

SENSIBILIDADE DO CLOROFILÔMETRO PARA DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL DE NITROGÊNIO NO MILHO

Sensitivity of the chlorophyll meter for nutritional diagnostic of nitrogen in corn (*Zea mays* L.)

Sandro Manuel Carmelino Hurtado¹, Carlos Alberto Silva¹, Álvaro Vilela de Resende², Edegar Joaquim Corazza³, Luciano Shozo Shiratsuchi⁴, Fábio Satoshi Higashikawa¹

RESUMO

A obtenção de altas produtividades de milho (*Zea mays* L.) torna-se difícil, dentre outros fatores, pela complexa quantificação dos requerimentos de nitrogênio (N) da cultura do milho ao longo do seu ciclo, o que dificulta o seu dimensionamento, ainda mais, considerando a variada capacidade de suprimento de N em solos brasileiros. Nesse sentido, os teores relativos de clorofila surgem como uma opção para o manejo do N. Objetivou-se, neste estudo avaliar a sensibilidade do clorofilômetro em indicar o estado nutricional do milho em resposta ao N, em solos com teores de argila contrastantes e sob diferentes condições de suprimento de N. Para isso, foram realizados experimentos em condições controladas e de lavoura. Em condições controladas, foram testados três solos com teores de argila contrastantes e cinco doses de N, sendo avaliados, aos 55 dias após a emergência (estádio prévio ao VT), os teores relativos de clorofila, de N foliar e a produção de matéria seca da parte aérea. Em condições de lavoura foram avaliados seis tratamentos, resultantes da combinação de três doses de nitrogênio em cobertura, na presença e ausência de calcário, sendo a maior dose de N correspondente à condição na qual não haveria limitação de disponibilidade quanto ao suprimento do nutriente. A nutrição nitrogenada foi monitorada semanalmente com uso do clorofilômetro. Foram avaliados também os teores de N na folha e no grão, o N mineral no solo, a matéria seca da parte aérea e a produtividade de grãos. Os resultados permitiram concluir que há sensibilidade do clorofilômetro em detectar diferenças no estado nutricional do milho em resposta a diferentes características de solo e de suprimento de N, servindo como indicador da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura.

Termos para indexação: Adubação nitrogenada, SPAD, *Zea mays*.

ABSTRACT

High corn yields are conditioned by the different factors involved in the quantification of nitrogen requirements for the crop throughout its cycle, which becomes difficult considering the varying capacity of Brazilian soils to supply N. In this sense, the relative contents of chlorophyll are a tool which helps to improve soil N management. The study aimed to evaluate the sensitivity of the chlorophyll meter to predict the nutrient status of corn in response to N applied in the soil with contracting clay contents and under different conditions of N supply. To that end, experiments were carried out under both controlled and field conditions. Under controlled conditions, three soils with contracting clay contents and five doses of N were tested. 55 days after emergence (before the VT period), the relative contents of chlorophyll, leaf N and the weight of the dry matter of the shoot were evaluated. Under crop conditions, six treatments, resulting from the combination of three doses of nitrogen topdressing, in the presence and absence of limestone, were evaluated, the highest dose of N corresponding to the ideal condition of N supply for corn. Nitrogen nutrition was monitored weekly with a chlorophyll meter. The contents of N in leaf, in grain, mineral N in soil, shoot dry matter and grain yield were also evaluated. The results allow concluding that there is a sensitivity of the chlorophyll meter to detect differences in the nutritional status of corn in response to different characteristics of soil and N supply, acting as an indicator of the need for nitrogen topdressing.

Index terms: Nitrogen topdressing, SPAD, *Zea mays*.

(Recebido em 9 de abril de 2008 e aprovado em 30 de setembro de 2008)

INTRODUÇÃO

No Brasil, as produtividades de grãos de milho (*Zea mays* L.) podem atingir patamares de 10 a 14 t ha⁻¹, associadas a fatores como manejo adequado da adubação, utilização de híbridos modernos e sistemas de preparo mais tecnificados. Um dos principais aspectos que definem o

impacto da adubação na produtividade do milho refere-se ao atendimento da demanda por nitrogênio (N) ao longo do ciclo da cultura.

Na prática, a quantificação dos requerimentos de N para o cultivo de milho não é tarefa simples, em razão das diversas reações das quais o nutriente participa no solo

¹Universidade Federal de Lavras/UFLA – Departamento de Ciência do Solo/DCS – Lavras, MG

²Embrapa Cerrados – BR 020, Km 18 – Cx. P. 08223 – 73310-970 – Planaltina, DF – alvaro@cpac.embrapa.br

³Embrapa Informação Tecnológica – Brasília, DF

⁴Embrapa Cerrados – Planaltina, DF

(Stockdale et al., 1997; Amado et al., 2002; Cantarella & Duarte, 2004) e considerando que os condicionantes da sua disponibilidade às plantas variam no espaço e no tempo (Mahmoudjafari et al., 1997; Welsh et al., 2003). Via de regra, os solos brasileiros não têm capacidade de suprir totalmente a demanda do nutriente para se atingir as maiores produtividades, sendo essencial a complementação com fertilizantes nitrogenados. No dimensionamento das adubações, deve-se, sempre que possível, considerar, além da meta de rendimento de grãos, o histórico da área, os aportes de nitrogênio pelos resíduos da cultura anterior, o teor de matéria orgânica do solo, o uso de adubos verdes, o tipo e a quantidade de palhada presente (Amado et al., 2002), o que não é feito com muita frequência pelos técnicos e agricultores.

