

Adubação nitrogenada na cultura do milho baseada na medida do clorofilômetro e no índice de suficiência em nitrogênio (ISN)

Leandro José Grava de Godoy*, Roberto Lyra Villas Bôas e Hélio Grassi Filho

Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Cx. Postal 237, 18603-970, Botucatu, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência: E-mail: legodoy@laser.com.br

RESUMO. Foi conduzido um experimento em Botucatu, Estado de São Paulo, para avaliar a utilização do clorofilômetro, na predição da necessidade de N na cultura do milho, *Zea mays* L., através do índice de suficiência em N (ISN). O ISN foi calculado nos estádios de quatro (V_4), sete (V_7), dez (V_{10}) folhas e no pendoamento, dividindo a medida do clorofilômetro na parcela pela medida numa área que recebeu uma alta dose de N (200kg N ha^{-1}). Um dia antes da semeadura, foram aplicados 0 e 60kg N ha^{-1} . Nas parcelas que não receberam N foram aplicados (kg N ha^{-1}): 0; 60 em V_4 e 40 em V_7 ; 42 em V_4 e 28 em V_7 ; 20 e 35 quando $\text{ISN} < 0,95$. Nas parcelas que receberam N aplicaram-se (kg N ha^{-1}): 24 em V_4 e 16 em V_7 ; 20 e 35 quando $\text{ISN} < 0,95$. A utilização do ISN permitiu definir quando aplicar o N iniciando do estádio de sete folhas.

Palavras-chave: *Zea mays* L., clorofila, SPAD, área de referência.

ABSTRACT. Nitrogen fertilizing in corn based in chlorophyll meter reading and sufficiency index in nitrogen. An experiment was carried out in Botucatu, state of São Paulo, Brazil, to evaluate the use of chlorophyll meter reading, in nitrogen necessity prediction in corn, *Zea mays* L., through a nitrogen sufficiency index (NSI). NSI was calculated at four (V_4), seven (V_7), ten (V_{10}) leaves stage and in tasseling, dividing the measure of the chlorophyll meter reading in the plot by the measure in an area that received a high N rate (200kg N ha^{-1}). One day before the planting, 0 and 60kg N ha^{-1} were applied. (kg N ha^{-1}) were applied in plots that did not receive N: 0; 60 in V_4 and 40 in V_7 ; 42 in V_4 and 28 in V_7 ; 20 and 35kg N ha^{-1} when the $\text{NSI} < 0,95$. (kg N ha^{-1}) were applied in plots that received N: 24 in V_4 and 16 in V_7 ; 20 and 35kg N ha^{-1} when $\text{NSI} < 0,95$. The use of NSI allowed to define when N should be applied by starting from seven leaves stage.

Key words: *Zea mays* L., chlorophyll, SPAD, reference area.

Introdução

A definição da dose utilizada na adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho no Brasil é baseada na expectativa de produtividade, no histórico da área e no tipo de solo (Raij e Cantarella, 1996) para a maioria dos estados, com exceção do RS e SC que consideram também o teor de matéria orgânica do solo (CFS-RS/SC, 1995). Devido à complexa dinâmica do N aplicado ao solo (volatilização, imobilização por microorganismos e lixiviação) e à diversidade de cultivares de milho utilizados (diferentes respostas ao N aplicado e eficiências de utilização do N), é muito difícil saber se a dose recomendada será suficiente ou não para a planta expressar seu potencial produtivo.

A predição da necessidade de adubação na cultura do milho por indicadores do solo como o teor de N-NO_3^- na camada de 0 a 20cm em pré-semeadura (Magdoff *et al.*, 1984) e teor de N-NO_3^- na camada

de 0 a 30cm em pré-cobertura (Binford *et al.*, 1992), utilizadas em algumas regiões dos EUA, é complicada em condições de clima tropical e subtropical cujos valores obtidos no laboratório podem não expressar o teor disponível no solo no momento da amostragem.

Outro método para prever a necessidade de adubação é através do estado nutricional da planta (Malavolta *et al.*, 1997). A análise do teor de N no tecido vegetal é um método eficiente para indicar o nível de N na planta, no entanto, não permite a correção da deficiência do nutriente no ciclo (Dourado Neto e Fancelli, 2000).

As folhas de milho sadias devem ter coloração verde-escura brilhante que indica altos níveis de clorofila, essenciais para captar a energia solar e para o desenvolvimento da planta (Berger, 1993). O teor de clorofila é um indicador do nível de N na planta de milho que está altamente correlacionado com a

produtividade do milho (Blackmer e Schepers, 1994; Waskom *et al.*, 1996).

A avaliação do estado nutricional pelo teor de clorofila medido indiretamente através da intensidade da cor verde da folha pode ser realizada por três métodos: pela diagnose visual, técnica subjetiva podendo variar com a luz solar sobre a folha e com a cultivar (Turner e Jund, 1991); pela reflectância do dossel de plantas em vários comprimentos de onda, através de radiômetro multiespectral (Blackmer *et al.*, 1994; Ma e Dwyer, 1997) ou pela absorvância de luz pela clorofila, através do clorofilômetro SPAD-502 (Minolta Corp. LTD, Japão, 1989). Com este último método é possível obter a intensidade da coloração verde da folha no campo de modo não-destrutivo, rápido e simples (Piekielek e Fox, 1992) e prever a deficiência de N na cultura do milho (Smeal e Zhang, 1994; Chapman e Barreto, 1997).

