

DESEMPENHO DE DOIS SENSORES ATIVOS DE DOSEL EM ESTIMAR PARÂMETROS CULTURAIS EM ÁREAS DE ALGODÃO

RODRIGO G. TREVISAN¹, NATANAEL S. VILANOVA JR.¹, GUSTAVO PORTZ¹,
MATEUS T. EITELWEIN¹, JOSÉ P. MOLIN²

¹ Eng^o Agrônomo, Pós-Graduando, ESALQ-USP, Piracicaba – SP, rodrigo.trevisan@usp.br; gportz@usp.br; natanael.vilanova@usp.br; mateus_eitelwein@usp.br.

² Eng^o. Agrícola, Professor Associado, Depto de Eng. De Biossistemas, ESALQ/USP, Piracicaba-SP, jpmolin@usp.br;

Apresentado no
Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2014
14 a 17 de setembro de 2014 - São Pedro - SP, Brasil

RESUMO: O uso de sensores ópticos de dossel possibilita o diagnóstico do status nutricional de culturas agrícolas em tempo real e com alta resolução espacial. Existem algumas opções de sensores no mercado, diferindo quanto aos comprimentos de onda utilizados, tamanho e custo, entretanto há pouca informação sobre o desempenho comparativo destes. Diante disso, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de dois sensores ópticos ativos de dossel, N-SensorTM e CropSpecTM, em estimar parâmetros culturais do algodoeiro. O experimento foi conduzido na safra 2013/2014, em Chapadão do Céu – GO, sendo utilizadas duas áreas, uma com algodoeiro cultivado em espaçamento convencional (0,80 m) e outra adensada (0,45 m). Em cada área foram realizadas três avaliações, entre 36 e 90 dias após a semeadura. Em cada avaliação, as áreas foram sensoriadas e com base nas leituras do sensor foram alocados 30 pontos amostrais para coleta de dados de massa fresca, nitrogênio e enxofre acumulados. Ambos os sensores foram eficientes em estimar os parâmetros avaliados, com a maioria dos coeficientes de determinação entre os valores preditos e observados superiores a 90%, sendo o desempenho do N-Sensor 4% superior ao do CropSpec.

PALAVRAS-CHAVE: N-Sensor, CropSpec, índice de vegetação, nitrogênio

PERFORMANCE OF TWO ACTIVE CANOPY SENSORS TO ESTIMATE CROP PARAMETERS ON COTTON FIELDS

ABSTRACT: The use of optical crop canopy sensors allows the diagnosis of nutritional status of crops in real time and with high spatial resolution. There are some options of sensors on the market, with different wavelengths, size and cost, however there is little information on the comparative performance of these sensors. Thus, this study aimed to evaluate the performance of two active canopy sensors, N-SensorTM and CropSpecTM, to estimate biomass and nitrogen uptake in cotton. Two commercial areas, one planted on conventional row spacing (0.80 m) and another in narrow row spacing (0.45 m) were used in 2013/2014 season in Middle West Brazil (Goias state). In each area three evaluations between 36 and 90 days after planting were performed. In each evaluation, 30 sampling points were chosen, covering the entire range of sensor readings, for evaluation of fresh matter, nitrogen uptake and sulfur uptake. Both sensors were efficient in estimating the parameters evaluated, with most of the

coefficients of determination greater than 0.90. In general the N-Sensor showed the best results with accuracy around 4% higher than CropSpec.

KEYWORDS: N-Sensor, CropSpec, vegetation index, nitrogen

INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas. Entretanto, a definição da dose ideal de N a ser aplicada sempre foi um grande desafio devido à dificuldade de se mensurar a quantidade de N mineralizado pela matéria orgânica do solo e a alta mobilidade do nitrato no perfil do solo (PORTZ et al. 2012). O enxofre também apresenta grande importância para o desenvolvimento do algodoeiro, exercendo funções similares ao N na planta, além disso, sua dinâmica de disponibilidade também está associada à mineralização da matéria orgânica (STIPP e CASARIN, 2010).

Os métodos tradicionais de análise para estes nutrientes não permitem caracterizar a alta variabilidade temporal e espacial encontrada nos campos de produção. Assim, são necessárias técnicas de diagnóstico do status nutricional da cultura em tempo real e com alta resolução espacial, o que pode ser obtido pelo uso de sensores de dossel.

