

Índice de suficiência de clorofila no manejo da adubação nitrogenada do feijoeiro comum¹

Chlorophyll sufficiency index in the management of nitrogen fertilization in the common bean

Diego Ricardo Menegol², Osmar Henrique de Castro Pias^{3*}, Antônio Luis Santi⁴, Maurício Roberto Cherubin⁵, Juliano Berghetti⁶, Diego Henrique Simon⁶

Resumo: A adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro é essencial para a obtenção de elevada produtividade, sendo que a utilização de sensores de clorofila pode auxiliar nas tomadas de decisões, com relação ao manejo do nitrogênio (N). Nesse sentido, objetivou-se com este estudo avaliar a produtividade de grãos e componentes de rendimento do feijoeiro comum em função da utilização do índice de clorofila, para calcular o índice de suficiência de clorofila (ISC) e estimar a dose N a ser aplicada em cobertura. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, em arranjo fatorial 8 x 5, sendo oito doses de N aplicadas em cobertura (0, 40, 80, 120, 160, 200, 240 e 280 kg ha⁻¹) e cinco épocas de aplicação do N (logo após a semeadura, 10 dias após a emergência (DAE): quando o ISC ≤ 95%, aos 20 DAE e quando ISC ≤ 90%), com três repetições. Quando a cultura atingiu o estágio fenológico de senescência foram avaliados os componentes de rendimento e a produtividade de grãos da cultura do feijoeiro. O feijoeiro comum com um ISC ≥ 90% não apresenta resposta em produtividade de grãos pela aplicação de N em cobertura. O monitoramento do índice de clorofila para o cálculo do ISC constitui-se como uma importante estratégia para maximizar o manejo da adubação nitrogenada na cultura e evitar aplicações desnecessárias de N em cobertura.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*. Época de aplicação de nitrogênio. Dose de nitrogênio. Índice de clorofila. Produtividade de grãos.

Abstract: Nitrogen fertilization in the bean crop is essential for obtaining high productivity, the use of chlorophyll sensors can helping when making decisions regarding nitrogen (N) management. Given this, the aim of this study was to evaluate grain productivity and yield components in the common bean as a function of the use of the chlorophyll index, to calculate the chlorophyll sufficiency index (CSI) and estimate the rate of N to be applied as topdressing. The experimental design was of randomised blocks in a 5 x 8 factorial, being eight levels of N applied as topdressing (0, 40, 80, 120, 160, 200, 240 and 280 kg ha⁻¹) and five periods for N application (soon after sowing, 10 days after emergence (DAE), with the CSI ≤ 95%, at 20 DAE and when the CSI ≤ 90%), with three replications. The yield components and grain productivity of the bean crop were evaluated when the growth stage of the crop reached senescence. The common bean, with an CSI ≥ 90%, does not present any response in grain yield for N applied as topdressing. Monitoring of the chlorophyll index to calculate the CSI was established as an important strategy in maximising the management of nitrogen fertilizer on a crop and avoiding unnecessary applications of N.

Key words: *Phaseolus vulgaris*. Period of Nitrogen application. Nitrogen doseage. Chlorophyll index. Grain yield.

*Autor para correspondência.

Enviado para publicação em 11/08/2014 e aprovado em 12/04/2015.

¹ Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor.

²Mestre em Agronomia Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, Brasil, menegoldr@gmail.com

³Mestrando em Agronomia Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, Brasil, henriquepias@yahoo.com.br

⁴Professor Adjunto, Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, Brasil, santipratca@yahoo.com.br

⁵Doutorando do Programa de Solos e nutrição de plantas, Escola de Agricultura Superior Luiz de Queiroz (ESALQ), Piracicaba, SP, Brasil, mauricio_eafs@yahoo.com.br

⁶Engenheiro Agrônomo, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, Brasil, tecsimon@hotmail.com, julianoberghetti@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

A cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.) é um dos constituintes básicos da dieta alimentar da população brasileira; na safra de 2012/13 a cultura ocupou uma área de 3,11 milhões de hectares, com produtividade média de 909 kg ha⁻¹ (CONAB, 2013). Esta média de produtividade é baixa quando comparada com o potencial produtivo das cultivares atuais. Os principais fatores que condicionam à obtenção das baixas produtividades da cultura são: reduzido uso de sementes certificadas, baixo uso de tecnologias nos cultivos (CABRAL *et al.*, 2011), adversidades climáticas e falta de informações precisas para o manejo da adubação nitrogenada nas principais cultivares utilizadas pelos produtores (SANTI *et al.*, 2006).

A cultura do feijoeiro apresenta alta capacidade de estabelecer associações simbióticas com bactérias do gênero *Rizobium* (PELEGLIN *et al.*, 2009), no entanto, segundo alguns autores, pelo seu ciclo curto, não permite que toda sua demanda de nitrogênio (N) seja fornecida pela fixação biológica de N, sendo necessária a aplicação de fertilizantes nitrogenados, quando se almeja altas produtividades (ARF *et al.*, 2011; SANT'ANA *et al.*, 2011; SANTI *et al.*, 2013). O manejo da adubação nitrogenada merece destaque por ser o nutriente absorvido em maior quantidade pela cultura do feijoeiro e caracterizar-se como um dos fatores de maior influência na produtividade da cultura (CRUSCIOL *et al.*, 2007; ALBUQUERQUE *et al.*, 2012). Plantas com deficiência de N apresentam caracteristicamente, baixa produção de fitomassa, senescência prematura de folhas e baixa produtividade de grãos (SANTOS; FAGERIA, 2007).

