

## COMPARAÇÃO ENTRE SENSORES DE NDVI EM CANA-DE-AÇÚCAR

LUCAS R. AMARAL<sup>1</sup>, HUGO J.A. ROSA<sup>2</sup>, JOSÉ P. MOLIN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, doutorando em Fitotecnia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba – SP, Fone: (19) 91083582, lucasamaral@agronomo.eng.br

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, mestrando em Fitotecnia, ESALQ/USP, Piracicaba – SP

<sup>3</sup> Engenheiro Agrícola, Prof<sup>o</sup> Associado, Depto. de Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, Piracicaba – SP

Apresentado no  
Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2012  
24 a 26 de setembro de 2012- Ribeirão Preto - SP, Brasil

**RESUMO:** Alguns sensores de refletância do dossel já estão disponíveis no mercado brasileiro e visam à aplicação de nitrogênio em taxa variável. Com algumas exceções, o uso do índice de vegetação NDVI ou de suas variações é frequente. Ao mesmo tempo em que o interesse nesta tecnologia e a disponibilidade de equipamentos aumentam, comparações entre sensores e entre índices de vegetação, em nível de campo, ainda são escassas. Desta forma, o presente trabalho teve o objetivo de comparar três sensores de dossel (CropCircle ACS-210, CropCircle ACS-430 e GreenSeeker) que trabalham basicamente com NDVI, verificando a similaridade dos dados obtidos. Foram avaliados dois experimentos com doses de N instalados em área comercial de cana-de-açúcar durante a safra 2011/2012. Três avaliações foram realizadas em função da altura da cultura. Os sensores não foram capazes de diferenciar as doses de N devido à baixa resposta da cana. A diferença nos comprimentos de onda utilizados pelos sensores pouco influenciou as correlações, mas dispersão diferenciada dos dados foi obtida. Não houve influência das variedades nas mensurações com os sensores de dossel, enquanto os teores de clorofila medidos com clorofilômetro sofreram influência. Os valores das diferentes configurações de NDVI obtidos pelos sensores são altamente relacionáveis e algoritmos de fertilização criados com qualquer um deles podem ser ajustados para outros equipamentos.

**PALAVRAS-CHAVE:** sensores de refletância do dossel, sensoriamento remoto, aplicação em taxas variáveis.

## COMPARISON AMONG OF NDVI SENSORS IN SUGARCANE

**ABSTRACT:** There are some canopy reflectance sensors available in Brazil dedicated to variable rate N application. Exceptions apart, most of them use either NDVI or its variations. Currently the interest in this technology and the availability of sensors has increased despite the fact that field works comparing sensors and vegetation indices are still scarce. The objective of this study was to compare three crop canopy sensors (CropCircle ACS-210, CropCircle ACS-430 e GreenSeeker) which basically use the NDVI index, verifying their data similarity. Two N response field experiments were installed on commercial sugarcane fields during the 2011/2012 harvest season. Three evaluations were performed with the sensors, depending on the plant height. The sensors were not able to identify differences among the treatments due the low response of the crop to the N fertilization. The slight difference in the wavelength used by each sensor did not affect the results, but different data dispersion was obtained. The chlorophyll contents measured by a chlorophyll meter were

affected by varieties unlikely to what happened with the NDVI values. The NDVI values measured by the three canopy sensors were highly correlated demonstrating that developed fertilization algorithms from anyone can be adjusted to the other equipment.

**KEYWORDS:** canopy reflectance sensors, remote sensing, variable rates.

## **INTRODUÇÃO**

A determinação da necessidade de nitrogênio (N) a ser aplicado nas lavouras é um desafio devido à inexistência de um método que estime sua disponibilidade no solo para a cultura. Com esse intuito, sensores de refletância do dossel vêm surgindo no mercado brasileiro. Esses sensores objetivam possibilitar a aplicação de N em taxas variáveis e em tempo real mediante a avaliação da refletância do dossel. Alguns desses equipamentos trabalham com variações de um índice de vegetação já consagrado, chamado NDVI (índice de vegetação da diferença normalizada – ROUSE et al., 1973).