Bullock e Anderson (1998) e Sunderman *et al.* (1997) afirmam que nem todo o híbrido de milho tem a mesma coloração o que impede a adoção de um índice crítico geral. De acordo com Schepers *et al.* (1992) e Costa *et al.* (2001), é necessário um método de normalização para cada área de cultivo, híbrido, estágio de crescimento, condições edafoclimáticas e práticas culturais.

Alguns pesquisadores (Peng *et al.*, 1993; Chapman e Barreto, 1997) propuseram a utilização do peso específico da folha (em g m⁻²) para reduzir o efeito da espessura da folha e normalizar a medida do clorofilômetro entre cultivares, entretanto, esta metodologia tira a praticidade do clorofilômetro que possibilita obter resultados instantâneos no campo, de modo não-destrutivo. A obtenção do peso específico da folha demanda coleta da folha para medição de sua largura e comprimento e pesagem após secagem que é um processo destrutivo que demanda tempo.

Outro método foi proposto por Schepers *et al.* (1992) através de um índice de suficiência em nitrogênio (ISN) calculado pela divisão da medida do clorofilômetro na parcela pela medida numa área otimamente adubada com N, onde teoricamente não há deficiência de N (área de referência). Peterson *et al.* (1993) recomendam o ISN igual a 0,95 para prever a deficiência de N na planta de milho, enquanto Jemison e Lytle (1996) utilizaram um índice menos rigoroso (0,93). Rozas e Echeverría (1998) indicam um ISN \geq 0,98 que deve ser mantido nos estádios posteriores ao de seis folhas para alcançar 95% do rendimento máximo. Na cultura do arroz, Hussain *et al.* (2000) utilizaram o

ISN de 0,90 como determinante da necessidade de adubação nitrogenada.

Piekielek *et al.* (1997) recomendam que a área de referência para as condições norte-americanas do milho irrigado devem ser adubadas manualmente com 170 a 200kg ha⁻¹ de N e constituídas de duas áreas com quatro linhas de 6 metros de comprimento.

Quando a necessidade de N é indicada pelo ISN \leq 0,95, devem ser adicionados de 22 a 45kg ha⁻¹ de N através de fertirrigação (Peterson *et al.*, 1993). Blackmer e Schepers (1994) e Varvel *et al.* (1997a) utilizaram em seu trabalho a aplicação de 30 a 33kg ha⁻¹ de N por aplicação via fertirrigação toda vez que o ISN \leq 0,95.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de predição da necessidade da adubação nitrogenada na cultura do milho, utilizando-se um índice de suficiência calculado com base na medida do clorofilômetro e em uma área de referência.

Material e métodos

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental São Manuel (FCA/Unesp-Botucatu), localizada em São Manuel, Estado de São Paulo (22°44'50"S, 48°34'00" O e 765m de altitude média), em uma área experimental cultivada nos dois anos anteriores com a cultura do milho. O clima da região, segundo os critérios citados por Köppen, é Cfa (clima temperado chuvoso) com a temperatura máxima anual de 22,7°C e mínima de 16,7°C e total da precipitação pluvial média anual de 1534mm.

O solo onde foi instalado o experimento é classificado como Latossolo Vermelho distrófico textura média (Embrapa, 1999) com as seguintes características na camada de 0 a 20cm: 860, 20 e 120gkg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente, pH (CaCl₂) de 4,8; 11g dm⁻³ de M.O.; 9mg dm⁻³ de P (resina); 1,5; 12,0 e 6,0mmol_c dm⁻³ de K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺, respectivamente; CTC de 46mmol_c dm⁻³ e V de 42 %. O solo foi preparado de modo convencional, juntamente com o processo de calagem para elevar a V a 70%. Foi realizada uma gessagem (500kg ha⁻¹ de gesso agrícola) para elevar o teor de S no solo a um nível de suficiência.

A adubação de sementeira foi realizada, utilizando-se a dose de 310kg ha⁻¹ do formulado 08-28-16 + 0,4% Zn, correspondendo a 26kg N ha⁻¹. A sementeira do milho foi realizada em 25 de novembro de 2000, utilizando o híbrido simples precoce DAS 8410 responsivo a doses de N. Foi adotada a irrigação suplementar por aspersão baseada no método do tanque classe A para evitar a ocorrência de estresse hídrico.

As parcelas experimentais foram constituídas de 6 linhas de 8m de comprimento, espaçadas de 85cm e 6 plantas por metro (70600 plantas ha⁻¹). O experimento foi delineado em blocos casualizados com quatro repetições adotando duas doses de N (0 e 60kg ha⁻¹), aplicadas manualmente, um dia antes da semeadura, na superfície total das parcelas, para simular dois teores de N no solo. Nessas parcelas foram adotados diferentes manejos do N em cobertura.

