



Utilização do Medidor do Teor de Clorofila para Recomendação da Adubação Nitrogenada de Cobertura do Feijoeiro Irrigado

Morel Pereira Barbosa Filho¹
Tarcísio Cobucci²
Nand Kumar Fageria³
Patrícia Neves Mendes⁴

Introdução

Dadas a complexidade e as interações entre os processos de transformação do nitrogênio (N) no solo e as variações de condições climáticas, ainda não foi possível desenvolver um método laboratorial que permita avaliar satisfatoriamente a capacidade do solo em fornecer N às plantas, o que dificulta prever a necessidade de adubação nitrogenada para uma dada cultura. Desse modo, as recomendações de adubação nitrogenada são, geralmente, baseadas em curvas de resposta da planta ao Nitrogênio, obtidas em ensaios de campo realizados numa determinada região, em que os dados de produtividade de grãos, absorção de N ou acúmulo de matéria seca pela planta são ajustados a equações matemáticas, que expressam a resposta da planta ao nutriente.

No feijoeiro, os nutrientes são absorvidos durante todo seu ciclo, todavia a maior demanda para a produção de grãos ocorre até a fase que antecede a floração (BARBOSA FILHO; SILVA, 2000), dependendo do teor de matéria

orgânica do solo, do sistema de plantio e da qualidade e quantidade dos resíduos vegetais presentes na superfície do solo. O aparecimento de deficiência de N no feijoeiro, como em qualquer outra cultura, é muito comum em quase todos os solos, caracterizando-se por um amarelecimento generalizado das folhas, que se inicia pelas mais velhas. Como medida preventiva do aparecimento da deficiência de N, a recomendação de adubação para o feijoeiro mais rotineiramente utilizada tem sido a aplicação de parte do nitrogênio no sulco, junto ao fósforo e potássio por ocasião da semeadura, e parte em cobertura (BARBOSA FILHO; SILVA, 1994, 2000; BARBOSA FILHO et al., 2004, 2005, 2007). Nesses trabalhos, as doses e épocas de aplicação do N em cobertura foram pré-definidas, sem considerar as necessidades e o momento de maior demanda do nutriente pela cultura. A consequência disso pode ser a sub ou superestimativa da dose de N utilizada, o que acarreta, por um lado, queda da produtividade de grãos e, por outro, risco de poluição ambiental e diminuição de lucro do agricultor pelo uso desnecessário de fertilizantes (ARGENTA et al., 2003).

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Arroz e Feijão, Rod. GO 462, Km 12 75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO. morel@cnpaf.embrapa.br

² Engenheiro Agrônomo, Doutor em Fitotecnia, Embrapa Arroz e Feijão cobucci@cnpaf.embrapa.br

³ Engenheiro Agrônomo, Ph.D. em Fertilidade de Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Arroz e Feijão fageria@cnpaf.embrapa.br

⁴ Estatístico, Doutoranda do curso de estatística da Universidade Federal de Lavras.

No Brasil, a eficiência de uso dos fertilizantes nitrogenados na produção das culturas ainda permanece muito baixa e uma das explicações para esse fato está relacionada com a falta de sincronismo entre a época de aplicação N e a época de maior demanda da planta. Para melhorar este sincronismo, alguns autores têm sugerido o monitoramento do teor de N da folha e de clorofila, por meio do uso de clorofilômetro portátil, que se correlacionam positivamente entre si e com a produtividade de grãos, (PENG et al., 1993; FURLANI JÚNIOR et al., 1996; HUSSAIN et al., 2000; STONE et al., 2002; ARGENTA et al., 2003; CARVALHO et al., 2003). O princípio de funcionamento do aparelho, modelo Minolta SPAD-502, utilizado nos estudos é simples e baseia-se na quantidade de luz de comprimentos de onda que varia de 650 nm a 940 nm e atravessa a folha (transmitância), medindo indiretamente a concentração relativa de clorofila, expressa como Índice Relativo de Clorofila (IRC) (GUIMARÃES et al., 1998; NUNES et al., 2003).

Segundo Hussain et al. (2000), a predição da necessidade de aplicação de N em cobertura para arroz irrigado pode ser determinada utilizando-se o Índice de Suficiência de Nitrogênio (ISN), que é calculado a partir das leituras do clorofilômetro em relação à parcela de referência, bem fertilizada, e ainda sugerem que a dose de N dessa parcela deve representar, no mínimo, o dobro da dose recomendada de modo a garantir o não aparecimento de deficiência de N. De acordo com os autores, a aplicação de N em cobertura deve ser efetuada todas as vezes que o ISN for inferior a 90% do tratamento de referência.

O objetivo deste estudo foi encontrar uma alternativa ao método convencional de adubação de cobertura que indique a necessidade de suplementação de N na época de maior demanda da cultura do feijoeiro irrigado, mediante o uso do clorofilômetro.

