

Índice de vegetação no algodoeiro sob diferentes doses de nitrogênio e regulador de crescimento

Vegetation index in cotton under rates of nitrogen and growth regulator

Anamari Viegas de Araujo Motomiya^{1*}; Igor Moraes Queiroz Valente²;
Jose Paulo Molin³; Wagner Rogério Motomiya⁴;
Guilherme Augusto Biscaro¹; Rodrigo Aparecido Jordan¹

Resumo

O custo crescente dos fertilizantes nitrogenados, aliado às elevadas perdas, aumenta a necessidade de práticas de manejo que resultem em alta eficiência de utilização do nitrogênio pelas culturas, considerando a redução de riscos ao ambiente. Nessa premissa, objetivou-se avaliar a resposta do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) à variação de doses de nitrogênio e regulador de crescimento e sua relação com os teores foliares de N e de clorofila na cultura do algodoeiro. O experimento foi conduzido em um Latossolo Vermelho distroférico, em Dourados, MS. Adotou-se um delineamento em blocos aleatorizados, no esquema de parcelas subdivididas, com 4 repetições. Os tratamentos principais consistiram de doses de regulador de crescimento (0, 0,30 e 0,60 L ha⁻¹); os tratamentos secundários consistiram de 5 doses de N (0, 30, 70, 110 e 150 kg ha⁻¹). O NDVI obtido através de sensor óptico ativo foi influenciado significativamente, tanto pelas doses de N quanto pela aplicação do regulador de crescimento, porém, na maior parte das leituras não houve interação significativa entre estes dois fatores. Os valores do NDVI podem ser usados para diagnosticar deficiências nutricionais relativas ao N na cultura.

Palavras-chave: Agricultura de precisão, manejo da adubação, sensoriamento remoto

Abstract

The increasing cost of nitrogen fertilizer, combined with high losses, demand management practices that result in high efficiency of nitrogen use by crops, considering the reduction of risks to the environment. Our objectives were to evaluate the index of normalized difference vegetation – NDVI – the variation of nitrogen and growth regulator and its relationship to foliar N and chlorophyll in cotton crops. The experiment was conducted on Distroferric Latosol (Oxisol), in Dourados, MS. We adopted a randomized block design in split plot with four replications. The main treatments consisted of doses of growth regulator (0, 0.30 and 0.60 L ha⁻¹), the secondary treatments consisted of five N rates (0, 30, 70, 110 and 150 kg ha⁻¹). The NDVI obtained by an active optical sensor was influenced significantly by the N and the growth regulator application, but on most of the readings the interactions between these two factors were not significant. NDVI values can be used on the diagnostic of N nutritional deficiencies for cotton.

Key words: Precision agriculture, fertilization management, remote sensing

¹ Profs. Adjuntos, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, UFGD, Dourados, MS. E-mail: anamarimotomiya@ufgd.edu.br; gbiscaro@ufgd.edu.br; rodrigojordan@ufgd.edu.br

² Discente no Curso de Engenharia Agrícola, Faculdade de Ciências Agrárias, UFGD, Dourados, MS. E-mail: igor_valente88@hotmail.com

³ Prof. Titular do Deptº de Biosistemas, Universidade de São Paulo, USP, Piracicaba, SP. E-mail: jpmolin@usp.br

⁴ Discente Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, Universidade Estadual de Maringá, UEM, Maringá, PR. E-mail: wagner.r.motomiya@monsanto.com

* Autor para correspondência

Introdução

A aplicação de insumos agrícolas considerando a heterogeneidade intrínseca das lavouras vem, ao longo dos últimos anos, tornando-se prática comum nas propriedades agrícolas. Diversos autores têm relatado que a adoção de práticas de Agricultura de Precisão pode contribuir para otimização da produção agrícola e redução do risco de contaminação ambiental (BALASTREIRE, 1997; CORA et al., 2004; MOTOMIYA; MOLIN; CHIAVEGATO, 2009; AMARAL; MOLIN, 2011).