Nas parcelas que não receberam N, aplicaram-se os seguintes tratamentos: (1) 0kg N ha⁻¹; (2) 60 e 40kg N ha⁻¹, respectivamente, nos estádios de quatro (V₄) e sete folhas desenvolvidas (V₇); (3) 42 e 28kg N ha⁻¹, respectivamente em V₄ e V₇; (4) 20kg N ha⁻¹ se necessário nos estádios V₇, V₁₀ e no pendoamento e (5) 35kg N ha⁻¹ se necessário nos estádios V₇, V₁₀ e no pendoamento. Nas parcelas que receberam N aplicaram-se os seguintes tratamentos: (6) 28 e 12kg N ha⁻¹ nos estádios V₄ e V₇, respectivamente; (7) 20kg N ha⁻¹ nos estádios V₇, V₁₀ e no pendoamento se necessário e (8) 35kg N ha⁻¹ nos estádios V₇, V₁₀ e no pendoamento se necessário. As parcelas que receberam 60kg N ha⁻¹ um dia antes da semeadura e 80 e 60kg N ha⁻¹, respectivamente em V₄ e V₇ foram consideradas como área de referência (tratamento 9). A necessidade de N em cobertura nos tratamentos foi considerada de acordo com o índice de suficiência de N (ISN) obtido através da média das medidas do clorofilômetro na parcela (MP) e na área de referência (MR) pelo cálculo: $ISN = (MP/MR)$. Quando o $ISN \geq 0,95$ não foi aplicado o N e quando o $ISN < 0,95$ foi aplicada a dose de acordo com o tratamento.

O ISN foi calculado nos seguintes estádios fenológicos: 1) plantas com 4 folhas (V₄); 2) plantas com 7 folhas (V₇); 3) plantas com 10 folhas (V₁₀); 4) plantas com mais de 12 folhas (pendoamento) e 5) duas semanas após o florescimento feminino; através do índice relativo de clorofila (IRC) determinado pelo clorofilômetro (Chlorophyll Meter, SPAD-502) da Minolta Co., Japão, (1989). As medidas foram realizadas no período da manhã entre 9 e 10 horas, sombreando o aparelho com o corpo, em 10 plantas por parcela. Em cada planta foi realizada a leitura em dois pontos de cada lado da folha mais recentemente expandida. Duas semanas após o florescimento, a amostragem foi realizada na folha da espiga. Os quatro pontos amostrados por folha estavam localizados a 6mm da margem e de 10 a 20cm do ápice da folha. Desses quatro pontos amostrados, foram selecionadas as duas maiores medidas obtidas em um lado e calculada a média.

A primeira parcela da adubação nitrogenada no estádio V₄ foi aplicada nos tratamentos (4), (5), (7) e (8) independentemente do ISN calculado para não comprometer a definição do potencial produtivo. A fonte de N utilizada nas aplicações foi o sulfato de amônio (21% N e 23,5% S). A adubação potássica (40kg ha⁻¹ de K₂O) foi realizada juntamente com a primeira parcela da adubação nitrogenada.

Para verificar o efeito da adubação realizada antes da semeadura, foram retiradas amostras de solo nas profundidades de 0 a 20, 20 a 40, 40 a 60, 60 a 80 e 80 a 100cm para a análise de nitrogênio inorgânico (N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺) disponível no solo, após a aplicação do N antes da semeadura e antes da adubação de cobertura (20 dias após a emergência - DAE). O amônio (N-NH₄⁺) e o nitrato (N-NO₃⁻) do solo foram extraídos e determinados segundo metodologia adaptada por Cantarella e Trivellin (2001).

A produtividade de grãos foi avaliada colhendo-se manualmente as espigas das plantas em 5m das duas linhas centrais de cada parcela totalizando uma área de 8,5m² corrigindo a massa de grãos para o teor de água de 13%.

Resultados e discussão

O Índice Relativo de Clorofila (IRC) obtido pelo clorofilômetro diferiu em função dos diferentes manejos do nitrogênio em cobertura e em função dos estádios fenológicos da cultura do milho (Tabela 1) o que vem a confirmar os resultados de Argenta *et al.* (2001) sendo estes dois dos fatores que impedem a adoção de um valor crítico geral para a cultura do milho como indicativo da deficiência de N.

No estádio de quatro folhas totalmente desenroladas (V₄, 25 dias após a emergência - DAE), não houve diferença significativa no IRC entre as plantas que receberam ou não a dose de 60kg ha⁻¹, provavelmente, em função do N aplicado na semeadura em todas as parcelas (26kg ha⁻¹) e do N inorgânico e prontamente mineralizável do solo atenderem a demanda da planta até este estádio. Talvez o clorofilômetro deva ser utilizado num estádio mais avançado da planta, possibilitando prever a necessidade da segunda parcela da adubação nitrogenada, concordando com Waskom *et al.* (1996) que consideraram o estádio V₆ muito cedo para identificar plantas de milho deficientes em N.

No estádio de sete folhas totalmente desenroladas (V₇, 37 DAE) após doze dias das plantas receberem a primeira parcela da adubação nitrogenada, foi possível identificar diferenças no IRC entre as doses utilizadas, contrariando a afirmação de Bullock e Anderson (1998) de que o IRC no estádio de sete folhas não serve para

identificar plantas deficientes em N. Além da diferença evidente entre o IRC das plantas que não receberam N e das plantas que receberam 80kg N ha⁻¹ na primeira cobertura (tratamento 9), indicando a deficiência de N como já citado por Wood *et al.* (1993), pode-se observar a alteração do IRC de acordo com a dose aplicada no estágio V₄ (Figura 1), evidenciando a capacidade do aparelho em identificar a resposta da planta em relação à aplicação do N neste estágio.