Experimento 1

Material e Métodos

Os experimentos foram realizados de julho a setembro de 2004, na Fazenda Guaíba, localizada no município de Unaí, MG. O solo do local é caracterizado como um Latossolo vermelho distroférico. Utilizou-se o sistema plantio direto em área coberta com palhada de milho e a cultivar de feijão Pérola, semeada no espaçamento entre linhas de 0,45 m e aproximadamente 12 sementes por metro de sulco. As parcelas mediam 10 m x 8 m, sendo considerada como área útil, 27 m². Antes da semeadura

foi tomada uma amostra de solo, que foi analisada, e os resultados revelaram: pH (H₂O), 5,8; P (Mehlich 1), 3,0 mg dm⁻³; K trocável (Mehlich 1), 61 mg dm⁻³; Ca + Mg trocáveis (em KCl 0,1 N), 27,9 mmol cm⁻³; Al⁺³, 1,0 mmol cm⁻³; CTC à pH 7,0, 78,9 mmol cm⁻³; sendo o H + Al extraídos em acetato de cálcio tamponado a pH 7,0, V, 35,4% e matéria orgânica, 2,2%, determinada pelo método de Walkley e Black.

A adubação básica de fósforo e potássio foi a usual nas propriedades locais para a cultura do feijoeiro e consistiu de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 70 kg ha⁻¹ de K₂O nas formas de superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com quatro manejos, e cinco repetições.

Avaliaram-se os seguintes manejos do N: M1: Aplicação de 240 kg ha⁻¹ de N, sendo 80 kg na semeadura, 80 kg aos 15 dias após emergência (dae) e 80 kg aos 30 dae, sendo esse denominado de tratamento de referência (garantia de não ocorrência de deficiência de N), M2: Aplicação de N baseada na recomendação local recomendada por Barbosa Filho et al. (2007) para a cultura do feijoeiro irrigado, ou seja, 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 45 kg aos 15 dae + 45 kg aos 30 dae; M3: Aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura e aplicação em cobertura baseada no uso do clorofilômetro Minolta SPAD-502, usando o índice de suficiência de N < 90% proposto por Hussain et al. (2000). Baseado nesse princípio, foram aplicados no M3 mais 30 kg ha⁻¹ de N aos 28 dae, perfazendo o total de 60 kg ha⁻¹ de N; e M4: testemunha sem N.

As leituras no clorofilômetro iniciaram-se aos 28 dae. A partir dessas datas, as leituras eram tomadas semanalmente em três pontos da parcela, sendo que em cada ponto as leituras foram tomadas de seis plantas, sendo feitas cinco leituras/penúltima folha trifoliolada completamente desenvolvida, em todo limbo da folha, exceto nervuras, somando, assim, 30 leituras, totalizando, portanto, 90 leituras/parcela. Os valores de densidade ótica (IRC) foram usados para determinar o teor total de clorofila pela equação linear $y = -0,152 + 0,0996x$ determinada por Barnes et al. (1992). Na análise de N, foram utilizadas as mesmas folhas em que se fez a leitura do IRC. As folhas foram coletadas semanalmente, no momento da medição do IRC, acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa até massa constante. Depois de pesadas, foram moídas e submetidas à digestão sulfúrica para a determinação do teor de N, conforme Morais e Rabelo (1986). O acúmulo de N nas folhas foi calculado pela multiplicação da massa da matéria seca das folhas pelo teor correspondente de N no material vegetal e os dados

ajustados por meio de análise de regressão. A produtividade de grãos foi determinada em área útil de 27 m² da parcela, sendo a umidade dos grãos ajustada a 130 g kg⁻¹. A estimativa da eficiência agrônômica foi feita com base nas produtividades de grãos obtidas nas parcelas com e sem a aplicação de N (Eficiência agrônômica = ?kg de grãos/?kg de N aplicado). Os dados foram submetidos à análise de variância, e a comparação de médias entre os tratamentos foi efetuada pelo teste de Tukey (P = 0,05).

O critério de Cate-Nelson de determinação de níveis críticos foi adotado plotando-se no eixo da abscissa (x) os valores de IRC e na coordenada (y) as produtividades relativas (%), calculadas em relação à maior produtividade de grãos, em duas épocas de crescimento, quando geralmente ocorre a deficiência de N na cultura do feijoeiro, uma aos 28 e outra aos 49 dae, em pleno florescimento das plantas. Os valores críticos de IRC foram determinados nos níveis de 90% de produtividade máxima (CATE; NELSON, 1971).

