

Parâmetros de planta para aprimorar o manejo da adubação nitrogenada de cobertura em milho

Plant parameters to refine the management of nitrogen side-dress application in maize

Lisandro Rambo¹ Paulo Regis Ferreira da Silva² Gilber Argenta³ Luís Sangoi⁴

- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA -

RESUMO

O milho é uma das culturas mais exigentes em fertilizantes nitrogenados os quais proporcionam os maiores acréscimos no rendimento de grãos. Para manter a planta bem nutrida, há necessidade de estimar corretamente a quantidade de nitrogênio (N) que deve ser aplicada no solo, com intuito de satisfazer as suas necessidades durante todo o ciclo. No Rio Grande do Sul e Santa Catarina, o teor de matéria orgânica, a expectativa de rendimento de grãos e a contribuição da cultura antecedente como fonte de N são os parâmetros que têm servido como critério para recomendação de adubação nitrogenada no milho. No entanto, considerando a complexidade da dinâmica do N no solo, e todas as modificações que ocorrem durante a ontogenia desta cultura, outros parâmetros podem ser úteis para auxiliar na decisão sobre o manejo da adubação nitrogenada em cobertura. Vários parâmetros de planta têm sido estudados como indicadores do nível de N no tecido. Dentre estes, destacam-se o teor de nitrato no colmo, o teor e o acúmulo de N na folha e/ou planta e o teor relativo de clorofila na folha. A estimativa do teor de clorofila na folha pelo clorofilômetro tem sido bastante estudada nos últimos anos, em função da sua rapidez, precisão e baixo custo. Esta revisão visa abordar parâmetros de planta que podem ser utilizados como indicadores do nível de N na planta para prever a necessidade de adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho, objetivando aumentar a eficiência de uso do nutriente e reduzir o impacto ambiental do N aplicado.

Palavras-chave: *Zea mays*, nitrogênio, eficiência de uso, rendimento de grãos.

ABSTRACT

Maize is one of the most demanding grasses in terms of nitrogen fertilization. There is a need to estimate accurately the amount of N applied to the soil so that this crop can be properly supplied during its whole cycle. The soil organic matter content, grain yield expectation and N contribution from the decay of the preceding crop are the parameters currently used in the States of Rio Grande do Sul and Santa Catarina, Brazil, to define

maize nitrogen rates. Nitrogen has a complex dynamics in the soil. Furthermore, the crop's ontogeny interferes substantially with N demand. Considering such variations, other parameters can help to improve the management of N side-dress fertilization in maize. Several plant parameters have been used to indicate N level in the tissue. Among them, the nitrate content in the stem, the nitrogen content and accumulation in the leaf or plant and the relative chlorophyll content in the leaf deserve special consideration. The estimation of leaf chlorophyll content through a portable chlorophyll meter have been intensively studied in the last years because it is fast, cheap and efficient. This review has the purpose of describing the major plant parameters that can be used as indicators of the plant nitrogen level in order to foresee the need of N side-dress application in maize, aiming to enhance the N use efficiency and to decrease the environmental impact of N application.

Key words: *Zea mays*, nitrogen, efficiency of use, grain yield

INTRODUÇÃO

O milho é uma das culturas mais exigentes em fertilizantes, especialmente os nitrogenados. O suprimento inadequado de nitrogênio é considerado um dos principais fatores limitantes ao rendimento de grãos do milho, pois o N exerce importante função nos processos bioquímicos da planta. Ele é constituinte de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos, fitocromos e da clorofila (CANTARELLA, 1993). Além disso, afeta as taxas de iniciação e expansão foliar, o tamanho final e a intensidade de senescência das folhas (SCHRODER et al., 2000). Estima-se que a necessidade de N para produção de uma tonelada de grãos varie de 20 a 28kg ha⁻¹ (CANTARELLA, 1993).

¹Engenheiro Agrônomo MSc, Doutorando do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia (FA), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Departamento de Plantas de Lavoura, Av. Bento Gonçalves, 7712, 91501-970, Porto Alegre, RS. Bolsista do CNPq. E-mail: lisandro@vortex.ufrgs.br. Autor para correspondência.

²Engenheiro Agrônomo, PhD, Professor Adjunto, Departamento de Plantas de Lavoura, FA, UFRGS. Pesquisador do Conselho Nacional de Desenvolvimento e Pesquisa (CNPq).

³Engenheiro Agrônomo, Doutor, Empresa Syngenta Seeds.

⁴Engenheiro Agrônomo, PhD, Professor, Departamento de Fitotecnia, Universidade de Desenvolvimento do Estado de Santa Catarina (UDESC). Pesquisador do CNPq.

Desta forma, deve-se manter a planta de milho sempre bem nutrida em relação a este nutriente. Para isto, há necessidade de se estimar corretamente a quantidade de N que deve ser aplicada ao solo, com o intuito de satisfazer as necessidades da cultura. Atualmente, os critérios para recomendação de adubação nitrogenada nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina são o teor de matéria orgânica do solo, a expectativa de rendimento de grãos de milho e a contribuição da cultura antecedente como fonte doadora de N (AMADO et al., 2002).