O Laboratório de Agricultura de Precisão da ESALQ/USP possui três desses principais equipamentos (CropCircle ACS-210, CropCircle ACS-430 e GreenSeeker) e vem desenvolvendo pesquisas em cana-de-açúcar e em outras culturas desde 2007. Estes sensores de NDVI trabalham com a emissão de luz (ativos) e captam sua refletância em diferentes comprimentos de onda.

Os sensores de dossel são utilizados na agricultura para obter informações indiretas sobre as culturas, as quais forneçam informações relevantes para o direcionamento da aplicação de N, como eficiência fotossintética (RAUN et al., 2001), estimativa de produtividade (GROHS et al., 2009), quantidade de biomassa e extração de N (PORTZ et al., 2011).

No entanto, comparações entre esses sensores são escassas, principalmente quanto a utilização do sensor CropCircle ACS-430, por ter sido recém lançado no mercado. Sudduth et al. (2010), comparando os sensores CropCircle ACS-210 e GreenSeeker, verificaram grande semelhança entre os resultados obtidos. Entretanto, Tremblay et al. (2008) alertam que algoritmos específicos podem ser necessários para aplicação de nitrogênio em taxa variável. Em um trabalho semelhante, SHAVER et al. (2011) desenvolveram algoritmos específicos para esses dois sensores, o que não alterou significativamente a recomendação de N para a cultura do milho, demonstrando assim a similaridade entre os equipamentos, mas a necessidade de algoritmos específicos.

Sendo assim, é necessário avaliar a similaridade entre esses sensores de dossel de forma a avaliar se dados obtidos com um equipamento podem ser utilizados por outro, facilitando a construção de algoritmos de fertilização nitrogenada para a cana-de-açúcar.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho constou de dois experimentos em parcelas instalados em campo comercial na região de Ribeirão Preto, SP durante a safra 2011/2012. Foram aplicadas cinco doses de N (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha<sup>-1</sup>), com quatro repetições em blocos ao acaso. Uma área em Latossolo vermelho-amarelo cultivada com a variedade CTC2 (área 1) e outra em Latossolo vermelho com a variedade RB867515 (área 2), ambos em terceiro corte. Cada parcela possuía seis fileiras de cana por quinze metros de comprimento.

Procedeu-se três avaliações com os sensores de dossel, de acordo com a altura média de palmito das plantas (0,2, 0,5 e 0,7 m – AMARAL & MOLIN, 2011). Detalhes dos sensores e dos comprimentos de onda utilizados podem ser observados na Tabela 1. CropCircle ACS-

210 e GreenSeeker trabalham com dois comprimentos de onda, enquanto o CropCircle ACS-430 possui três, resultando em duas opções de NDVI.

TABELA 1. Sensores de refletância do dossel, seus fabricantes e comprimentos de onda utilizados para o cálculo das variações do NDVI.

NDVI <sup>1</sup>	Sensor de dossel	Fabricante	Comprimento de onda (nm)	
			Visível	NIR <sup>3</sup>
NDVI <sub>âmbar</sub>	CropCircle ACS-210	Holland Scientific	590	880
CC-NDVI <sub>red</sub>	CropCircle ACS-430	Holland Scientific	670	780
NDRE <sup>2</sup>	CropCircle ACS-430	Holland Scientific	730 <sup>4</sup>	780
GS-NDVI <sub>red</sub>	GreenSeeker	Trimble	670	780

<sup>1</sup> NDVI = (NIR - Visível)/(NIR + Visível)

<sup>2</sup> NDRE: também referenciado na literatura como NDVI<sub>red-edge</sub>

<sup>3</sup> NIR: infravermelho próximo

<sup>4</sup> 730 nm é considerado por alguns autores como estando na região do visível, por outros como estando na região do *red-edge* e por outros como já estando na região do infravermelho próximo.

Os sensores foram acoplados à barra de aplicação de um veículo Uniport 3000 NPK (Máquinas Agrícolas Jacto, Pompéia, SP), de forma que captassem aproximadamente a refletância do mesmo local, apenas uma fileira de plantas por vez. Foram configurados para coletar 10 dados s<sup>-1</sup>, totalizando cerca de 600 pontos por parcela, mantidos a uma distância média de cerca de 1,0 m do dossel das plantas (Figura 1). Adicionalmente procedeu-se a avaliação do teor de clorofila foliar. Para tanto, na primeira avaliação foi utilizado o ClorofiLOG (Falker Automação Agrícola), realizando a mensuração na folha +1; na segunda e terceira avaliação utilizou-se o SPAD-502 (Konica Minolta), realizando a mensuração na folha +3; realizou-se 20 mensurações em 20 plantas por parcela, no centro do limbo foliar.