Devido à alta complexidade das interações que ocorrem com o N no solo (BARBOSA FILHO *et al.*, 2008), não existe uma variável interpretativa que permita inferir precisamente a disponibilidade desse elemento no solo para as plantas. Diante disso, uma alternativa citada por vários autores para otimizar o uso dos fertilizantes nitrogenados, é o monitoramento do teor de clorofila das folhas, a partir do uso de clorofilômetros portáteis.

Em diversos estudos, essa ferramenta tem apresentado boa correlação com a produtividade dos grãos (ARGENTA *et al.*, 2003; CARVALHO *et al.*, 2003; SORATO *et al.*, 2004; BARBOSA FILHO *et al.*, 2008). De acordo com Lobo *et al.* (2012), a relação entre a determinação dos teores

de clorofila e a concentração de N nas folhas é dependente de vários fatores como: estágio fisiológico, cultivar, condições climáticas, fertilidade do solo, etc. Sendo assim, as épocas de aplicação dos fertilizantes precisam ser ajustadas em função das leituras obtidas *in loco* na lavoura, para que ocorra maior sincronia entre as necessidades específicas das plantas e as quantidades de fertilizantes aplicadas (SOUZA *et al.*, 2011).

Mediante o exposto, objetivou-se com este estudo avaliar a produtividade de grãos e componentes de rendimento do feijoeiro comum em função da utilização do índice de clorofila, para calcular o índice de suficiência de clorofila (ISC) e estimar a dose de N a ser aplicada em cobertura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen, situada entre a latitude 27°23'45" S e longitude 53°25'45" O, com altitude média de 488 m, localizada na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, Brasil. O clima do local é definido como subtropical de primavera úmida (STPU), com temperatura média anual de 18,1 °C e precipitação pluvial anual próxima a 1.900 mm (MALUF, 2000).

O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (SANTOS *et al.*, 2013), com textura argilosa (790 g kg⁻¹). As características químicas do solo na camada de 0,00 – 0,10 m, da área experimental estão descritas na Tabela 1 (Embrapa, 1997).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em arranjo fatorial 8 x 5 (doses de N x épocas de aplicação), com três repetições. As doses de N aplicadas em cobertura foram: 0, 40, 80, 120, 160, 200, 240 e 280 kg ha⁻¹. Das cinco épocas de aplicação do N em cobertura, três foram pré-determinadas e outras duas realizadas a partir do ISC. As aplicações pré-determinadas foram realizadas: logo após a semeadura (SEM), 10 dias após a emergência (10 DAE) e 20 dias após a emergência (20 DAE). As adubações com base no índice de suficiência de clorofila (ISC) foram estabelecidas com base nos valores críticos utilizados por Maia *et al.* (2012), sendo o ISC ≤ 95% (ISC 95) e o ISC ≤ 90% (ISC 90), que ocorreram aos 15 DAE e aos 30 DAE, respectivamente.

Tabela 1 - Características químicas do solo da área experimental no momento da implantação do experimento
Table 1 - Chemical characteristics of the soil in the experimental area at the time the experiment was implemented

pH (H ₂ O)	Matéria orgânica	K	P (Mehlich 1)	Ca	Mg	CTC	V	Al
---1:1---	---g kg ⁻¹ ---	----- mg dm ⁻³ -----		----- cmol _c dm ⁻³ -----		----- % -----		
5,90	29,00	219,50	17,50	6,00	2,80	12,70	73,90	0,00

Para o cálculo do ISC utilizou-se a Equação 1, que representa de forma percentual, a diferença de uma parcela com menor índice de clorofila Falker (ICF) em relação à outra referência que possui o valor mais elevado, que simula a ausência de deficiência de N.

$$ISC = \left(\frac{<IC}{>IC} \right) \cdot 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Em cada época de avaliação, utilizou-se como referência o tratamento com maior índice de clorofila, a partir deste, calculou-se os demais ISC (Tabela 2). Os ISC grafados 94,35 e 88,94%, na Tabela 2, são referentes aos momentos em que foram obtidos os $ISC \leq 95\%$ e $ISC \leq 90\%$, aos 15 e 30 DAE, respectivamente.

A determinação do ICF foi realizada por meio da utilização de um clorofilômetro portátil (ClorofiLOG® - CFL 1030) fabricado pela Falker (Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil). O equipamento trabalha com leituras de transmitância em três comprimentos de onda, dois na banda do vermelho, próximos aos picos de cada tipo de clorofila (635 e 660 nm) e outro no infravermelho próximo (880 nm). A folha é prensada em uma capsula onde se mede a radiação transmitida através da estrutura foliar. O resultado é o índice de clorofila Falker, sendo uma unidade adimensional.

As leituras de ICF foram realizadas entre 15 e 45 DAE com intervalo de 5 dias entre as avaliações. Em cada parcela foram utilizadas três plantas; em cada planta, foram realizadas cinco leituras nas folhas do último trifólio totalmente expandido, totalizando 15 leituras por repetição. O índice de área foliar (IAF) foi avaliado em seis plantas, aos 45 DAE, por meio do método gravimétrico, que é realizado pela obtenção de discos com o auxílio de um vazador de área conhecida.

