

Desenvolvimento de um algoritmo baseado em sensores ativos de dossel para recomendação da adubação nitrogenada em taxas variáveis**

Luciano S. Shiratsuchi^{1*}, Marina F. Vilela¹, Richard B. Ferguson^{2*}, John F. Shanahan^{3*}, Viacheslav I. Adamchuk^{4*}, Álvaro Vilela Resende^{5*}, Sandro C. Hurtado^{6*}, Edegar J. Corazza^{7*}

¹ Researcher, Embrapa Cerrados

² Professor, Department of Agronomy and Horticulture, University of Nebraska

³ Researcher, Pioneer HiBred Inc

⁴ Professor, Bioresource Engineering Department, McGill University

⁵ Researcher, Embrapa Milho e Sorgo

⁶ Post-Doc, Embrapa Cerrados

⁷ Researcher, Embrapa Informacao Tecnologica

*e-mail: shozo@cpac.embrapa.br; rferguson@unl.edu; john.shanahan@pioneer.com; viacheslav.adamchuk@mcgill.ca; alvaro@cnpms.embrapa.br; sandroelbat@gmail.com; edemar@sct.embrapa.br

**Activity of the Project Component 3 – Spatial temporal variability characterization and monitoring in annual grain crops

Resumo: O uso de sensores ativos de dossel (ACS) para o ajuste da aplicação localizada em tempo real de fertilizantes nitrogenados é promissor na região do Cerrado, onde grande quantidade de fertilizantes à base de nitrogênio (N) são aplicados em doses uniformes. A vantagem desta técnica comparada com a aplicação tradicional em dose uniforme é principalmente na sincronia da aplicação do N com a época ideal de absorção do nutriente pela planta no decurso da cultura considerando a variabilidade espacial. O objetivo deste estudo foi a geração de um primeiro algoritmo para cálculo da dose de N em milho baseado em leituras destes ACS na região do Cerrado. O experimento foi conduzido em fazenda em 7 locais (durante as safras 2010 e 2011), utilizando faixas longas experimentais com diferentes doses de N (0, 72, 144, 216, 288 and 360 kg N ha⁻¹) com três repetições. Cada uma consistiu de uma faixa de 500m de comprimento em sistema de plantio direto em sequeiro. As medições com os sensores foram realizadas entre os estádios fenológicos de V11 e V13 utilizando um sensor ativo de três bandas (infravermelho próximo, vermelho e vermelho próximo) e um clorofilômetro portátil. A produtividade de grãos foi medida com colhedoras equipadas com monitores de produtividade e DGPS. Foi possível a geração de um primeiro algoritmo para utilização no segundo estágio do projeto, onde serão realizadas as validações comparando com outros procedimentos e abordagens para manejo localizado de N.

Palavras-chave: sensores ópticos ativos de dossel, agricultura de precisão, aplicação em taxas variáveis, aplicação em tempo real.

Developing an algorithm for on-the-go nitrogen management in the Brazilian Cerrado

Abstract: The use of active optical crop canopy sensors (ACS) to adjust the on-the-go nitrogen (N) application is promising in the Brazilian Savannas where great amount of N fertilizers are being applied in uniform rates. The advantage of this technique compared to the conventional, is to match the timing of the plant N demand mid season considering the spatial variability. The objective of this study was to generate a first algorithm for ACS to be implemented in the Cerrado region. The experiment was conducted on-farm in 7 site-years (during 2010 and 2011), using field long strips

with different N rates (0, 72, 144, 216, 288 and 360 kg N ha⁻¹) with three replicates. Each one consisted of a strip with about 500 m length at rain fed no-tillage systems. The corn fields were sensed at V11 to V13 growth stage using an active light three band sensor (NIR, Red Edge and Red) and a chlorophyll meter. Grain yield was measured using a combine equipped with yield monitoring using DGPS. It was possible to generate a first algorithm to be used in the second stage of the project for validation and comparisons between algorithms and approaches for N management.

Keywords: active optical crop canopy sensors, precision agriculture, variable rate technology, real time fertilizer application.