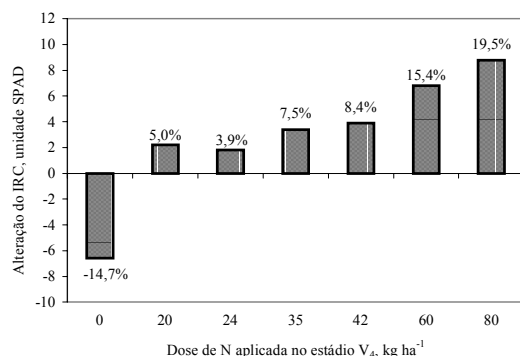


Figura 1. Alteração do IRC (unidade SPAD) no estágio V₇ em função da dose de N aplicada no estágio de quatro a cinco folhas (V₄ - 25 DAE). Os números acima das colunas significam a alteração do IRC, em %.

No estágio fenológico de 10 folhas (V₁₀, 44 DAE) (Tabela 1), somente as plantas dos tratamentos que receberam até o estágio V₇ uma dose maior que 100kg N ha⁻¹ (tratamentos 2 e 8) mantiveram o IRC em relação ao estágio anterior, com exceção do das plantas do tratamento 5 que receberam 70kg N ha⁻¹ e mantiveram o IRC. Neste estágio, foi complementada a adubação nitrogenada para os tratamentos que estavam recebendo 20 e 35kg ha⁻¹ de N (4, 5, 7 e 8), nos quais se aplicaram,

respectivamente, 30 e 50kg ha⁻¹ com o objetivo de atender à demanda da planta até o final do ciclo.

No pendoamento houve um aumento ou manutenção do IRC das plantas de todos os tratamentos. Esse aumento pode ter sido provocado pelo pico de absorção de N relatado por Büll (1993) resultando numa maior resposta na síntese de clorofila. Segundo Costa *et al.* (2001) este aumento é normal na transição do estágio vegetativo para o reprodutivo, alcançando um teor máximo de clorofila na folha denominado de “maturidade fotossintética”.

Na fase inicial de enchimento dos grãos, as plantas que receberam uma dose maior de N em cobertura (tratamentos 5, 8 e 9), apresentaram valores de IRC entre 52 e 56 o que caracteriza um excesso na adubação nitrogenada segundo Piekielek *et al.* (1995). Estas plantas receberam 155, 155 e 140kg ha⁻¹ de N em cobertura uma dose considerada alta para as condições brasileiras. Logo o IRC pode nos fornecer no final do ciclo do milho se houve um excesso na adubação realizada, permitindo também calibrar melhor a dose para o cultivo seguinte.

A utilização do índice de suficiência de Nitrogênio (ISN) igual a 0,95 no estágio de quatro folhas expandidas (V₄) também não foi capaz de identificar a necessidade da adubação em cobertura (Tabela 2), utilizando como referência plantas que receberam 60kg N ha⁻¹ um dia antes da semeadura. Entretanto, Varvel *et al.* (1997a) observaram que o IRC lido em plantas de uma monocultura de milho que não recebiam N em cobertura, foi menor do que nas plantas de milho em rotação (soja-milho) durante três anos, refletindo a contribuição do N vindo da soja e a capacidade do aparelho em detectar esta diferença de N disponível no solo neste estágio fenológico.

Tabela 1. Índice relativo de clorofila (IRC) determinado pelo clorofilômetro (SPAD-502, Minolta) nos estádios fenológicos da cultura do milho influenciado pelo manejo do nitrogênio na FESM, São Manuel, Estado de São Paulo, no ano de 2000/01

T ⁽¹⁾	Época de aplicação do N ⁽²⁾					N Total ⁽³⁾	N Cob.	Estádios fenológicos do milho							
	A	V4	V7	V10	Pend.			V4 (25 DAE)	V7 (37 DAE)	V10 (44 DAE)	Pend. (53 DAE)	Enchim. ⁽²⁾ (72 DAE)			
	Doses (kg ha ⁻¹)							Índice Relativo de Clorofila na lâmina foliar							
	---					kg ha ⁻¹					SPAD ⁽⁵⁾				
1	0	0	0	0	0	26	0	45,0 A a ⁽⁴⁾	38,4 B d	32,4 C d	34,5 BC d	19,5 D d			
2	0	60	40	0	0	126	100	44,2 C a	51,0 AB ab	47,2 BC ab	52,5 A b	49,8 AB b			
3	0	42	28	0	0	96	70	46,5 BC a	50,4 AB abc	45,0 C bc	51,3 A bc	42,9 C c			
4	0	20	20	30	20	116	90	44,4 BC a	46,6 AB bc	40,1 C c	50,2 A bc	50,0 A b			
5	0	35	35	50	35	181	155	45,4 B a	48,8 B abc	47,0 B ab	53,9 A ab	53,9 A ab			
6	60	24	16	0	0	126	40	45,8 A a	47,6 A bc	41,0 B c	46,7 A c	44,3 AB c			
7	60	20	20	30	20	176	90	46,7 BC a	45,4 C c	40,1 D c	51,7 A bc	50,1 AB b			
8	60	35	35	50	35	241	155	46,6 BC a	48,2 AB bc	43,2 C bc	52,5 A b	51,9 A ab			
9	60	80	60	0	0	226	140	45,1 D a	53,9 BC a	51,4 C a	58,7 A a	56,1 AB a			
	Média Geral							45,5 C	47,8 B	43,1 D	50,2 A	46,5 BC			

