

Foto: Antônio Marcos Coelho



Uso de Sensores no Diagnóstico da Necessidade da Adubação Nitrogenada na Cultura do Milho

Antônio Marcos Coelho¹

Introdução

Para a aplicação de N a taxa variável, as pesquisas têm sido direcionadas para o desenvolvimento de indicadores da necessidade desse nutriente pelo milho. Isso deve-se ao fato de que os parâmetros de solo (matéria orgânica e N-mineral), e a expectativa de produtividade, atualmente utilizados no Brasil, não têm sido adequados para uma correta diagnose da necessidade desse nutriente pelo milho.

Nesse contexto, para aprimorar e/ou desenvolver uma nova metodologia para tomada de decisão com relação ao ajuste da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho, tem sido avaliada a possibilidade de explorar as características espectrais dos pigmentos foliares (especialmente a clorofila), com o uso de sensores (medidores de clorofila ou a medição da reflectância da cultura por meio de radiômetros ou câmeras espectrais), de modo a utilizar as próprias plantas como indicadores da disponibilidade de nitrogênio no solo (COELHO et al., 2005).

Os sensores óticos, baseados em tecnologia de sensoriamento remoto em Agricultura de Precisão, sempre chamaram a atenção pelo potencial de uso no controle, em tempo real, da aplicação de insumos a taxas variáveis (INAMASU, 2006). Esse tipo de sensor apresenta a possibilidade de detecção do estado nutricional das plantas, em relação ao nitrogênio, baseado na intensidade da cor verde das folhas. O presente trabalho teve por objetivo a calibração de sensores para o diagnóstico da necessidade de N pelo milho, visando o manejo localizado da adubação nitrogenada de cobertura.

Material e Métodos

Um experimento, integrante das atividades do Projeto Piloto de Agricultura de Precisão, foi conduzido na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, em uma área de 38 hectares, irrigada com pivô central. O solo é classificado como Latossolo Vermelho, textura muito argilosa, em sistema de plantio direto por mais de 10 anos. O milho, híbrido simples BRS 1030, foi semeado mecanicamente

¹ Eng.-Agrôn., PhD em Solos e Nutrição de Plantas e Agricultura de Precisão, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, amcoelho@cpnms.embrapa.br

em 24 de abril de 2006, no espaçamento de 0,70 m e densidade de 5 sementes por metro. Na adubação de semeadura foram aplicados 300 kg/ha do fertilizante formulado 8-28-16 + 0,4 de N, P_2O_5 , K_2O e Zn, respectivamente.

Foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições, sendo as parcelas constituídas por 10 linhas de milho de 10 m de comprimento. Foram estabelecidos 06 tratamentos envolvendo quatro níveis de N (0, 60, 120 e 180 kg/ha), aplicados em cobertura, anteriormente às leituras com os sensores, e dois tratamentos com a dose de 60 kg de N/ha, aplicada posteriormente (Tabela 1). A primeira aplicação das doses de N em cobertura foi realizada quando o milho apresentava-se com 6 a 7 folhas (V6-7, 38 dias após a semeadura). O N na forma de uréia, foi aplicado incorporado no solo, em sulcos de 5 cm e lateralmente (15 cm) às linhas de milho.

Foram utilizados dois tipos de sensores: o SPAD 502 - Minolta e o ACS 210 Crop Circle - Holland Scientific (Figura 1). O sensor ACS 210, apresenta, como característica, fonte de luz própria, não dependendo da luz solar e, foi cedido pelo ARS-USAD, Lincoln, Nebraska, como parte do trabalho em parceria realizado pela Embrapa - LABEX – Agricultura de Precisão. Esse sensor fornece leituras nos comprimentos de onda no infravermelho próximo (NIR) e no visível, o que possibilita calcular o índice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), pela seguinte fórmula: $NDVI = (NIR - VISÍVEL) / (NIR + VISÍVEL)$, cujos valores variam de -1 a +1, sendo que valores negativos indicam ausência de vegetação.

O sensor ACS 210 foi adaptado com um cabo tubular telescópico com comprimento total de um metro. Foi adicionada uma caixa cuja função é de concentrar os cabos e alojar bateria para alimentar o sensor. A caixa possui chave de liga e desliga, chave de sincronização de leitura do sensor (*trigger*), conector que recebe o cabo do sensor e mais um conector que liga cabo serial a um coletor de dados. Para esse experimento, utilizou-se um computador portátil para leitura e armazenamento dos dados. Software específico que acompanha o sensor foi instalado para a aquisição de dados. Ajustou-se para armazenar um dado a cada um

décimo de segundo. Caminhando-se entre as fileiras de milho e apontando-se o sensor sobre o dossel das plantas, foram obtidos 110 a 150 dados a cada 10m. A Figura 2, ilustra o sistema de aquisição de dados.