1. Introdução

A utilização de sensores ópticos ativos para o diagnóstico da condição nutricional do milho quanto à necessidade de adubação nitrogenada no decurso da cultura já vem sendo utilizada comercialmente em outros países, tais como, Europa e Estados Unidos. A vantagem da utilização destes sensores deve-se à possibilidade de aplicação de N em taxas variáveis de acordo com a necessidade da cultura considerando a variabilidade espacial e temporal do requerimento de N, evitando perdas e consequentemente, aumentando a lucratividade. Algumas tentativas de validação e uso de sensores similares foram realizadas no Brasil (MOLIN, 2010) em trigo, triticale, cevada, milho e cana-de-açúcar. Nestas primeiras iniciativas foram utilizados sensores ativos de duas bandas para cálculo do índice de vegetação normalizado (NDVI) utilizando vários equipamentos disponíveis no mercado, tais como: Greenseeker (Trimble, EUA); N-sensor (Yara, UK) e Crop Circle (Holland Scientific, EUA). Porém, foi demonstrado que o NDVI tem a limitação de saturação das leituras quando o índice de área foliar (LAI) ultrapassa certo limite (ao redor de 2) (GITELSON; KAUFMAN; MERZLYAK, 1996). Foi observado que a banda do vermelho não é responsiva em altos valores de LAI em contraste com uma alta resposta do infravermelho próximo (NIR), ocasionando insensibilidade do NDVI para mudanças de teores de clorofila ou doses de N. Esta situação é muito comum na cultura do milho onde valores de LAI ultrapassam facilmente estes valores em estágios V7 até VT. Antes do V7 mesmo sensores que utilizam índices de vegetação (IV) mais robustos como o índice de clorofila utilizando o vermelho próximo (Chlorophyll Index Red Edge) (GITELSON et al., 2002) não conseguem separar a condição nutricional de

nitrogênio no milho (SHIRATSUCHI et al., 2009). O uso do NDVI vem sendo estudado a muito tempo por pesquisadores da Universidade do estado de Oklahoma nos EUA com sucesso na cultura do trigo, porém o algoritmo utilizado inclui no cálculo da recomendação de N, a divisão do NDVI por número de dias da semeadura até a data da leitura com o sensor (RAUN et al., 2002), chamado INSEY (*in-season estimate of yield*). Este procedimento parte do pressuposto que pode se prever a potencial produtivo baseado em leituras NDVI. Porém, em condições de sequeiro em plantio direto no Cerrado é muito difícil se prever a produtividade final devido a grande variação climática e provavelmente a utilização de um índice que utiliza dias após a semeadura incorporado no algoritmo para recomendação de N parece não ser a opção mais adequada para condições de Cerrado. Dentro deste contexto, existe uma grande necessidade de algoritmos mais robustos que consideram variações locais dentro do sistema de produção e que se baseiam em estádios fenológicos para recomendação de uso destes sensores. Os objetivos desta fase do projeto foi desenvolver um primeiro algoritmo generico baseado em sensores de três bandas para quantificação da adubação nitrogenada em tempo real na cultura do milho em condições do Cerrado.

2. Material e métodos

O experimento foi conduzido em fazenda em condição de sequeiro durante as safras de 2010 e 2011. Todas áreas vem sendo conduzidas em sistema de plantio direto a mais de 10 anos e seguem um esquema de rotação comumente utilizado, soja-milho. Foram realizadas parcelas longas de aproximadamente 500 m de comprimento por 25 m de largura (largura de passada do aplicador