Resultados e Discussão

Verifica-se que o efeito da aplicação de N foi positivo sobre a produtividade de grãos em relação à testemunha sem N (M4). A produtividade de grãos no tratamento baseado no ISN menor do que 90%, como indicativo da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura (M3), foi semelhante a do tratamento de recomendação local aos produtores no cultivo do feijoeiro irrigado (M2). Baseado nesse índice, a adubação nitrogenada em cobertura consumiu 60 kg ha⁻¹ a menos, comparado com a recomendação local, com base em épocas pré-fixadas para a aplicação de N em cobertura (M2). Com isso, no M3, a eficiência agrônômica (EA) foi maior do que no tratamento baseado na recomendação local (Tabela 1). A EA, por definição, é maior quanto menor for a quantidade de N aplicada. Portanto, o fato da EA ser maior no tratamento com menos N aplicado somente passa a ser importante se, comparado com o tratamento usual, não houver redução de produtividade de grãos, fato este observado no presente trabalho (Tabela 1). Neste sentido, pode-se considerar que a estratégia de se usar o clorofilômetro portátil (Minolta SPAD-502), tendo como indicador o ISN < 90%, foi adequada para determinar o momento para a aplicação de N, já que as produtividades de grãos foram semelhantes nos dois tratamentos. Evidencia-se, com isto, que a adubação nitrogenada de cobertura baseada em épocas pré-fixadas pode não ser a mais adequada para as condições de cultivo em que foi realizado o presente trabalho.

Tabela 1. Produtividade de grãos, acúmulo de N nas folhas na fase de florescimento pleno e eficiência agrônômica pelo feijoeiro irrigado, cultivado em sistema plantio direto com diferentes manejos de adubação nitrogenada em cobertura no município de Unaí, MG, 2004.

Manejo	Produtividade de grãos	Acúmulo de N nas folhas ⁽¹⁾	Eficiência agrônômica
	--- Kg ha ⁻¹ ---	--- mg g ⁻¹ ---	kg grãos kg ⁻¹ de N
M1 (240) ⁽²⁾	3.251a ⁽³⁾	31,76a	5,7
M2 (120)	2.522b	24,88ab	5,4
M3 (60)	2.527b	21,16bc	10,9
M4 (0)	1.875c	13,98c	-
CV (%)	9,4	18,70	-
Valor F	29,217**	14,883*	-

*Significativo a P<0,05. **Significativo a P<0,01. M1 = 80 kg ha⁻¹ na semeadura, 80 kg ha⁻¹ aos 15 dae e 80 kg ha⁻¹ aos 30 dae. M2 = Recomendação local = 30 kg ha⁻¹ na semeadura, 45 kg ha⁻¹ aos 15 dae e 45 kg ha⁻¹ aos 30 dae. M3 = 30 kg ha⁻¹ de N foram aplicados na semeadura e 30 kg foram aplicados aos 28 dias após a emergência, quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN <90%, totalizando 60 kg ha⁻¹. M4 = Testemunha sem nitrogênio. ⁽¹⁾Consideraram-se as folhas coletadas aos 49 dias após a emergência das plantas em pleno florescimento do feijoeiro; ⁽²⁾Representam as quantidades totais de N aplicadas durante o ciclo de crescimento do feijoeiro irrigado. ⁽³⁾Na coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste Tukey no nível de 5%.

Os índices relativos de clorofila foram crescentes com o tempo, estabilizando-se a partir do pleno florescimento da cultura (49 dae) (Figura 1a). Isso indica que, após essa fase de crescimento do feijoeiro, a resposta da cultura ao N é pequena, em razão da menor demanda, e que o teor de clorofila nas folhas se estabiliza, tornando ineficaz o uso do aparelho a partir dessa fase como indicador da necessidade da aplicação de N em cobertura.

Na Figura 1 é feita a comparação entre as duas estratégias para verificação da necessidade de aplicação do N, uma baseada no IRC e outra, no ISN < 90%. Aos 28 dae, observaram-se valores de IRC < 90% do índice de suficiência no tratamento baseado no clorofilômetro, indicando a necessidade da aplicação de N, época em que foram aplicados 30 kg ha⁻¹ de N.

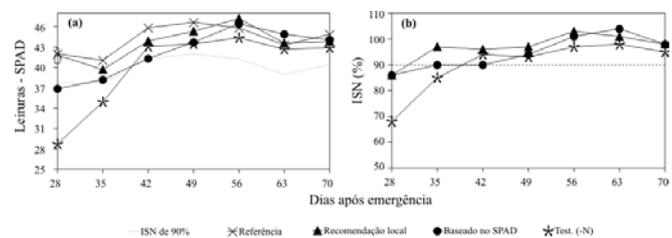


Fig. 1. Influência do manejo da adubação nitrogenada de cobertura sobre: (a) índice relativo de clorofila e (b) sobre o índice de suficiência de N nas folhas do feijoeiro irrigado. O índice de 90% representa 90% do valor das leituras de índice relativo de clorofila do tratamento de referência. M1 = 80 kg ha⁻¹ na semeadura, 80 kg ha⁻¹ aos 15 dae e 80 kg ha⁻¹ aos 30 dae. M2 = Recomendação local = 30 kg ha⁻¹ na semeadura, 45 kg ha⁻¹ aos 15 dae e 45 kg ha⁻¹ aos 30 dae. M3 = 30 kg ha⁻¹ de N foram aplicados na semeadura e 30 kg foram aplicados aos 28 dias após a emergência, quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN <90%, totalizando 60 kg ha⁻¹. M4 = Testemunha sem nitrogênio.