As leituras utilizando os sensores foram realizadas quando o milho apresentava-se no estágio vegetativo de 9 a 10 folhas completamente desenvolvidas (V9-10). As leituras com o sensor SPAD 502 foram realizadas manualmente, no terço superior da bainha da folha mais nova, completamente desenvolvida, em 10 plantas localizadas na área central de cada parcela (Figura 1a). As leituras com o sensor ACS 210 foram realizadas manualmente, em 4 fileiras centrais de milho de 10 m de comprimento, posicionando o sensor acima do dossel das plantas (Figura 1b).

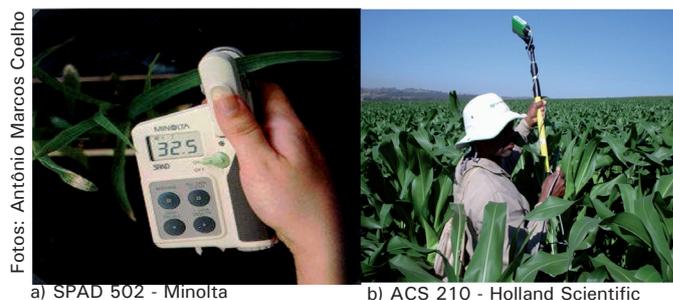


Figura 1. Sensores utilizados para o diagnóstico da deficiência de N em milho.

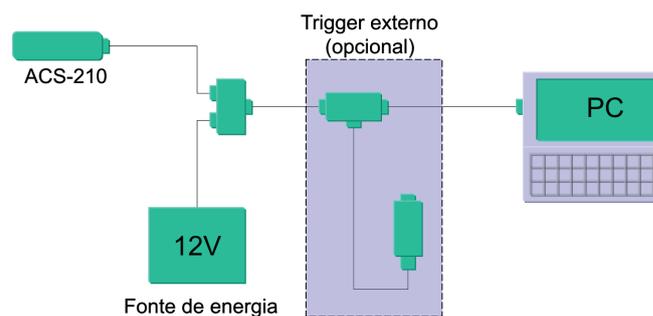


Figura 2. Esquema de ligação do Sensor ACS-210 utilizado.

Adaptado do manual da Holland Scientific, Lincoln – NE. Fonte: Inamasu (2006).

Após as leituras com os sensores, quando o milho apresentava-se com 10 a 11 folhas (V10-11, aos 66 dias após a semeadura), foram aplicados 60 kg de N/ha nos tratamentos que haviam recebido a primeira adubação de cobertura nas doses de 0 e 60 kg/ha (Tabela 1).

Durante a estação de crescimento do milho, foram monitorados os dados meteorológico (precipitação, temperatura, evapotranspiração em tanque classe A). Esses dados, juntamente com os de evapotranspiração da cultura (ETc), foram utilizados para o cálculo do balanço da água no solo e, dessa forma, foi possível estimar a necessidade de irrigação ao longo do ciclo do milho.

Na colheita, foram avaliados o estande, a altura de plantas, a matéria seca de plantas e os componentes de rendimento de grãos. Os dados foram analisados estatisticamente no programa computacional SAS, utilizando-se o procedimento GLM (SAS INSTITUTE, 1996). Na comparação das médias, utilizou-se o teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Resultados e Discussão

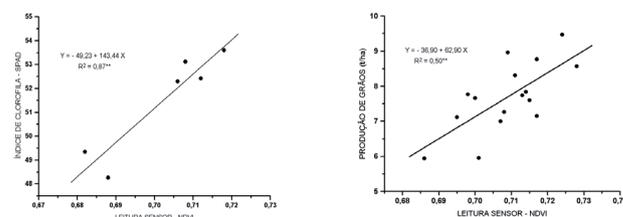
Os índices de clorofila nas folhas, obtidos com o sensor SPAD 502, cujos valores são calculados com base na quantidade de luz transmitida através da folha na faixa do vermelho e do infravermelho próximo, por apresentar alta correlação com o conteúdo de N na folha, são considerados métodos padrão para o diagnóstico da necessidade desse nutriente pelo milho. Na Tabela 1, são apresentados os resultados médios dos índices NDVI obtidos com o Sensor ACS 210 e os índices de clorofila obtidos com o SPAD 502.

Tabela 1. Resultados médios dos índices NDVI e clorofila, obtidos com sensores em leituras realizadas quando o milho apresentava-se no estágio vegetativo de 10-11 folhas.