⁽¹⁾ Número dos Tratamentos; ⁽²⁾ A - um dia antes da semeadura; V₄, V₇ e V₁₀ - plantas com quatro, sete e dez folhas estendidas, respectivamente; Pend. = pendoamento; Enchim. = enchimento de grãos; ⁽³⁾ Na semeadura foram aplicados 26kg N ha⁻¹ (310kg ha⁻¹ de 08-28-16) em todos os tratamentos; ⁽⁴⁾ SPAD (Soil and Plant Analysis Development) = unidade adotada pela MINOLTA (1989); ⁽⁵⁾ Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. DMS dentro do estágio fenológico (0,05%) = 5,22; DMS dentro do manejo (0,05%) = 4,58; CV% = 5,02

Embora tenham sido aplicados 60kg N ha^{-1} um dia antes da semeadura, uma precipitação acumulada de 258mm do dia da aplicação até o dia da amostragem do solo (Figura 2) reduziu o teor de N inorgânico prontamente disponível no solo nas camadas superficiais no estágio V_4 , não havendo diferença entre as parcelas que receberam ou não os 60kg N ha^{-1} (Figura 3).

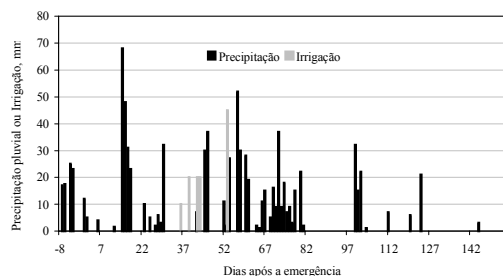


Figura 2. Precipitação pluvial e irrigação na área do experimento durante a fase de condução, na FESM, São Manuel, Estado de São Paulo (2000)

Nem mesmo a adoção de um ISN mais rigoroso como o proposto por Rozas e Echēverria (1998) de $0,98$ seria capaz de diferenciar as plantas que haviam recebido uma dose de N antes da semeadura (Tabela 2).

Todas as plantas que receberam 35kg ha^{-1} de N ou menos no estágio V_4 independente da dose aplicada antes da semeadura (tratamentos 1, 4, 5, 6, 7 e 8), receberam a segunda parcela da adubação em V_7 de acordo com o ISN adotado. As plantas que receberam 42 e 60kg ha^{-1} de N aos 25 DAE (tratamento 3 e 2), embora apresentaram o $\text{ISN} \geq 0,95$, receberam a segunda parcela, pois ficou estabelecido que nestas plantas as aplicações de N em cobertura seriam realizadas independente do ISN.

A adoção de doses mais altas (42 e 60kg ha^{-1} de N) no estágio de quatro folhas pode não permitir a predição da necessidade da aplicação de uma segunda parcela no estágio V_7 , considerando um ISN de $0,95$ em relação à área de referência. Segundo Peterson *et al.* (1993) deve-se aplicar metade ou um terço da dose total de N recomendada no estágio de quatro folhas e o restante monitorado através do ISN.

De acordo com Varvel *et al.* (1997b) se o $\text{ISN} \leq 0,90$ no estágio de oito folhas desenvolvidas (V_8), a produtividade máxima não será alcançada com as aplicações de N em cobertura, porque o N aplicado no estado inicial não foi suficiente para o ótimo crescimento e o potencial de produção já foi afetado. Logo, as plantas dos tratamentos 1, 4, 6 e 7 já teriam

seu potencial de produção prejudicado (Tabela 2). No entanto, embora as maiores produtividades foram atingidas nas plantas dos tratamentos que apresentaram um $\text{ISN} > 0,90$ em V_7 (tratamentos 2 e 8), plantas de outros tratamentos que também apresentaram um $\text{ISN} > 0,90$ em V_7 (tratamentos 3 e 5) não atingiram altas produtividades (Figura 4). No experimento, a produtividade mais alta (Figura 4) foi atingida pelas plantas que apresentaram um $\text{ISN} \geq 0,95$ em V_7 e mantiveram o $\text{ISN} \geq 0,90$ até o enchimento dos grãos.