Um dos principais problemas do atual sistema de recomendação da adubação nitrogenada é que a determinação da quantidade de N a ser aplicada no milho é feita antes da semeadura, não ocorrendo o monitoramento deste elemento após a emergência. A variabilidade das condições meteorológicas e de solo, associada aos múltiplos processos que interferem na complexa dinâmica do N no solo (lixiviação, volatilização, imobilização-mobilização, nitrificação, desnitrificação, mineralização) e na sua relação com a planta, podem ocasionar grandes modificações na disponibilidade e na necessidade deste nutriente durante a ontogenia da planta. Assim, o sistema vigente de recomendação pode subestimar ou superestimar a demanda nitrogenada do milho. No primeiro caso, haverá limitação ao potencial produtivo da cultura. No segundo, ocorrerá redução nos lucros do produtor, pelo gasto desnecessário na compra de adubo nitrogenado, e prejuízos ao ambiente, devido à contaminação de águas superficiais e subterrâneas pela lixiviação de nitrato.

Neste contexto, a associação entre o monitoramento do nível de N na planta e da disponibilidade de N mineral do solo é muito importante para que se possa fazer a aplicação de N na época e quantidade adequadas. Esta tarefa é complexa, pois existem vários fatores que interferem na disponibilidade do N liberado pelo solo, bem como na velocidade de absorção e assimilação do nutriente pela planta (BREDEMEIER & MUNDSTOCK, 2000).

Indicadores de solo e de planta têm sido utilizados para monitorar a disponibilidade de nitrogênio e auxiliar na decisão sobre a quantidade e época de aplicação deste nutriente. Um indicador ideal deve reproduzir a relação do nível de N no sistema solo-planta, sendo capaz de detectar ou prever tanto a deficiência quanto o excesso de N. Ele deve ser de rápida execução, de forma a permitir ações de manejo para corrigir deficiências durante a ontogenia da cultura. Além disso, o equipamento para amostragem e análise deve ser de fácil manuseio, de preferência

portátil. Os valores obtidos não devem ser afetados por nenhum outro fator, além do nível de N no sistema solo-planta (SCHRÖDER et al., 2000).

Esta revisão visa descrever parâmetros de planta que podem ser utilizados como indicadores do nível de N na cultura para prever a necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no milho, objetivando aumentar a eficiência do uso e reduzir o impacto ambiental do N aplicado.

DESENVOLVIMENTO

O N mineral do solo e o rendimento de grãos estão associados, em função da absorção de nitrato e de amônio e da conversão destes íons em proteínas e clorofila. Isto sugere que existem várias formas de avaliação do nível de N na cultura do milho (SCHRÖDER et al., 2000). Os parâmetros de planta mais estudados no intuito de indicar o nível de N na planta para prever a necessidade de adubação de cobertura são o teor de nitrato no colmo, o teor e o acúmulo de N na folha e/ou planta e o teor relativo de clorofila na folha.

Teor de nitrato no colmo

A utilização do teor de nitrato na planta como indicador da disponibilidade de N baseia-se no fato de que há correlação positiva entre a disponibilidade de N mineral no solo e o teor de nitrato na planta de milho (SCHRÖDER et al., 2000). Contudo, o teor de nitrato pode não refletir unicamente o nível nutricional da planta, pois ocorre sua diminuição com o desenvolvimento da planta, independentemente do suprimento de N (BINFORD et al., 1990).

Os estudos utilizando teor de nitrato na cultura do milho determinam a concentração deste íon no terço inferior do colmo da planta. Esta metodologia baseia-se na premissa de que o teor de nitrato nesta porção do colmo é representativo do nível de N na planta (IVERN et al. 1985; BINFORD et al., 1990). As primeiras tentativas utilizando este tipo de teste foram feitas no estádio de cinco a seis folhas expandidas. De acordo com IRVEN et al. (1985), a suficiência de N no estádio V6 pode ser indicada por uma faixa de 0,9 a 1,9% de nitrato na massa seca dos cinco centímetros basais do colmo. No entanto, outros estudos, que testaram esta técnica sob várias condições de manejo, diferentes anos e locais, mostraram que a utilização do teor de nitrato na base do colmo nos estádios iniciais não foi um parâmetro confiável para prever a necessidade de N para esta cultura (FOX et al., 1989; BUNDY & ANDRASKI, 1993). Segundo

FOX et al. (1989), isto ocorreu porque o teor de nitrato no colmo é sensível à variação diária da radiação e do teor de umidade do solo, sendo que eles observaram que a diminuição na radiação solar antes da amostragem aumentou o teor de nitrato no colmo, enquanto a redução no teor de umidade do solo antes da amostragem reduziu este teor.

Por outro lado, no final do ciclo da cultura, a determinação do teor de nitrato na região basal do colmo pode indicar se houve excesso de nitrogênio aplicado durante a sua ontogenia. Isto ocorre porque o nitrato tende a se acumular naquela região do colmo quando grandes quantidades de N estão disponíveis no solo (BINFORD et al., 1990; BUNDY & ANDRASKI, 1993). No entanto, esta informação é útil somente para o manejo da adubação nitrogenada na próxima safra, o que restringe o seu uso.

Teor de nitrogênio na folha e na planta

O teor de N na folha é outro parâmetro que pode ser utilizado como indicador do nível desse nutriente na planta. A diagnose foliar é um método de avaliação do estado nutricional das culturas em que se analisam determinadas folhas em períodos definidos do ciclo. Parte-se do princípio de que as folhas são os órgãos da planta que melhor refletem o seu estado nutricional, respondendo mais rapidamente às variações no suprimento de nutrientes do solo e dos fertilizantes. Assim, a diagnose foliar consiste na análise do solo, usando a planta como solução extratora (MALAVOLTA et al., 1997).