Esses sensores foram concebidos a partir do estudo das curvas espectrais de vegetação, que relacionam a proporção de luz que é refletida em função do comprimento da onda eletromagnética. A estimativa de vigor vegetativo através da relação entre a reflectância no infravermelho próximo (IVP) e no vermelho tem sido utilizada há quase 50 anos, tendo início com o trabalho de JORDAN (1969). Avanços nessa área levaram a constatação de que a predição do conteúdo de clorofila e de N na planta poderiam ser melhoradas com a utilização de comprimentos de onda no limiar entre o vermelho e o IVP. Esta porção do espectro entre 650 e 800 nm é conhecida como “red-edge” e é definida como o comprimento de onda com a maior taxa de variação da reflectância (HORLER et al., 1983).

Este comprimento de onda tem sido incluído nos sensores de dossel que visam governar a aplicação de N em tempo real, sendo largamente utilizados na Europa e nos Estados Unidos. No Brasil seu uso ainda é restrito a poucas culturas, devido à falta de estudos do seu desempenho em condições tropicais. Dentre os sensores de dossel disponíveis que utilizam o “red-edge”, destaca-se o N-Sensor ALS (Yara International ASA), amplamente utilizado na Europa principalmente nas aplicações a lanço de N em cobertura. Dentre suas vantagens destacam-se a independência das variações externas de luminosidade, a grande área sensoriada e a visão oblíqua do alvo. Entretanto, o elevado custo e as grandes dimensões desse equipamento são limitantes à popularização do seu uso.

Visando solucionar essa limitação, foi desenvolvido o sensor CropSpec, através de uma parceria entre Yara e Topcon. Este tem o objetivo de proporcionar resultados similares ao N-Sensor, possibilitando o uso dos mesmos algoritmos agronômicos para a adubação nitrogenada, mas apresentando as vantagens de ser compacto e de custo mais acessível. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho dos sensores ativos de dossel, N-Sensor e CropSpec em estimar massa fresca, nitrogênio e enxofre acumulados no algodoeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na safra 2013/14 em duas áreas de cultivo comercial de algodoeiro localizadas em Chapadão do Céu – GO. A primeira área possui 95 ha e está centrada nas coordenadas 52°37'19'' S e 18°20'42'' W. O plantio foi realizado no dia 03/01/2014 em sistema de semeadura direta sobre palhada de feijão que foi cultivado de

setembro a dezembro. Utilizou-se a cultivar de algodão FM 975WS, semeada em espaçamento convencional (0,80 m entre fileiras) com uma população de 100.000 plantas por hectare. A adubação de base na linha de semeadura foi realizada por haste sulcadora utilizando-se 150 kg ha⁻¹ de MAP (11-52-00). Foram realizadas três adubações nitrogenadas de cobertura com o produto YarabelaTM (27-00-00), com doses de 21 kg ha⁻¹ de N aos 25 dias após a semeadura (DAP) e 27 kg ha⁻¹ de N aos 43 e 56 DAP.

A segunda área possui 90 ha e está centrada nas coordenadas 52°37'19'' S e 18°27'08'' W. O plantio aconteceu no dia 18/01/2014 em sistema de semeadura direta sobre palhada de soja que foi cultivado de setembro a janeiro. Utilizou-se a cultivar de algodão FM 975WS, semeada em espaçamento adensado (0,45 m entre fileiras) e população de 190.000 plantas por hectare. A adubação de base na linha de semeadura foi realizada por haste sulcadora utilizando-se 190 kg ha⁻¹ de MAP (11-52-00). Foram realizadas duas adubações nitrogenadas de cobertura com uma mistura de iguais proporções de ureia e sulfato de amônio (33-00-00), com doses de 30 kg ha⁻¹ de N aos 23 DAP e 60 kg ha⁻¹ de N aos 38 DAP. Nas duas áreas as fertilizações foram realizadas em taxa fixa e as demais práticas culturais foram as usualmente empregadas na propriedade, seguindo as recomendações para a cultura.

Foram utilizados dois conjuntos de sensores ópticos de dossel (Tabela 1), montados no distribuidor de fertilizantes autopropelido Hércules 5.0 (Stara S/A). O N-Sensor foi montado atrás da cabine da máquina, a 3,60 m de altura em relação ao solo e o sensor CropSpec foi instalado sobre a cabine, a uma altura de 4,00 m, com ângulo de inclinação em relação ao solo regulado para que o campo de visão dos dois sensores fosse semelhante (Figura 1).

