



COMUNICADO
TÉCNICO

237

Aracaju, SE
Dezembro, 2020



Recomendação de adubação nitrogenada de milho em função do NDVI obtido no Agreste do Sertão: primeira aproximação

Edson Patto Pacheco
Marcia Helena Galina Dompieri
Antônio Heriberto de Castro Teixeira

Recomendação de adubação nitrogenada de milho em função do NDVI obtido no Agreste do Sealba: primeira aproximação¹

¹ Edson Patto Pacheco, Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE. Marcia Helena Galina Dompieri, Geógrafa, doutora em Geografia, pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP. Antônio Heriberto de Castro Teixeira, Engenheiro-agrônomo, Ph. D. em Ciência Ambientais, Departamento de Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, SE.

Para atender às demandas globais, a agricultura moderna deverá enfatizar a maximização da produtividade e diminuição dos custos. Como a população mundial deverá chegar a 9,4 bilhões, é esperado que as terras aráveis, per capita, sejam reduzidas em cerca de 40% até 2050 (Lal, 2000). Para maior oferta de alimentos será necessário adicionar novas fronteiras agrícolas ou maximizar o potencial dos solos já utilizados. Nesse sentido, um dos objetivos da agricultura de precisão (AP) é alocar de forma eficiente as entradas de insumos de modo a maximizar a produtividade e/ou a margem de lucro, o que resulta na diminuição da extensão de áreas necessárias para atender a demanda de alimentos (Tilman et al., 2002). A agricultura de precisão oferece um conjunto de tecnologias que pode, potencialmente, aumentar o rendimento reduzindo custos e impactos ambientais (Stull et al., 2004).

Segundo Bernardi et al. (2014), o conhecimento da variabilidade da produção e

da sua qualidade é útil para qualquer cultura, sejam as cultivadas em pequenas áreas como aquelas que ocupam grandes extensões de terra. Para isso, basta que o produtor ou o técnico inicie este trabalho de observação, medida e registro dessas variações. Essas variações fazem com que os produtores e técnicos tratem cada região de modo diferente de acordo com suas potencialidades e necessidades. Atualmente, as tecnologias de amostragem de solo em grades georreferenciadas são as mais utilizadas por produtores para mapear as propriedades do solo e aplicar corretivos e fertilizantes em taxas variáveis. O mapeamento da produtividade também está muito difundido para a cultura de grãos (em especial milho e soja), pois as máquinas colhedoras já vêm equipadas com monitores de colheita que possibilitam obter esses mapas (Bernardi et al., 2014). As técnicas de sensoriamento remoto (SR), em que as informações da lavoura são obtidas de forma não destrutiva, rápida e por vezes

à distância, têm se tornado de fundamental importância na obtenção e tratamento dos dados de campo. Técnicas de SR desempenham um papel importante no campo em diagnósticos como a estimativa da produtividade, avaliação nutricional, detecção de pragas e doenças, previsão do tempo e avaliação da necessidade hídrica das plantas obtidas em sítio específico (Shiratsuchi et al., 2014a).

No Nordeste do Brasil, uma das culturas mais importantes é o milho (*Zea mays* L.), que vem apresentando papel importante para o desenvolvimento de uma região produtora específica conhecida como território Sealba, representada pelas siglas dos estados de Sergipe, Alagoas e Bahia, e formada por 171 municípios, sendo 69 municípios localizados em Sergipe, 74 em Alagoas e 28 no nordeste da Bahia, somando uma área total de 5.148.941 ha. O principal critério para delimitar essa região agrícola teve como princípio a ocorrência de chuvas em volumes iguais ou superiores a 450 mm, no período de abril a setembro, em pelo menos 50% da área total no município, sendo que, esse volume de chuva é o suficiente para o cultivo de grãos no sistema de sequeiro. O bioma de Mata Atlântica ocupa 68% da área do Sealba, sendo 32% de bioma de Caatinga. O solo predominante da região é o Argissolo Vermelho-amarelo (Hirakuri et al., 2016).