A utilização deste parâmetro está embasada na relação existente entre rendimento de grãos e teor de N na folha (BLACKMER & SCHEPERS, 1994; WASKOM et al., 1996). Geralmente, o teor de N na folha é capaz de detectar deficiências, mas também demonstra o consumo de luxo, em que o teor de N continua aumentando e o rendimento de grãos fica estável com doses altas deste nutriente. Assim, o consumo de luxo diminui a sensibilidade deste parâmetro próximo à obtenção do rendimento máximo, dificultando a obtenção de níveis críticos (BINFORD et al., 1992; BLACKMER & SCHEPERS, 1994). CERRATO & BLACKMER (1991) estimaram que o teor de N crítico na folha índice do milho é de 2,1%. Contudo, também observaram que a variação entre e dentro dos locais avaliados foi muito grande para usar este parâmetro como ferramenta de diagnóstico prático.

A estimativa da quantidade de N requerida pelas culturas para atingir o rendimento projetado tem despertado o interesse de muitos pesquisadores (AMADO, 1997). Para se chegar a esta estimativa é

necessária a determinação do nível crítico de N na massa seca do milho, que é obtido pela associação do rendimento de grãos máximo obtido, em relação a um determinado teor de N na planta. Nesta linha, STANFORD (1973) analisou os dados disponíveis de vários experimentos conduzidos nos Estados Unidos sobre a relação da massa seca total e a quantidade de N absorvida pelo milho, tendo observado que o rendimento máximo estava associado a 1,2 % de N na massa seca total. Mais recentemente, AMADO & MIELNICZUK (2000) consideraram 0,9 % como teor crítico de N na massa seca do milho necessário para atingir o rendimento máximo de grãos no Rio Grande do Sul. Esses autores utilizaram este valor para calcular a quantidade de N requerida para o milho para atingir um determinado rendimento, estimando a adubação nitrogenada necessária para esta cultura.

Apesar do teor de N na folha e na planta serem ferramentas úteis para manejo da adubação nitrogenada em milho, estes parâmetros envolvem análise laboratorial e apresentam a desvantagem de não possibilitar a correção da sua deficiência no mesmo ano agrícola, devido ao tempo despendido entre a coleta e o resultado, servindo apenas como parâmetro indicativo para os próximos cultivos (ARGENTA et al., 2002).

Nitrogênio acumulado na planta

Outro parâmetro que pode ser usado como indicador da necessidade de N, é a quantidade deste nutriente acumulada pela comunidade de plantas num determinado estágio de desenvolvimento (BREDEMEIER, 1999). A maior vantagem deste parâmetro em relação à determinação do teor de N na planta está no fato de incluir a produção de massa seca no cálculo do consumo de N (BREDEMEIER, 1999). Segundo PLÉNET & LEMAIRE (1999), a relação entre teor crítico de N e massa seca acumulada fornece um indicativo do nível nutricional da cultura em cada estágio de desenvolvimento para manejo da adubação nitrogenada. Além disso, a integração desta relação em modelos de crescimento da cultura pode permitir a predição da demanda de N pelo milho em função das condições ambientais. No entanto, a quantidade de N acumulada pela planta, assim como o teor de N na folha e na planta, também requer tempo e trabalho para amostragem, processamento e análise laboratorial.

Teor relativo de clorofila na folha

Dentre os parâmetros de planta citados, o teor relativo de clorofila na folha é o que tem sido mais estudado nos últimos anos. Este método

fundamenta-se na correlação positiva existente entre o teor de clorofila e o teor de N na planta (PIEKIELEK & FOX, 1992; BLACKMER & SCHEPERS, 1994; WASKOM et al., 1996; ARGENTA et al., 2001) que, por sua vez, está associado à atividade fotossintética (SINCLAIR & HORIE, 1989; MA et al., 1995). Esta relação se deve ao fato de que 50 a 70% do N total das folhas ser integrante de enzimas que estão associadas ao cloroplasto (CHAPMAN & BARRETO, 1997). Além disso, o teor relativo de clorofila na folha não está associado com o consumo de luxo de N, sob forma de nitrato (BLACKMER & SCHEPERS, 1994, 1995).

Os métodos laboratoriais de determinação de clorofila na folha são destrutivos, muito trabalhosos e demorados. O desenvolvimento de um medidor portátil, como o Minolta SPAD-502[®], denominado clorofilômetro, permitiu a obtenção de valores indiretos do teor de clorofila presente na folha de modo não destrutivo, rápido e simples. Esse equipamento possui diodos que emitem luz a 650 nm (vermelho) e a 940 (infravermelho). A luz em 650 nm situa-se próxima dos dois comprimentos primários de onda associados à atividade da clorofila (645 e 663 nm). O comprimento de onda de 940 nm serve como referência interna para compensar as diferenças na espessura ou no conteúdo de água da folha ou devidas a outros fatores (WASKOM et al., 1996). A luz que passa através da amostra da folha atinge um receptor (fotodiodo de silicone) que converte a luz transmitida em sinais elétricos analógicos. Esses sinais são convertidos em sinais digitais por meio do conversor A/D (MINOLTA, 1989) e são usados por um microprocessador para calcular os valores SPAD ("Soil Plant Analysis Development"), que são mostrados num visor. Os valores obtidos são proporcionais ao teor de clorofila presente na folha, conforme estudos realizados na cultura do milho (DWYER et al., 1995; ARGENTA et al., 2002) e em outras culturas (YADAVA, 1986; MARQUARDT & TIPTON, 1987; TENGA et al., 1989; DWYER et al., 1995).