Cada parcela experimental correspondeu a uma área de 6,75 m², resultantes de cinco linhas de semeadura espaçadas por 0,45 m, com comprimento de 3 m. A área útil para as avaliações dos componentes de produtividade e variáveis morfológicas, foi de 2,03 m², correspondentes aos 1,5 m, das três linhas centrais de cada parcela.

A cultivar de feijão utilizado foi a IPR Tuiuiu, do grupo das cultivares de grãos pretos, que possui como características, hábito de crescimento indeterminado tipo II e porte ereto. A semeadura foi realizada no dia 28 de setembro de 2012, em sistema de semeadura direta, sem a utilização de inoculante. A área já havia sido cultivada com o feijoeiro na safra anterior, a cultura antecessora ao feijão foi o trigo, dessecado 30 dias antes da semeadura, quando se encontrava na fase de enchimento de grãos.

Tabela 2 - Índice de clorofila e Índice de suficiência de clorofila (ISC) nas diferentes épocas de avaliação, utilizados para determinar o momento de aplicação dos tratamentos ISC 95 e ISC 90

Table 2 - Chlorophyll index and chlorophyll sufficiency index (ISC) at different evaluation times, used to determine the period for application of the treatments CSI 95 and CSI 90

Época de Avaliação	Época de aplicação das doses de nitrogênio				
	SEM	10 DAE	20 DAE	ISC 95	ISC 90
Índice de clorofila					
15 DAE	41,89	42,33	39,94	40,42	40,91
20 DAE	41,21	42,28	41,56	40,64	39,98
25 DAE	39,01	40,72	40,71	38,69	38,39
30 DAE	43,96	44,61	46,67	46,29	41,51
35 DAE	43,27	41,11	42,91	43,20	40,29
40 DAE	42,28	42,30	42,82	41,82	40,88
45 DAE	45,96	45,72	45,68	45,96	46,06
Índice de suficiência de clorofila (%)					
15 DAE	98,96	100,00	94,35	95,49	96,65
20 DAE	97,47	100,00	98,30	96,12	94,56
25 DAE	95,80	100,00	99,98	95,01	94,28
30 DAE	94,19	95,59	100,00	99,19	88,94*
35 DAE	100,00	95,01	99,17	99,84	93,11
40 DAE	98,74	98,79	100,00	97,66	95,47
45 DAE	99,78	99,26	99,17	99,78	100,00

* Valores de índice de suficiência de clorofila das folhas do feijoeiro $\leq 95\%$ e $\leq 90\%$, aos 15 e 30 DAE, respectivamente.

* Values for chlorophyll sufficiency index in bean leaves $\leq 95\%$ and $\leq 90\%$, at 15 and 30 DAE respectively.

A densidade populacional obtida após a germinação foi de aproximadamente 235.000 plantas ha⁻¹. No decorrer do desenvolvimento da cultura foram realizadas duas aplicações de fungicidas (Piraclostrobina 66,5 g ha⁻¹ + Epoxiconazol 25 g ha⁻¹) de forma preventiva, uma no início do florescimento e a outra aos 20 dias após a primeira.

A adubação de base para todos os tratamentos foi realizada de forma incorporada, no momento da semeadura, aplicando-se 400 kg ha⁻¹ de fertilizante comercial 05-20-20 (NPK). A quantidade de fertilizante aplicada na linha, no momento da semeadura, foi determinada com o objetivo de manter boa disponibilidade de P e K no solo, para que estes não fossem limitantes à produtividade, já a dose de N foi estabelecida com base na recomendação do manual de adubação e calagem para os estados do RS e SC (CQFS RS/SC, 2004).

A emergência das plântulas ocorreu no dia 08 de outubro de 2012, o pleno florescimento aos 39 DAE e a maturação aos 89 DAE. Os dados de temperatura e precipitação pluvial, que ocorreram durante a condução do estudo, obtidos por uma estação meteorológica do INMET, localizada a aproximadamente 600 m do campo experimental, são apresentados na Figura 1. Devido à ausência de chuvas no período de 2 a 18 de novembro, em 15 de novembro foi realizada irrigação das parcelas, através da aplicação de lâmina de água equivalente a 23 mm.

Quando a cultura atingiu o estágio de maturação fisiológica (89 DAE) foram coletadas aleatoriamente na parcela, 10 plantas para análise dos seguintes componentes morfológicos e de produtividade: altura de planta (ALPL), altura de inserção do primeiro legume em relação ao solo (ALISER), altura da base do primeiro legume em

relação ao solo (ALBASE), número de nós na haste principal (NOSHPRI), número de nós nas hastes laterais (NOSHLAT), número de hastes laterais com mais de dois nós (NHLAT), número de grãos por planta (NGRP), número de legumes por planta (NLEGP) e número de grãos por legume (NGRLEG). Para determinação do peso de mil sementes (PMS) e produtividade de grãos (PROD) procedeu-se a colheita de toda a área útil da parcela.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p \leq 0,05$) e quando significativos, foram submetidos à análise de regressão polinomial para o fator quantitativo e comparação múltipla de médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) para o fator qualitativo, por meio do *software* Sisvar (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa entre as duas fontes de variação pelo teste de F ($p \leq 0,05$) apenas para o NHLAT (Tabela 3). Devido à inexistência de significância entre os fatores para o restante das variáveis avaliadas, realizou-se a análise dos efeitos principais. Para a dose de N, as variáveis que apresentaram significância foram a ALPL, NOSHPRI, NOSHLAT, PMS, NLEGP e NGRLEG. Em relação às épocas de aplicação do N, apresentaram significância as variáveis, ALBASE, NHLAT, NGRP, NLEGP e NGRLEG. As variáveis IAF, ALISER e PROD não apresentaram significância perante as fontes de variação. Carvalho *et al.* (2003) também não encontraram interação entre as épocas e doses de N aplicadas no feijoeiro, para a maioria das variáveis estudadas.