em taxas variáveis de N). Cada dose de N (0, 72, 144, 216, 288 e 360 kg N ha⁻¹) foi replicada 3 vezes e casualizada em cada área escolhida dentro da fazenda. Um total de 7 locais foram estudados nestes dois anos iniciais, identificados como AD1, AD2, AD3, PM1, PM2, PM3 e SD1. As leituras foram realizadas entre os estádios fenológicos V10 e V13, utilizando um sensor de três bandas (infravermelho próximo (NIR): 760 nm; vermelho próximo (Red Edge): 720 nm e vermelho (Red): 670 nm), marca Holland Scientific, modelo Crop Circle 430, adquirindo leituras contínuas na taxa de 1Hz. Foram realizadas leituras com clorofilômetro manual para aferições no teor de clorofila, marca Minolta, modelo SPAD 502, num total de 1500 leituras por cada dose de N por área. A produtividade foi mapeada utilizando colhedora equipada com sensores e monitores de produtividade associados a um GPS com correção diferencial. O algoritmo proposto neste trabalho utiliza um conceito simples e largamente utilizado e validado pela pesquisa nos EUA chamado índice de suficiência de nitrogênio (NSI) (SCHEPERS et al., 1992). Este conceito integra na leitura do sensor os efeitos do clima e solo para condições locais de uso, pois utiliza uma parcela referência dentro do talhão que é considerada não limitante em termos de N. O desenvolvimento deste primeiro protótipo algoritmo parte do pressuposto que a parcela referência representa bem a condição local do talhão. Deve se ressaltar que é difícil a localização desta parcela em local adequado devido a variabilidade espacial inerente de solos do Cerrado, porém já existem novos procedimentos propostos que consideram estas variações locais, mas que não será abordado neste trabalho. O NSI utilizado neste estudo é basicamente a divisão da leitura do sensor

(convertido para um índice de vegetação) por uma leitura em um local no talhão onde o nitrogênio não é considerado limitante (parcela referência). $NSI = IV$ na leitura em tempo real dividido pelo IV da parcela referência. Neste caso foi utilizado o índice de vegetação MTCI (*Meris Terrestrial Chlorophyll Index*), Dash e Curran (2004): $MTCI = (NIR-RedEdge)/(RedEdge-Red)$. As etapas gerais para a geração do algoritmo foram: i) determinação da dose de N onde a produtividade de milho foi maximizada (N_{max}) utilizando produtividade relativa (PR) (produtividade em cada dose de N dividida pela produtividade na maior dose onde foi considerada suficiente em termos de N (360 kg N ha⁻¹), ii) determinação da sensibilidade do sensor utilizando a relação entre o NSI e doses de N, podendo desta forma determinar a condição nutricional de N na planta, iii) por diferença da N_{max} determinada e a quantidade estimada de N na planta pelos sensores, foi determinada uma equação que calcula o dose de N necessária a ser aplicada em cobertura para maximizar a produtividade. O desenvolvimento deste algoritmo é baseado em adaptações do trabalho desenvolvido por Solari (2006).

3. Resultados e discussão

Em geral as produtividades de milho foram boas mesmo com doses moderadas de N, mostrando que o suprimento de N via matéria orgânica em solos com plantio direto e o residual da soja pode contribuir consideravelmente para o alcance de produtividades satisfatórias (Tabela 1). Em geral o teor de matéria orgânica destes solos estavam acima de 2% e demais nutrientes adequados (P e K em teores altos).

Tabela 1. Produtividade de milho obtidas em diversas ares com experimentação em fazenda, utilizando diferentes doses de N em faixas.

Dose de N kg N ha ⁻¹	PM1_10	PM2_10	PM3_10	AD1_10	AD2_10	AD3_10	SD1_11
0	9691	9558	7905	10331	10400	9482	10952
72	10571	10558	8648	10580	10505	10269	10909
144	10125	10611	9582	10852	10200	10720	11907
216	10411	11870	10323	11181	10333	10713	13100
288	9611	10680	9988	11061	10000	10634	11134
360	11491	10729	9722	11119	11320	10415	12747

Normalizando a produtividade pela produtividade na maior dose de N (PR), foi possível calcular uma resposta média em 7 áreas. Ajustando uma equação polinomial de segundo grau, foi determinada a dose de N que maximiza a produtividade que nesse caso foi uma dose de 350 kg N ha⁻¹ (Figura 1). A correlação dos teores de clorofila medidas com o chlorofilômetro foram altas, assegurando que o sensor ativo de dossel utilizando o índice de vegetação MTCI foi adequado para detectar diferenças no teor de N nas folhas (Figura 1).