Na fase inicial de crescimento do feijoeiro, observaram-se sintomas visuais de deficiência de N no tratamento sem aplicação de N (M4); porém, a partir dos 42 dae, as plantas adquiriram a tonalidade verde, resultando em valores de índices relativos de clorofila muito próximas das leituras observadas nas parcelas adubadas com N. A explicação se deve ao processo de mineralização do N dos resíduos vegetais deixados na superfície do solo pelo cultivo anterior de milho.

O fato de as plantas tornarem-se verdes com o tempo de mineralização do N contido nos resíduos vegetais é indicação de que os IRC podem ser afetados, em função da quantidade e da qualidade dos resíduos vegetais antecedentes. Portanto, dependendo da época em que os IRC são medidos, podem ocorrer erros de interpretação, uma vez que podem não indicar deficiência do nutriente ocorrida na fase inicial de crescimento da planta, como foi constatado e comprovado a partir dados de produtividade de grãos apresentados na Tabela 1. Tomada essa precaução, pode-se considerar que o clorofilômetro Minolta SPAD-502 é promissor como instrumento indicativo da época em que se deve iniciar a aplicação de N em cobertura no feijoeiro irrigado. A adubação em cobertura com base nesse critério resulta em maior EA do N do que a aplicação de N baseada na recomendação local.

Os valores de IRC, os teores de clorofila e o acúmulo de N nas folhas foram altamente relacionados (Figura 2), possibilitando assim avaliar a necessidade de aplicação de N em cobertura no feijoeiro irrigado, o que confirma resultados de outros autores (BARNES et al., 1992; PENG et al., 1993; FURLANI JÚNIOR et al., 1996; STONE et al., 2002; CARVALHO et al., 2003).

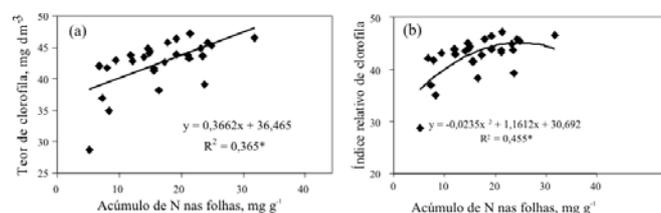


Fig. 2. Relação entre teor de clorofila e acúmulo de N nas folhas (a) e entre índice relativo de clorofila e acúmulo de N nas folhas (b) do feijoeiro irrigado, cultivado no sistema plantio direto, sob diferentes manejos de adubação nitrogenada de cobertura. *Significativo a 5%.

Os teores de clorofila e os valores de IRC aumentaram à medida que aumentou o acúmulo de N nas folhas. A utilização desses valores tem sido uma estratégia simples e eficiente de manejo do N em várias culturas, tais como milho (CHAPMAN; BARRETO, 1997), arroz irrigado (HUSSAIN et al., 2000) e feijão (FURLANI

JÚNIOR et al., 1996; STONE et al., 2002; CARVALHO et al., 2003). Porém, ressalta-se que o valor crítico de IRC, ou seja, o nível abaixo do qual se espera uma resposta ao N, pode variar com a espécie, cultivar, condições climáticas, especialmente radiação solar, fornecimento de N e práticas de manejo (SHUKLA et al., 2004).

Aplicando-se o método de Cate e Nelson (1971) para a determinação do nível crítico aos dados de produtividade de grãos, estabeleceu-se o nível crítico de IRC de 43 unidades-SPAD aos 28 dae e de 46 aos 49 dae, em pleno florescimento das plantas. Isso indica que, nas condições experimentais, valores acima desses referenciais não há necessidade de suplementação de N (Figura 3) e que a relação entre IRC e teor de N nas folhas depende do estágio de crescimento da planta. Este resultado é semelhante ao obtido por Stone et al. (2002). Segundo Cate e Nelson (1971), para uma técnica em estudo ser considerada adequada, todos os pontos deveriam situar-se dentro dos quadrantes inferior esquerdo e superior direito, e aqueles que se encontram nos quadrantes inferior direito e superior esquerdo indicam quando o N suplementar de cobertura não deve ser recomendado (Figura 3). Portanto, aos 28 dae, os valores de IRC abaixo do nível crítico de 43 correspondentes a valores de produtividades situados no quadrante superior esquerdo indicam alta probabilidade de resposta à aplicação de N em cobertura.

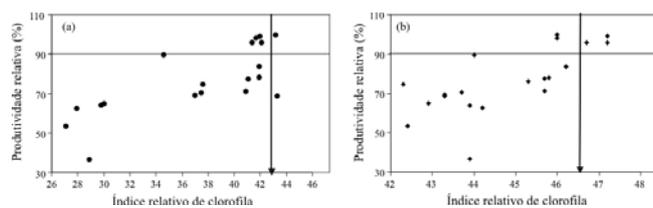


Fig. 3. Relação entre índice relativo de clorofila e a porcentagem da produtividade máxima de grãos e nível crítico de leitura de índice relativo de clorofila (a) antes da aplicação de N em cobertura (aos 28 dae) e (b) no florescimento pleno (aos 49 dae), segundo Cate e Nelson (1971).