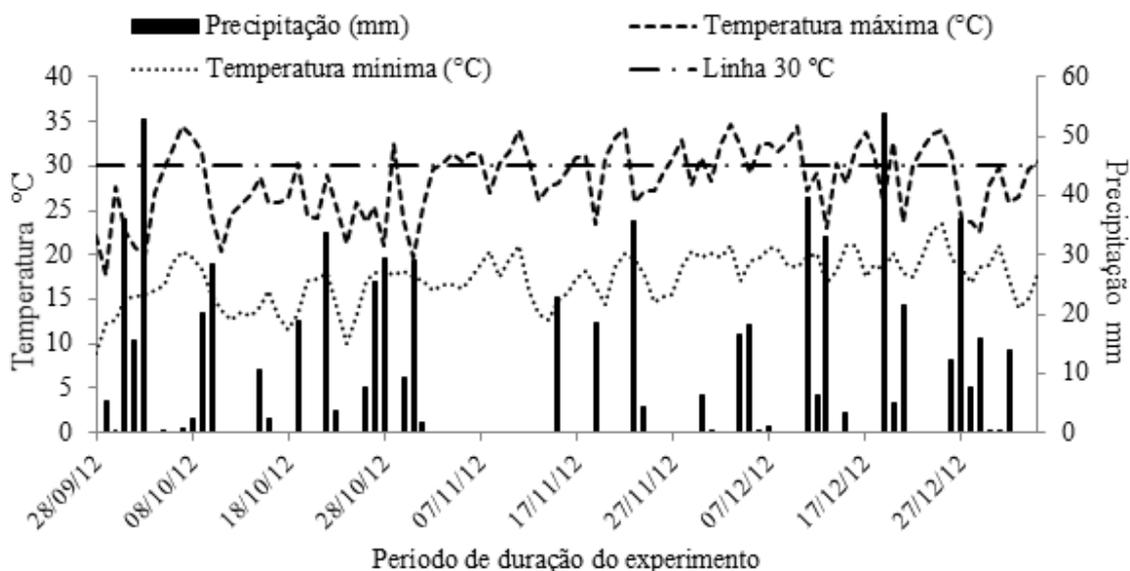


Figura 1 - Variáveis meteorológicas do período de condução do experimento.

Figure 1 - Meteorological variables for the time the experiment was carried out.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância para as variáveis morfológicas e componentes de produtividade do feijoeiro comum em função de diferentes doses e épocas de aplicação de nitrogênio

Table 3 - Summary of variance analysis for the morphological variables and yield components of the common bean as a function of different nitrogen rates and periods of application

Fontes de Variação	GL	Valores de f					
		ALPL	ALISER	ALBASE	NOSHPR	NOSHLAT	NHLAT
Dose	7	0,018 *	0,826 ns	0,724 ns	0,008 *	0,024 *	0,583 ns
Época	4	0,611 ns	0,144 ns	0,032 *	0,209 ns	0,289 ns	0,008 *
Dose*Época	28	0,745 ns	0,788 ns	0,996 ns	0,928 ns	0,641 ns	0,010 *
Bloco	2	0,551	0,143	0,187	0,456	0,057	0,117
Média	-	67,86	21,27	14,26	13,15	14,54	3,43
CV (%)	-	10,20	14,89	23,53	8,55	29,36	25,50
		PROD	PMS	NGR	NLEGP	NGRLEG	IAF
Dose	7	0,059 ns	0,000 *	0,291 ns	0,045 *	0,002 *	0,115 ns
Época	4	0,795 ns	0,678 ns	0,012 *	0,047 *	0,001 *	0,058 ns
Dose*Época	28	0,151 ns	0,671 ns	0,559 ns	0,286 ns	0,442 ns	0,307 ns
Bloco	2	0,000	0,002	0,055	0,328	0,055	0,626
Média	-	2061,45	217,95	60,89	15,56	3,93	22,98
CV (%)	-	21,05	483,00	18,04	17,48	8,35	3,56

* e ns: significativo e não significativo, respectivamente, em nível de 5 % de probabilidade de erro. (ALPL) altura de planta, (ALISER) altura de inserção do primeiro legume, (ALBASE) altura da base do primeiro legume, (NOSHPR) número de nós na haste principal, (NOSHLAT) número de nós na haste lateral, (NHLAT) número de hastes laterais, (PROD) produtividade, (PMS) peso de mil sementes, (NGR) número de grãos por planta, (NLEG) número de legumes por planta, (NGRLEG) número de grãos por legume e (IAF) índice de área foliar.