Atualmente, são várias as frentes de pesquisa que buscam a proposição de tecnologias para aplicação de insumos em taxas variáveis. Neste contexto, surgiram as técnicas de acompanhamento das culturas, de maneira a verificar minuciosamente o seu desenvolvimento e resposta a aplicação dos insumos. Por apresentarem relação com o desenvolvimento das plantas, os índices de vegetação são ferramentas promissoras e vêm sendo utilizados e aperfeiçoados para o monitoramento de culturas agrícolas.

O sensoriamento remoto tem se mostrado um instrumento de grande utilidade para o monitoramento de grandes áreas, para avaliar as condições das culturas em relação ao nitrogênio. Tais técnicas permitem a obtenção de informações de objetos (alvos) a partir de plataformas remotas, montadas em tratores ou outros veículos (LAMPARELLI; ROCHA; BORGHI, 2001). Segundo Ma et al. (2001), as técnicas de sensoriamento remoto, em particular a refletância multiespectral do visível e do infravermelho, podem proporcionar dados para realizar correlações entre a refletância do dossel da planta e a biomassa existente acima do solo, que podem vir a serem usadas para obter estimativas da produtividade das culturas.

O sensoriamento remoto foi utilizado para estimar parâmetros das culturas como radiação fotossinteticamente ativa e índice de área foliar (BARET; GUYOT, 1991), conteúdo de clorofila

nas folhas (TUMBO; WAGNER; HEINEMANN, 2002), cobertura do solo (BOISSARD; POINTEL; TRANCHEFORT, 1992), conteúdo de água (WAHEED et al., 2006), conteúdo de nitrogênio (SOLIE et al., 2002), e muitas outras propriedades químicas da vegetação. A eficiência dos índices de vegetação obtidos através de sensores óticos para avaliação do estado nutricional é objeto de estudo de vários pesquisadores em diferentes culturas, como os realizados na cultura do algodão (ZHAO et al., 2005; MOTOMIYA; MOLIN; CHIAVEGATO, 2009), cana-de-açúcar (MOLIN et al., 2010), milho (SOUZA et al., 2009) e trigo (POVH et al., 2008; GROHS et al., 2009).

Existem diversos fatores que interferem na obtenção dos índices de vegetação, conduzindo à obtenção de valores diferentes para as mesmas condições de superfície. Esses fatores podem ser separados em dois grupos: fatores relacionados com a superfície observada e fatores relacionados com o processo de obtenção dos dados (GALVÃO; VITORELLO; ALMEIDA FILHO, 1999). Fatores relacionados com a superfície observada incluem os aspectos intrínsecos à vegetação, que influenciam as medidas espectrais dos sensores.

Holland e Schepers (2010) consideram que conhecer primeiro a resposta da cultura à aplicação de um nutriente é útil para orientar a aplicação de fertilizantes com base nas propriedades biofísicas da cultura. Este conceito envolve a medição de uma cultura ou atributos de crescimento de plantas em condições de campo programadas e documentadas, gerando um modelo de regressão que relaciona as propriedades biofísicas observadas aos requisitos das aplicações de nutrientes. Tipicamente, as medições do sensor são normalizadas para reduzir os efeitos de cultivar, estrutura da copa (isto é, a fase de crescimento e arquitetura de folhas), e as diferenças no sensor/distância das plantas, permitindo que o modelo desenvolvido possa ser aplicado em extensas áreas e diferentes tipos de culturas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar, em condições de campo, o efeito da variação de doses de nitrogênio e de regulador de crescimento na detecção do teor de nitrogênio foliar, utilizando um medidor portátil de clorofila e propriedades de refletância obtidas com o uso de um sensor óptico ativo.

Material e Métodos

O experimento foi implantado no ano agrícola 2009-2010, numa área experimental da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, localizada no município de Dourados, Estado do Mato Grosso do Sul, cujas coordenadas geográficas são 22°13'16"S e 54°17'01"W, com altitude média de 452 m. O clima local é classificado como Cwa segundo a classificação de Köppen.