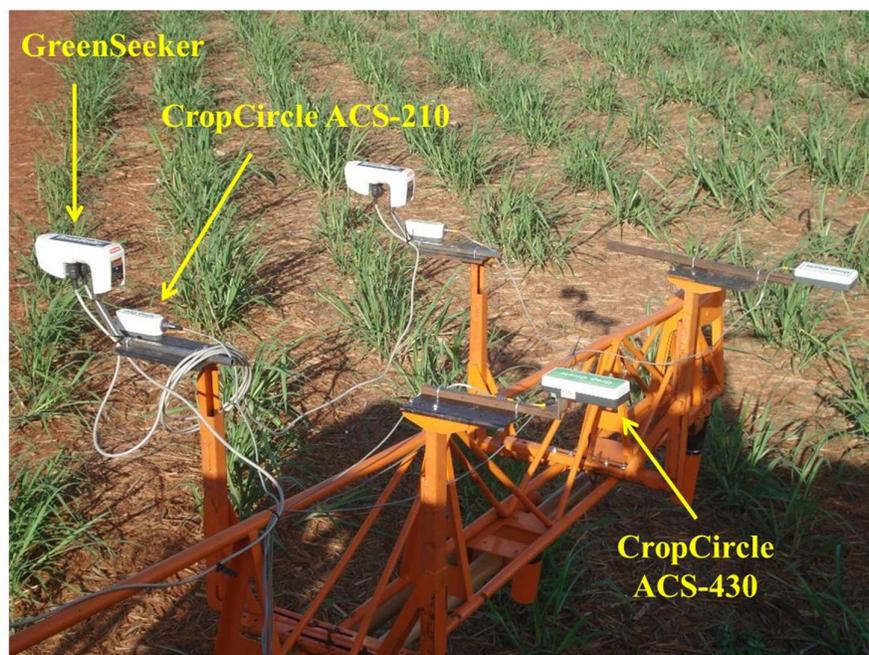


FIGURA 1. Sensores de dossel acoplados à barra de aplicação do veículo (Uniport 3000 NPK)

Os valores médios de cada parcela foram submetidos à análise de variância e à testes de correlação pelo software SISVAR (FERREIRA, 2008) e análise visual mediante construção de gráficos no Microsoft Excel. Foi calculada a média de todos os dados obtidos, o que possibilitou a normalização dos dados dos diferentes equipamentos, a fim de possibilitar a comparação dos mesmos em gráfico BoxPlot (Sigmaplot 10).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sensores de dossel não identificaram as doses de nitrogênio aplicadas, devido ao fato de a cana-de-açúcar não ter respondido aos tratamentos em ambas as áreas estudadas, comprovada pela produtividade obtida ( $p > 0,05$  – *dados não apresentados*).

Na Tabela 2 pode ser observada grande similaridade entre os valores de NDVI obtidos em suas quatro variações mensuradas pelos diferentes sensores de dossel. Analisando os dois índices oriundos do mesmo sensor (CropCircle ACS-430 – NDRE e CC-NDVI<sub>red</sub>), verifica-se os maiores coeficientes de correlação, o que mostra que a diferença nos comprimentos de onda pouco influenciou na distribuição dos valores obtidos, apenas alterou os valores absolutos dos índices de vegetação.

TABELA 2. Coeficiente de correlação linear entre as formas de NDVI e teor de clorofila foliar nas avaliações (altura média de plantas) e nas duas áreas separadamente.