Tabela 1 – Características técnicas dos dois sensores avaliados.

Especificação	N-Sensor TM	CropSpec TM
Fabricante	Yara	Topcon
Modelo	ALS	IP 67
Fonte Luminosa	Xenon	Laser
Bandas Espectrais	730 nm (RedEdge) 760 nm (NIR)	735 nm (RedEdge) 808 nm (NIR)
Altura do sensor	2 - 4 m	2 - 4 m
Ângulo de visada	50° - 66°	40° - 55°
Faixa sensoriada	2 - 4 m	2 - 4 m

Foram realizadas três avaliações em cada área, aos 43, 56 e 90 DAP na área de cultivo convencional e aos 38, 56 e 77 DAP na área de cultivo adensado. Para coleta dos dados dos sensores a máquina percorreu toda a área a uma velocidade média de 5,5 m s⁻¹, com espaçamento de 30 m entre passadas. A partir da relação entre as reflectâncias das duas bandas espectrais de cada sensor, este fornece os valores do índice de vegetação da cultura de acordo com a equação 1:

$$VI = 100 * (IVP / RedEdge - 1) \quad (1)$$

em que:

VI = índice de vegetação;

IVP = reflectância no infravermelho próximo;

RedEdge = reflectância no “red-edge”.



Figura 1. Ponto de instalação dos sensores à esquerda e vista geral da cultura aos 43 e 56 DAP no algodão convencional (superior), e aos 38 e 56 DAP no algodão adensado (inferior).

Os dados de índice de vegetação foram georreferenciados e coletados com frequência de 1 Hz. A partir da coordenada central registrada, projetou-se os valores individuais de cada lado do sensor para o centro do campo de visão deste, a fim de melhor representar a área sensoriada.

Os mapas de índice de vegetação produzidos pelos sensores foram visualmente inspecionados e então utilizados para direcionar os 30 pontos amostrais de cada avaliação, a fim de abranger toda a amplitude dos dados registrados pelo sensor. Nesses pontos foram criadas parcelas virtuais contendo três fileiras de plantas por um metro de comprimento, nas quais todas as plantas foram cortadas próximo ao solo e pesadas para a obtenção da massa fresca. Parte das plantas foi então triturada para compor uma amostra de 250 g que foi seca em estufa à 65°C até peso constante para determinação da porcentagem de matéria seca. As amostras secas foram então enviadas ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da ESALQ/USP para determinação do conteúdo de N e S. A partir desses resultados obteve-se a quantidade total N e S acumulada na cultura.

A análise descritiva inicial dos dados coletados mostrou que estes apresentavam grande assimetria, com concentração de valores pequenos e alta dispersão nos valores maiores. Buscando atender os pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias, estes foram submetidos à transformação logarítmica antes das análises.

A análise estatística dos dados constituiu-se da análise de variância entre a característica sendo estimada e o valor fornecido pelo sensor, sendo consideradas as possíveis interações com o estágio fenológico da cultura e o sistema de espaçamento entre linhas utilizado. A predição realizada pela regressão linear levou em consideração as interações significativas.

A fim de facilitar a compreensão, para apresentação dos resultados na forma gráfica, foram utilizados os resultados sem transformação, usando-se os dois eixos em escala logarítmica. O valor de raiz quadrada do erro médio ao quadrado apresentado nos gráficos também está apresentado na escala original dos dados, sendo obtido pela aplicação da transformação inversa nos resíduos da regressão linear. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados utilizando-se o software R, versão 3.1.0 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância revelou efeito significativo da interação entre índice de vegetação, estágio da cultura e os dois sistemas de espaçamento na predição de massa fresca, N e S acumulados, para os dois sensores avaliados. Devido à presença da interação, esses dois fatores foram incluídos no modelo de predição, o que na prática significa que é necessário que sejam fornecidas essas informações em complemento ao índice gerado pelo sensor para que este seja mais eficiente.

A relação entre massa fresca predita pelo sensor e a observada foi altamente significativa, com coeficiente de determinação igual a 0,96 para o N-Sensor e 0,92 para o CropSpec (Figura 2). Esses resultados indicam que o desempenho dos sensores em prever massa fresca no algodoeiro é superior ao de outras culturas, como por exemplo a cana-de-açúcar, onde o coeficiente de determinação geral entre os valores preditos pelo sensor N-Sensor e os observados foi de 0,83 (PORTZ et al. 2013).