Doses de Nitrogênio (kg/ha)	Sensores	
	NDVI -ACS 210	Índice Clorofila - SPAD
0	0,684c ²	49,35bc ³
0 + 60(intervenção) ²	0,688c	48,27c
60 ¹	0,709abc	53,12a
60 + 60(intervenção) ²	0,707abc	52,30ab
120 ¹	0,714ab	52,42a
180 ¹	0,718a	53,60a
Média	0,703	51,51
CV (%)	1,67	2,50

¹Doses de N aplicadas no estágio vegetativo de 6-7 folhas. ²Doses de N aplicadas após as leituras com os sensores. ³Médias, nas mesmas colunas, seguidas pelas mesmas letras, não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey 5%.

Verifica-se pela Figura 3a uma relação linear e altamente significativa ($R^2 = 0,87^{**}$) entre as leituras do SPAD 502 e os índices NDVI obtidos pelo sensor ACS 210. Varella et al. (2005) também obtiveram alta correlação ($R^2 = 0,67$) entre os índices SPAD e o NDVI, obtido com câmara digital (3-CCD DuncanTech, modelo MS 3100), em leituras realizadas na cultura do milho no estágio vegetativo V9 – folhas. Esses resultados indicam que o índice NDVI pode ser utilizado como um indicador do estado nutricional de N em milho. Essa afirmativa é também suportada pela relação linear e altamente significativa ($R^2 = 0,50^{**}$) obtida entre os índices NDVI e a produtividade de grãos de milho (Figura 3b), nos tratamentos em que as doses de N foram aplicadas no estágio vegetativo de 6 a 7 folhas (Tabela 1).



a) Relação entre as leituras do SPAD e do sensor ACS 210. b) Relação entre leituras do sensor ACS 210 e produtividades do milho.

Figura 3. Relação entre os índices NDVI, obtidos pelo sensor ACS 210, e os índices de clorofila nas folhas, determinados pelo SPAD (a) e a relação entre os índices NDVI e produtividades de grãos de milho (b).

Esses resultados, embora preliminares, demonstram o potencial da técnica mencionada, como um indicador do estado nutricional de N em milho. A vantagem do sensor ACS210 em relação ao SPAD 502 (sensor de uso manual) é que ele pode ser acoplado ao trator equipado com distribuidor de fertilizantes para diagnóstico em tempo real da necessidade de N e aplicação de fertilizante nitrogenado a taxa variável.

Com base nesses resultados, foi possível diagnosticar a necessidade de aplicação extra de nitrogênio nas parcelas dos tratamentos que haviam recebido as doses de 0 e 60 kg de N/ha, na fase de desenvolvimento vegetativo de 6 a 7 folhas (Tabela 2). Comparado ao tratamento controle, que havia recebido apenas 24 kg de N/ha na semeadura, a aplicação suplementar de 60 kg de N/ha, em cobertura, no estágio vegetativo, V10-11 folhas, possibilitou um aumento na produtividade de grãos

da ordem de 25% (1.800 kg/ha) (Tabela 2). Com a aplicação de 60 kg de N/ha, na época normal de cobertura, estágio V6-7 folhas, as plantas de milho apresentaram, aos 110 dias após a semeadura, acentuada senescência das folhas baixas (Figura 4a), fato que não ocorreu quando esta mesma dose de 60 kg de N/ha foi aplicada mais tardiamente, no estágio de V10-11 folhas (Figura 4b).

Resultado semelhante foi também observado para o tratamento que havia recebido 60 kg de N/ha, aplicado em cobertura, no estágio vegetativo V6-7 folhas. Comparado ao tratamento com aplicação de 120 kg de N/ha, no estágio vegetativo V6-7 folhas, a aplicação suplementar de 60 kg de N/ha, no estágio vegetativo V10-11 folhas, também proporcionou um aumento na produtividade de grãos de milho da ordem de 20% (1.500 kg/ha) (Tabela 2).

É importante ressaltar que para o milho semeado no período de outono-inverno, sob condições irrigadas, melhores resultados foram obtidos com aplicações tardias ou parcelando-se a dose de N em duas vezes (Tabela 2). Isso poder ser explicado pelo fato de que em semeaduras realizadas nesse período, o ciclo do milho é mais longo (150 dias), necessitando de aporte de N em estádios mais avançados de desenvolvimento da cultura.