Correlação	Altura média de plantas			Área 1	Área 2	Geral
	0,2 m	0,5 m	0,7 m			
NDVI <sub>âmbar</sub> / NDRE	0,975**	0,929**	0,970**	0,982**	0,990**	0,982**
NDVI <sub>âmbar</sub> / CC-NDVI <sub>red</sub>	0,973**	0,867**	0,968**	0,989**	0,985**	0,981**
NDVI <sub>âmbar</sub> / GS-NDVI <sub>red</sub>	0,969**	0,906**	0,912**	0,988**	0,946**	0,954**
NDRE / CC-NDVI <sub>red</sub>	0,994**	0,971**	0,993**	0,993**	0,998**	0,996**
NDRE / GS-NDVI <sub>red</sub>	0,961**	0,777**	0,945**	0,978**	0,932**	0,929**
CC-NDVI <sub>red</sub> / GS-NDVI <sub>red</sub>	0,959**	0,641**	0,926**	0,985**	0,931**	0,929**
NDVI <sub>âmbar</sub> / clorofila	0,580**	0,687**	0,570**	0,491**	0,579**	0,316**
CC-NDVI <sub>red</sub> / clorofila	0,618**	0,322*	0,557**	0,411**	0,486**	0,006 <sup>ns</sup>
NDRE / clorofila	0,641**	0,467**	0,618**	0,517**	0,437**	0,072 <sup>ns</sup>
GS-NDVI <sub>red</sub> / clorofila	0,487**	0,861**	0,597**	0,414**	0,640**	0,437**

Certa queda na relação entre dados dos sensores CropCircle ACS-430 e GreenSeeker foi observada na segunda avaliação. Amaral e Molin (2011) e Portz et al. (2012) identificaram esse como sendo o momento ideal para avaliar a cultura para fins de fertilização nitrogenada. Dessa forma, novos estudos devem ser conduzidos para analisar o comportamento de tais equipamentos nesse momento. Analisando separadamente as áreas, notou-se que a queda na relação foi ocasionada na Área 2, talvez pela maior ocorrência de falhas observada na mesma, o que pode influenciar de forma diferenciada os sensores.

Shiratsuchi et al. (2010), trabalhando com as mesmas configurações de NDVI em milho, verificaram que NDRE foi mais sensível em identificar as doses de N aplicadas do que NDVI<sub>red</sub>. Dessa forma, embora apresentem alta correlação entre os dados, eficiência diferenciada na determinação da nutrição das plantas por N pode existir.

Na Figura 2, pode-se observar que a dispersão das leituras do NDVI<sub>âmbar</sub>, feitas pelo CropCircle ACS-210, foram sempre menores do que a dos outros sensores de dossel, corroborando Shaver et al. (2011), os quais também observaram a menor dispersão dos dados do sensor Crop Circle comparativamente ao GreenSeeker na cultura do milho.

Os índices CC-NDVI<sub>red</sub> e NDRE, medidos pelo mesmo sensor, sempre apresentaram a maior dispersão, independente da avaliação. A menor dispersão dos dados pode indicar maior exatidão nas leituras, o que é desejado, mas também pode representar uma menor capacidade na identificação da variabilidade, o que é problemático. Com os dados obtidos até o momento, não há como determinar o que essa alteração na dispersão dos dados representa, sendo necessário maior volume de dados para se chegar a uma afirmação segura.

Taubinger et al. (2012) verificaram capacidade diferenciada de diversos índices de vegetação na identificação de doses de N aplicadas em cana-de-açúcar. Entretanto, a resposta obtida pelas variações de NDVI por esses autores, semelhante às configurações utilizadas no presente estudo, apresentaram resposta similar na diferenciação de doses de N.