Por apresentar baixa sensibilidade ao consumo de luxo de N, a medida efetuada pelo clorofilômetro está sendo considerada melhor indicadora do nível deste nutriente do que seu próprio teor na folha (BLACKMER & SCHEPERS, 1995). Além desta vantagem, existem outros benefícios da utilização deste aparelho, entre os quais se destacam: leituras instantâneas, não destrutivas, que não envolvem procedimentos laboratoriais e utilização de reagentes químicos, proporcionando uma avaliação rápida e de fácil interpretação (BLACKMER &

SCHEPER, 1994); custo mínimo de manutenção (PIEKIELEK & FOX, 1992) permite fazer quantas amostras for necessário, sem custos adicionais e sem destruição da folha (MALAVOLTA, 1997).

Devido a estas vantagens, e por estar correlacionado com o rendimento de grãos, a determinação do teor relativo de clorofila na folha pelo clorofilômetro tem sido usada para prever a necessidade de adubação nitrogenada em cobertura em várias culturas, especialmente trigo (FOLLET et al., 1992; REEVES et al., 1993; FOX et al., 1994; BREDEMEIER, 1999; SINGH et al., 2002), arroz (TURNER & JUND, 1991; PENG et al., 1993; BALASUBRAMANIAN et al., 2000; HUSSAIN et al., 2000; STALIN et al., 2000; SINGH et al., 2002) e milho (PIEKIELEK & FOX, 1992; SMEAL & ZANG 1994; BLACKMER & SCHEPERS, 1994; 1995; WASKOM et al., 1996; VARVEL et al., 1997; FOX et al., 2001; COSTA et al., 2001; ZEBARTH et al., 2002; ARGENTA et al., 2003). No entanto, na literatura, ainda não existem trabalhos que tenham utilizado o teor relativo de clorofila na folha medido pelo clorofilômetro para prever a quantidade de N a ser aplicada, quando detectada a deficiência deste nutriente pelo equipamento.

Além das vantagens já mencionadas, ARGENTA (2001) cita outras perspectivas de uso do clorofilômetro reportadas na literatura, tais como: integração de medidas de solo (teor de matéria orgânica, N disponível) com as leituras SPAD para refinar as recomendações de adubação nitrogenada; utilização nos modelos de simulação de crescimento ou no monitoramento de mudanças no grau de esverdeamento da folha; verificação do nível de N em comunidades de plantas através de sensoriamento remoto; determinação do nível de N em culturas testes em diferentes estádios de desenvolvimento, para melhor entendimento da dinâmica deste nutriente no sistema solo-planta; avaliação de linhas segregantes para eficiência no uso de N; escolha de linhas eficientes no uso de N para identificação de genes responsáveis pela alta eficiência no uso deste nutriente e na seleção de linhas superiores adaptadas a situações de estresse.

A utilização do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada do milho vem sendo estudada sob duas abordagens: uso de valores críticos do teor relativo de clorofila e uso de um índice de suficiência do N. A utilização de valores críticos pressupõe que, para cada estádio de desenvolvimento, haja um valor mínimo do teor relativo de clorofila (nível crítico) que a planta deve apresentar, em função da leitura com o clorofilômetro, que corresponde ao

nível mínimo de clorofila necessário naquela fase da ontogenia para maximizar o rendimento de grãos. Leituras abaixo deste nível indicam necessidade de suplementar N através de adubação, enquanto acima do valor crítico não se recomenda a fertilização.

Alguns estudos têm determinado valores críticos para a cultura do milho durante a sua ontogenia. Neste sentido, ARGENTA (2001) obteve os valores de 45,4 e 52,1 SPAD para os estádios de três a quatro folhas e seis a sete folhas, respectivamente. Já PIEIELEK & FOX (1992) e JEMISON & LYTLE (1996) obtiveram os níveis de 43,4 e 42,0 para o estádio de 6 a 7 folhas. Segundo ARGENTA (2001), diferenças nos valores SPAD obtidos por diferentes autores na mesma etapa fenológica da cultura devem-se ao tipo de folha amostrada e à aplicação prévia ou não de N antes da avaliação.

WASKOM et al. (1996) e ROZAS & ECHEVERRIA (1998) consideraram o estádio de seis a sete folhas do milho inadequado para separar áreas com plantas deficientes daquelas bem supridas em N, utilizando o clorofilômetro. Provavelmente, isto se deve ao fato do N não ser limitante ao milho até este estádio, principalmente quando se tem uma leguminosa antecedendo a cultura (WASKOM et al., 1996; ARGENTA, 2001). Além disto, na fase inicial de desenvolvimento da planta grande parte do nitrogênio está associado ao nitrato e não à molécula da clorofila (DWYER et al., 1995).

Mesmo havendo menor eficiência do clorofilômetro no início do ciclo, recomenda-se que o monitoramento do nível de N na planta seja iniciado já nas primeiras etapas de desenvolvimento do milho, especialmente a partir do estádio de seis folhas. Nesta fase, acentua-se a absorção do N (PIEKIELEK et al., 1995; BLACKMER & SCHEPERS, 1994) e também ocorre a diferenciação do pendão (SILVA, 2001). O monitoramento precoce é importante para que eventuais deficiências de N identificadas na fase inicial possam ser corrigidas a tempo de não comprometer a performance da cultura (VARVEL et al., 1997; BINDER et al., 2000). Desta forma, a execução de novos trabalhos para solucionar a dificuldade de se realizar o monitoramento do nível de N na planta nos estádios iniciais de desenvolvimento da planta é importante. Isto talvez possa ser corrigido com a utilização integrada do clorofilômetro com algum parâmetro de solo, como por exemplo, o teor de nitrato no solo.