O N é importante, sobretudo, nos estádios iniciais, quando sua disponibilidade relaciona-se diretamente com as maiores eficiências de utilização pelas plantas de milho. Nessa fase inicial (quatro folhas), quando se define o potencial produtivo (Ritchie et al., 2003), é particularmente importante detectar eventuais deficiências do nutriente. Não obstante, a falta de métodos laboratoriais eficientes para análise de rotina de N no solo representa um entrave à determinação da necessidade de fornecimento do nutriente no decorrer dos estádios fenológicos das lavouras. Análises de tecido podem auxiliar na identificação de deficiências de N, estando o sucesso de seu emprego baseado na rápida detecção do estresse e sua correção antes que afete a produtividade.

O teor de N na folha é alta e positivamente correlacionado com a concentração de clorofila (Blackmer & Schepers, 1994). Assim, o uso de medidores portáteis que fornecem estimativas indiretas do teor de clorofila permite monitorar rapidamente as respostas do milho a condições variadas de disponibilidade de N nas lavouras (Varvel et al., 1997; Argenta et al., 2004), apresentando boa correlação entre as leituras e as produtividades obtidas (Piekielek & Fox, 1992). Desta forma, o clorofilômetro pode conferir a agilidade necessária ao diagnóstico nutricional e definição de estratégias de manejo do nitrogênio, ainda durante a fase de desenvolvimento da cultura.

No Brasil, experimentos com SPAD (Soil Plant Analysis Development) em milho têm visado à sua calibração, mediante obtenção dos teores de clorofila com metodologia padrão, em laboratório (Zotarelli et al., 2003) e em campo (Argenta et al., 2001). Trabalhos têm visado, também, a relacionar as leituras de determinados estádios fisiológicos e híbridos às produtividades, segundo as doses de N (Argenta et al., 2004), e associadas ao uso de pastagens em sucessão (Godoy et al., 2007).

A experiência brasileira, contudo, ainda carece de informações relacionadas ao comportamento das leituras do clorofilômetro em diferentes condições de solo e manejo, assim como, ao longo do período vegetativo do milho, o que permitiria melhor abordagem dos padrões de resposta da cultura numa perspectiva espaço-temporal. Conduziu-se este trabalho, com o objetivo de avaliar a sensibilidade do clorofilômetro para indicar o estado nutricional, em relação ao nitrogênio, do milho cultivado em condições de solo contrastantes, assim como, nos diferentes estádios de desenvolvimento, relacionando as leituras do clorofilômetro com N na planta, produção de matéria seca e produtividade.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos, um em colunas de PVC e outro em condições de campo. O primeiro experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal de Lavras, no período de outubro de 2005 a janeiro de 2006. Foram utilizadas amostras de terra fina seca ao ar, passadas em peneira de 2 mm, das camadas superficial (0-0,2 m) e sub-superficial (0,2-0,4 m) de três solos com classes texturais contrastantes, coletados nos municípios de Itutinga (MG), Itumirim (MG) e Lavras (MG): Neossolo Quartzarênico (NQ) (arenoso), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) (textura média) e Latossolo Vermelho distroférico (LVd) (argiloso), respectivamente.

Análises químicas e granulométrica (Tabela 1) foram realizadas segundo metodologias descritas em Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa (1999). Posteriormente, foi feita correção da acidez do solo da camada superficial pela aplicação de calcário dolomítico (PRNT=100%), visando a alcançar saturação por bases de 60% (Raij et al., 1996). Após incubação com o corretivo, as amostras foram dispostas em colunas de 0,2 m de diâmetro e 0,4 m de altura, mantendo-se a ordem das camadas amostradas em campo e volume de solo correspondente a 6 dm³ para cada camada.

Foram cultivadas duas plantas de milho híbrido simples GNZ2004[®] por coluna. A adubação básica, utilizando reagentes P.A, foi realizada na camada superficial com aplicações de K (300 mg dm⁻³), P (150 a 300 mg dm⁻³, de acordo o poder tampão de cada solo), S (30 mg dm⁻³) e micronutrientes (contendo 0,8; 1,3; 1,6; 4,0 e 4,0 mg dm⁻³ de B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente) para atender às demandas nutricionais da cultura.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com três repetições, num esquema fatorial 3x5, combinando os três solos e cinco doses de N (0, 50, 100, 200 e 400 mg dm⁻³) na forma de uréia. As aplicações de N e

de K foram parceladas. Para as doses de N abaixo de 400 mg kg⁻¹, forneceram-se 50 mg kg⁻¹ a cada sete dias após a germinação, até que se completassem as respectivas doses pre-estabelecidas. O mesmo foi feito no caso da maior dose de N, porém fornecendo-se 100 mg kg⁻¹ em cada aplicação. A dose de K foi dividida e adicionada nas datas correspondentes às duas primeiras coberturas com N.

Aos 55 dias após emergência, foram medidos os teores relativos de clorofila na última folha completamente expandida com uso do clorofilômetro Minolta SPAD 502®. Em seguida, a parte aérea das plantas foi colhida, determinando-se a matéria seca após secagem em estufa. O teor de N total (Tedesco et al., 1995) foi obtido por análise das mesmas folhas nas quais realizaram-se as leituras SPAD.