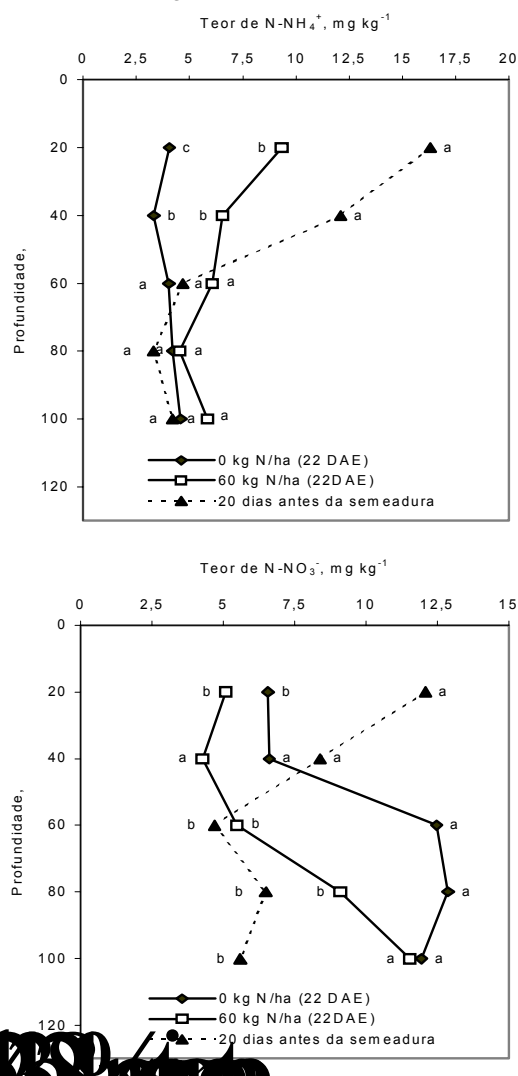


Figura 3. Teor de amônio (N-NH_4^+) e nitrato (N-NO_3^-) no perfil do solo (até 1m de profundidade), determinado em amostras coletadas em diferentes profundidades na área do experimento, 20 dias antes da semeadura e 20 dias após da aplicação do adubo. Média de quatro repetições (FESM, São Manuel, Estado de São Paulo, ano de 2000/01). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%. Coeficiente de variação médio para N-NO_3^- e N-NH_4^+ de $24,6$ e $28,1\%$, respectivamente

Tabela 2. Índice de Suficiência de Nitrogênio calculado (ISN) e predição da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura baseada em diferentes ISNs nos estádios da cultura do milho em função dos tratamentos, na FESM, São Manuel, Estado de São Paulo, ano de 2000/01

	Predição da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura de acordo com o ISN(1) nos estádios fenológicos							
	Tratamentos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	----- V4 - Plantas com 4 folhas expandidas (25 DAE) -----							
ISN	0,97	0,96	1,00	0,96	0,98	1,01	1,01	1,00
0,90(3)	N(7)	N	N	N	N	N	N	N
0,93(4)	N	N	N	N	N	N	N	N
0,95(5)	N	N	N	N	N	N	N	N
0,98(6)	S(7)	S	N	S	N	N	N	N
	----- V7 - Plantas com 7 folhas expandidas (37 DAE) -----							
ISN	0,73	0,97	0,96	0,88	0,93	0,90	0,86	0,91
0,90	S	N	N	S	N	N	S	N
0,93	S	N	N	S	N	S	S	S
0,95	S	N	N	S	S	S	S	S
0,98	S	S	S	S	S	S	S	S
	----- V10 - Plantas com 10 folhas expandidas (44 DAE) -----							
ISN	0,63	0,92	0,87	0,76	0,91	0,80	0,79	0,83
0,90	S	N	S	S	N	S	S	S
0,93	S	S	S	S	S	S	S	S
0,95	S	S	S	S	S	S	S	S
0,98	S	S	S	S	S	S	S	S
	----- Plantas no pendoamento (53 DAE) -----							
ISN	0,59	0,90	0,88	0,86	0,93	0,80	0,89	0,87
0,90	S	N	S	S	N	S	S	S
0,93	S	S	S	S	N	S	S	S
0,95	S	S	S	S	S	S	S	S
0,98	S	S	S	S	S	S	S	S

(1) Índice de Suficiência de N = medida do clorofilômetro no tratamento/medida do clorofilômetro na área de referência; (2) Dose aplicada no estádio um dia após o cálculo do ISN. Número entre parênteses é a dose aplicada um dia antes da semeadura. No sulco de semeadura foram aplicados 26kg N ha⁻¹ em todas as parcelas; (3) Proposto por Hussain et al. (2000); (4) Jemison e Lytle, (1996); (5) Peterson et al. (1993) e (6) Rozas e Echeverría et al. (1998); (7) N = não é necessária a aplicação de nitrogênio; S = é necessária a aplicação de nitrogênio

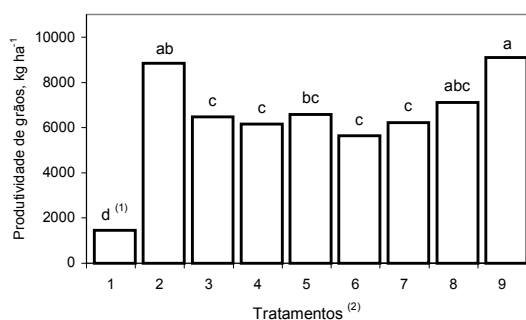


Figura 4. Produtividade de grãos na cultura do milho submetida a diferentes manejos de nitrogênio na FESM, São Manuel, Estado de São Paulo, no ano de 2000/01. (1) Médias de mensal de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%; DMS_{0,05} = 2350, CV de 15,4%; (2) 0kg N ha⁻¹; (3) 42 e 28kg N ha⁻¹ em V₄ e V₇; (4) 20kg N ha⁻¹ em V₄, V₇, V₁₀ e pendoamento, se o ISN < 0,95 e (5) 35kg N ha⁻¹ em V₄, V₇, V₁₀ e pendoamento, se o ISN < 0,95; (6) 24 e 16kg N ha⁻¹ em V₄ e V₇; (7) 20kg N ha⁻¹ em V₄, V₇, V₁₀ e pendoamento, se o ISN > 0,95; (8) 35kg N ha⁻¹ em V₄, V₇, V₁₀ e pendoamento, se o ISN < 0,95; (9) 80 e 60kg N ha⁻¹ em V₄ e V₇ (área de referência)