Dentro de um sistema de produção de milho, o nitrogênio (N) é um dos elementos mais importantes para obtenção

de produtividades economicamente viáveis, necessitando de informações fundamentais para recomendação da adubação com esse elemento. O manejo de fertilizantes nitrogenados é um desafio para maximizar a produtividade das culturas, sem impactos ambientais negativos, considerando que o N aplicado em excesso fica sujeito a perdas no sistema solo-cultura. Assim, estratégias aplicadas para melhorar a eficiência do uso de N beneficiariam os produtores, aumentando os lucros e reduzindo os efeitos ambientais associados ao uso excessivo de fertilizantes (Khosla et al., 2008).

Existe uma grande dificuldade em estimar, em tempo hábil, a necessidade da adubação nitrogenada por meio de análises do solo e/ou planta. No entanto, vários sensores com base em reflectância do dossel de lavouras estão comercialmente disponíveis, e são capazes de estimar a deficiência de nitrogênio em função do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (Longchamps; Khosla, 2014). Segundo Bullock e Anderson (1998), o aumento da clorofila nas folhas em função de doses de N apresenta um comportamento quadrático, assim como o comportamento com os índices espectrais, apresentando um ponto de máximo chamado de ponto de maturidade fotossintética, a partir do qual se mantém constante mesmo com o aumento da concentração de N nas folhas. Dados de reflectância podem ser associados à fração radiativa interceptada fotossinteticamente e avaliadas através de combinações

matemáticas de diferentes bandas espectrais (Atzberger, 2013). Essas combinações são medidas da atividade fotossintética da vegetação que utiliza em especial as faixas do visível (VIS) e infravermelho próximo (NIR – *Near Infrared*), sendo denominados de índices de vegetação (IVs). O NDVI é um dos IVs mais utilizados para estimar a atividade fotossintética relacionada ao conteúdo de clorofila nas plantas, sendo que: $NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$ (Rouse et al., 1974). O comportamento da reflectância para a vegetação verde saudável é determinado pela clorofila e reflete em todo o espectro visível, mas tem seu máximo na faixa da luz verde (500-600 nm), com absorção máxima nas faixas espectrais da luz azul (400-500 nm) e da luz vermelha (600-700 nm). Na faixa espectral do NIR (750-1300 nm), dependendo do tipo de planta, a radiação solar é refletida numa proporção de 30% a 80% dos raios incidentes (Brandão et al., 2008).

Geralmente esses sensores têm sido utilizados comercialmente no Brasil com algoritmos ou fórmulas matemáticas desenvolvidas em outros países, como Estados Unidos e Europa. Dessa forma, existe uma necessidade de desenvolver e/ou calibrar os algoritmos para condições de outras regiões (Shiratsuchi et al., 2014b). Essa afirmação de que os algoritmos devem ser calibrados para condições específicas para obtenção no NDVI alvo e, conseqüentemente, a quantidade de N necessária de acordo com o NDVI atual está de acordo com outros autores.

Pacheco et al. (2018) concluíram que a determinação do NDVI no estágio inicial de desenvolvimento da cultura do milho, por meio de imagens aéreas, é compatível com a determinação do índice utilizando sensor ótico ativo (GreenSeeker portátil) e pode ser utilizado para previsão da produtividade da cultura do milho.

Conhecendo a demanda desse tipo de tecnologia para obtenção de informação a respeito da predição da deficiência de N em lavouras de milho, em 2017, a Embrapa Tabuleiros Costeiros criou um grupo de trabalho com objetivo de implantar uma atividade de campo para calibração de algoritmo para recomendação da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho, na região do Sealba, em função do NDVI.

Obtenção do Algoritmo

Para obtenção dos resultados necessários para calibração do algoritmo, foi conduzido um experimento no Campo Experimental Jorge Sobral da Embrapa Tabuleiros Costeiros, localizado no município de Nossa Senhora das Dores, SE. O solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, textura argilosa, distrófico e relevo ondulado (Tabela 1), com coordenadas geográficas 10°27'44" S e 37°11'38" W, altitude média de 200 m, temperatura média de 26 °C e pluviosidade média anual de 1.150 mm. A região está situada nos Tabuleiros Costeiros do Agreste sergipano, onde a semeadura de culturas anuais ocorre da segunda

quinzena de abril a primeira de junho e a colheita entre a primeira quinzena de

outubro e primeira de novembro, dependendo do ciclo da cultivar utilizada.

