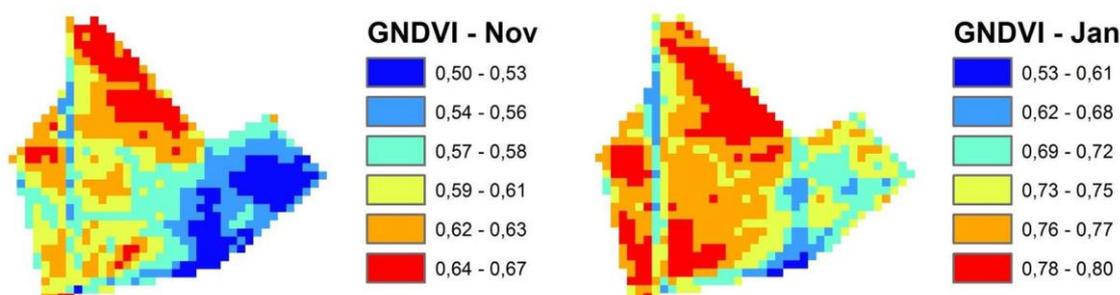


Figura 2. Índice de Vegetação da Diferença Normalizada utilizando a banda verde (GNDVI) nos meses de novembro de 2013 e janeiro de 2014.

Analisando as classes do GNDVI houve acréscimo para todas, em novembro a classe mínima era 0,50 - 0,53 e passou para 0,53 - 0,61 em janeiro; já a classe máxima em novembro era de 0,64 - 0,67 tendo um acréscimo para 0,78 - 0,80 em janeiro. Ficou caracterizado que houve acréscimo dos índices em área e biomassa, principalmente na área central do campo.

No índice de Razão Simples, para áreas densamente vegetadas, a quantidade refletida de radiação eletromagnética referente à região do verde se aproxima de valores muito pequenos e esta razão, conseqüentemente aumenta. O mapa gerado pelo índice SR (Figura 3) apresentou diferentes valores quando comparado nos dois períodos, o valor mínimo em novembro foi de 3,01 e o máximo 5,08, em janeiro os valores apresentaram grande variação sendo o mínimo 3,25 e o máximo 9,07. Nota-se em ambas as datas que os maiores valores do índice se encontram na parte superior do mapa em contrapartida os menores valores se localizam na parte inferior direita da área de estudo.

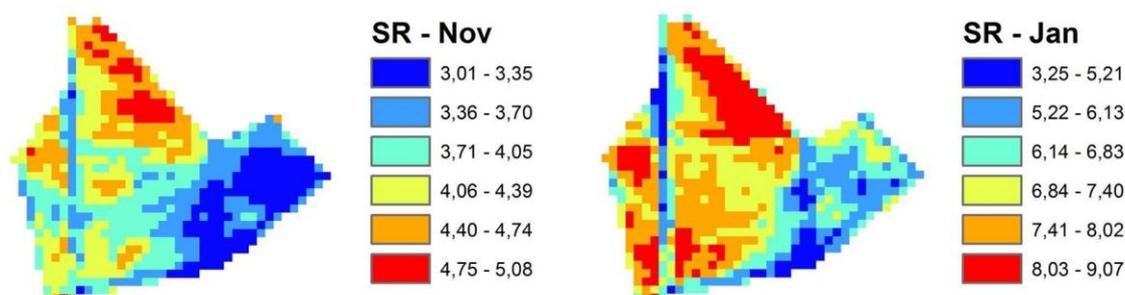


Figura 3. Índice de Vegetação da Razão Simples (SR) nos meses de novembro de 2013 e janeiro de 2014.

A cultura da cana-de-açúcar é exigente em nitrogênio, sendo que este é o nutriente que comumente mais limita no ciclo vegetativo e esta diretamente relacionada com a produtividade. Na Figura 4 foi caracterizado a dinâmica do índice de clorofila C_{Igreen}, o qual caracterizou o status de N. As concentrações de N das folhas tem alta correlação com a clorofila, o qual é responsável pela coloração verde e conseqüentemente influenciaram a taxa fotossintética da cana-de-açúcar. Os pigmentos fotossintéticos (clorofilas a e b, carotenóides e xantofilas) são essenciais para o desenvolvimento de uma planta, pois são responsáveis pela captura da energia solar incidente usada na fotossíntese (Chapelle et al., 1992).

Foi apresentado maiores valores C_{Igreen} na parte superior na área em estudo, em ambas épocas analisadas. Em novembro a classe mínima era 2,01 - 2,38 e passou para 2,25 - 4,21 em

janeiro; já a classe máxima em novembro era de 3,59-4,08 tendo um acréscimo para 7,03-8,07 em janeiro.