O segundo experimento foi conduzido sob condições de sequeiro, na Fazenda Alto Alegre (Planaltina de Goiás – GO), num talhão com sucessão milho-soja, sem preparo do solo há cinco anos. O talhão apresenta ocorrência expressiva de *Brachiaria decumbens* Stapf e outras gramíneas, as quais servem ao pastejo bovino nos períodos de pousio. O histórico de produtividades para os três últimos anos têm indicado valores médios de 3,1; 8,8 e 3,5 t ha⁻¹ para os cultivos de soja, milho e soja, respectivamente. O solo da área é um Latossolo Vermelho-Amarelo, com teor de argila igual a 543 g kg⁻¹. As características químicas do solo amostrado na camada de 0-0,2 m foram: MOS: 9 g dm⁻³; pH (água): 5,7; P (Mehlich 1): 9,0 mg dm⁻³; K: 0,5 cmol_c dm⁻³; Ca: 1,5 cmol_c dm⁻³; Mg: 0,5 cmol_c dm⁻³; Al: 0,1 cmol_c dm⁻³; CTC: 6,9 cmol_c dm⁻³ e V(%): 37. O milho, híbrido simples Pioneer 30F90® correspondente à safra 2006-2007, foi semeado em 16 de novembro de 2006.

Utilizou-se o delineamento de blocos casualizados com três repetições, num esquema fatorial 2x3 disposto em parcelas subdivididas, combinando a presença ou não de 1 t ha⁻¹ de calcário dolomítico aplicado a lanço, sem incorporação (parcelas), e as doses 0 (0N), 100 (100N) e 500 (500N) kg ha⁻¹ de N em cobertura aplicadas de forma continua a 20 cm das linhas (subparcelas). A dose do corretivo calcário tentou simular as práticas de manejo adotadas na região. As subparcelas compreenderam cinco linhas de 6 m de comprimento, espaçadas de 0,7 m, com 5 plantas por metro linear. As avaliações foram feitas nas três linhas centrais, com bordaduras de 1 m nas extremidades, sendo o solo amostrado a 20 cm da linha.

A dose de 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura, no estágio de quatro folhas, correspondeu à adubação recomendada para a obtenção de altas produtividades de milho, considerando um solo com classe de resposta média ao N (Vitti et al., 2003). A dose de 500 kg ha⁻¹ foi parcelada semanalmente a partir do estágio V₂ (2 folhas totalmente expandidas), sendo fornecido 50 kg ha⁻¹ na primeira aplicação e 75 kg ha⁻¹ nas seguintes (correspondentes aos estádios V₃₋₄; V₄₋₅; V₅₋₆; V₇₋₈; V₉₋₁₀ e V₁₁₋₁₂), até completar a dose total. Essa elevada quantidade de N foi usada visando a garantir condição na qual não haveria limitação de disponibilidade do nutriente (tratamento referência). O adubo nitrogenado de cobertura consistiu de uma mistura de grânulos comerciais (1:1) de uréia e sulfato de amônio (33% N e 11% S), sendo a uréia revestida com inibidor de urease (NBPT). O adubo foi aplicado, superficialmente, a 20 cm da linha de plantio.

Tabela 1 – Atributos dos solos utilizados no experimento em colunas, após correção da acidez.

Solo	Argila g.kg ⁻¹	pH agua	M.O. g.dm ⁻³	P mg.dm ⁻³	K	Ca	Mg	Al	H+Al	T	V %
					----- cmol _c .dm ⁻³ -----						
NQ (0-0,2 m)	70	5,8	14	9	0,07	1,6	0,4	0,0	1,9	4,0	52
NQ (0,2-0,4 m)	50	5,4	16	4	0,04	0,5	0,2	0,7	2,3	3,0	24
LVA (0-0,2 m)	250	6,4	9	1	0,05	1,1	0,8	0,0	1,2	3,2	61
LVA (0,2-0,4 m)	270	5,6	9	1	0,04	0,4	0,2	0,0	1,2	1,8	35
LVd (0-0,2 m)	680	6,0	38	1	0,13	3,8	2,1	0,0	2,6	8,6	70
LVd (0,2-0,4 m)	660	4,8	34	1	0,04	0,5	0,2	0,9	5,6	6,3	12

A semeadura do milho e outros tratos culturais foram realizados com insumos, maquinário e procedimentos operacionais da fazenda. Na adubação de plantio, foram aplicados 350 kg ha⁻¹ do formulado NPK 06-23-18 (contendo ainda 2; 4; 0,13; 0,09; 0,13 e 0,4% de Ca, S, B, Cu, Mn e Zn, respectivamente), fornecendo-se, portanto, 21, 80 e 63 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O para todos os tratamentos.

O estado nutricional das plantas em relação ao nitrogênio foi monitorado, semanalmente, ao longo dos estádios de desenvolvimento do milho (Ritchie et al., 2003), com uso do clorofilômetro Minolta SPAD 502®, iniciando-se as leituras no estágio de duas folhas (V₂) e finalizando-as três semanas após o florescimento feminino (R₃). Em cada época, foram obtidas dez leituras por subparcela em cinco plantas marcadas, sendo uma leitura de cada lado do limbo foliar, desconsiderando a nervura central e as margens no terço médio da folha (Argenta et al., 2001). As leituras foram realizadas na última folha totalmente expandida nos estádios prévios ao florescimento, e na folha indicadora (abaixo e oposta à espiga), a partir do florescimento.