Os valores do coeficiente de determinação para a predição do N acumulado foi de 0,95 e 0,89 para o N-Sensor e CropSpec, respectivamente. Estes valores são maiores, porém próximos, aos encontrados por PORTZ et al. (2012), que ao utilizarem o N-Sensor para estimar o N acumulado em cana-de-açúcar com altura de colmo entre 0,20 e 0,60 m, obtiveram valores de 0,83 ao considerarem diferentes áreas. BRAGAGNOLO et al. (2013) também usaram o N-Sensor para estimar nitrogênio acumulado, a cultura avaliada foi o milho entre os estádios de desenvolvimento V4 e V12 e o coeficiente de determinação (0,87) também foi inferior ao encontrado para o algodão.

Pode-se observar que mesmo aos 90 DAP, período em que todo o N de cobertura usualmente já foi aplicado, os sensores seguem com bom desempenho e não mostram sinais de saturação por excesso de biomassa da cultura, essa constatação é importante porque possibilita maior janela de tempo para as aplicações do N em taxa variável. Considerando que o algodão apresenta um período em torno de 180 dias do plantio à colheita, ou seja, seu ciclo é maior que as outras culturas anuais, isso possibilita o parcelamento da dose total em maior número de aplicações, reduzindo os riscos de elevadas perdas de N por lixiviação em áreas com baixa CTC ou sujeitas a chuvas intensas.

Os coeficientes de determinação observados para a predição de S acumulado usando os índices de vegetação dos sensores também foram altos, chegando a 0,95 para o N-Sensor. A capacidade de sensores ópticos em prever o acúmulo desse nutriente na planta tem sido pouco explorada na literatura, entretanto sabe-se que é possível observar deficiência de S em algumas regiões do Brasil, principalmente nos solos do cerrado (BROCH et al., 2011). A aplicação de enxofre é comum nesses solos, utilizando-se como fonte principalmente o gesso agrícola e sulfatos, assim, esse trabalho sugere ser possível a aplicação de S em taxa variável utilizando-se os sensores de dossel para governar as doses aplicadas.