No estádio de 10 folhas (44 DAE) houve uma queda no ISN calculado para as plantas de todos tratamentos (Tabela 2). É interessante notar que a redução em relação ao ISN calculado aos 37 DAE foi menos acentuada nas plantas que receberam as

maiores doses ($\geq 70\text{kg ha}^{-1}$) até o estádio V₇ (tratamentos 2, 3, 5 e 8). Provavelmente, após sete dias da aplicação do N, não houve tempo suficiente para o N absorvido em grande quantidade e em curto espaço de tempo ter sido assimilado à molécula de clorofila para provocar a resposta total ao N aplicado.

As plantas que receberam uma dose menor ou igual a 40kg ha⁻¹ de N em cobertura até o estádio V₇ (tratamentos 1, 4, 6, e 7) apresentaram um ISN $\leq 0,80$ e as plantas que receberam uma dose igual a 70kg ha⁻¹ de N em cobertura (tratamentos 3, 5 e 8) apresentaram um ISN maior que 0,80 mas menor ou igual que 0,90. Somente as plantas que haviam recebido 100kg ha⁻¹ de N em cobertura (tratamento 2) apresentaram um ISN maior que 0,90. Esse fato mostra a capacidade do clorofilômetro em identificar a resposta das plantas à aplicação do N em cobertura.

Nesse estádio todas as plantas necessitariam receber N de acordo com o ISN de 0,95. A adoção do ISN de 0,90 limitaria a aplicação de uma terceira parcela de N nas plantas do tratamento 2 que receberam uma dose de 100kg ha⁻¹ de N em cobertura.

Aos 53 DAE, época de emissão do pendão, não houve uma diferenciação clara entre as plantas pelo ISN com exceção das plantas que não receberam N ou receberam apenas 40kg ha⁻¹ de N em cobertura até o estádio V₇ (tratamento 6). As plantas dos tratamentos que receberam a terceira parcela apresentaram uma elevação do ISN em comparação com as plantas que não receberam esta aplicação, mostrando uma resposta quanto à aplicação do N e relação à síntese de clorofila.

Apenas as plantas do tratamento 2 e 8 teriam condições de atingir a produtividade máxima de acordo com Varvel et al. (1997b) que, utilizando o ISN para manejar o N na cultura do milho, verificaram que a produtividade máxima seria atingida se o nível de N no solo fosse adequado para manter o ISN entre 90 e 100 do estádio V₇ em diante (Tabela 2).

A produtividade alcançada pelas plantas nas quais o manejo de nitrogênio em cobertura foi baseado no ISN pode ser considerada alta chegando a atingir 7.122kg ha⁻¹ (Figura 4). No entanto, a grande função do aparelho é refinar a adubação de cobertura com a finalidade de reduzir as doses aplicadas tentando aplicar o adubo quando a planta necessita, filosofia denominada por Blackmer e Schepers (1994) como “fertilization-as-needed” (adubação quando necessária). As plantas adubadas de acordo com o ISN receberam adubo em cobertura até o pendoamento, totalizando 90 e 155kg N ha⁻¹,

respectivamente, para os tratamentos que recebiam 20 e 35kg N ha⁻¹ quando o ISN < 0,95. Plantas que receberam 155kg N ha⁻¹ de acordo com o ISN alcançaram produtividade 22% menor que as plantas que receberam a dose de 140kg N ha⁻¹ só que concentrada nos estádios iniciais do milho (até V₇). A aplicação de uma dose mais alta (maior que 35kg N ha⁻¹) no estádio de 4 folhas parece ser essencial, principalmente, em solos arenosos para garantir uma produtividade alta, devendo-se utilizar o clorofilômetro para ajustar a segunda aplicação ou demais no caso de milho fertirrigado.

Devido à variação do IRC com o ciclo da cultura do milho, pode-se sugerir que sejam adotados diferentes valores de ISN limite no ciclo, buscando um melhor manejo da adubação nitrogenada. No estádio V₄ quando a variação é menor pode ser utilizado um ISN de 0,98, no estádio V₇ um ISN de 0,95 e próximo do pendoamento um ISN de 0,90 devido à maior variação entre as leituras do clorofilômetro (Tabela 1).

Conclusão

A utilização do índice de suficiência de nitrogênio (ISN) baseado na medida do clorofilômetro e em uma área altamente adubada com N (área de referência) permitiu definir quando se deveria aplicar o nitrogênio em cobertura, a partir do estádio de sete a oito folhas.