* and ns: significant and not significant respectively, at 5% probability. ALPL: plant height; ALISER: height of first pod insertion; ALBASE: height of first pod base; NOSHPR: number of nodes on main stem; NOSHLAT: number of nodes on lateral stem; NHLAT: number of lateral stems; PROD: productivity; PMS: thousand seed weight; NGR: number of grains per plant; NLEG: number of pods per plant; NGRLEG: number of grains per pod and IAF: leaf area index.

Tabela 4 - Valores médios e equações de regressão do número de hastes laterais do feijoeiro comum em função das doses e épocas da aplicação de nitrogênio em cobertura

Table 4 - Mean values and regression equations for the number of lateral stems in the common bean for, rates and periods of nitrogen application as topdressing

Época de Aplicação	Dose de N (kg ha ⁻¹)							
	0	40	80	120	160	200	240	280
SEM	2,53 ns	3,43 ab	2,63 b	3,75 ns	3,63 ns	4,77 ns	2,65 ns	3,30
10 DAE	3,53	2,83 b	3,00 b	2,30	3,30	2,27	3,00	3,27
20 DAE	3,40	2,60 b	2,73 b	2,47	3,20	3,60	2,83	4,48
ISC 95	3,70	3,77 ab	5,00 a	4,03	3,27	3,85	4,13	2,80
ISC 90	3,33	4,83 ab	4,00 b	3,57	3,83	3,37	3,87	3,70
Equação da regressão								R ²
SEM	y = 2,501 - 0,015x + 0,00005x ²							43,13 [*]
10 DAE	y = 3,12							ns
20 DAE	y = 3,214 + 0,00102x + 0,00005x ²							61,94 [*]
ISC 95	y = 3,88							ns
ISC 90	y = 3,68							ns

*Médias seguidas por letras iguais na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a um nível de 5% de probabilidade de erro. DAE (dias após emergência). ISC (índice de suficiência de clorofila) ns= não significativo. * = significativo.

* Mean values followed by the same letter in a column do not differ by Tukey test at 5% probability. DAE (days after emergence). ISC (chlorophyll sufficiency index). ns = not significant. * = significant.

O desdobramento da interação das doses e épocas de aplicação de N para a variável NHLAT é apresentado na Tabela 4. Ocorreu diferença significativa entre épocas de aplicação apenas nas doses de 40 e 80 kg ha⁻¹ de N,

sendo as maiores médias obtidas quando as aplicações de N foram realizadas aos 30 e 20 DAE, respectivamente. O resultado demonstra que as épocas de aplicação das doses de N apresentam pouca influência no NHLAT na cultura