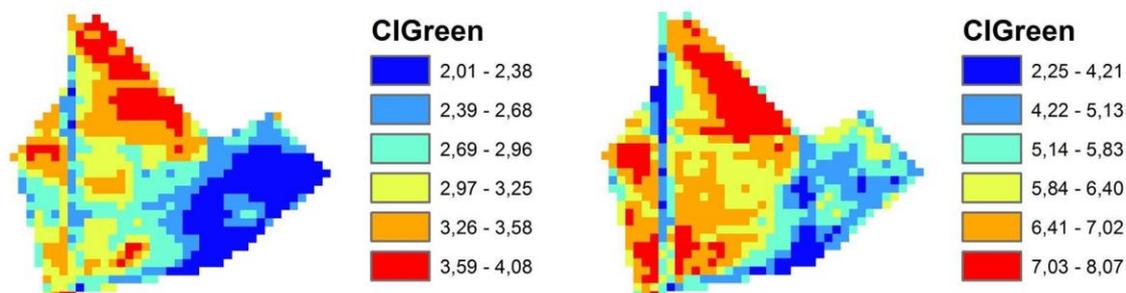


Figura 4. Índice de Clorofila (CIGreen) nos meses de novembro de 2013 e janeiro de 2014.

O índice de vegetação melhorado (EVI) foi desenvolvido para aperfeiçoar o sinal da vegetação, melhorando a sensibilidade de sua detecção em regiões com maiores densidades de biomassa, e para reduzir a influência do sinal do solo e da atmosfera sobre a resposta do dossel (Justice et al., 1998). Com isso podemos observar na Figura 5, que no mês de novembro os valores são inferiores quando comparados aos valores de janeiro, sendo o mínimo 2,52 e o valor máximo de 6,75 em novembro e mínimo de 2,76 e máximo de 21,02 em janeiro. Podemos notar que em ambos os meses os maiores e menores valores se comportaram da mesma maneira que o índice SR na área de estudo. A região central do mapa demonstra grande variação quando comparado nos dois períodos sendo que em novembro os valores obtidos nessa região foram entre 3,84 e 4,98, já em janeiro os valores para a mesma área central variaram entre 10,21 e 15,22.

Enquanto o GNDVI é sensível à clorofila, o EVI é mais sensível às variações na resposta estrutural do dossel, incluindo o índice de área foliar (LAI), a fisionomia da planta e a arquitetura do dossel (Huete et al., 2002).

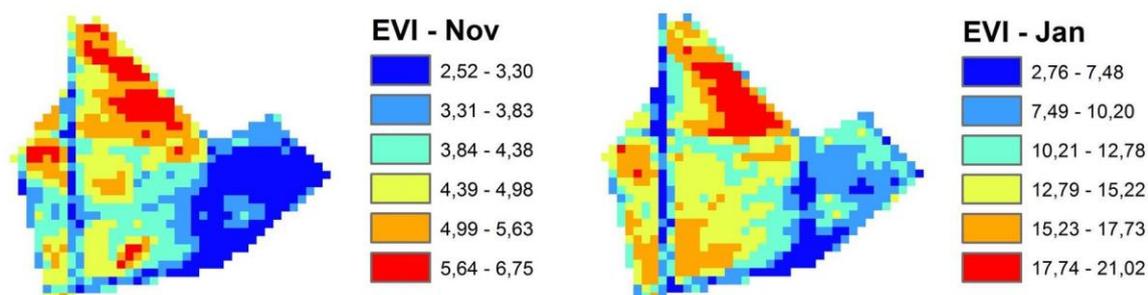


Figura 5. Índice de Vegetação Melhorado (EVI) nos meses de novembro de 2013 e janeiro de 2014.

4. Conclusões

Pode-se afirmar que os talhões de cana têm um comportamento dinâmico nos valores dos IVs ao longo do ciclo vegetativo e que, portanto, não é previsível o comportamento temporal dos valores espectrais de um pixel que contenha cana-de-açúcar.

A área de cana-de-açúcar estudada, apesar de apresentarem uma mesma tendência temporal de evolução dos IVs, apresenta diferenças na resposta espectral e, portanto, podem ser estratificadas.

O estudo mostrou que existe potencial na utilização de índices de vegetação na caracterização do vigor da cultura de cana-de-açúcar, oferecendo como subsídio à previsão de

safras. Novos estudos podem ser desenvolvidos, incluindo-se, a análise do comportamento espectral, variáveis como balanço hídrico, associando os modelos espectrais a modelos agrometeorológicos.

5. Referências Bibliográficas

Antunes, M. A. H.; Freire, R. M. B.; Botelho, A. S.; Tonioli, L. H. Correções atmosféricas de imagens de satélites utilizando o modelo 6S. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 21., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: CBC, 2003. 6p.