No estádio de 10 a 11 folhas, os valores críticos disponíveis na literatura para a cultura do milho variam de 48,6 (SUNDERMAN et al., 1997) a

55,3 SPAD (ARGENTA, 2001). Já na fase de florescimento, SUNDERMAN et al. (1997) obtiveram o valor de 57,9 no início do pendramento, e ARGENTA (2001) obteve a leitura de 58,0 no estádio de espigamento. Este último autor elaborou uma curva do nível adequado de N para o milho, a partir de níveis críticos determinados em quatro estádios de desenvolvimento (três a quatro, seis a sete, dez a onze folhas e de espigamento), em função do valor do teor relativo de clorofila lido pelo clorofilômetro (Figura 1). Ele observou que os valores da leitura no clorofilômetro aumentaram de forma quadrática à medida que a planta avançou no seu desenvolvimento. Através da equação estimada, pode-se fazer a extrapolação dos valores de leitura do aparelho para os estádios intermediários aos que foram pré-determinados. O mesmo tipo de resposta quadrática nas leituras do clorofilômetro com o transcorrer da ontogenia do milho também foi observada por SUNDERMAN et al. (1997).

A utilização da metodologia de determinação de níveis críticos do teor relativo de clorofila pode ter alguns problemas, pois outros fatores além da disponibilidade de N no solo podem afetar a intensidade da coloração verde da folha e a respectiva leitura pelo clorofilômetro. Dentre estes, são citados: tipo de híbrido (SUNDERMAN et al., 1997, VARVEL et al., 1997); irradiação (HOEL & SOLHAUG, 1998); local de cultivo (PIEKIELEK & FOX, 1992; SMEAL & ZHANG, 1994; WASKOM et al., 1996); ano de cultivo (SUNDERMAN et al., 1997); níveis de outros nutrientes (AL-ABBAS et al., 1974); ataque de insetos (SMEAL & ZHANG, 1994); estresse hídrico (SCHEPERS et al., 1992); temperatura do ar (DWYER et al., 1995); estádio de desenvolvimento da cultura (SCHEPERS et al., 1992; SMEAL & ZHANG, 1994); arranjo de plantas (HASHEMI-DEZFOULI & HERBERT, 1992, BLACKMER et al., 1993); tipo, espessura e parte da folha onde é realizada a leitura (CHAPMAN & BARRETO, 1997) e aplicação de herbicidas (MAYASICH ET AL., 1990; SANTOS et al., 1999). Além disso, os níveis críticos variam em função do teto de rendimento de grãos dos experimentos, sendo recomendada a realização de experimentos em diferentes ambientes e em distintas situações de manejo (BREDEMEIER, 1999).

Objetivando minimizar a influência dos fatores citados, tem sido recomendado um método de normalização das leituras do clorofilômetro para cada área de cultivo, híbrido, estádio de desenvolvimento, condição edafoclimática e prática de manejo (SCHEPERS et al., 1992; BLACKMER & SCHEPERS, 1994; WASKOM et al., 1996;