Na fase de florescimento, em cinco pontos nas subparcelas, foram realizadas amostragens de solo a 20 cm de profundidade e de folhas indicadoras para análises de tecidos (Malavolta et al., 1997) e determinação de amônio e nitrato (Tedesco et al., 1995). Na colheita, quantificaram-se a produção de matéria seca da parte aérea (exceto grãos) e de grãos (a 13% de umidade).

Os dados foram submetidos à análises de variância por meio do programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2003), determinando-se modelos de regressão e coeficientes de correlação de Pearson para as variáveis de interesse.

A análise econômica consistiu da determinação dos incrementos em produtividade em razão da adubação de cobertura (100 ou 500 kg ha⁻¹ de N) e cálculo das respectivas receitas líquidas, considerando-se as cotações da saca de 60 kg de milho (R\$ 24,00) e da tonelada do fertilizante nitrogenado (R\$ 933,00), em maio de 2007. Entretanto, não foram incluídos no cálculo os custos relativos à aplicação da adubação de cobertura. A equivalência dos valores em dólar pode ser obtida com base na cotação de R\$ 1.77 para o dólar americano (US\$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Experimento em condições controladas

Houve efeito significativo das doses de N sobre os teores foliares do nutriente, apresentando um modelo de resposta linear (Figura 1A), sem, contudo, ocorrer interação com o tipo de solo. Os teores obtidos foram inferiores ao valor de 28 g kg⁻¹, considerado adequado para a cultura de milho (Malavolta et al., 1997; Oliveira, 2004), cabendo ressaltar que a folha que foi analisada é de estágio anterior ao indicado, pelos autores citados, nas recomendações de amostragem para análise foliar.

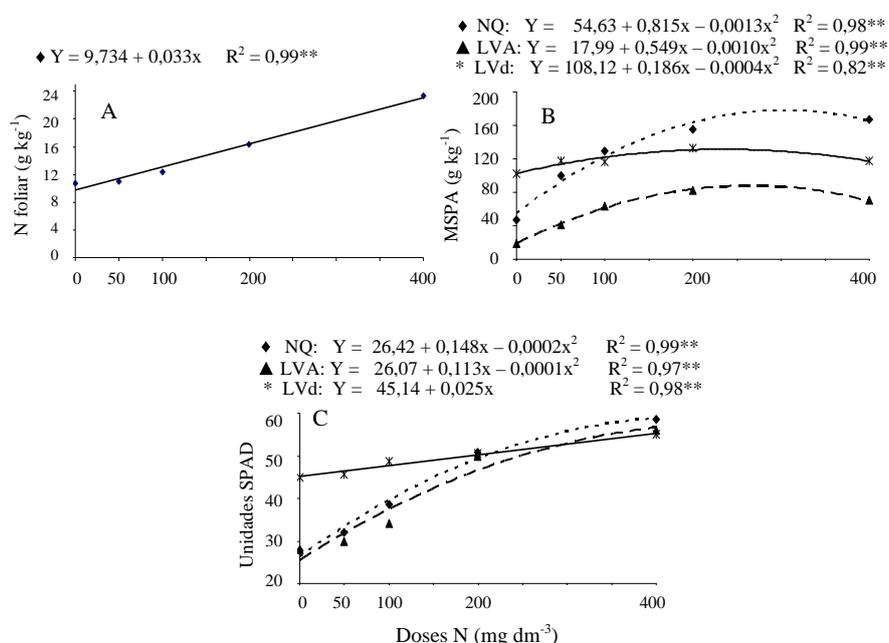


Figura 1 – Nitrogênio foliar (A), produção de matéria seca da parte aérea – MSPA (B) e leitura SPAD (C), em função de doses de N em solos de texturas contrastantes.

Considerando-se as respostas em produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), para as quais houve interação entre solos e dose de N (Figura 1B), pode-se estimar as doses e os teores foliares de N ótimos. As doses para a máxima eficiência técnica, referentes a 90% da produção máxima, foram de 195, 178 e 51 mg dm⁻³ de N, para os solos arenoso, textura média e argiloso, respectivamente. Tais doses corresponderiam a teores foliares de 16, 16 e 11 g kg⁻¹ de N, de acordo com o modelo da Figura 1A.

Numa análise visual da Figura 1B, verifica-se que a MSPA no solo arenoso superou a obtida no solo argiloso a partir da dose de 100 mg kg⁻¹ de N. O solo argiloso foi o que apresentou maior MSPA até a dose de 100 mg kg⁻¹ de N, sendo que os valores para as demais doses praticamente não variaram, o que deve estar relacionado aos teores de MOS mais elevados (Tabela 1), que levariam a um maior tamponamento desse solo em relação ao N.

Significância para a interação solos e doses de N foi também verificada para os teores relativos de clorofila (leituras SPAD). De forma geral, houve menor variação no solo argiloso (Figura 1C). As menores leituras observadas para as doses mais baixas de N nos solos arenoso e de textura média, devem-se, provavelmente, aos seus menores estoques de MOS (Tabela 1), um dos fatores mais importantes para a disponibilidade de N às plantas (Bayer & Mielniczuk, 1997).

É interessante destacar, ainda, os pequenos incrementos dos valores SPAD nas maiores doses de N aplicadas, contrastando com o aumento linear do acúmulo de nitrogênio na parte aérea (dados não apresentados). Sob condições de elevada disponibilidade, parte do N absorvido não é convertido em clorofila ou outros compostos orgânicos (Schroder et al., 2000), caracterizando o consumo de luxo.