Tabela 1. Propriedades químicas e físicas do solo na profundidade de 0 a 0,2 m de profundidade.

pH H ₂ O	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	%V	Argila
-	dag kg ⁻¹	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	cmolc dm ⁻³	cmolc dm ⁻³	cmolc dm ⁻³	cmolc dm ⁻³	cmolc dm ⁻³	%	g kg ⁻¹
5,49	2,34	6,35	65,33	2,10	1,25	<0,1	3,13	6,65	53	290

Para compor o gradiente de nitrogênio para calibração, foram considerados seis níveis de adubação nitrogenada em cobertura (0, 50, 100, 150, 200 e 250 kg ha⁻¹ de N), utilizando como fonte a ureia perolada (46% de N) e nitrato de cálcio (27% de N), que foram distribuídos manualmente quando as plantas de milho apresentavam quatro folhas (estágio fenológico V4). A adubação de fundação utilizada foi na proporção de 40-100-80 kg ha⁻¹, de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, o que totalizou as doses em 40, 90, 140, 190, 240 e 290 kg ha⁻¹ de N. A semeadura foi realizada no espaçamento de 0,5 m entre linhas utilizando semeadora-adubadora tratorizada, regulada para densidade de semeadura de 70.000 sementes por hectare. Foi utilizado um híbrido com tecnologia Bt e RR recomendado para a região.

Nos estágios fenológicos de seis folhas (V6) e de dez folhas (V10), foram realizadas as avaliações para determinação do NDVI_GS por meio do sensor ótico ativo GreenSeeker portátil. Para obtenção do NDVI_GS, o gatilho do equipamento foi mantido acionado durante o

caminhamento com o sensor posicionado sobre uma linha de milho, mantendo uma distância de aproximadamente 0,6 m acima do dossel. Por meio de análise prévia, foi observado que não houve diferença significativa entre NDVI obtido com as diferentes fontes de N, nem para interação entre fonte e doses; no entanto, foi observada diferença significativa para doses. A partir dessa análise foram determinados os índices de suficiência de N (ISN) que é calculado pela razão do NDVI atual/ NDVI alvo (Shiratsuchi et al., 2014b). Para o NDVI alvo, foi considerado o maior NDVI obtido para cada estágio de desenvolvimento, sendo 0,72 e 0,80 para V6 e V10, respectivamente. Na Figura 1, está representado o gráfico de nitrogênio requerido (Nreq) em função do ISN (Shiratsuchi et al., 2014b), considerando-se uma dose máxima de 250 kg ha⁻¹, referente à dose em que foi obtida a maior produtividade, para as condições de campo na qual a calibração foi realizada.

Para utilização do algoritmo apresentado na Figura 1, o ISN pode ser obtido em

qualquer estágio fenológico, entre V6 e V10, considerando o NDVI alvo adequado para cada estágio. Uma forma prática de se obter o NDVI alvo, recomendado pelo fabricante do equipamento, é aplicar a dose máxima pretendida em uma pequena área da lavoura, 250 kg ha⁻¹

de N, por exemplo, logo no início de desenvolvimento da cultura. Na época da adubação de cobertura, o NDVI alvo é medido nessa área e o NDVI atual do restante da lavoura será relativizado para obtenção do ISN (NDVI atual/NDVI alvo).