Experimento 2

Material e Métodos

Neste experimento, os manejos de N avaliados foram os seguintes: M1 (tratamento de referência): aplicação de 240 kg ha⁻¹ de N, sendo 90 kg aos 15 dias antes da semeadura juntamente com o dessecante glifosato + 30 kg no plantio + 60 kg aos 15 dias após emergência (dae) + 60 kg aos 30 dae, M2: 120 kg ha⁻¹, sendo 90 kg aos 15 dias antes

do plantio + 30 kg no plantio; M3: 120 kg ha⁻¹, sendo 60 kg aos 15 dias antes do plantio + 30 kg no plantio + 30 kg aos 15 dae; M4: aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N no plantio e aplicação em cobertura com base no uso do clorofilômetro Minolta SPAD-502, usando o índice de suficiência de N < 90%. M5: aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N baseada na recomendação local, ou seja, 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 45 kg aos 15 dae + 45 kg aos 30 dae; e M6: testemunha sem N.

As leituras no clorofilômetro iniciaram-se aos 30 dae, e os demais procedimentos, no que se refere às avaliações dos tratamentos e as demais técnicas empregadas no manejo da cultura, foram os mesmos descritos anteriormente para o experimento 1.

Resultados e discussão

A estratégia de manejo de N baseada em datas pré-fixadas (M2 e M3), em que parte do N que seria aplicado em cobertura no feijoeiro foi antecipada para 15 dias antes da semeadura, juntamente com o dessecante glifosate, não refletiram em aumentos de produtividade de grãos, comparativamente à técnica recomendada de aplicar 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura, mais duas aplicações iguais de 45 kg ha⁻¹ de N em cobertura, aos 15 e 30 dias após emergência das plântulas (Tabela 2).

Tabela 2. Produtividade de grãos, teor de clorofila e eficiência agrônômica da adubação nitrogenada, em função do manejo da adubação nitrogenada do feijoeiro irrigado semeado, em um Latossolo vermelho perférrico do Município de Unaí, MG.

Manejo ¹	Época de aplicação				Total	Produtividade de grãos -kg ha ⁻¹ -	Teor de clorofila -mg dm ⁻² -	EA ⁵ kg kg ⁻¹
	PS ²	SE ³	15dae ⁴	30dae				
M1	90	30	60	60	240	3.136a ⁶	4,22a	5,25b
M2	90	30	00	00	120	2.417b	4,03b	4,25b
M3	60	30	30	00	120	2.395b	4,03b	4,34b
M4	00	30	00	30	60	2.429b	4,03b	9,23a
M5	00	30	45	45	120	2.522b	4,18a	5,39b
M6	00	00	00	00	00	1.875c	3,83c	-
CV (%)						9,7	1,48	21,5
Signif.						***	***	***

*** Significativo a P < 0,01.

¹M1 = Tratamento de referência para assegurar a não ocorrência de deficiência de N, M2 = Pré-fixado 1 representa a aplicação de 90 kg ha⁻¹ de N aos 15 dias antes da semeadura a lanço, juntamente com o dessecante mais 30 kg ha⁻¹ no sulco na semeadura, M3 = Pré-fixado 2 representa a aplicação de 60 kg ha⁻¹ de N aos 15 dias antes da semeadura a lanço, juntamente com o dessecante, mais 30 kg ha⁻¹ na semeadura, mais 30 kg ha⁻¹ aos 15 dae, M4 = "SPAD" ou aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura e 30 kg em cobertura aos 28 dias após a emergência, quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN < 90% sugerido por Hussain et al. (2000), totalizando 60 kg ha⁻¹ de N, M5 = Pré-fixado 3 correspondente a recomendação local, M6 = Testemunha sem nitrogênio.

²PS = Pré-semeadura.

³SE = Semeadura.

⁴Dias após emergência.

⁵kg de grãos kg ha⁻¹ de N aplicado.

⁶Na coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste Tukey ao nível de 5%.

A quantidade de N aplicada nos tratamentos M2, M3 e M5 foi o equivalente a 120 kg ha⁻¹, diferenciando-se apenas pelo fato de terem sido aplicados em épocas pré-fixadas. Comparando esses tratamentos com tratamento (M4), com aplicação de apenas 60 kg ha⁻¹ como indicado pelas leituras do clorofilômetro, constata-se que, em termos de produtividade de grãos, os tratamentos não diferiram significativamente entre si. Isto fez com que a eficiência agrônômica da adubação nitrogenada fosse maior no tratamento M4 (Tabela 2), o que pode indicar que nas condições do experimento, a quantidade de N recomendada para o cultivo do feijoeiro na região está sendo superestimada, resultando em desperdício desse nutriente e na elevação do custo de produção de feijão.