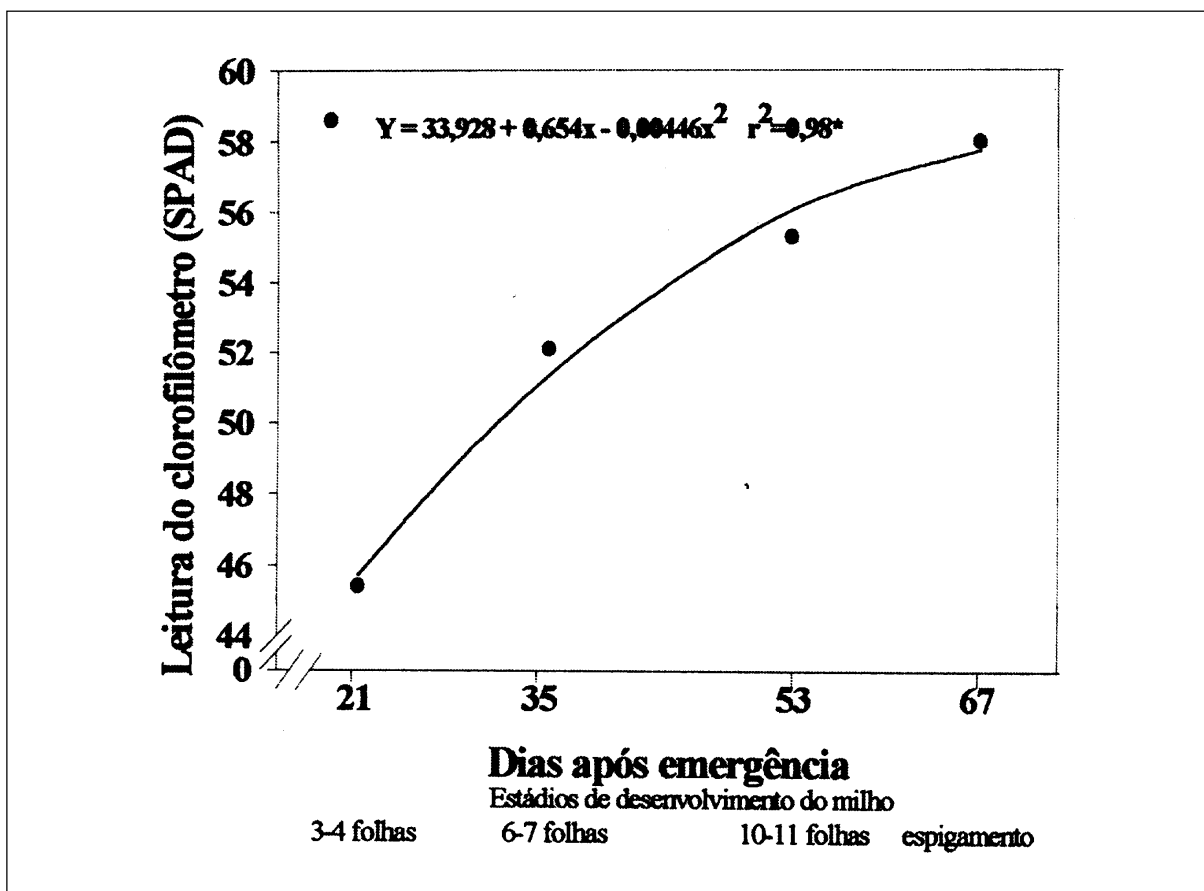


Figura 1 – Leitura do clorofilômetro em função de quatro estádios de desenvolvimento do milho. Eldorado do Sul, RS, 1998/99. * significativo a 5% de probabilidade (ARGENTA, 2001).

HUSSAIN, et al., 2000; COSTA et al., 2001). Uma forma de normalizar as leituras é a determinação de um índice de suficiência, que é obtido pela média das leituras do clorofilômetro nas amostras dividida pela média das leituras do aparelho na área de referência. Esta área de referência é uma faixa da lavoura, com a mesma cultivar, adubada com uma quantidade de N bastante superior ao restante da lavoura, de forma que, teoricamente, não haja deficiência de N.

O valor que tem sido mais utilizado como índice de suficiência é igual a 0,95. Assim, quando o percentual relativo de clorofila da amostra situar-se abaixo de 95% da leitura na faixa de referência, recomenda-se a aplicação da adubação nitrogenada (BLACKMER & SCHEPERS, 1994; WASKOM et al., 1996; VARVEL et al., 1997). No entanto, têm-se observado algumas divergências quanto ao índice de suficiência a ser utilizado como indicador da necessidade de aplicação nitrogenada em cobertura na literatura. De acordo com ROZAS &

ECHEVERRÍA (1998), um índice de suficiência entre 0,97 e 0,98 deve ser mantido a partir do estágio de seis folhas para se alcançar 95% do rendimento máximo. Em contrapartida, JEMISON & LYTLE (1996) postulam que índices de suficiência abaixo de 0,93 indicam situações de deficiência de N, enquanto VARVEL et al. (1997) sustentam que, se o índice de suficiência for menor que 0,90 no estágio de oito folhas, a deficiência de N não poderá ser corrigida com adubação em cobertura para maximizar o rendimento de grãos. Já PIEKIELEK et al. (1995) recomendaram o índice suficiência crítico de 0,93 para o estágio de grão leitoso do milho.

A utilização do índice de suficiência no manejo da adubação nitrogenada tem sido associada ao monitoramento do nível de N na planta, estratégia denominada de “adubação quando necessário”, efetivada especialmente sob condições de fertirrigação (BLACKMER & SCHEPERS, 1994). Neste contexto, BLACKMER & SCHEPERS (1994) e VARVEL et

al. (1997) recomendam que, quando for indicada a necessidade de adubação nitrogenada pelo índice de suficiência menor ou igual a 0,95, devem ser adicionados 30kg ha⁻¹ de N através de fertirrigação.

Por outro lado, os fatores que afetam a síntese de clorofila podem ser minimizados sob condições de manejo que evitem a ocorrência de estresses. Nestes casos, a utilização da faixa de referência (índice de suficiência) pode ser substituída pelo uso de níveis críticos (SUNDERMAN et al., 1997; ARGENTA, 2001). Outra questão importante é que, mesmo com a utilização de faixas de referência, há necessidade de se definir qual deve ser o índice de suficiência mais adequado para cada estágio de desenvolvimento do milho. Além disso, ainda não existem critérios estabelecidos na literatura para definição da quantidade e época de aplicação da dose de N a ser aplicada na faixa de referência. Assim, se estas faixas não forem manejadas corretamente, a necessidade de aplicação de N em cobertura pode ser sub ou superestimada, causando redução no rendimento de grãos ou contaminação ambiental por excesso de N aplicado, respectivamente (SUNDERMAN et al., 1997).

CONCLUSÃO

Os parâmetros teor e/ou acúmulo de N na folha e/ou na planta, apesar de serem ferramentas úteis para o manejo da adubação nitrogenada, requerem determinações laboratoriais, que demandam tempo entre a coleta, a análise e o resultado, o que inviabiliza o uso deste método durante a ontogenia da cultura, servindo apenas de subsídio para a próxima safra. Por outro lado, a determinação do teor de nitrato no colmo já é possível de ser feita instantaneamente por equipamentos portáteis. No entanto, este parâmetro não tem se mostrado um indicador confiável do nível de N na planta, a não ser, no final do ciclo como parâmetro para determinação de quando houve excesso de N aplicado. Esta informação é útil também somente para cultivos posteriores.