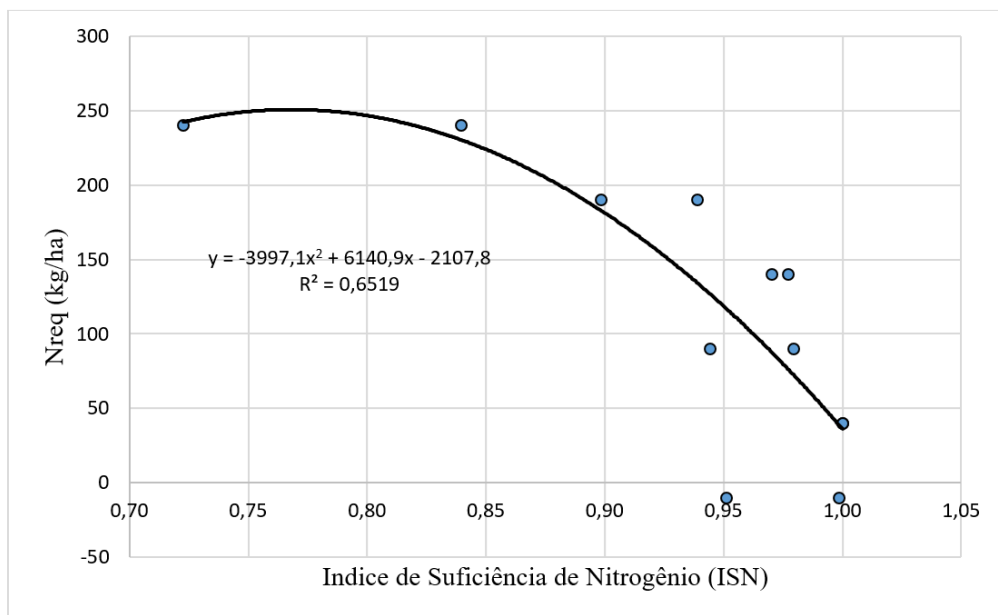


Figura 1. Nitrogênio Requerido (Nreq) em função do Índice de Suficiência de Nitrogênio (ISN), para uma variedade RR e Bt nas condições de Agreste sergipano.

O valor do ISN obtido será o “x” do algoritmo apresentado na Figura 1, estimando-se assim o valor do nitrogênio requerido (Nreq). Deve-se observar que o Nreq estimado é a dose máxima para produtividade máxima,

devendo-se então ser subtraída a dose de N da adubação de fundação, para obtenção da dose de adubação de cobertura, conforme recomendado por Shiratsuchi et al. (2014b).

Exemplo demonstrativo:

Adubação de fundação (kg ha⁻¹ de NPK) = 20 100 80

Estágio de desenvolvimento = Sétima folha

NDVI alvo = 0,72

NDVI atual = 0,67

Qual a dose de nitrato de cálcio e ureia como fonte de N?

$$\Rightarrow \text{ISN} = 0,67/0,72 = 0,93$$

$$\Rightarrow \text{Nreq} = -3997,1 * (0,93)^2 + 6140,9 * 0,93 - 2107,8 = 146 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N.}$$

$$\Rightarrow \text{Dose de N em cobertura} = \text{Nreq} - \text{N fundação} = 146 - 20 = 126 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N.}$$

$$\Rightarrow \text{Dose de nitrato de cálcio (27\% de N)} = 126/0,27 = \mathbf{467 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de nitrato.}}$$

$$\Rightarrow \text{Dose de ureia (46\% de N)} = 126/0,46 = \mathbf{274 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de ureia.}}$$

Considerações finais

O algoritmo para recomendação de doses da adubação nitrogenada para a cultura do milho em função do NDVI poderá ser utilizado por produtores de tamanho variado de área de cultivo. Para doses fixas, o produtor poderá considerar o NDVI médio da área, o que limita as vantagens desse tipo de tecnologia. O benefício maior será para os produtores que poderão utilizar o algoritmo para gerar mapas temáticos de necessidade de N. Dependendo do tamanho da lavoura, os mapas poderão ser obtidos utilizando sensores óticos ativos, imagens de veículos aéreos não tripulados (VANTS) ou de satélites.

A variedade Sans Pépins enxertada sobre o limoeiro 'Cravo', para mesa, por produzir frutos muito doces e com pouquíssimas sementes.

Agradecimentos

Aos profissionais Jonatha Pfaffmann, Celso Hiroshi, Lincon Sotocorno e Celso Zuppi, pelas ideias, apoio e acompanhamento dos trabalhos de campo.

Referências

- ATZBERGER, C. Advances in remote sensing of agriculture: context description, existing operational monitoring systems and major information needs. **Remote Sensing**, v. 5, n. 2, p. 949-981, 2013.
- BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p.19-20.
- BRANDÃO, Z. N.; BEZERRA, M. V. C.; FREIRE, E. C.; SILVA, B. B. Agricultura de precisão para gerenciamento do algodão. In: AZEVÊDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 1309 p. cap. 20. v. 2.