A antecipação da adubação de cobertura para épocas mais próximas da semeadura, com vistas a uma menor competição pelo N entre as plantas e os microorganismos decompositores da matéria orgânica do solo, não foi uma estratégia adequada no presente estudo, e as justificativas que se apresentam, baseadas nos trabalhos de Pauletti e Costa (2000), Ceretta et al. (2002), Lara Cabezas et al. (2004), Pöttker e Wiethölter (2004), possivelmente estão relacionadas à menor demanda de N na fase inicial de crescimento e aos baixos teores de matéria orgânica nos solos tropicais, além do que o N pode ser influenciado por algum processo de perda devido ao seu acúmulo no solo.

A estratégia de manejo de N monitorado com o auxílio do clorofilômetro portátil (M4), utilizada na expectativa de que pudesse melhorar o sincronismo entre a época de fornecimento do N e demanda da planta, foi promissora, uma vez que não houve no referido tratamento diminuição na produtividade de grãos e a eficiência agrônômica da adubação nitrogenada foi maior, demonstrando que, com a aplicação de 60 kg ha⁻¹ de N a menos (Tabela 2), foi possível alcançar níveis de produtividade de grãos tão elevados quanto aqueles obtidos seguindo a técnica de manejo convencional em que a época para aplicação do N em cobertura foi pré-definida (M5). Resultados similares foram relatados por Peng et al. (1993) e Hussain et al. (2000) para as culturas de milho e arroz irrigado.

Na Figura 4 podem comparar-se as duas estratégias de aplicação do N, uma baseada nas leituras diretas de índice relativo de clorofila (IRC) e outra, no índice de suficiência de N (ISN), determinada a partir de um valor de referência, em relação a uma área adubada com alta dose de N de forma a assegurar a não ocorrência de deficiência de N. Observa-se que, entre 30 e 37 dae das plântulas, os valores de IRC diminuíram, ao contrário do esperado, já que receberam uma suplementação de 30 kg ha⁻¹ de N aos 30 dae. Não foi possível identificar uma causa para esta redução do teor de clorofila aos 37 dae, mas o fato de as leituras terem sido tomadas após uma irrigação, ainda com

as folhas umedecidas, pode ter influenciado as leituras no aparelho. Segundo Turner e Jund (1991) e Piekielek e Fox (1992), além da disponibilidade de N no instante da tomada da leitura, a uniformidade dos valores de leituras de índice relativo de clorofila também sofrem influências de outros fatores, tais como a espessura da folha, a posição da folha em que a leitura é tomada, deficiências de outros nutrientes, estresse causado por doenças, pragas e altas temperaturas, fatores estes que, em geral, reduzem os teores de clorofila nas folhas.

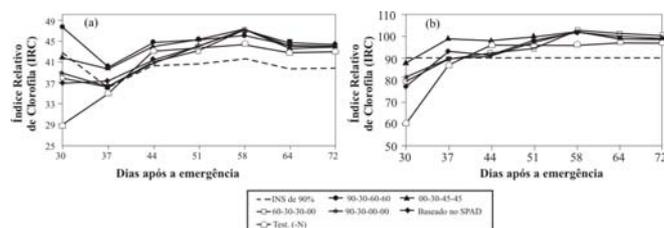


Fig. 4. Influência do manejo da adubação nitrogenada de cobertura sobre as leituras de índice relativo de clorofila (IRC) (a) e sobre o índice de suficiência de N (ISN) (b) nas folhas do feijoeiro irrigado. O ISN de 90% representa 90% das leituras de IRC do tratamento de referência.

As leituras de IRC foram crescentes com o tempo, estabilizando-se a partir dos 51 dias após emergência (dae), época em que as plantas se encontravam na fase de florescimento (Figura 4). Isto indica que, após esta fase de crescimento do feijoeiro, o teor de clorofila nas folhas se estabiliza, tornando-se ineficaz o uso do aparelho a partir dessa fase, como indicador da necessidade da aplicação de N em cobertura. Aos 30 dae das plântulas, foi observado com auxílio do clorofilômetro portátil, ISN abaixo de 90% no tratamento M4, o que indicou, portanto, o momento da necessidade de aplicação de N suplementar, razão pela qual foram aplicados mais 30 kg ha⁻¹ de N em cobertura ao lado das fileiras de feijão, totalizando 60 kg ha⁻¹ de N, suficientes para atingir uma produtividade razoável de 2.429 kg ha⁻¹ de feijão, comparável com as produtividades obtidas ao nível de 120 kg ha⁻¹ de N aplicadas em outras épocas (Tabela 2).

Uma limitação do uso do clorofilômetro para efeito de aplicação suplementar de N é não permitir quantificar a dose de N a ser aplicada no momento da tomada de decisão. Porém, segundo Varvel et al. (1997), em sistemas irrigados existe a possibilidade de se aplicar o N em pequenas doses e mais freqüentes via água de irrigação, toda vez que as leituras obtidas no aparelho caírem abaixo de um valor crítico pré-determinado, sem onerar significativamente o custo de produção.