Biewer, S.; Erasmi, S.; Fricke, T.; Wachendorf, M. 2009. Prediction of yield and the contribution of legumes in legume-grass mixtures using field spectrometry. **Precision Agriculture** 10, 128–144.

Bronson, K. F.; Chua, T.T.; Booker, J. D.; Keeling, J.W.; Lascano, R.J. 2003. In-season nitrogen status sensing in irrigated cotton: II. Leaf nitrogen and biomass. **Soil Science Society of America Journal**. 67, 1439–1448.

Chapelle, E.W.; Kim, M.S.; McMurtrey, J.E. Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): an algorithm for the remote estimation of the concentrations of chlorophyll a, chlorophyll b and the carotenoids in soybean leaves. **Remote Sensing of Environment**, v.39, n.3, p.239 -247, Mar. 1992.

Chavez Jr., P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 459-479, 1988.

Chavez Jr., P. S. Radiometric calibration of Landsat thematic mapper multispectral images. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 55, p. 1285-1294, 1989.

De Benedetto, D.; Castrignanò, A.; Rinaldi, M.; Ruggieri, S.; Santoro, F.; Figorito, B.; Gualano, S.; Diacono, M.; Tamborrino, R. An approach for delineating homogeneous zones by using multi-sensor data. **Geoderma** 199 (2013) 117–127.

Franzen, D.W.; Hopkins, D.H.; Sweeney, M.D.; Ulmer, M.K.; Halvorson, A.D. 2002. Evaluation of soil survey scale for zone development of site-specific nitrogen management. **Agron. J.** 94, 381–389.

Gitelson, A. A.; Kaufman, Y. J.; Merzlyak, M. N. 1996. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment** 58, 289–298.

Gitelson, A. A.; Verma, S. B.; Viña, A.; Rundquist, D. C.; Keydan, G.; Leavitt, B. (2003). Novel technique for remote estimation of CO₂ flux in maize. **Geophysical Research Letters**, 30 (9), 1486.

Gitelson, A. A.; Viña, A.; Ciganda, V.; Rundquist, D. C.; Arkebauer, T. J. (2005). Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. **Geophysical Research Letters**, 32, L08403.

Huete, A.; Liu, H.Q.; Batchily, K.; Van Leeuwen, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, 59: 440-451, 1997

Huete, A.; Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., Ferreira, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 195-213, 2002.

Justice, C.O.; Vermote, E.; Townshend, J.R.G.; Defries, R.; Roy, D.P.; Hall, D.K.; Salomonson, V.V.; Privette, J.L.; Riggs, G.; Strahler, A. The moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 36(4): 1228-1249, 1998.

Lira, V. M.; Silva, B. B.; Dantas Neto, J.; Farias, M. S. S.; Bezerra, M. V. C.; Franco, E. S.; Centeno, C. R. M. Análise espectral de índice de vegetação em área irrigada com cana-de-açúcar. **Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 113-120, 2009.

Mirzaie, M., Darvishzadeh, R., Shakibaa, A., Matkana, A.A., Atzbergerc, C., Skidmore, A., Comparative analysis of different uni- and multi-variate methods forestimation of vegetation water content using hyperspectralmeasurements. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. 26 (2014) 1–11.

Nascimento, C. M.; Pereira, M. A. M. G. **Atlas climatológico do estado de São Paulo**.Campinas, Fundação Cargill, 1988. 93p

Novacana. **A produção de cana-de-açúcar no Brasil (e no mundo)**. Disponível em:<<http://www.novacana.com/cana/producao-cana-de-acucar-brasil-e-mundo/>> Acesso em 25 Out. 2014.

Peng, Y., Gitelson, A. A., Keydan, G., Rundquist, D. C., & Moses, W. (2011).Remote estimation of gross primary production in maize and support for a new paradigm based on total crop chlorophyll content. **Remote Sensing of Environment**, 115, 978 – 989.

Ponzoni, F. J. **Comportamento Espectral da Vegetação. In. Sensoriamento Remoto – Reflectância dos alvos naturais**. Editora UnB, Embrapa, Brasília (DF), p. 157-199, 2001

USGS. **United StatesGeologicalSurvey (USGS)**. Disponível em <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>Acessoem 22 Out. 2014.

Yan, L.; Zhou, S.; Feng, L.; Hong-Yi, L. Delineation of site-specific management zones using fuzzy clustering analysis in a coastal saline land. **Computers and Electronics in Agriculture** 56 (2007) 174–186.

Thenkabail, P.; Lyon, J.G.; Huete, A. 2012. **Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation**. 2012. Taylor e Francis Group.