Referências

- ARGENTA, G. *et al.* Teor de clorofila na folha como indicador do nível de N em cereais. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 31, n. 3, p. 715-722, 2001.
- BERGER, K.C. Seja o doutor do seu milho. *Informações Agrônomicas*, n.63, não-pag., 1993. (*Arquivo de Agrônomo n.2*).
- BINFORD, G.D. *et al.* Optimal concentrations of nitrate in corn stalks at maturity. *Agron. J.*, Madison, v. 84, n. 5, p.881-887, 1992.
- BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S., Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, v.25 (9 e 10), p.1791-1800, 1994.
- BLACKMER, T. M. *et al.* Light reflectance compared with other nitrogen stress measurements in corn leaves. *Agron. J.*, Madison, v.86, p.934-938, 1994.
- BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L. T., CANTARELLA, H. (Ed.) *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: Potafos, 1993. p. 67-145.
- BULLOCK, D.G.; ANDERSON, D.S., Evaluation of the Minolta SPAD - 502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. *J. Plant Nutr.*, New York, v. 21, n. 4, p.741-755, 1998.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. Determinação de nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor. In: RAIJ, B. *et al.* (Ed.). *Análises químicas para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: IAC/FUNDAG, 2001, p. 270-627.
- CHAPMAN, S.C.; BARRETO, H.J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. *Agron. J.*, Madison, v.89, p.557-62, 1997.
- CFS-RS/SC-COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO. *Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. 3. ed. Passo Fundo, Núcleo Regional Sul, Embrapa, 1995.
- COSTA, C. *et al.* Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. *J. Plant Nutr.*, v.24, n. 8, p.1173-1194, 2001.
- DOURADO-NETO, D.; FANCELLI, A.L. Estratégias para redução do efeito do estresse hídrico na cultura do milho. In: SANDINI, I.E.; FANCELLI, A.L. (Ed.). *Milho: estratégias de manejo para a região sul*. Piracicaba: ESALQ/USP, 2000, p.89-102
- EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.
- HUSSAIN, F. *et al.* Use of chlorophyll meter sufficiency indices for nitrogen management of irrigated rice in Asia. *Agron. J.*, Madison, v.92, p.875-879, 2000.
- JEMISON, J.M.; LYTTLE, D.E. Field evaluation of two nitrogen-testing methods in maize. *J. Prod. Agric.*, New York, v.9, n.1, p.108-113, 1996.
- MA, B.L.; DWYER, L.M. Determination of nitrogen status in maize senescing leaves. *J. Plant Nutr.*, New York, v. 20, n. 1, p.1-8, 1997.
- MAGDOFF, F.R. *et al.* A soil test for nitrogen availability to corn. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, Madison, v.48, p.1301-1304, 1984.
- MALAVOLTA, E. *et al.* *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2. ed. Piracicaba: Potafos (Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato), 1997.
- MINOLTA CAMERA Co. Ltd. *Manual for chlorophyll meter SPAD-502*. Osaka: Minolta Radiometric Instruments Div., 1989.
- PENG, S. *et al.* Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration. *Agron. J.*, Madison, v.85, p.987-990, 1993.
- PETERSON, T.A. *et al.* *Using a chlorophyll meter to improve N management*. Lincoln: University of Nebraska, Cooperative Extension, Institute of Agricultural and Natural Resources, 1993.
- PIEKIELEK, W.P.; FOX, R.H. Use of a chlorophyll meter to predict side dress requirements for maize. *Agron. J.*, Madison, v. 84, p.59 - 65, 1992.
- PIEKIELEK, W.P. *et al.* Use of a chlorophyll meter at the early stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. *Agron. J.*, Madison, v. 87, p.403-408, 1995.

- PIEKIELEK, W.P. et al. The early-season chlorophyll meter test for corn. *Agronomy Facts*, Pennsylvania, n.53, Pennsylvania State University, Penn State Cooperative Extension, 1997.
- RAIJ, B.; CANTARELLA, H. Milho para grãos e silagem. In: INSTITUTO AGRONÔMICO/FUNDAG. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: IAC/Fundag, 1996, p.56-59 (Boletim Técnico, 100).
- ROZAS, H.S.; ECHEVERRÍA, H.E. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento em grano. *Rev. Facultad Agrono.*, Buenos Aires, v.103, n. 1, p.37-44, 1998.
- SCHEPERS, J.S. et al. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter reading. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, v.23, n. 17-20, p.2173-2187, 1992.
- SMEAL, D.; ZHANG, H. Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, v.25, p.1495-1503, 1994.
- SUNDERMAN, H.D. et al. Variability in leaf chlorophyll concentrations among fully-fertilized corn hybrids. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* New York, v.28, p.1793-1803, 1997.
- TURNER, F.T.; JUND, M.F. Chlorophyll meter to predict nitrogen topdress requirement for semidwarf rice. *Agron. J.*, Madison, v.83, p.926-928, 1991.
- VARVEL, G.E. et al. Chlorophyll meter and stalk nitrate techniques as complementary indices for residual nitrogen. *J. Prod. Agric.*, New York, v.10, p.147-151, 1997a.
- VARVEL, G.E. et al. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, Madison, v.61, p.1233-1239, 1997b.
- WASKOM, R.M. et al. Monitoring nitrogen status of corn with a portable chlorophyll meter. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, v.27, n. 3 e 4, p.554-560, 1996.
- WOOD, C.W. et al. Relationship between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status and crop yield: a review. *Proc. Agron. Soc. N. Z.*, Christchurch, v.23, p.1-9, 1993.

Received on February 06, 2003.

Accepted on July 31, 2003.