Os dados da Figura 1 confirmam a sensibilidade do clorofilômetro para o monitoramento do estado nutricional do milho em relação ao nitrogênio na fase de pré-florescimento, discriminando condições variadas de disponibilidade do nutriente, em razão das diferenças no tipo de solo e no aporte de fertilizante nitrogenado nas adubações.

Essa sensibilidade revela-se um fator favorável à utilização do aparelho para o manejo da adubação nitrogenada em campo, no qual o reconhecimento da variação de leituras, especialmente, poderia dar suporte à agricultura de precisão (Piekielek & Fox, 1992). Tal possibilidade torna-se especialmente promissora se as variações puderem ser detectadas precocemente, nos estádios iniciais de desenvolvimento da lavoura.

As leituras SPAD podem também ser utilizadas para a simples indicação de valores referenciais (Argenta et al., 2004), mantendo-se ressalvas necessárias para o fato das leituras mudar segundo as diferentes condições de local e híbrido, assim como, entre safras (Waskom et al., 1996). No presente estudo, as leituras correspondentes às doses de N para a máxima resposta técnica em MSPA foram 53,1; 49,3 e 50,7 unidades SPAD, para os solos arenoso, de textura média e argiloso, respectivamente.

Ao se considerar todo o conjunto de dados (doses de N nos três solos, n=15) e relacionar as leituras SPAD com os teores foliares de N e produção de MSPA, foram obtidos coeficientes de correlação de Pearson de 0,60 e 0,70, respectivamente. As relações entre essas variáveis também podem ser visualizadas no Gráfico 2, que evidencia a influência do tipo de solo nos padrões de resposta. Destaca-se, assim, a resposta obtida para o solo argiloso, onde a amplitude de leituras SPAD foi influenciada pelo maior potencial de fornecimento de N ao milho, produto dos elevados teores de MOS (Figura 2A).

De qualquer forma, os resultados corroboram as informações de outros trabalhos que mostram haver relações diretas entre essas variáveis e também com a produtividade de grãos do milho (Argenta et al., 2001, 2004; Scharf et al., 2006).

As leituras SPAD obtidas em condições de casa de vegetação servem como referencial para o entendimento de possíveis mudanças nos teores foliares de clorofila em função de fatores que influenciam a disponibilidade de N às plantas. Entretanto, leituras para monitoramento do estado nutricional e indicação de manejo da adubação nitrogenada devem ser obtidas em condições de campo, mediante uso de áreas de referência locais (Schepers et al., 1992).

Experimento em condições de lavoura

Não houve interação entre aplicação de calcário superficial e adubação de cobertura para nenhuma das variáveis avaliadas. A utilização do tratamento referência (aplicação de 500 kg ha⁻¹ de N em cobertura) permitiu identificar, por meio das leituras SPAD, prováveis deficiências de nitrogênio nos tratamentos correspondentes às doses 0 e 100 kg ha⁻¹ de N já a partir do estádio de 4-5 folhas (Tabela 2). O uso de parcelas referência, ou seja, pequenas áreas muito bem supridas com N, no campo experimental ou mesmo em lavouras, justifica-se pelo fato de que as leituras do clorofilômetro podem ser afetadas por fatores tais como: híbrido utilizado, estádio fenológico, folha avaliada, tipo de solo e variáveis climáticas. Essas interferências podem ser superadas mediante a utilização de tais parcelas (Schepers et al., 1992; Cantarella, 2007).

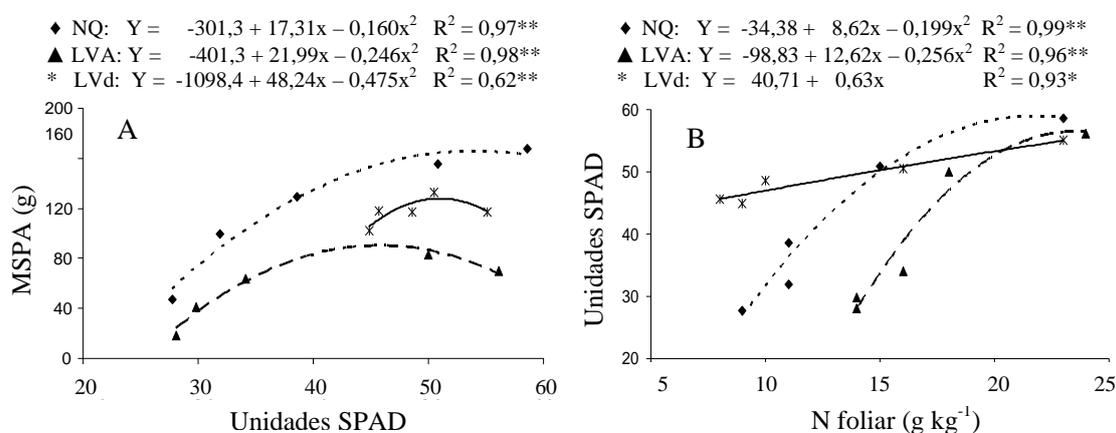


Figura 2 – Relação entre leitura SPAD e matéria seca da parte aérea – MSPA (A), e entre leitura SPAD e teor de N total foliar (B) no milho cultivado em solos de texturas contrastantes.