Baseado na resposta dos sensores à doses de N (Figura 2), foi possível determinar o teor relativo de N na planta dado o NSI calculado na área onde se pretende fazer a adubação de cobertura. Fazendo a diferença da dose de N que maximiza a produtividade de milho determinada (N_{max} = 350 kg N ha⁻¹) com o teor estimado de N na planta determinado (Figura 2), tem-se os algoritmos para determinação da dose de N em cobertura para o sensor ativo e também para o clorofilômetro (Figura 3).

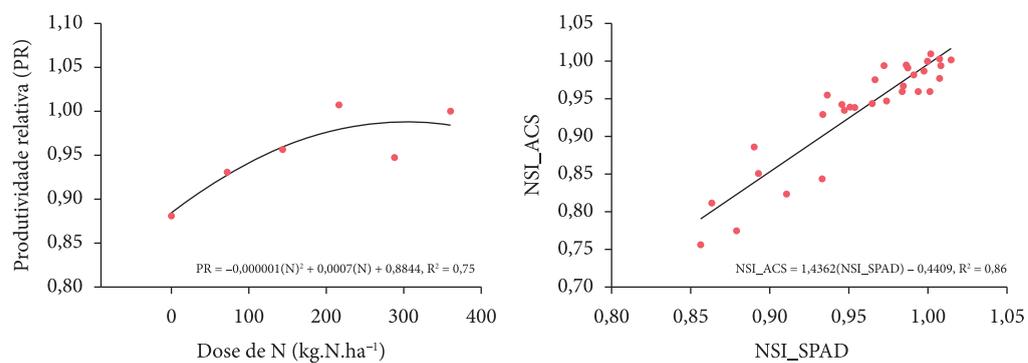


Figura 1. Produtividade relativa de grãos de milho (PR) em resposta a doses de N e correlação entre leituras do índice de suficiência do clorofilômetro (NSI_SPAD) e do sensor ativo (NSI_ACS).

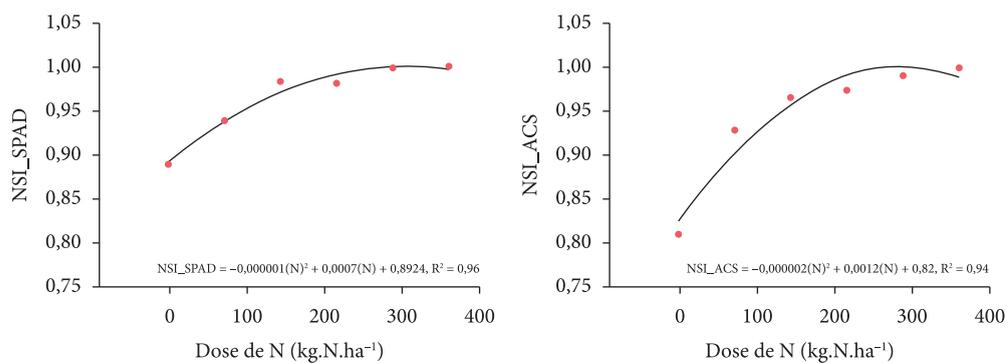


Figura 2. Relação de NSI_SPAD e NSI_ACS com doses de N.

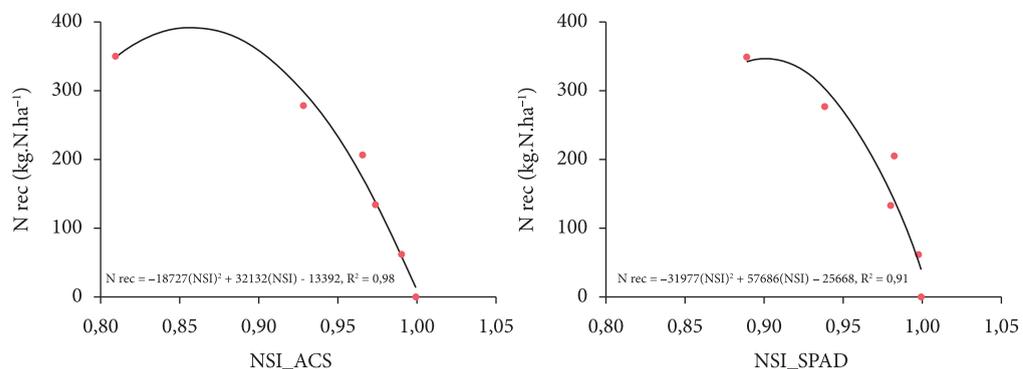


Figura 3. Dose de N recomendada em cobertura (N rec) dado o índice de suficiência de N para o clorofilômetro (NSI_SPAD) e para o sensor óptico ativo (NSI_ACS).