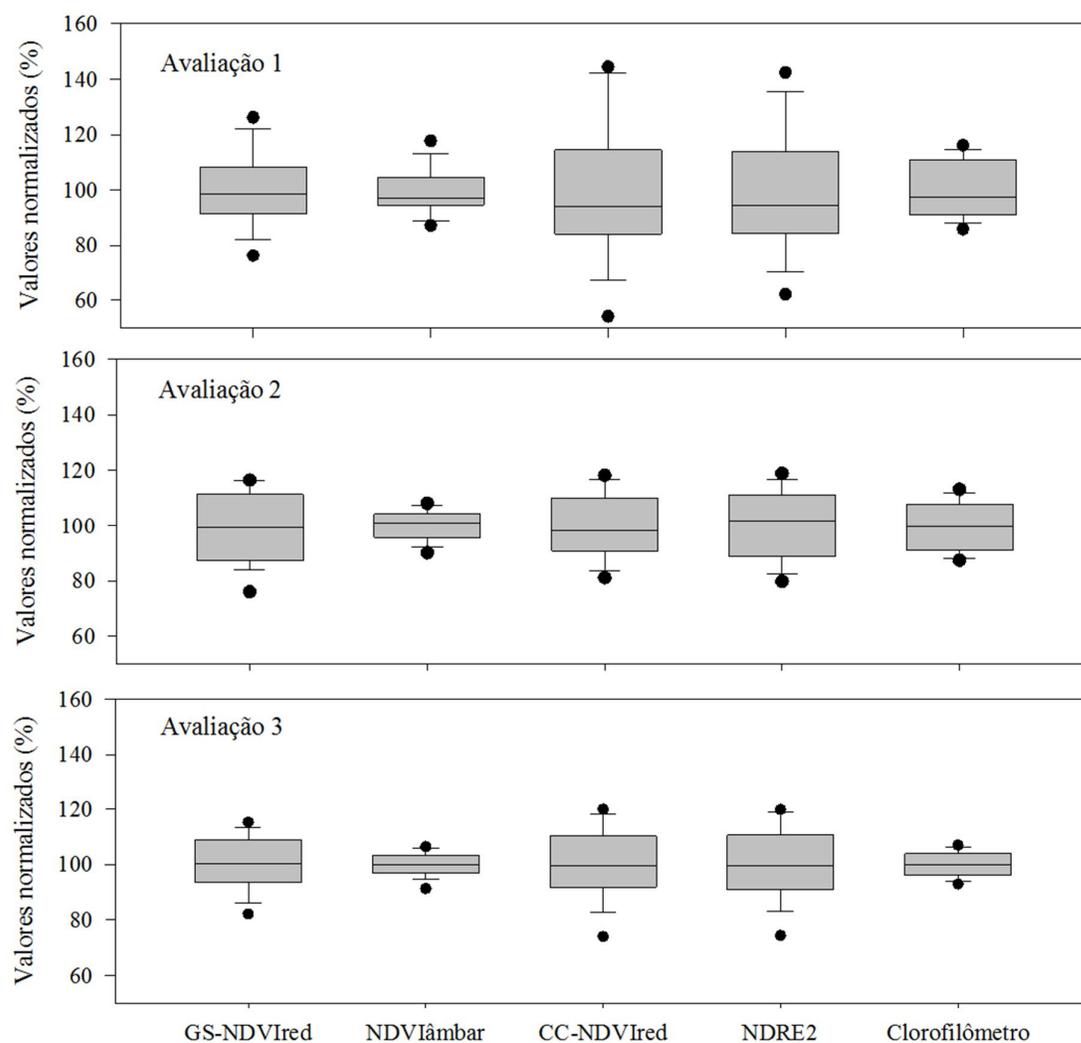


FIGURA 2. Gráficos em BoxPlot mostrando a dispersão dos valores normalizados pela média obtidos pelos diferentes sensores de dossel.

Nota-se também uma maior dispersão na primeira avaliação, possivelmente pela maior interferência do solo, uma vez que a cana ainda apresentava quantidade de baixa biomassa. Analogamente, na última avaliação, a dispersão dos dados foi menor, possivelmente pela alta biomassa da cultura e pela possibilidade de saturação de sinal (AMARAL et al., 2012).

Quanto à relação das variações de NDVI com o teor de clorofila foliar mensurado por clorofilômetro, nota-se valores baixos do coeficiente de correlação, porém, de maneira geral significativos. Essa menor relação era esperada pelo fato dos sensores de dossel estarem sujeitos a interferência do substrato (GROHS et al., 2009; TAUBINGER et al., 2012), assim como coletar a refletância de praticamente toda a parte exposta da planta, enquanto os clorofilômetros avaliam poucos milímetros de uma determinada folha (KITCHEN et al., 2010).

Mesmo se tratando de uma planta rústica e de maior biomassa quando comparado ao trigo, as relações obtidas foram melhores do que as verificadas por Eitel et al. (2008). Entretanto, quando analisando todos os dados obtidos, verifica-se que algumas variações de NDVI (NDRE e CC-NDVI<sub>red</sub>) não apresentaram relação com os valores SPAD. Isso ocorre porque os valores mensurados por clorofilômetros podem apresentar tendência de alteração entre variedades, enquanto os sensores de dossel não (PORTZ, 2011). Além disso, os teores de clorofila podem aumentar ou diminuir durante o desenvolvimento da cultura, em função dos fatores edafoclimáticos, enquanto os valores de NDVI tendem a aumentar pelo aumento da biomassa da cultura (FRASSON *et al.*, 2007). Esse fato é exemplificado na Figura 3.