Tabela 2 – Leituras do clorofilômetro ao longo dos estádios fenológicos e produtividade do milho em resposta a diferentes doses de nitrogênio em cobertura (Dados médios considerando a ausência e presença de calcário).

Tratamento	Estádio de desenvolvimento											Produtividade (t ha ⁻¹)
	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	
	DAG*	DAG	DAG	DAG	DAG	DAG	DAG	DAG	DAG	DAG	DAG	
	V ₁₋₂ **	V ₃₋₄	V ₄₋₅	V ₅₋₆	V ₇₋₈	V ₉₋₁₀	V ₁₁₋₁₂	V ₁₄₋₁₆	R ₁ ***	R ₂	R ₃	
0 N	36,4a	44,6a	47,7b	49,8c	52,0c	55,5c	54,9c	56,4c	58,3c	58,0b	57,9b	9,3 c
100 N	32,8b	43,8a	48,3b	52,9b	56,5b	58,2b	58,2b	58,4b	59,7b	59,4b	59,8b	10,7 b
500 N	36,4a	44,3a	51,8a	57,0a	60,9a	62,1a	62,1a	63,3a	63,5a	65,0a	64,8a	11,3 ^a
CV(%)	3,8	1,2	1,3	2,6	1,6	2,7	2,5	1,9	1,7	3,2	3,5	4,4

Letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.

*Dias após germinação; **Estádio de desenvolvimento com o grifo indicando a folha na qual foi feita leitura SPAD; ***Leituras SPAD feitas na folha abaixo e oposta à espiga.

A ausência de diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos 0N e 100N a partir do estádio de grãos leitosos (R₂) (Tabela 2), possivelmente, se deva ao maior acúmulo de clorofila nas folhas em estádios próximos ao reprodutivo (Costa et al., 2001). Aumento nas leituras de clorofila em estádios próximos do florescimento foi também verificado por Godoy et al. (2003) e Argenta et al. (2004).

As leituras SPAD nos tratamentos com cobertura nitrogenada diferiram estatisticamente do tratamento sem cobertura a partir do estádio V₅-V₆ (Tabela 2), indicando que a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N realizada no estádio de quatro folhas (V₄), foi uma estratégia acertada, embora essa dose não tenha possibilitado atingir o potencial máximo de clorofila a partir desse estádio (Figura 3). Situações de insuficiência de N frente à demanda do milho nos estádios iniciais geram estresse

que compromete o tamanho e número de grãos permanentemente (Fancelli, 2000; Francis & Piekielek, 2003).

Na Tabela 3, são apresentados os coeficientes de correlação de Pearson entre as leituras SPAD em cada estádio de desenvolvimento do milho e as produtividades de grãos obtidas, considerando os dados médios de todos os tratamentos estudados (n=6).

As leituras SPAD obtidas a partir do estádio V₄-V₅ mostraram boa correlação com o rendimento de grãos de milho. Da mesma forma, as leituras tiveram alta correlação com a produção de MSPA e com os teores de N nos grãos e de N mineral no solo à época do florescimento. Em relação ao teor foliar de N no florescimento, não foram obtidas correlações significativas em nenhum estádio de desenvolvimento avaliado.

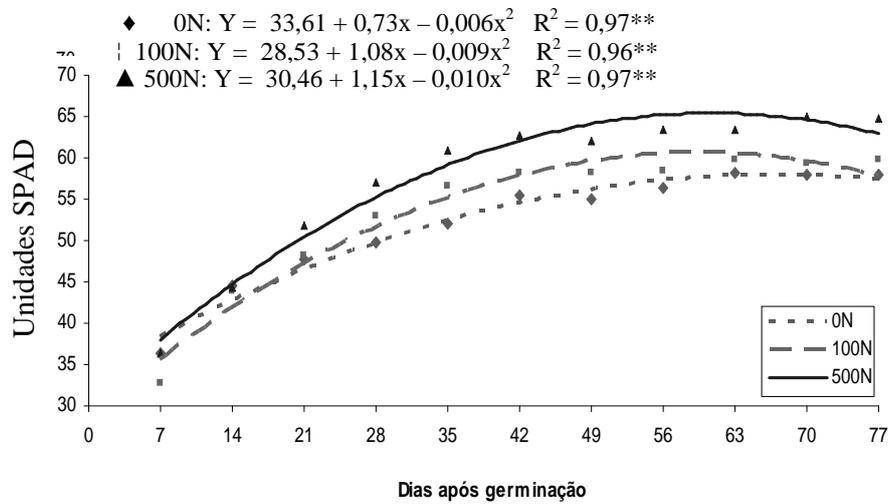


Figura 3 – Valores de leituras SPAD em função do estágio fenológico do milho sob diferentes condições de suprimento de N.

Tabela 3 – Coeficientes de correlação das leituras SPAD em cada estágio de desenvolvimento do milho com a produtividade de grãos, matéria seca da parte aérea (MSPA), teor de nitrogênio nas folhas, teor de nitrogênio nos grãos e nitrogênio mineral no solo.