Desta forma, dentre os parâmetros de planta abordados nesta revisão o teor relativo de clorofila na folha apresenta a perspectiva de maior aplicabilidade prática, em função da sua rapidez, precisão e baixo custo, mesmo tendo a limitação de não predizer a quantidade de N a ser aplicada. Os estudos que utilizam este parâmetro como indicador da adubação nitrogenada em milho durante a estação de cultivo, ainda são incipientes no Brasil. No entanto, os trabalhos até agora conduzidos nesse país e em nível mundial têm demonstrado que este método é eficiente

para separar plantas com deficiência daquelas com nível adequado de N. Além disso, o método permite fazer um diagnóstico rápido da lavoura e a tomada de decisão imediata sobre a necessidade ou não da aplicação de N em cobertura.

Por outro lado, ainda não existem parâmetros que indiquem a quantidade de N a ser aplicada quando o teor relativo de clorofila na folha medido pelo clorofilômetro indicar deficiência desse nutriente durante a ontogenia da cultura. Nesse sentido, alternativas como a associação entre esta ferramenta e parâmetros de solo, como por exemplo, o teor de nitrato, devem ser melhor exploradas para definir a quantidade de N a ser aplicada quando constatada deficiência deste nutriente.

Por fim, o aprimoramento da utilização dos parâmetros de planta já conhecidos, bem como o desenvolvimento de novos parâmetros que auxiliem no manejo da adubação nitrogenada, são fundamentais, pois contribuirão para aumentar a eficiência de uso do N, reduzir o custo de produção da lavoura, otimizar a margem de lucro do produtor e minimizar a contaminação ambiental do solo e da água, principalmente por nitrato. Além disto, estes indicadores possibilitarão que se faça o manejo da adubação nitrogenada mais específico para cada situação, seguindo os princípios da chamada agricultura de precisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-ABBAS, A.H. et al. Spectra of normal and nutrient-deficient maize leaves. *Agronomy Journal*, Madison, v.66, n.1, p.16-20, 1974.
- AMADO, T.J.C. **Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo do solo**. 1997. 201f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) – Programa de Pós-graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.24, n.3, p.553-560, 2000.
- 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 de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.26, n.2, p.241-248, 2002.
- ARGENTA, G. **Monitoramento do nível de nitrogênio na planta como indicador da adubação nitrogenada em milho**. 2001. 112 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

- ARGENTA, G. et al. Parâmetros de planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.4, p.519-527, 2002.
- ARGENTA, G. et al. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.1, p.109-119, 2003.
- BALASUBRAMANIAN, V. et al. Adaptation of chlorophyll meter (SPAD) technology for real-time N management in rice: a review. **International Rice Research Institute**, Manila, v.25, n.1, p.1-5, 2000.
- BINDER, D.L.; SANDER, D.H.; WALTERS, D.T. Maize response to time of nitrogen application as affected by level of nitrogen deficiency. **Agronomy Journal**, v.92, n.6, p.1228-1236, 2000.
- BINFORD, G.D.; BLACKMER, A.M.; EL-HOUT, N.M. Tissue test for excess nitrogen during corn production. **Agronomy Journal**, Madison, v.82, n.1, p.124-129, 1990.
- BINFORD, G.D.; BLACKMER, A.M. CERRATO, M.E. Nitrogen concentration of young corn plants as an indicator of nitrogen availability. **Agronomy Journal**, v.84, n.2, p.219-223, 1992.
- BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S.; VIGIL, M.F. Chlorophyll meter readings in corn as affected by plant spacing. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.24, n.17/18, p.2507-2516, 1993.
- BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.25, n.9/10, p.1791-1800, 1994.
- BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S. Use of chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.8, n.1, p.56-60, 1995.
- BREDEMEIER, C. **Predição da necessidade de nitrogênio em cobertura em trigo e aveia**. 1999. 101f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C.M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.2, p.365-372, 2000.
- BUNDY, L.G.; ANDRASKI, T.W. Soil and plant nitrogen availability tests for corn following alfafa. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.6, n.2, p.200-206, 1993.
- CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BÜL, L.T.; CANTARELLA, H. (Eds). **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba : POTAFOS, 1993. p.147-198.
- CERRATO, M.E.; BLACKMER, A.M. Relationships between leaf nitrogen concentrations and the nitrogen status of corn. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.4, n.3, p.525-531, 1991.
- CHAPMAN, S.C.; BARRETO, H.J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, Madison, v.89, n.4, p.557-562, 1997.
- COSTA, C. et al. Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.24, n.8, p.1173-1194, 2001.
- DWYER, L.M. et al. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.75, n.1, p.179-182, 1995.
- FOLLET, R.H.; FOLLET, R.F.; HALVORSON, A.D. Use of a chlorophyll meter to evaluate the nitrogen status of dryland winter wheat. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.23, n.7/8, p.687-697, 1992.
- FOX, R.H. et al. Soil and tissue tests compared for predicting soil nitrogen availability to corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, n.6, p.971-974, 1989.
- FOX, R.H.; PIEKIELEK, W.P.; MACNEAL, K.M. Using a chlorophyll meter to predict nitrogen fertilizer needs of winter wheat. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.25, n.3/4, p.171-181, 1994.
- FOX, R.H.; PIEKIELEC, W.P.; MACNEAL, K.E. Comparison of late-season diagnostic tests for predicting nitrogen status of corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.93, n.3, p.590-597, 2001.
- HASHEMI-DEZFOULI, A.; HERBERT, S.J. Intensifying plant density response of corn with artificial shade. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, n.4, p.574-551, 1992.
- HOEL, O.B.; SOLHAUG, K.A. Effect of irradiance on chlorophyll estimation with the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. **Annal of Botany**, v.82, p.389-392, 1998.
- HUSSAIN, F. et al. Use of chlorophyll meter sufficiency indices for nitrogen management of irrigated rice in Asia. **Agronomy Journal**, Madison, v.92, n.5, p.875-879, 2000.
- IVERN, K.V.; FOX, R.H.; PIEKIELEK, W.P. The relationships of nitrate concentration in young corn stalks to soil nitrogen availability and grain yields. **Agronomy Journal**, Madison, v.77, n.6, p.927-932, 1985.
- JEMISON, J.M.; LYTLE, D.E. Field evaluation of two nitrogen testing methods in maize. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.9, n.1, p.106-113, 1996.
- MA, B.L.; MORRISON, M.J.; VOLDENG, H.D. Leaf greenness and photosynthetic rates in soybean. **Crop Science**, Madison, v.35, n.5, p.1411-1414, 1995.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319p.
- MINOLTA CAMERA Co., Ltda. **Manual for chlorophyll meter SPAD 502**. Osaka : Minolta, Radiometric Instruments Divisions, 1989. 22p.
- MARQUARDT, R.D.; TIPTON, J.L. Relationship between extractable chlorophyll and an *in situ* method to estimate leaf greenness. **HortScience**, Alexandria, v.22, n.6, p.1327, 1987.
- MAYASICH, J.M.; MAYASICH, S.A.; REBEILZ, C.A. Response of corn (*Zea mays*), soybean (*Glycine max*), and several weed species to dark-applied photodynamic herbicide modulators. **Weed Science**, Champaign, v.38, n.1, p.10-15, 1990.
- PENG, S. et al. Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, n.5, p.987-990, set-out, 1993.