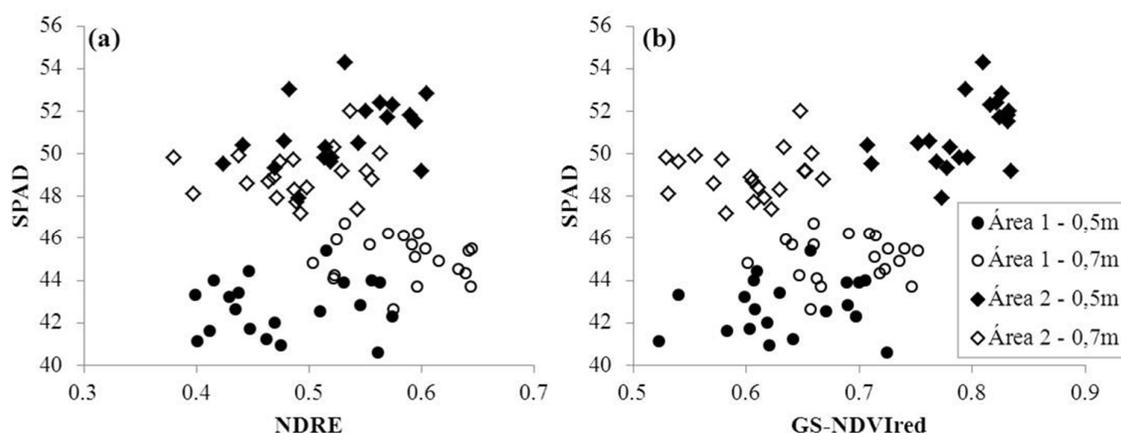


FIGURA 3. Relação dos valores SPAD com NDRE (a) e GS-NDVI<sub>red</sub> (b), mostrando efeito de variedade nos valores SPAD (diferença clara entre os valores obtidos em experimentos diferentes) e efeito de aumento de biomassa nos valores de NDVI (diferença entre as avaliações).

A possibilidade de ocorrência de saturação do sinal do sensor de dossel quando da utilização de comprimentos de onda na região do visível (todas as variações, exceto NDRE), como citado por Solari et al. (2008), não ocorreu nas condições do presente estudo. Devido à alta similaridade entre os dados obtidos pelos sensores de dossel, os dados obtidos por um equipamento, mediante conversão dos valores, podem ser utilizados na criação de algoritmos específicos para outros sensores (diferentes configurações de NDVI). Entretanto, em leituras espacializadas, essa mesma semelhança ainda precisa ser aferida.

## CONCLUSÕES

Os valores de NDVI obtidos pelos diferentes sensores de refletância do dossel são altamente relacionáveis e podem ser utilizados em conjunto na criação de algoritmos de fertilização. O índice NDVI<sub>âmbar</sub>, medido pelo sensor CropCircle ACS-210, apresentou sempre uma menor dispersão dos dados e os clorofilômetros apresentam alta relação com

NDVI quando tratados de forma separada para cada avaliação em cada área. Mais estudos precisam ser conduzidos.

## AGRADECIMENTOS

À FINEP, projeto PROSENSAP pelo apoio financeiro; à FAPESP e ao CNPq pela concessão de bolsas de estudos aos autores; à Usina São Martinho e à Jacto Máquinas Agrícola pela parceria.