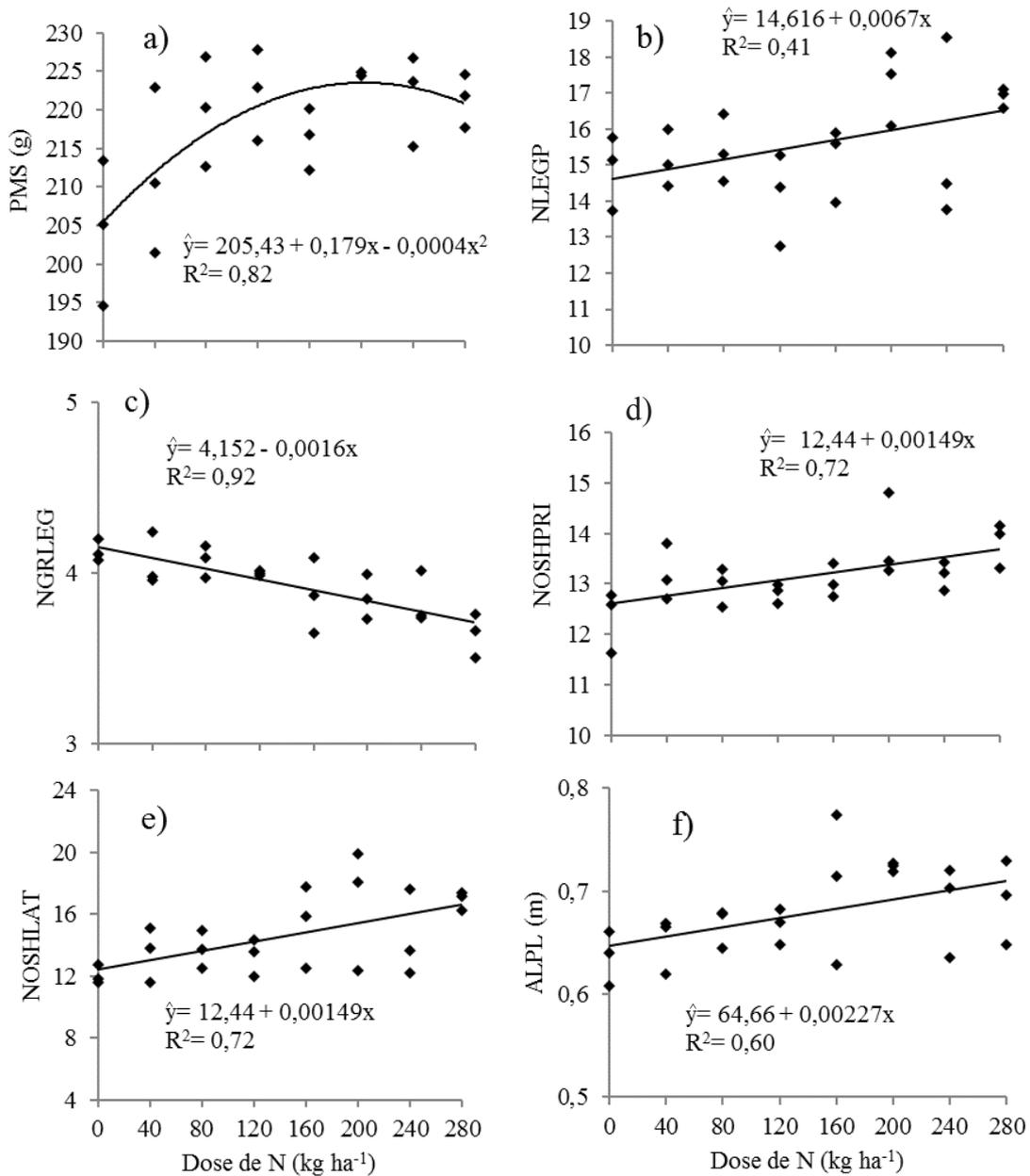


Figura 2 - Média das variáveis morfológicas e dos componentes de rendimento do feijoeiro comum em função das doses de N aplicadas em cobertura. A) PMS: peso de mil sementes; b) NLEGP: número de legumes por planta; c) NGRLEG: número de grãos por legume; d) NOSHPRI: número de nós na haste principal; e) NOSHLAT: número de nós nas hastes laterais; f) ALPL: altura de planta.

Figure 2 - Mean values for morphological variables and yield components in the common bean for increasing rates of N applied as topdressing. A) PMS: thousand seed weight; b) NLEGP: number of pods per plant; c) NGRLEG: number of seeds per pod; d) NOSHPRI: number of nodes on main stem; e) NOSHLAT: number of nodes on lateral stemarms; f) ALPL: plant height.

do feijoeiro, e que mesmo aplicações tardias de N podem contribuir para o aumento desta variável.

Avaliando-se o NHLAT em função das doses em cada época de aplicação, nota-se que apenas os tratamentos que as aplicações foram realizadas na SEM e 20DAE apresentaram diferença significativa em relação às doses de N aplicadas (Figura 2), sendo que ambos apresentaram equações de segundo grau, no entanto uma negativa e a outra positiva, respectivamente. A partir do cálculo de máxima eficiência técnica determinou-se que a dose que apresentou maior desenvolvimento do NHLAT foi a de 150 kg ha⁻¹ de N, aplicada no momento da SEM. Já a aplicação da dose de 102 kg ha⁻¹ de N, aos 15 DAE, acarretou em menor média para a variável.

A ALPL, NNHLA e NNHP obtiveram comportamento linear com o incremento das doses de N (Figura 2). Resultados similares foram reportados por Furtini *et al.* (2006), em que citam que a maior disponibilidade de N no solo para a planta pode proporcionar maior desenvolvimento da parte vegetativa em detrimento da reprodutiva, podendo afetar negativamente a produtividade de grãos. A ALISER e ALBASE não apresentaram significância frente às doses, sendo seus valores médios de 21,25 e 14,25 cm, respectivamente. O IAF médio de todo o experimento foi de 3,56%.

A variável PMS apresentou comportamento quadrático em função das doses de N aplicadas. O ponto de máxima eficiência técnica foi a dose de 180 kg ha⁻¹ de N, sendo seus valores situados entre 195 e 230 g (Figura 2a). Esses resultados são similares aos encontrados por Sorato *et al.* (2004) que obtiveram valores de PMS compreendidos entre 196 e 210 g. O NLEGP apresentou aumento linear com o incremento das doses de N (Figura 2b), apresentando amplitude em seus valores médios de 13,9 a 18,1. Esse resultado está de acordo com os encontrados por Maia *et al.* (2012) que também observaram crescimento linear do NLEGP. Esses autores afirmam que o NLEGP é o componente produtivo que mais responde ao incremento de N. No entanto, com o aumento das doses de N reduziu-se o NGRLEG do feijão comum (Figura 2c), podendo este fato ter sido decisivo para a ausência de significância das doses de N para os atributos NGRP e PROD, pois ocorreu uma compensação entre o aumento de NLEGP e redução do NGRLEG.

Cabral *et al.* (2011), trabalhando com a análise de trilha para componentes de produtividade do feijoeiro, concluíram que o NGRP foi o atributo que determinou maior efeito sobre a PROD. As variáveis PMS e NGRLEG, por sua vez, apresentaram elevados efeitos indiretos sobre o NGRP. A média de produtividade do experimento foi de 2.061 kg ha⁻¹. Esse valor é considerado satisfatório quando comparado com a média nacional de 909 kg ha⁻¹ no ano de 2013 (CONAB, 2013). Mesmo as doses de N não influenciando a produtividade do feijoeiro, foi possível

observar as diferenças dos ICF das folhas do feijoeiro, o que permitiu a identificação dos valores de $ISC \leq 90\%$ e $ISC \leq 95\%$. Maia *et al.* (2012) utilizando a cultivar Pérola, concluíram que a aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N para $ISN \geq 90\%$ é o manejo mais eficiente para adubação do feijoeiro.