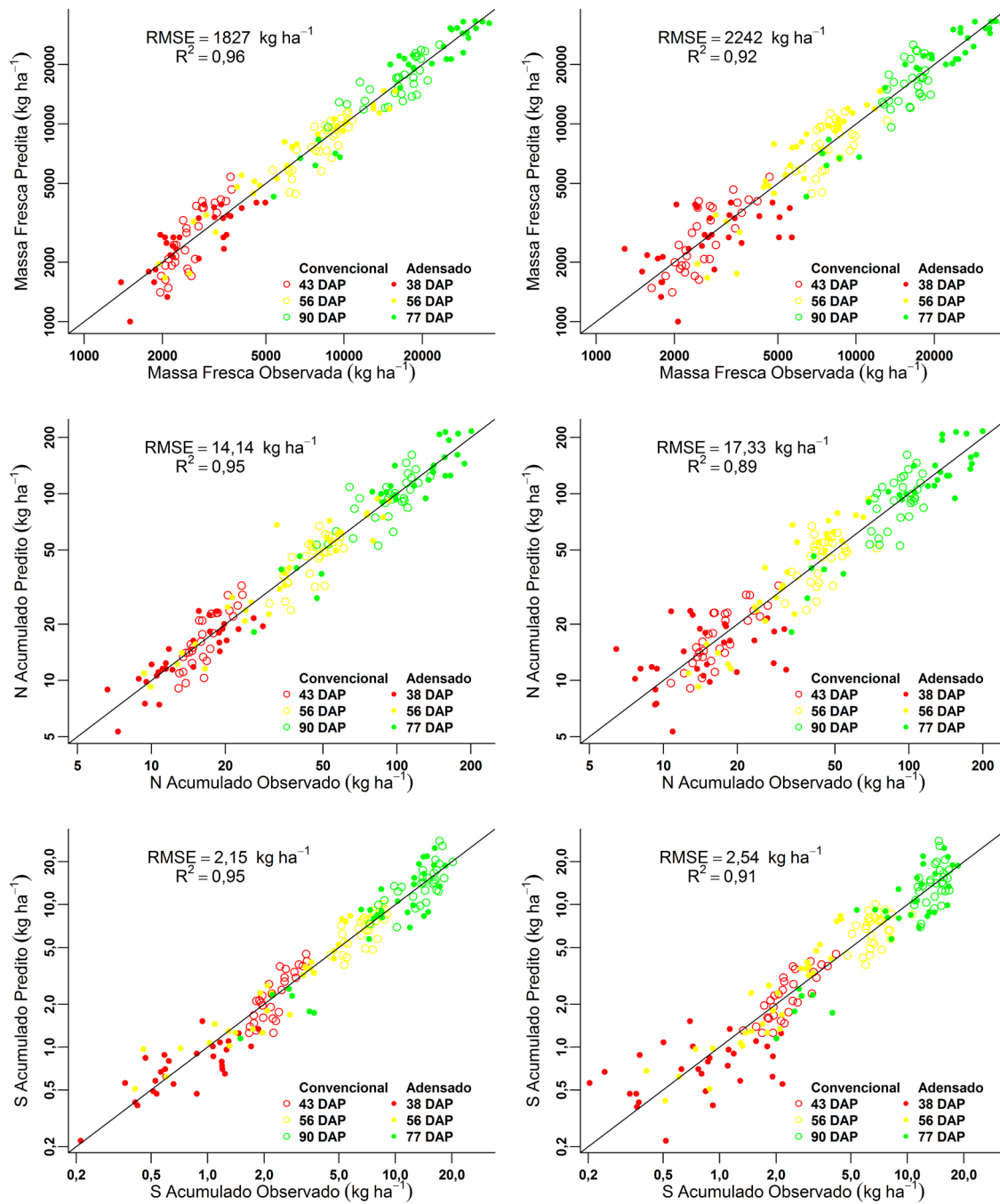


Figura 2. Comparativo do desempenho do N-Sensor (esquerda) e CropSpec (direita) em prever acúmulo de massa fresca, nitrogênio e enxofre no algodoeiro.

De forma geral, para os três parâmetros analisados, os valores do coeficiente de determinação foram maiores para o N-Sensor, na ordem de 4% superiores aos do CropSpec. Apesar disso, pode-se considerar que os resultados fornecidos pelos dois sensores são semelhantes, pois o valor da RMSE para o N acumulado, por exemplo, foi apenas 3 kg ha⁻¹ maior para o CropSpec, o que na prática significa que as doses de N recomendadas pelos dois sensores seriam praticamente as mesmas.

CONCLUSÕES

As relações entre massa fresca, nitrogênio e enxofre acumulados e os valores fornecidos pelos sensores apresentaram interações significativas com o tipo de espaçamento utilizado e o estágio fenológico da cultura. Ambos os sensores foram eficientes em estimar os parâmetros avaliados, com a maioria dos coeficientes de determinação entre os valores preditos e observados superiores a 0,90. De forma geral o N-Sensor apresentou os melhores resultados, com precisão em torno de 4% superior ao CropSpec.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento desse trabalho só foi possível devido à colaboração do Grupo Wink e Fazenda Âncora, a Yara International, a Topcon e a Stara S/A. Os autores também agradecem o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas.

REFERÊNCIAS

BRAGAGNOLO, J., AMADO, T. J. C., NICOLOSO, R.D. S., JASPER, J., KUNZ, J., TEIXEIRA, T. D. G. Optical crop sensor for variable-rate nitrogen fertilization in corn: I-plant nutrition and dry matter production. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, nº 5, p. 1288-1298. 2013.

BROCH, D. L., PAVINATO, P. S., POSSENTTI, J. C., MARTIN, T. N., DEL QUIQUI, E. M. Produtividade da soja no cerrado influenciada pelas fontes de enxofre. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, nº 3, p. 791-796. 2011.

HORLER, D. N. H., DOCKRAY, M., AND BARBER, J. The red-edge of plant leaf reflectance. *Int. J. Remote Sensing*, v. 4, p. 273–288. 1983.

JORDAN, C.F. Derivation of leaf area index from quality measurements of light on the forest floor. *Ecology*, v. 50, p. 663-666. 1969.

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, nº. 1, p. 33-44. 2012.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2014.

STIPP, S. R., CASARIN, V. A importância do Enxofre na agricultura brasileira. *Informações Agronômicas*, nº 129, p. 1-7. 2010.