Considerações finais

A produtividade de 7.115 kg/ha de grãos, obtida com aplicação de apenas 24 kg de N/ha, por ocasião da semeadura, reforça a importância em aprimorar e/ou desenvolver uma nova metodologia para tomada de decisão com relação ao ajuste de doses e manejo da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho;

A alta correlação verificada entre o índices NDVI obtidos com o Sensor ACS 210 e a produtividade de grãos, indica que o uso de sensores, pode ser uma ferramenta bastante promissora para o diagnóstico da necessidade da adubação nitrogenada;

O uso do Sensor ACS 210, como um indicador da necessidade de N para o milho, possibilitou ajustes no manejo da adubação nitrogenada, com ganhos na produtividade de grãos de até 25% (1.800 kg/ha);

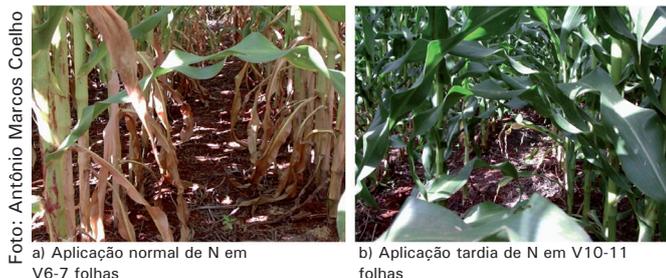


Figura 4. Aspectos das folhas baixas, aos 110 dias após a semeadura, em função da época de aplicação de nitrogênio, na dose de 60 kg/ha, em milho irrigado cultivado no outono-inverno.

Tabela 2. Efeito de doses e épocas de aplicação de nitrogênio na produtividade de grãos de milho irrigado, cultivado no período de outono-inverno.

Doses de nitrogênio ----- kg/ha -----	Épocas de aplicação		Produtividade de grãos ----- kg/ha -----
	Estádio V6-7	Estádio V10-11	
0	0	0	7.115c ^{3/}
0 + 60 (intervenção) ^{1/}	0	60	8.917ab
60	60	0	7.075c
60 + 60 (intervenção) ^{2/}	60	60	9.285a
120	120	0	7.757bc
180	180	0	8.827ab
Média			8.163
CV (%)			8,0

^{1/2/}Aplicação de N em V10-11 após diagnóstico da deficiência do nutriente pelos sensores. ^{3/}Médias seguidas pelas mesmas letras não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5%.

O milho semeado no período de outono-inverno, sob condições irrigadas, apresentou ciclo mais longo (150 dias), necessitando de aporte de N em estádios mais avançados de desenvolvimento. Nessas condições, melhores resultados foram obtidos com aplicação da dose de 60 kg de N/ha, no estádio V10-11 folhas e, parcelando-se a dose de 120 kg de N/ha em duas aplicações iguais, nos estádios de desenvolvimento vegetativo V6-7 e V10-11 folhas, respectivamente.

Referências

COELHO, A. M.; CRUZ, J. L.; SANTOS, P. H. A. D.; AMARAL, L. R. do. Nitrogênio mineral no solo e índice de clorofila na folha como indicadores da necessidade de nitrogênio para o milho. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 3., 2005, Sete Lagoas. [Anais]. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo; Viçosa: UFV, 2005. 1 CD-ROM.

INAMASU, R. Y. Sensores óticos ativos. In: Painel I – Sensoriamento remoto com imagens de alta resolução, sensores ativos para automação e aeronaves não tripuladas para coleta de imagens para AP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., 2006, São Pedro. Anais... Piracicaba: USP: ESALQ, 2006. 1 CD-ROM. Palestra.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT guide for personal computers**: version 8. Cary, 1996.

VARELLA, C. A. A.; PINTO, F. de A. de C.; SANTOS, N. T.; QUEIROZ, D. M. de. Estimativa de estresse nutricional de nitrogênio em imagens digitais da cultura do milho. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 3., 2005, Sete Lagoas. [Anais]. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo; Viçosa, UFV, 2005. 1 CD-ROM.

Comunicado Técnico, 181

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Milho e Sorgo
Endereço: Rod. MG 424 km 45 Caixa Postal 151
 CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3027 1100
Fax: (31) 3027 1188
E-mail: sac@cnpmis.embrapa.br
 1ª edição
 1ª impressão (2010): on line

Comitê de publicações

Presidente: Antônio Carlos de Oliveira.
Secretário-Executivo: Elena Charlotte Landau.
Membros: Flávio Dessaune Tardin, Eliane Aparecida Gomes, Paulo Afonso Viana, João Herbert Moreira Viana, Guilherme Ferreira Viana e Rosângela Lacerda de Castro.

Expediente

Supervisão editorial: Adriana Noce.
Revisão de texto: Antonio Cláudio da Silva Barros.
Tratamento das ilustrações: Tânia Mara A. Barbosa.
Editoração eletrônica: Tânia Mara A. Barbosa.

Ministério da
 Agricultura, Pecuária
 e Abastecimento