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 2006), textura muito argilosa, com as seguintes características: pH (CaCl₂) = 5,3; M.O = 26,94 g dm⁻³; P-resina = 5 mg dm⁻³; K⁺ = 1,5 mmol_c dm⁻³; Ca²⁺ = 33,1 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 25,2 mmol_c dm⁻³; H⁺Al = 55 mmol_c dm⁻³; CTC = 114,9 mmol_c dm⁻³ e V = 52 %. O preparo do solo foi realizado com uma aração e duas gradagens, 15 dias antes da semeadura. Adotou-se um delineamento em blocos aleatorizados, no esquema de parcelas subdivididas, com 4 repetições. Nas parcelas, foram alocados os tratamentos principais, com doses de regulador de crescimento utilizando-se o produto Tuval® (cloreto de chlormequat), de 0, 0,30 e 0,60 L ha⁻¹, com aplicações parceladas aos 20 e 40 dias após a emergência (DAE). Nas subparcelas, foram alocados os tratamentos secundários, os quais consistiram de 5 doses de N: 0, 30, 70, 110 e 150 kg ha⁻¹, divididas em duas aplicações aos 28 e 41 dias após a emergência da plantas, utilizando como fonte o fertilizante ureia. Cada subparcela foi constituída de quatro linhas de semeadura com 5,0 m de comprimento, espaçadas de 0,9 m entre si. Como área útil, foram consideradas as duas linhas centrais.

A semeadura do algodoeiro foi realizada mecanicamente no dia 21 de dezembro de 2009, utilizando-se a cultivar Nuopal. A adubação de semeadura foi realizada de acordo com a análise do solo. Os tratamentos fitossanitários e demais tratamentos culturais foram realizados conforme descrito por Embrapa (2001) para garantir o bom desenvolvimento das plantas, de maneira uniforme em todos os tratamentos.

Os dados espectrais foram coletados aos 36, 52, 67, 81 e 90 após a emergência das plantas, com um sensor ativo (Crop Circle® ACS-210, Holland Scientific, Inc. Lincoln, NE). Este emite a luz no comprimento de onda do vermelho âmbar a 580 nm (visível) e do infravermelho próximo a 880 nm, e a luz refletida é captada pelo detector. A partir da refletância ele calcula automaticamente o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI). De acordo com o fabricante, a altura de trabalho do sensor pode variar de 0,25 a 2,13 m de distância do alvo. Neste trabalho, as leituras foram realizadas a uma altura padronizada de 0,60 m das plantas.

As leituras com o clorofilômetro foram realizadas na quinta folha completamente expandida a partir do ápice das plantas em 10 plantas por parcela, aos 80 dias após a emergência das plantas. O medidor de clorofila mede o tom de verde da folha, o qual é afetado por vários fatores, sendo o principal o teor de N na planta. O equipamento utilizado foi o SPAD-502, o qual calcula o índice de clorofila pela razão entre dois comprimentos de onda transmitidos a 650 nm (vermelho) e 940 nm (IVP).

A amostragem de tecido foliar foi realizada também aos 80 dias após a emergência das plantas, no estágio de florescimento pleno, coletando-se uma amostra composta de 10 folhas por parcela, para determinação dos teores de macronutrientes, conforme métodos descritos por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

O efeito dos tratamentos e da relação entre as variáveis foi avaliado por meio de análise de variância, verificando-se a significância pelo teste