Da mesma forma que no experimento 1, na fase inicial de crescimento do feijoeiro foram observados sintomas visuais da deficiência de N no tratamento sem aplicação de N (M4), que se recuperaram a partir dos 42 dae, com a liberação de N pela decomposição dos resíduos vegetais, o que refletiu em valores de IRC muito próximos dos valores observados nas parcelas adubadas com N (Figura 4).

Segundo Piekielek e Fox (1992), o fornecimento de N às plantas, seja por meio de aplicações de fertilizantes ou pela mineralização da matéria orgânica, pode compensar temporariamente uma eventual deficiência de N e aumentar o teor de clorofila nas folhas no momento da tomada de leituras no aparelho. Isto é particularmente importante em áreas de predominância do SPD, em que os resíduos vegetais de cultivos anteriores são mantidos na superfície do solo. Nessas condições, em algum momento durante o crescimento da cultura sucessora, poderá ocorrer a liberação temporária de N para essa cultura da decomposição, bem como a mineralização dos resíduos vegetais, influenciando nas leituras do clorofilômetro.

Os teores de clorofila e a produtividade relativa de grãos aumentaram à medida que elevaram os valores de IRC. A utilização desses índices tem sido uma estratégia simples e eficiente de manejo do N na cultura do feijoeiro (FURLANI JÚNIOR et al., 1996; STONE et al., 2002; CARVALHO et al., 2003; PIRES et al., 2004; DIDONET et al., 2005). Porém, ressalta-se que o valor crítico de leitura do índice relativo de clorofila, ou seja, o nível abaixo do qual se espera uma resposta ao N, além da disponibilidade de N, pode variar com a espécie, cultivar e condições climáticas, especialmente radiação solar, deficiências de nutrientes, fase de crescimento da planta, posição da folha na planta, danos causados por doenças ou pragas e práticas de manejo (TURNER; JUND, 1991; PIEKIELEK; FOX, 1992). Já a utilização do ISN em substituição às leituras de IRC como indicador da necessidade de suplementação de N parece mais adequada, em função do melhor comportamento das curvas que expressam a relação entre as leituras de IRC e o ISN, conforme se observa na Figura 4.

Conclusões

O clorofilômetro Minolta SPAD-502 indica a época em que se deve iniciar a aplicação de N em cobertura no feijoeiro irrigado. Os níveis críticos mínimos de índice relativo de clorofila para obtenção de produtividade superior a 90% da máxima foram, respectivamente, de 43 e 46, aos 28 e 49 dias após emergência do feijoeiro.

O Índice de Suficiência de Nitrogênio menor do que 90% constitui uma técnica simples e eficiente de manejo do N, permitindo diagnosticar o nível de N na folha e determinar a melhor época para a aplicação de N, melhorando a eficiência de uso do N pelo feijoeiro.

A estratégia de antecipar a aplicação de N em relação à semeadura do feijoeiro irrigado não foi superior à aplicação em outras épocas.

Agradecimentos

Ao Engenheiro Agrônomo Luís Joaquim Missio, administrador da fazenda Guaíba, pela concessão da área experimental e apoio na condução do experimento.