- PIEKIELEK, W.P.; FOX, R.H. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, n.1, p.59-65, 1992.
- PIEKIELEK, W.P. et al. Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. **Agronomy Journal**, Madison, v.87, n.3, p.403-408, 1995.
- PLÉNET, D.; LEMAIRE, G. Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Determination of critical N concentration. **Plant and Soil**, Netherlands, v.216, n.1/2, p.65-82, 1999.
- REEVES, D.W. et al. Determination of wheat nitrogen status with a hand-held chlorophyll meter: influence of management practices. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.16, n.4, p.781-796, 1993.
- ROZAS, H.S.; ECHEVERRIA, H.E. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo de maíz y el rendimiento en grano. **Revista Facultad de Agronomía**, v.103, n.1, p.37-34, 1998.
- SANTOS, D.M.M. dos; PITELLI, R.A.; BANZATTO, D.A. Efeito de herbicidas nos teores de clorofilas de *Spirodela punctata*. **Planta Daninha**, v.17, n.2, p.175-182, 1999.
- SCHEPERS, J.S. et al. Comparisons of corn leaf nitrogen and chlorophyll meter readings. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.23, n.17/20, p.2173-2187, 1992.
- SCHRÖDER, J.J. et al. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of art. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.66, n.1, p.151-164, 2000.
- SMEAL, D.; ZHANG, H. Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.25, n.9/10, p.1495-1503, 1994.
- SILVA, P.R.F. da. Crescimento e desenvolvimento. In: **Indicações técnicas para cultura de milho no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: FEPAGRO; EMBRAPA TRIGO, EMATER/RS; FECOAGRO/RS, 2001. 135p. (Boletim Técnico, 7).
- SINCLAIR, T.R.; HORIE, T. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. **Crop Science**, Madison, v.29, n.1, p.90-98, 1989.
- SINGH, B. et al. Chlorophyll meter and leaf color chart based nitrogen management for rice and wheat in northwestern India. **Agronomy Journal**, Madison, v.94, n.4, p.821-829, 2002.
- STALIN, P. et al. Comparing management techniques to optimize fertilizer N application in rice in the Cauvery Delta of Tamil Nadu, India. **International Rice Research Institute**, Makati, v.25, n.2, p.25-26, 2000.
- STANFORD, G. Rationale for optimum nitrogen fertilization in corn production. **Journal Environmental Quality**, Madison, v.2, n.2, p.159-166, 1973.
- SUNDERMAN, H.D.; PONTUS, J.S. LAWLESS, J.R. Variability in leaf chlorophyll concentration among full-fertilized corn hybrids. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.28, n.19, p.1793-1803, 1997.
- TENGA, A.Z.; MARIE, B.A.; ORMROD, D.P. Leaf greenness meter to assess ozone injury to tomato leaves. **HortScience**, Alexandria, v.24, n.4, p.524, 1989.
- TURNER, F.T.; JUND, M.F. Chlorophyll meter to predict nitrogen topdress requirement for semidwarf rice. **Agronomy Journal**, Madison, v.83, n.5, p.926-928, 1991.
- VARVEL, G.E.; SCHEPERS, J.S.; FRANCIS, D.D. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meter. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, n.4, p.1233-1239, 1997.
- WASKOM, R.M. et al. Monitoring nitrogen status of corn with a portable chlorophyll meter. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.27, n.3, p.545-560, 1996.
- YADAVA, U.L. A rapid and nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves. **HortScience**, Alexandria, v.21, n.6, p.1449-1450, 1986.
- ZEBARTH, B.J. et al. Evaluation of leaf chlorophyll index for making fertilizer nitrogen recommendations for silage corn in a high fertility environment. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.33, n.5/6, p.665-684, 2002.