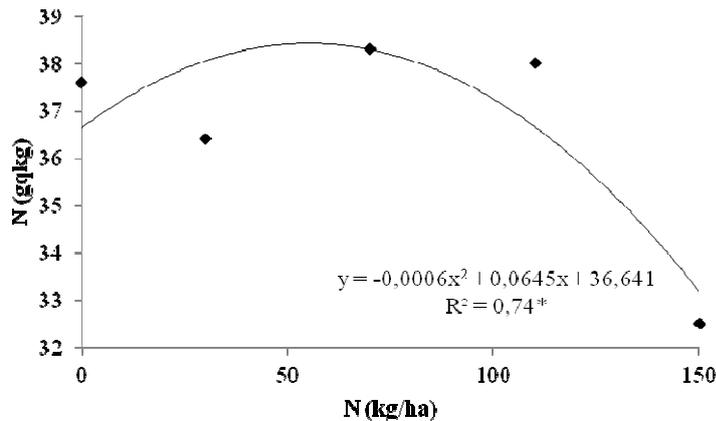
F de Snedecor. Procedeu-se à análise de regressão a fim de avaliar o efeito destes sobre as variáveis em estudo.

Resultados e Discussão

Na Figura 1, observa-se o comportamento quadrático do teor de N no tecido foliar aos 80 dias após a germinação em relação às doses de N aplicadas. Os teores foliares médios de N estão dentro da faixa considerada adequada à cultura (35 – 43 g kg⁻¹), segundo critérios estabelecidos por Silva (1999), com exceção da dose de 150 ha⁻¹

, a qual resultou em teores baixos do nutriente. Provavelmente, devido ao efeito de diluição causado pelo maior crescimento da planta com esta dose. Fazendo-se a derivada da equação de regressão, obtém-se o ponto de máximo teor foliar de N (38,37 g kg⁻¹) quando aplicada a dose de 53,75 kg ha⁻¹ de N em cobertura. Holland e Schepers (2010) salientaram que a região de máximo de uma função quadrática pode ser usada para indicar quando a quantidade de N aplicada passa ser em excesso. Este ponto da função indica onde a produtividade torna-se relativamente insensível aos aumentos de adições de fertilizantes nitrogenados.

Figura 1. Relação entre doses de N aplicadas e teores foliares de N do algodoeiro aos 80 dias após a emergência.



Fonte: Elaboração dos autores.

As significâncias dos valores do teste F da análise de variância e o coeficiente de variação para cada variável estão apresentados na Tabela 1. Observa-se que o NDVI foi influenciado significativamente tanto pelas doses de N quanto pela aplicação do regulador de crescimento. Entretanto, a interação significativa entre ambos foi somente observada aos 52 dias após a emergência das plantas. Apenas nesta leitura não foi observado efeito isolado das doses de N aplicadas. O regulador de crescimento aplicado na cultura pode afetar as leituras do NDVI com sensor óptico ativo, e isto pode ser dependente

do estágio de desenvolvimento da cultura. Povh et al. (2008), analisando o efeito de doses de N sobre o NDVI em cereais, destacaram que, nos estádios iniciais da cultura, com baixos índices de área foliar, a discriminação entre diferentes níveis de N se torna mais difícil em razão da influência do solo exposto na entrelinha e da presença de falhas na emergência das plantas. Conforme a parte aérea se desenvolve com aumento do índice de área foliar, é possível determinar com maior acuracidade a variação de biomassa entre os tratamentos.

Tabela 1. Significância do teste F da análise de variância e coeficiente de variação para as leituras das refletâncias no VIS e IVP e do NDVI em função do período de coleta de dados (dias após a emergência – DAE).

	36 DAE	52 DAE	67 DAE	81 DAE	90 DAE
VIS					
reg	0,0012	0,0087	0,5	<0,0001	0,28
bloco	<0,0001	0,001	<0,0001	<0,0001	0,9
N	0,546	0,3761	0,65	0,029*	0,04*
N*reg	0,335	0,46	0,66	0,2	0,37
CV	16,67	16,71	16,06	14,05	18,71
IVP					
reg	0,001	0,11	0,41	<0,0001	0,25
bloco	<0,0001	0,35	<0,0001	<0,0001	0,78
N	0,15	0,15	0,03	0,0051	0,002
N*reg	0,44	0,49	0,73	0,35	0,689
CV	34,41	32,13	22,07	17,4	22,78
NDVI					
reg	0,0008	0,04	0,08	0,004	0,59
bloco	<,0001	0,17	0,77	0,07	0,033
N	0,0118	0,14	0,001	0,0067	<0,0001
N*reg	0,33	0,03	0,86	0,689	0,88
CV	9,2	10,91	4,8	2,86	2,4