Referências

- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; FOSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L.; SUHRE, E.; TEICHMANN, L. L. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 109-119, jan./fev. 2003.
- BARBOSA FILHO, M. P.; SILVA, O. F. da. Adubação e calagem para o feijoeiro irrigado em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 7, p. 1317-1324, jul. 2000.
- BARBOSA FILHO, M. P.; SILVA, O. F. da. Aspectos agroecômicos da calagem e da adubação nas culturas de arroz e feijão irrigados por aspersão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 11, p. 1657-1667, nov. 1994.
- BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; MENDES, P. N. Adubação. In: COBUCCI, T.; BIAVA, M. (Ed.). **Cultivo do feijão irrigado na Região Noroeste de Minas Gerais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão; Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2005. (Embrapa Arroz e Feijão. Sistemas de Produção, 5). Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoIrrigadoNoroesteMG/adubacao.htm>>. Acesso em: 25 out. 2007.
- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F. da. Fontes, doses e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura para feijoeiro comum irrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 1, p. 69-76, jan./fev. 2005.
- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F. da. Fontes e métodos de aplicação de nitrogênio em feijoeiro irrigado submetido a três níveis de acidez do solo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 4, p. 785-792, jul./ago. 2004.
- BARNES, J. D.; BALGUER, L.; MANRIQUE, E.; ELVIRA, S.; DAVIDSON, A. W. A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophylls a and b in lichens and higher plants. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 32, n. 2, p. 85-100, Apr. 1992.
- CARVALHO, M. A. C.; FURLANI, E.; ARF, O.; SÁ, M. E.; PAULINO, H. B.; BUZZETTI, S. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio e teores foliares deste nutriente e de clorofila em feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 445-450, maio/jun. 2003.
- CATE, R. B.; NELSON, L. A. A simple statistical procedure for partitioning soil correlation data into classes. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 35, n. 4, p. 658-660, 1971.
- CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; FLECHA, A. M. T.; PAVINATO, P. S.; VIEIRA, F. C. B.; MAI, M. E. M. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 1, p. 163-171, jan./mar. 2002.
- CHAPMAN, S. C.; BARRETO, H. J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, v. 89, n. 4, p. 557-562, July/Aug. 1997.
- DIDONET, A. D.; BRAZ, A. J. B. P.; SILVEIRA, P. M. da. Adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado: uso do clorofilômetro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, n. 3, p. 103-111, Sept./Dec. 2005.
- FURLANI JÚNIOR, E.; NAKAGAWA, J.; BULHÕES, L. J.; MOREIRA, J. A. A.; GRASSI FILHO, H. Correlação entre leituras de clorofila e níveis de nitrogênio aplicados em feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 55, n. 1, p. 171-175, 1996.
- GUIMARÃES, T. G.; FONTES, P. C. R.; PEREIRA, P. R. G.; ALVAREZ, V. H.; MONNERAT, P. H. Determinação dos teores de nitrogênio na seiva do tomateiro por meio de medidor portátil. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 16, n. 2, p. 144-151, nov. 1998.
- HUSSAIN, F.; BRONSON, K. F.; SINGH, Y.; SINGH, B.; PENG, S. Use of chlorophyll meter sufficiency indices for nitrogen management of irrigated rice in Asia. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, n. 5, p. 875-879, Sept./Oct. 2000.
- LARA CABEZAS, W. A. R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA CABALLERO, S. S.; SANTANA, D. G. de. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 4, p. 1005-1013, jul./ago. 2004.
- MORAIS, J. F. V.; RABELO, N. A. **Um método simples para a digestão de amostras de plantas**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1986. 10 p. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 12).

NUNES, J. C. S.; ARAUJO, E. F.; SOUZA, C. M. de; BERTINI, L. A.; FERREIRA, F. A. Efeito da palhada de sorgo localizada na superfície do solo em características de plantas de soja e milho. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 50, n. 287, p. 115-126, jan./fev. 2003.

PAULETTI, V.; COSTA, L. C. Época de aplicação de nitrogênio no milho cultivado em sucessão à aveia preta no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 4, p. 599-603, jul./ago. 2000.

PENG, S.; GARCIA, F. V.; LAZA, R. C.; CASSMAN, K. G. Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter estimate of rice leaf nitrogen concentration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, n. 5, p. 987-990, Sept./Oct. 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, Jan./Feb. 1992.

PIRES, A. S.; ARAÚJO, G. A. de A.; MIRANDA, G. V.; BERGER, P. G.; FERREIRA, A. C. de B.; ZAMPIROLI, P. D.; LEITE, U. T. Rendimento de grãos, componentes do rendimento e índice SPAD do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em função de época de aplicação e do parcelamento da aplicação foliar de molibdênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 1092-1098, set./out. 2004.

PÖTTKER, D.; WIETHÖLTER, S. Épocas e métodos de aplicação de nitrogênio em milho cultivado no plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 4, p. 1015-1020, jul./ago. 2004.

SHUKLA, A. K.; LADHA, J. K.; SING, V. K.; DWIVEDI, B. S.; BALASUBRAMANIAN, V.; GUPTA, R. K.; SHARMA, S. K.; SIG, Y.; PATHAK, H.; PANDEY, P. S.; PADRE, A. T.; YADAV, R. L. Calibrating of leaf color chart for nitrogen management in different genotypes of rice and wheat in a system perspective. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, n. 6, p. 1606-1621, Nov./Dec. 2004.

STONE, L. F.; SILVA, G. de M. e; MOREIRA, J. A. A. Uso do clorofilômetro SPAD-502 na estimativa do nitrogênio foliar específico e da produtividade do feijoeiro. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 7., 2002, Viçosa, MG. **Resumos expandidos...** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2002. p. 743-746.

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, Sept./Oct. 1991.

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 of America Journal**, Madison, v. 61, n. 4, p. 1233-1239, July/Aug. 1997.

Comunicado Técnico, 142



Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Arroz e Feijão
Rodovia GO 462 Km 12 Zona Rural
Caixa Postal 179
75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO
Fone: (62) 3533 2123
Fax: (62) 3533 2100
E-mail: sac@cnpaf.embrapa.br

1ª edição
1ª impressão (2007): 1.000 exemplares

Comitê de publicações

Presidente: Luis Fernando Stone
Secretário-Executivo: Luiz Roberto R. da Silva
Alberto Baêta dos Santos

Expediente

Supervisor editorial: André Ribeiro Coutinho
Revisão de texto: Vera Maria T. Silva
Normalização bibliográfica: Ana Lúcia D. de Faria
Editoração eletrônica: Fabiano Severino