- BULLOCK, D. G.; ANDERSON, D. S. Evaluation of the Minolta SPAD 502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. **Journal of Plant Nutrition**, v. 21, n. 4, p. 741-755, 1998.
- HIRAKURI, M. H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; PROCOPIO, S. de O.; CASTRO, C. de. **Perspectiva geral para a introdução da soja nos sistemas de produção agrícola da Região do SEALBA**. Londrina: Embrapa Soja, 2016. 38 p. il. color. (Embrapa Soja. Documentos, 377).
- KHOSLA, R.; INMAN, D.; WESTFALL, D. G.; RIECH, R.; FRASIER, W. M.; MZUKU, M.; KOCH, B.; HORNUNG, A. A synthesis of multi-disciplinary research in precision agriculture: Site-specific management zones in the semi-arid western Great Plains of the USA. **Journal of Precision Agriculture**, v. 9, n. 1-2, p. 5-100, 2008.
- LAL, R. A modest proposal for the year 2001: We can control greenhouse gases and feed the world... with proper soil management. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 55, n. 4, p. 429-433, 2000.
- LONGCHAMPS, L.; KHOSLA, R. Early Detection of Nitrogen Variability in Maize Using Fluorescence. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 2, p. 511-518, 2014.
- PACHECO, E. P.; DOMPIERI, M. H. G.; TEIXEIRA, A. H. C.; COUTO, J. P. A.; HAYASI, C. H. Estudo preliminar para recomendação de adubação nitrogenada para cultura do milho em função do NDVI calculado a partir de imagens aéreas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO - ConBap-2018, 2018, Curitiba. **Construção dos dados na era da digitalização agrícola**: anais. Piracicaba-SP: associação Brasileira de Agricultura de Precisão, 2018. p. 430-434.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W.; HARLAN, J. C. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. Texas: Texas A&M University, 1974. (Type III final rep. NASA/GSFC).
- SHIRATSUCHI, L. S.; BRANDÃO, Z. N.; VICENTE, L. E.; VICTÓRIA, D. de C.; DUCATI, J. R.; OLIVEIRA, R. P. de; VILELA, M. de F. Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, C. A. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014a. p. 58-73.
- SHIRATSUCHI, L. S.; VALE, W. G. do; MALACARNE, T. J.; SCHUCK, C. M.; SILVA, R. G. da; OLIVEIRA JÚNIOR, O. L. de. Algoritmos para aplicações de doses variáveis de nitrogênio em tempo real para produção de milho safra e safrinha no Cerrado. In: BERNARDI, C. A. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014b. p. 58-73.
- STULL, J.; DILLON, C.; SHEARER, S.; ISAACS, S. Using precision agriculture technology for economically optimal strategic decisions: The case of CRP filter strip enrollment. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 24, p. 79-96, 2004.
- TILMAN, D.; CASSMAN, D. G.; MATSON, P. A.; POLASKY, S. Agriculture sustainability and intensive production practices. **Nature**, v. 418, p. 671-677, 2002.

Unidade responsável pelo conteúdo e edição:

Embrapa Tabuleiros Costeiros
Avenida Beira Mar, nº 3250,
CEP 49025-040, Aracaju, SE
Fone: +55 (79) 4009-1300
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

1ª edição
Publicação digital - PDF (2020)



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente
Ronaldo Souza Resende

Secretário-Executivo
Ubiratan Piovezan

Membros
*Amaury da Silva dos Santos, Ana da Silva
Lédo, Anderson Carlos Marafon, Joézio Luiz
dos Anjos, Julio Roberto Araujo de Amorim,
Lizz Kezzy de Moraes, Luciana Marques de
Carvalho, Tânia Valeska Medeiros Dantas,
Viviane Talamini*

Supervisão editorial e editoração eletrônica
Aline Gonçalves Moura

Normalização bibliográfica
Josete Cunha Melo

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Foto da capa
Celso Hiroshi Hayasi