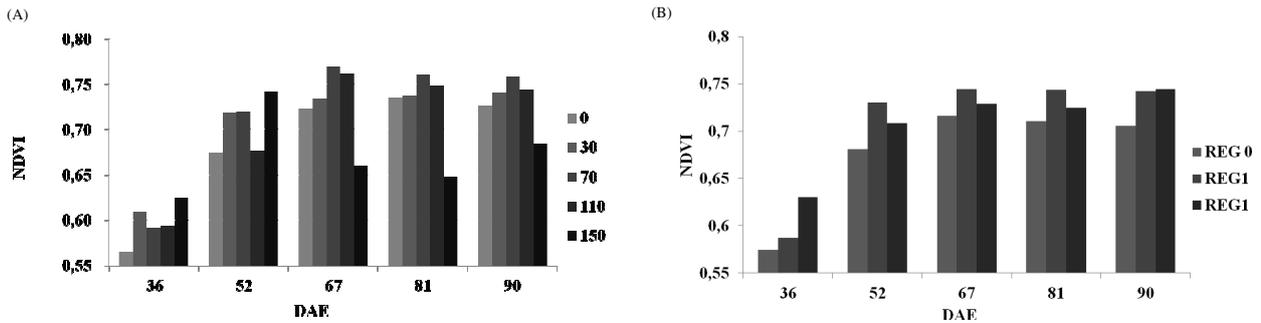
Fonte: Elaboração dos autores.

Na Figura 2, observa-se a evolução dos valores do NDVI ao longo do desenvolvimento da cultura. Inicialmente, os valores são baixos, com mínimo de 0,57 para a dose 0 de N, aos 36 dias após a emergência das plantas. O máximo de 0,76 é atingido aos 67 após a emergência, com a dose de 70 kg ha⁻¹ de N.

Aos 80 dias após a emergência das plantas não houve resposta significativa para a aplicação de N com relação à refletância no IVP e no visível. Entretanto, observou-se resposta do NDVI em relação às doses de N aplicadas, sendo obtido ajuste

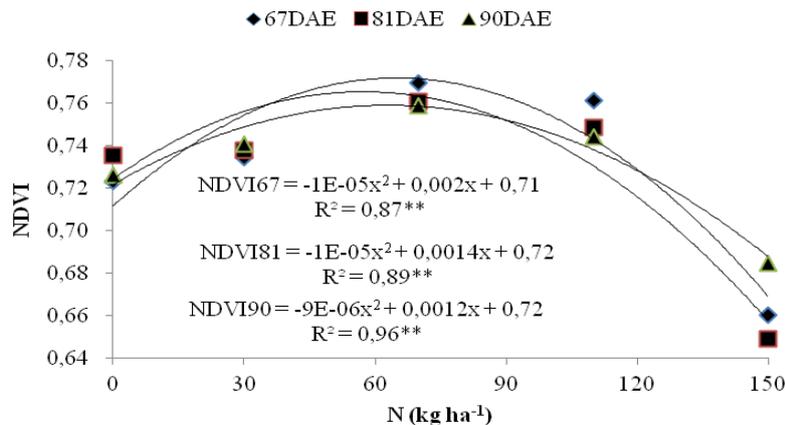
quadrático (Figura 3). Com a deficiência de N, ocorre a diminuição da concentração de clorofila e do conteúdo de proteína solúvel, bem como da taxa de expansão foliar e desenvolvimento da planta (READ et al., 2002). Como a refletância na região do visível do espectro eletromagnético varia em função da concentração de clorofila no tecido foliar, quanto menor o suprimento de N na planta, menor será o nível de clorofila e, conseqüentemente, menor será a absorção da radiação na região do visível, o que causa a redução do NDVI.

Figura 2. Evolução dos valores do NDVI ao longo do desenvolvimento da cultura em função das doses de aplicadas de nitrogênio (A) e de regulador de crescimento (B).



Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 3. Curva de regressão ajustada para o NDVI aos 80 dias após a emergência (DAE) em função das doses de N aplicadas na cultura do algodoeiro.

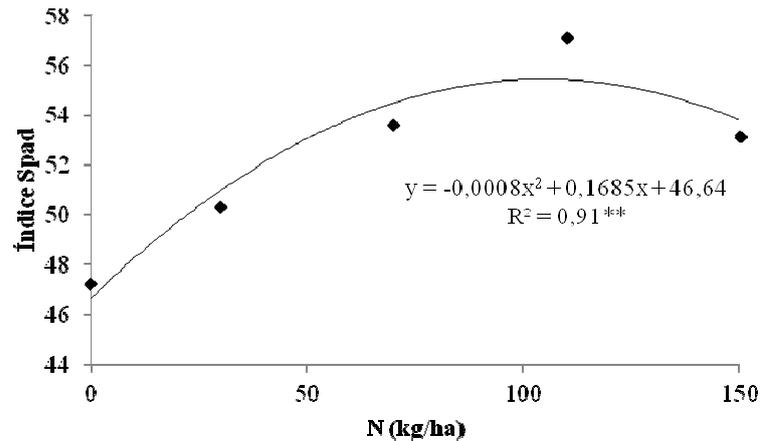


Fonte: Elaboração dos autores.

Conforme destacaram Rosolem e van Mellis (2010), o medidor de clorofila pode ser usado na estimativa do estado nutricional do algodoeiro a partir da terceira semana de florescimento. Nesse caso, as leituras iguais ou acima de 50 indicam plantas bem nutridas. Segundo este critério, somente com doses superiores a 30 kg ha⁻¹ de N, obtiveram-se estes índices de clorofila foliar (Figura 4). Observou-se relação quadrática e altamente significativa do índice Spad com as doses de N aplicadas. Embora, no uso de clorofilômetros, deve-se estar atento para a dificuldade operacional de coleta de dados em grande escala (SCHRÖDER

et al., 2000). Em áreas extensas, a determinação da deficiência nutricional relativa ao N é facilitada utilizando sensores portáteis, que medem a refletância espectral da vegetação, com correlação direta aos níveis de N e clorofila foliar. Segundo Motomiya, Molin e Chiavegato (2009), o uso de medidas de refletância como indicador do estado nutricional das culturas referente ao N ainda está em fase inicial, em relação a outros métodos de diagnose nutricional. Os aspectos positivos desta tecnologia em relação a outros métodos de diagnose referem-se à pequena necessidade de procedimentos laboratoriais e, conseqüentemente, menores custos.

Figura 4. Curva de regressão ajustada para o Índice Spad aos 80 dias após a emergência em função das doses de N aplicadas na cultura do algodoeiro.

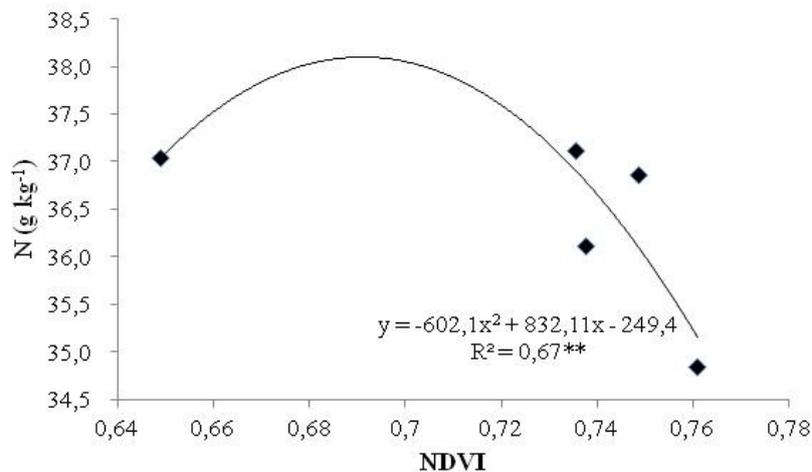


Fonte: Elaboração dos autores.