Estádio de desenvolvimento	Produtividade de grãos	MSPA ¹	Nitrogênio foliar ²	Nitrogênio no grão	Nitrogênio mineral ³
V ₁ -V ₂	-0,23 ^{ns}	-0,33 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,47 ^{ns}
V ₃ -V ₄	-0,35 ^{ns}	-0,32 ^{ns}	-0,71 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	0,13 ^{ns}
V ₄ -V ₅	0,79 *	0,70 *	0,62 ^{ns}	0,86 **	0,97 ***
V ₅ -V ₆	0,87 **	0,82 **	0,47 ^{ns}	0,93 ***	0,89 **
V ₇ -V ₈	0,94 ***	0,89 **	0,55 ^{ns}	0,97 ***	0,87 **
V ₉ -V ₁₀	0,87 **	0,79 *	0,61 ^{ns}	0,92 ***	0,94 ***
V ₁₁ -V ₁₂	0,93 ***	0,85 **	0,61 ^{ns}	0,96 ***	0,89 **
V ₁₄ -V ₁₆	0,87 **	0,88 **	0,34 ^{ns}	0,95 ***	0,92 ***
R ₁	0,86 **	0,82 **	0,35 ^{ns}	0,93 ***	0,94 ***
R ₂	0,83 **	0,79 **	0,49 ^{ns}	0,90 ***	0,97 ***
R ₃	0,87 **	0,83 **	0,40 ^{ns}	0,94 ***	0,94 ***

¹Matéria seca da parte aérea, exceto grãos.

²Referente à mesma folha onde foram realizadas as leituras com clorofilômetro.

³NH₄⁺ + NO₃⁻ no solo no início do florescimento.

*, **, *** = significativo a 10, 5 e 1%, respectivamente; ns: não significativo.

No trabalho realizado por Piekielek & Fox (1992), foram reportadas correlações entre a produtividade de grãos e as leituras do clorofilômetro no estágio V₆. Já, Waskom et al. (1996) reportaram tal correlação só a partir do estágio V₁₀. Os resultados obtidos no presente trabalho sugerem que o clorofilômetro pode ser utilizado para o diagnóstico nutricional precoce das lavouras (estádio V₄-V₅). Em

princípio, isso possibilitaria obter subsídios para melhor definir a quantidade de N a ser fornecida nas adubações de cobertura, com base no monitoramento do milho nos estádios iniciais críticos para a resposta ao nitrogênio.

Houve significância estatística para o efeito de doses de N na produtividade de grãos, MSPA, teor de N no grão e N mineral do solo (Tabela 4). Os teores foliares

Tabela 4 – Produtividade de grãos de milho, matéria seca da parte aérea (MSPA), teores de N na folha, nos grãos e de N mineral no solo em resposta a doses de N em cobertura (Dados médios considerando a ausência e presença de calcário).

Tratamento	Produtividade (t ha ⁻¹)		MSPA ¹ (t ha ⁻¹)		Teor de N foliar ² (g kg ⁻¹)		Teor de N nos grãos (g kg ⁻¹)		N mineral ^{2,3} (mg kg ⁻¹)	
0 N	9,4	c	13,0	b	29,5	a	12,0	c	39	B
100 N	10,7	b	14,3	a	30,2	a	14,1	b	43	B
500 N	11,3	a	14,8	a	31,3	a	15,9	a	205	A
CV (%)	4,4		4,2		9,3		5,4		24	

¹Matéria seca da parte aérea, exceto grãos.

²Amostragem realizada na folha indicadora no início do florescimento.

³NH₄⁺ + NO₃⁻ no solo no início do florescimento.

de N à época do florescimento não se diferenciaram segundo as doses testadas, mostrando, portanto, uma aparente baixa eficiência da análise foliar em discriminar condições de suprimento de nitrogênio contrastantes, o que pode ser explicado pela alta quantidade de N suprida pelo solo. Os teores de N nos grãos apresentaram comportamento estatístico similar ao observado para a produtividade. Os valores de MSPA diferiram estatisticamente, sendo menores na dose 0N. O oposto foi observado para os teores de N mineral no solo à época de florescimento, havendo grande incremento na dose 500N.

A despeito das diferenças estatísticas (Tabela 4), a análise econômica das produtividades obtidas demonstrou, como seria previsível, que apenas o tratamento com 100 kg ha⁻¹ de N foi viável, apresentando um ganho da ordem de R\$ 167,70 por hectare em relação a não aplicação de N em cobertura.

Considerando uma dose total de 121 kg ha⁻¹ de N aplicada, a lucratividade obtida foi muito próxima da relatada por Silva et al. (2005) para a dose de 120 kg ha⁻¹ de N (R\$ 173,02 por hectare). Chama atenção a magnitude relativamente pequena das respostas à adubação de cobertura, fato decorrente da elevada produtividade verificada no tratamento testemunha (0N). Além desse tratamento ter recebido 21 kg ha⁻¹ de N na semeadura, o cultivo de milho em sucessão à soja é favorecido, em razão do maior suprimento do nutriente pelo solo, levando a uma menor demanda na adubação (Sousa & Lobato, 2004).

O modelo ajustado (Figura 3), considerando o tratamento sem limitação no suprimento de nitrogênio (500N), permitiu estimar um valor de leitura SPAD referencial para cada um dos estádios fenológicos, de V₂ a R₃, nas condições da lavoura estudada: 38,1; 44,8; 50,6; 55,6; 59,7; 62,9; 65,2; 66,7; 67,2; 66,9; e 65,6. A leitura no estádio de 3-4 folhas está

próxima daquela encontrada por Argenta et al. (2004) para condições brasileiras, entretanto, para os outros estádios vegetativos, os valores são discrepantes. Confirma-se, assim, que os índices SPAD são próprios ao híbrido e estágio fenológico, sendo necessário manter ressalvas, também, na sua interpretação para diferentes condições ambientais e de manejo da lavoura.