O efeito da aplicação de N à produtividade é amplamente estudado, em diferentes locais e cultivares do feijoeiro. Alguns estudos, como os de Carvalho *et al.* (2003) e Sorato *et al.* (2004) localizados em Selvíria – MS, e Barbosa Filho *et al.* (2008) em Unaí - MG, encontraram aumento linear da PROD com a elevação das doses de N fornecidas.

Já outros estudos trazem resultados contrastantes, e que corroboram com os obtidos no presente estudo. Campos (2009) estudou o efeito de diferentes doses de N em solos com alta e baixa fertilidade, no município de Coimbra - MG, verificando incrementos em produtividade apenas no solo de baixa fertilidade. Arf *et al.* (2011) testando diferentes produtos fornecedores de N e épocas para aplicação de 80 kg ha⁻¹ de N em dois anos de estudo, em Selvíria – MG, observaram que apenas no primeiro ano os tratamentos com aplicação de N se diferenciaram estatisticamente da testemunha (0 kg ha⁻¹ de N). Salgado *et al.* (2012), estudando diferentes genótipos de feijoeiro para a região de Gurupi – TO em dois níveis de N: alto (120 kg ha⁻¹) e baixo (20 kg ha⁻¹), observaram diferenças das respostas às doses de N entre as cultivares, sendo que algumas apresentaram aumentos de produtividade, enquanto outras mantiveram e outro grupo de cultivares, denominado pelos autores como rústicas, reduziram sua produtividade de grãos.

Maia *et al.* (2012), estudando durante dois anos em Botucatu - SP, diferentes doses de N aplicadas em três fases do ciclo do feijão comum, constataram ausência de resposta da produtividade com o aumento das doses de N, no primeiro ano e no segundo ano no tratamento com 50 kg ha⁻¹ de N não houve diferença significativa com a testemunha. Araujo *et al.* (2008) estudando a produção do feijão no município de Colorado-PR, sendo os tratamentos utilização de inoculação, testemunha (sem nenhum tratamento) e uso da ureia (100 kg ha⁻¹) observaram a maior média de produtividade nas parcelas que receberam apenas inoculação. Estes resultados citados demonstram como a resposta do feijoeiro à adubação nitrogenada é complexa, e dependente de vários fatores, como a cultivar utilizada, característica do solo e clima. Sendo assim, pode-se inferir que há a necessidade da realização de estudos regionalizados para a definição da melhor estratégia de manejo da adubação nitrogenada.

São várias as hipóteses levantadas para a obtenção de altas produtividades do feijoeiro sem aplicação de N em cobertura, dentre elas destacam-se; eficiente relação simbiótica com bactérias fixadoras de N (ARAUJO *et al.*, 2008; MAIA *et al.*, 2012), mineralização de resíduos de culturas anteriores (ARF *et al.*, 2011; MAIA *et al.*, 2012), solos com elevada fertilidade (CAMPOS, 2009) e

genética da cultivar (SALGADO *et al.*, 2012). A aplicação de N incorporado na semente somado a estes fatores pode ter contribuído para a inexistência de diferença de produtividade em função dos tratamentos. Desta forma, pode-se afirmar que no presente estudo, o N não foi o nutriente limitante à produtividade.

Na Tabela 5 são apresentados os resultados das variáveis afetadas pelas épocas de aplicação de N. Observa-se que o NGRP apresentou o maior valor na aplicação aos 30 DAE, já o NGRP mais baixo foi observado na aplicação de N aos 15 DAE. O NLEGP apresentou a maior média na aplicação

aos 20 DAE, porém não diferiu da aplicação aos 30 DAE, os menores valores deste atributo ocorreram quando o N foi aplicado na SEM e aos 10 DAE.

O NGLEG e a ALBASE apresentaram comportamento similares, sendo seus maiores valores observados nas aplicações de N na SEM e aos 20 DAE, porém, estes diferiram apenas da aplicação aos 15 DAE, o qual obteve os menores valores. Esses valores discordam com os encontrados por Arf *et al.* (2011) em que não encontraram diferença para valores de NGRP, NLEGP e NGLEG quando da utilização de diferentes épocas de aplicação do N em cobertura no feijoeiro.

Tabela 5 - Valores médios das variáveis morfológicas e dos componentes de produtividade do feijoeiro comum em função das diferentes épocas de aplicação de nitrogênio

Table 5 - Mean values for morphological variables and yield components in the common bean for different periods of nitrogen application

Época de aplicação	NGRP	NLEGP	NGRLEG	ALBASE
SEM	60,63 Ab	15,04 c	4,10 a	13,41 a
10 DAE	57,04 Ab	14,72 c	3,89 ab	14,66 ab
20 DAE	56,59 B	15,16 bc	3,76 b	16,05 B
ISC 95	64,51 Ab	16,89 a	3,85 ab	13,8 ab
ISC 90	65,63 Ab	16,00 ab	4,06 a	13,33 a

Médias seguidas por diferentes letras na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a um nível de 5 % de probabilidade de erro. NGRP: número de grãos por planta; NLEGP: número de legumes por planta; NGRLEG: número de grãos por legume e ALBASE: altura da base do legume em relação ao solo.

Mean values followed by different letters in a column differ by Tukey test at 5% probability. NGRP: number of grains per plant; NLEGP: number of pods per plant; NGRLEG: number of seeds per pod, and ALBASE: height of pod base from the ground..