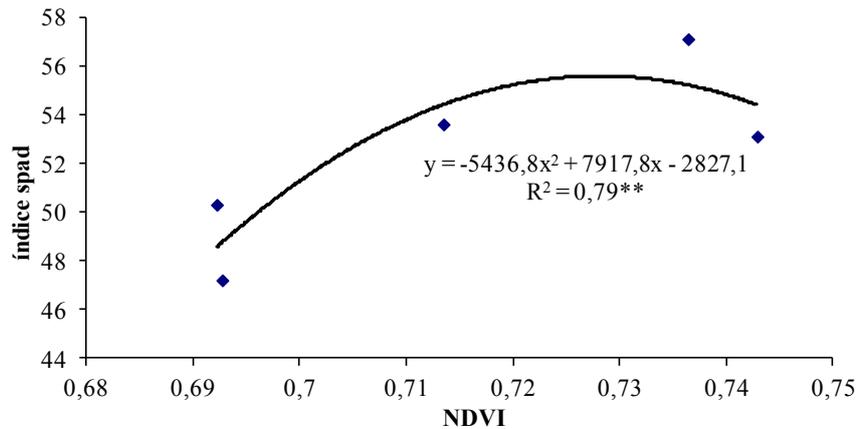
Aos 80 dias após a emergência, o NDVI apresentou relação quadrática com o teor foliar de N (Figura 5). Povh et al. (2008) afirmaram que o NDVI não é apenas dependente do teor de N nas plantas. Mas, de qualquer fator externo que tenha influência sobre a biomassa. O sensor utilizado mostrou-se eficiente na detecção da concentração de clorofila, medido pelo índice Spad (Figura 6). Conforme Motomiya, Molin e Chiavegato (2009)

relataram, os valores do NDVI e do índice de clorofila diminuem em culturas sob estresse hídrico. Da mesma forma, culturas, épocas de semeadura e efeitos espaciais e sazonais exercem impacto sobre as leituras. Além disso, no caso do índice de clorofila cores diferentes podem existir ao longo da lâmina foliar. Essas fontes de variação sugerem a necessidade de um rígido protocolo de amostragem, para corrigir erros e normalizar as medidas obtidas.

Figura 5. Curva de regressão ajustada entre NDVI e teores foliares de N na cultura do algodoeiro aos 80 dias após a emergência.



Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 6. Curva de regressão ajustada entre NDVI e Índice Spad na cultura do algodoeiro aos 80 dias após a emergência.

Fonte: Elaboração dos autores.

Conclusões

O NDVI obtido através de sensor óptico ativo foi influenciado significativamente tanto pelas doses de N quanto pela aplicação do regulador de crescimento, porém na maior parte das leituras não houve interação significativa entre estes dois fatores. Os valores do NDVI apresentaram relação significativa com os teores foliares de N e de clorofila na cultura do algodoeiro, podendo ser usados para diagnosticar deficiências nutricionais relativas ao N na cultura.