Novamente é importante lembrar que apesar da obtenção do índice de suficiência (NSI) ser semelhante para os dois sensores, onde se divide a leitura de cada sensor pela parcela referência (alta dose de N), cada sensor tem modos completamente diferentes (SPAD exige contato físico e ACS é um sensor ativo sem necessidade de contato com o alvo), portanto especial atenção deve ser dada na utilização destas equações. Certamente ajustes futuros serão necessários para cada condição, principalmente quando se tem uma dose muito alta de N requerida para maximização da produtividade (N_{max}) como foi encontrado neste estudo de 350 kg N ha⁻¹. Outro ponto importante é que uma dose mínima no plantio de 75 kg N ha⁻¹ deve ser realizada para que após a adubação de cobertura baseada em sensores a planta tenha condições de recuperação. Por outro lado, doses muito maiores que esta na base pode comprometer a habilidade dos sensores em detectar diferenças no dossel na época da aplicação (V10-VT).

4. Conclusões

Foram gerados nesta primeira etapa do projeto dois algoritmos que serão utilizados em fases posteriores de validação e comparação de diversas abordagens realizadas em adubação nitrogenada em tempo real no Cerrado. Além disso, foi apresentado um procedimento para geração de algoritmos com a utilização de sensores ativos, que pode ser adaptado e retrabalhado em cada condição específica.

Agradecimentos

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) pelo financiamento da pesquisa e ao Serviço de Pesquisa Agrícola Americano (ARS – USDA) pelo fornecimento de equipamentos

e pessoal. Sinceros agradecimentos ao engenheiro agrônomo Francisco Luçardo por acreditar que a Agricultura de Precisão aumenta a eficiência do sistema agrícola no Cerrado.

Referências

- DASH, J.; CURRAN, P. J. The MERIS terrestrial chlorophyll index. *International Journal of Remote Sensing*, v. 25, p. 5403-5413, 2004. <http://dx.doi.org/10.1080/0143116042000274015>
- GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y.; MERZLYAK, M. N. Use of green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, v. 58, p. 289-298, 1996. [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00072-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00072-7)
- GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; ROBERT, S.; RUNDQUIST, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, v. 80, p. 76-87, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00289-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00289-9)
- MOLIN, J. P. Use of active optical sensors for crops in Brazil. *Better Crops*, v. 94, p. 18-20, 2010.
- RAUN, W. R.; SOLIE, J. B.; JOHNSON, G. V.; STONE, M. L.; MULLEN, R. W.; FREEMAN, K. W.; THOMASON, W. E.; LUKINA, E. V. Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application. *Agronomy Journal*, v. 94, p. 815-820, 2002. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2002.0815>
- SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D. D.; VIGIL, M.; BELOW, F. E. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 23, p. 2173-2187, 1992. <http://dx.doi.org/10.1080/00103629209368733>
- SHIRATSUCHI, L. S.; FERGUSON, R. B.; ADAMCHUCK, V. I.; SHANAHAN, J. F.; SLATER, G. P. Integration of ultrasonic and active canopy sensors to estimate the in-season nitrogen content for corn. In: NORTH CENTRAL EXTENSION-INDUSTRY SOIL FERTILITY CONFERENCE, 2009, Des Moines. *Proceedings...* Brookings: PPI, 2009.
- SOLARI, F. *Developing a crop based strategy for on-the-go nitrogen management in irrigated cornfields*. 2006. 157 f. Tese (Doutorado)-University of Nebraska, Lincoln, 2006.