CONCLUSÕES

O feijoeiro comum com um ISC \geq 90% não apresenta resposta em produtividade de grãos pela aplicação de N em cobertura;

O monitoramento do ICF para o cálculo do ISC constitui-se como uma importante estratégia para maximizar o manejo da adubação nitrogenada na cultura e evitar aplicações desnecessárias de N em cobertura.

LITERATURA CIENTÍFICA CITADA

ALBUQUERQUE, H. C.; PEGORARO, R. F.; VIEIRA, N. M. B.; JESUS, I.; AMORIM, F.; KONDO, M. K. Capacidade nodulatória e características agrônomicas de feijoeiros comuns submetidos à adubação molíbdica parcelada e nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 214-221, 2012.

ARAÚJO, F. F.; CARMONA, F. G.; TIRITAN, C. S.; EDUARDO, J. Fixação biológica de N₂ no feijoeiro submetido a dosagens de inoculante e tratamento químico na semente comparado à adubação nitrogenada. **Acta scientiarum Agronomy**, v. 29, n. 4, p. 535-540, 2008.

ARF, M. V.; BUZETTI, S.; ARF, O.; KAPPES, C.; FERREIRA, J. P.; GITTI, D. C.; YAMAMOTO, C. J. T. Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em feijoeiro de inverno sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 430-438, 2011.

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**, v. 27, n. 1, p. 109-119, 2003.

- BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. Determinação da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado com auxílio do clorofilômetro portátil. **Ciência Rural**, v. 38, n. 7, p. 1843-1848, 2008.
- CABRAL, P. D. S.; SOARES, T. C. B.; LIMA, A. B. P.; SOARES, B. Y. J.; SILVA, J. A. Análise de trilha do rendimento de grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e seus componentes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 132-138, 2011.
- CAMPOS, D. S. Resposta espectral do feijoeiro a diferentes doses de nitrogênio. 2009. 185 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CARVALHO, M. A. C.; FURLANI JUNIOR, 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**, v. 27, n. 3, p. 445-450, 2003.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 2013. Disponível em: http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos. Acess em: 28 jan. 2014.
- CRUSCIOL, C. A. C.; SORATO, R. P.; SILVA, L. M.; LEMOS, L. B. Fontes e doses de nitrogênio para o feijoeiro em sucessão a gramíneas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1545-1552, 2007.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA: CNPS, 1997. 212 p.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FURTINI, I. V.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; FURTINI, A. E. Resposta diferencial de linhagens de feijoeiro ao nitrogênio. **Ciência Rural**, v. 36, n. 6, p. 1696-1700, 2006.
- LOBO, V. S. FILIPPI, M. C. C.; SILVA, G. B.; VENANCIO, W. L.; PRABHU, A. S. Relação entre o teor de clorofila nas folhas e a severidade de brusone nas panículas em arroz de terras altas. **Tropical Plant Pathology**, v. 37, n. 1, p. 83-87, 2012.
- MAIA, S. C. M. SORATO, P.; NASTARO, B.; FREITAS, L. B. The nitrogen sufficiency index underlying estimates of nitrogen fertilization requirements of common bean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 183-191, 2012.
- MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, p. 141-150, 2000.
- PELEGRIN, R.; MERCANTE F. M.; OTSUBO, I. M. N.; OTSUBO, A. K. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 219-226, 2009.
- SALGADO, F. H. M. SILVA, J.; OLIVEIRA, T. C.; BARROS, H. B.; PASSOS, N. G.; FIDELIS, R. R. Eficiência de genótipos de feijoeiro em resposta à adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 4, p. 368-374, 2012.
- SANT'ANA, E. V. P.; SANTOS, A. B.; SILVEIRA, P. M. Eficiência de uso de nitrogênio em cobertura pelo feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 458-462, 2011.
- SANTI, A. L. BASSO, C. J.; LAMEGO, F. P.; DELLA FLORA, L. P.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R. Épocas e parcelamentos da adubação nitrogenada aplicada em cobertura na cultura do feijoeiro, grupo comercial preto e carioca, em semeadura direta. **Ciência Rural**, v. 43, n. 5, 2013.
- SANTI, A. L. DUTRA, L. M. C.; MARTIN, T. N.; BONADIMAN, R.; BELLÉ, G. L.; DELLA FLORA, L. P.; JAUER, A. Adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro em plantio convencional. **Ciência Rural**, v.36, p.1079-1085, 2006.
- SANTOS, A. B.; FAGERIA, N. K. Manejo do nitrogênio para eficiência de uso por cultivares de feijoeiro em várzea tropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 9, p. 1237-1248, 2007.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. D.; OLIVEIRA, V. D.; OLIVEIRA, J. D.; COELHO, M. R.; CUNHA, T. D. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Embrapa, 2013. 353 p.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Núcleo Regional Sul. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 394 p.

SORATTO, R. P.; CARVALHO, M. A. C.; ARF, O. Teor de clorofila e produtividade do feijoeiro em razão da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 9, p. 895-901, 2004.

SOUZA, E. F. C.; SORATTO, R. P.; PAGANI, F. A. Aplicação de nitrogênio e inoculação com rizóbio em feijoeiro cultivado após milho consorciado com braquiária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 4, p. 370-377, 2011.