Referências

- AMARAL, L. R.; MOLIN, J. P. Sensor óptico no auxílio à recomendação de adubação nitrogenada em cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 8, p. 1633-1642, 2011.
- BALASTREIRE, L. A. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade da cultura do milho. *Engenharia Rural*, Piracicaba, v. 8, n. 1, p. 97-111, 1997.
- BARET, F.; GUYOT, G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*, New York, v. 35, n. 2-3, p. 161-173, 1991.
- BOISSARD, P.; POINTEL, J. G.; TRANCHEFORT, J. Estimation of the ground cover ratio of a wheat canopy using radiometry. *International Journal Remote Sensing*, London, v. 13, n. 9, p. 1681-1692, 1992.
- CORA, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Algodão: tecnologia de produção. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 296 p.
- _____. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- GALVÃO, L. S.; VITORELLO, I.; ALMEIDA FILHO, R. Effects of band positioning and band width on NDVI measurements of tropical savannas. *Remote Sensing of Environment*, New York, v. 67, n. 2, p. 181-193, 1999.
- GROHS, D. S.; BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M.; POLETTO, N. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor GreenSeeker. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 101-112, 2009.
- HOLLAND, K. H.; SCHEPERS, J. S. Derivation of a variable rate nitrogen application model for in-season fertilization of corn. *Agronomy Journal*, Madison, v. 102, n. 5, p. 1415-1424, 2010.
- LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V.; BORGHI, E. *Geoprocessamento e agricultura de precisão: fundamentos e aplicações*. Guaíba: Agropecuária, 2001. v. 2, 117 p.
- MA, B. L.; DWYER, L. M.; COSTA, C.; COBER, E. R.; MORRISON, M. J. Early prediction of soybean yield from canopy reflectance measurements. *Agronomy Journal*, Madison, v. 93, n. 6, p. 1227-1234, 2001.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 201 p.
- MOLIN, J. P.; FRASSON, F. R.; AMARAL, L. R.; POVH, F. P.; SALVI, J. V. Capacidade de um sensor óptico em quantificar a resposta da cana-de-açúcar a doses de nitrogênio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1345-1349, 2010.
- MOTOMIYA, A. V. A.; MOLIN, J. P.; CHIAVEGATO, E. D. Utilização de sensor óptico ativo para detectar deficiência foliar de nitrogênio em algodoeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 137-145, 2009.
- POVH, F. P.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; MOLIN, R.; SALVI, J. V. Comportamento do NDVI obtido por sensor óptico ativo em cereais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 43, n. 8, p. 1075-1083, 2008.
- READ, J. J.; TARPLEY, L.; MCKINION, J. M.; REDDY, K. R. Narrow-waveband reflectance for remote estimation of nitrogen status in cotton. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v. 31, n. 5, p. 1442-1452, 2002.
- ROSOLEM, C. A.; Van MELLIS, V. Monitoring nitrogen nutrition in cotton. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1601-1607, 2010.
- SCHRÖDER, J. J.; NEETESON, J. J.; OENEMA, O.; STRUIK, P. C. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 66, n. 2, p. 151-164, 2000.
- SILVA, N. M. Nutrição mineral e adubação do algodoeiro no Brasil. In: CIA, E.; FREIRE, E. C.; SANTOS, W. J. (Ed.). *Cultura do algodoeiro*. Piracicaba: Potafos, 1999. p. 57-92.
- SOLIE, J. B.; STONE, M. L.; RAUN, W. R.; JOHNSON, G. V.; FREEMAN, K.; MULLEN, R.; NEEDHAM, D. E.; REED, S.; WASHMON, C. N. Real-time sensing and N fertilization with a field scale GreenSeeker applicator. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 7., 2002, Minneapolis. *Proceedings...* Minneapolis: USDA, 2002. p. 1546-1556.
- SOUZA, E. G.; ROCHA, T.; URIBE-OPAZO, M. A.; NÓBREGA, L. H. P. Índices de vegetação no milho em função da hora do dia e da taxa de nitrogênio aplicada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 13, p. 865-872, 2009. Suplemento.
- TUMBO, D. S.; WAGNER, D. G.; HEINEMANN, P. H. Hyperspectral characteristics of corn plants under different chlorophyll levels. *Transactions of the ASAE*, Chicago, v. 45, n. 3, p. 815-823, 2002.
- WAHEED, T.; BONNELL, R. B.; PRASCHER, S. O.; PAULET, E. Measuring performance in precision agriculture: CART – a decision tree approach. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 84, n. 1-2, p. 173-185. 2006.
- ZHAO, D.; REDDY, R. K.; KAKANI, V. G.; READ, J. J.; KOTI, S. Selection of optimum reflectance ratios for estimating leaf nitrogen and chlorophyll concentrations of field-grown cotton. *Agronomy Journal*, Madison, v. 97, n. 1, p. 89-98, 2005.