CONCLUSÕES

Sob condições controladas, o clorofilômetro foi sensível em detectar o estado nutricional do milho em relação ao nitrogênio na fase de pré-florescimento, discriminando condições variadas de disponibilidade do nutriente para solos com diferente granulometria, tendo sido observadas altas correlações com a produção de matéria seca.

Sob condições de lavoura, o medidor de clorofila mostrou-se sensível ao indicar o estado nutricional do milho em resposta ao N, já a partir de estádios iniciais de desenvolvimento, viabilizando sua utilização para o diagnóstico nutricional precoce das lavouras e servindo como indicador da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura.

AGRADECIMENTOS

Aos proprietários da fazenda Alto Alegre (Planaltina de Goiás – GO) e à Embrapa Cerrados (no âmbito do projeto MP1-01.02.05.1.01.02.05), pelo suporte oferecido na realização do presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.26, p.241-248, 2002.

- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; BORTOLINI, C.G.; FORSTHOFER, E.L.; STRIEDER, M.L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v.13, p.158-167, 2001.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; SANGOI, L. Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter to predict nitrogen fertilization in maize. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, p.1379-1387, 2004.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.235-239, 1997.
- BLACKMER, M.; SCHEPERS, J.S. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.25, p.1791-1800, 1994.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, I. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p.375-470.
- CANTARELLA, H.; DUARTE, A.P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V (Eds.). **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa, MG: UFV, 2004. p.139-182.
- COSTA, C.; DWYER, L.M.; DUTILLEUL, P.; STEWART, D.W.; MA, B.L.; SMITH, D.L. Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v.24, n.8, p.1173-1194, 2001.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.
- FANCELLI, A.L. **Nutrição e adubação do milho**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2000. 43p.
- FERREIRA, D.F. **SISVAR software**. Versão 4.6. Lavras: DEX/UFLA, 2003. Software.
- FRANCIS, D.D.; PIEKIELEK, W.P. Assessing crop nitrogen needs with chlorophyll meters. 2003. Disponível em: <<http://www.ppi-far.org/ssmg>>. Acesso em: 25 out. 2007.
- GODOY, L.J.G. de; BÔAS, R.L.V.; GONÇALVES FILHO, H. Adubação nitrogenada na cultura do milho baseada na medida do clorofilômetro e no índice de suficiência em nitrogênio (ISN). **Acta Scientiarum. Agronomy**, Londrina, v.25, n.2, p.373-380, 2003.
- GODOY, L.J.G. de; SOUTO, L.S.; FERNANDES, D.M.; VILLA-BÔAS, R.L. Uso do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada para milho em sucessão a pastagem de *Brachiaria decumbens*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, p.38-44, 2007.
- MAHMOUDJAFARI, M.; KLUITENBERG, G.J.; HAVLIN, J.L.; SCHWAB, A.P. Spatial variability of nitrogen mineralization at field scale. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.61, p.1214-1221, 1997.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.
- OLIVEIRA, S.A. de. Análise foliar. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p.245-256.
- PIEKIELEK, W.P.; FOX, R.H. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, p.59-65, 1992.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. Como a planta de milho se desenvolve. POTAFOS. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n.103, p.1-11, 2003.
- SCHARF, P.; BROUDER, S.M.; HOEFT, R.G. Chlorophyll meter readings can predict nitrogen need and response of corn in the North-Central USA. **Agronomy Journal**, Madison, v.98, p.655-665, 2006.
- 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**, New York, v.23, p.2173-2187, 1992.

- SCHRODER, J.J.; NEETESON, J.J.; OENEMA, O.; STRUIK, P.C. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? **Field Crops Research**, Amsterdam, v.66, p.151-164, 2000.
- SILVA, E.C. da; BUZETTI, S.; LAZARNI, E. Aspectos econômicos da adubação nitrogenada na cultura do milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Viçosa, v.4, p.286-297, 2005.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado**: correção do solo e adubação. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 416p.
- STOCKDALE, E.A.; GAUNT, J.L.; VOS, J. Soil-plant nitrogen dynamics: what concepts are required? **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.7, p.145-159, 1997.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.
- VARVEL, G.E.; SCHEPERS, J.S.; FRANCIS, D.D. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.61, p.1233-1239, 1997.
- VITTI, G.C.; TEIXEIRA, L.H.B.; BARROS JUNIOR, M.C. Diagnóstico da fertilidade do solo e adubação para alta produtividade de milho. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Eds.). **Milho**: estratégias de manejo para alta produtividade. Piracicaba: ESALQ/USP/LPV, 2003. p.134-173.
- WASKOM, R.M.; WESTFALL, D.G.; SPELLMAN, D.E.; SOLTANPOUR, P.N. Monitoring nitrogen status of corn with a portable chlorophyll meter. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.27, p.545-560, 1996.
- WELSH, J.P. et al. Developing strategies for spatially variable nitrogen application in cereals: part I, winter barley. **Biosystems Engineering**, Washington, v.84, p.481-494, 2003.
- ZOTARELLI, L. et al. Calibração do medidor de clorofila Minolta SPAD-502 para avaliação do conteúdo de nitrogênio do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.1117-122, 2003.