## REFERÊNCIAS

- AMARAL, L. R.; MOLIN, JOSÉ PAULO. Sensor óptico no auxílio à recomendação de adubação nitrogenada em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 16, n. 1, p. 1633-1642, 2011.
- AMARAL, L.R.; PORTZ, G.; ROSA, H.J.A.; MOLIN, J.P. Use of active crop canopy reflectance sensor for nitrogen sugarcane fertilization. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 11., 2012, Indianápolis. **Proceedings...** Indianápolis, EUA: ICPA/ISPA, 2012.
- EITEL, J. U. H.; LONG, D. S.; GESSLER, P. E.; HUNT, E. R. Combined Spectral Index to Improve Ground-Based Estimates of Nitrogen Status in Dryland Wheat. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 6, p. 1694, 2008.
- FRASSON, F. R.; MOLIN, JOSÉ PAULO; POVH, F. P.; SALVI, J. V. TEMPORAL BEHAVIOR OF NDVI MEASURED WITH AN ACTIVE OPTICAL SENSOR FOR DIFFERENT VARIETIES OF SUGARCANE. **BioEng**, v. 1, n. 3, p. 237-244, 2007.
- GROHS, D. S.; BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M.; POLETTI, N. Modelo para estimativa do potencial produtivo em Trigo e Cevada por meio do sensor GREENSEEKER. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 1, p. 101-112, 2009.
- KITCHEN, N.R.; SUDDUTH, K.A.; DRUMMOND, S.T.; SCHARF, P.C.; PALM, H.L.; ROBERTS, D.F.; VORIES, E.D. Ground-based canopy reflectance sensing for variable-rate nitrogen corn fertilization. **Agronomy Journal**, v. 102, p. 71-84, 2010.
- PORTZ, G.; AMARAL, L.R.; MOLIN, J.P.; JASPER, J. Optimum sugarcane growth stage for canopy reflectance sensor to predict biomass and nitrogen uptake. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 11., 2012, Indianápolis. **Proceedings...** Indianápolis, EUA: ICPA/ISPA, 2012a.
- PORTZ, G.; MOLIN, J. P.; JASPER, J. Active crop sensor to detect variability of nitrogen supply and biomass on sugarcane fields. **Precision Agriculture**, v. 13, n. 1, p. 33-44, 19 ago 2011.
- PORTZ, GUSTAVO. **Obtenção de algoritmo agrônomo para sensor foto ativo de refletância vegetal visando à aplicação da adubação nitrogenada na cultura da cana-de-açúcar**. [S.l.]: Universidade de São Paulo, 2011.
- RAUN, W. R.; SOLIE, J. B.; JOHNSON, G. V. *et al.* In-Season Prediction of Potential Grain Yield in Winter Wheat Using Canopy Reflectance. **Agronomy Journal**, v. 93, n. 1, p. 131, 2001.
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: ERTS SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. **Proceedings...** Washington: NASA, 1973. v. 1, p. 309-317.

- SHAVER, T. M.; KHOSLA, R.; WESTFALL, D. G. **Evaluation of two crop canopy sensors for nitrogen variability determination in irrigated maize.** Precision Agriculture, v. 12, n. 6, p. 892-904, 2011.
- SHIRATSUCHI, L. S.; FERGUSON, R. B.; SHANAHAN, J. F.; ADAMCHUK, V. I.; SLATER, G. P. **Comparision of spectral indices derived from active crop canopy sensors for assessing nitrogen and water status.** 10th International Conference on Precision Agriculture. **Anais...** Denver, CO: [s.n.], 2010
- SOLARI, F.; SHANAHAN, J.; FERGUSON, R.; SCHEPERS, J.; GITELSON, A. **Active Sensor Reflectance Measurements of Corn Nitrogen Status and Yield Potential.** **Agronomy Journal.** [S.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.agronomy.org/publications/aj/abstracts/100/3/571>>. , 2008
- SUDDUTH, K. A.; KITCHEN, N. R.; DRUMMOND, S. T. **COMPARISON OF THREE CANOPY REFLECTANCE SENSORS FOR VARIABLE-RATE NITROGEN APPLICATION IN CORN.** 10th International Conference on Precision Agriculture. **Anais...** Denver, CO: [s.n.], 2010
- TAUBINGER, L.; AMARAL, L.R.; MOLIN, J.P. vegetation indices from active crop canopy sensor and their potential interference factors on sugarcane. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 11., 2012, Indianápolis. **Proceedings...** Indianápolis, EUA: ICPA/ISPA, 2012a.
- TREMBLAY, N.; WANG, Z.; MA, B.-L.; BELEC, C.; VIGNEAULT, P. A comparison of crop data measured by two commercial sensors for variable-rate nitrogen application. **Precision Agriculture**, v. 10, n. 2, p. 145-161, 26 set 2008.