

Índice relativo de clorofila para a otimização da adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro em diferentes sistemas de produção

Ana Paula Silva¹, Maickon Alexandri Rezende Paulino¹, Lucila Silva Molina¹,
Alan Mario Zuffo², Jorge González Aguilera¹, Fábio Steiner^{1*}

¹ Curso de Agronomia, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Cassilândia (MS).

² Curso de Agronomia, Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Balsas (MA).

* E-mail: steiner@uems.br

Resumo: A necessidade de nitrogênio (N) da cultura do feijão pode ser estimada mediante o índice relativo de clorofila (IRC). Este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência do clorofilômetro portátil na predição dos teores foliares de N em diferentes estádios fenológicos do feijão (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Pérola), bem como sua relação com a produtividade da cultura em diferentes níveis e formas de suprimento de N. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por quatro tratamentos de inoculação [i] controle (sem inoculação); ii) inoculação com *Rhizobium tropici*; iii) inoculação com *Azospirillum brasilense*; e, iv) co-inoculação com *R. tropici* e *A. brasilense* e pela aplicação de cinco doses de N em cobertura (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹). Os resultados mostraram que o IRC e o teor foliar de N aumentaram progressivamente com o aumento das doses de adubação nitrogenada em cobertura. A aplicação de 70 a 110 kg ha⁻¹ de N em cobertura resultou na maior produtividade dos grãos. As leituras do IRC podem substituir, com adequada precisão, as determinações tradicionais do teor foliar de N para a cultivar Pérola, correlacionando-se positivamente com a produtividade de grãos. O valor de 0,95 do índice de suficiência de nitrogênio (ISN) pode ser utilizado como critério para otimizar o manejo e a recomendação da aplicação de N em cobertura na cultura do feijão.

Palavras-Chave: Fixação biológica de nitrogênio, *Phaseolus vulgaris* L., rizobactérias, clorofilômetro.

Relative chlorophyll index for the optimization of nitrogen fertilization in the common bean crop in different production systems

Abstract: The nitrogen (N) requirement of the common bean crop can be estimated using the relative chlorophyll index (RCI). The objective of this study was to evaluate the efficiency of the portable chlorophyll meter in predicting foliar N contents at different phenological stages of common bean (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Pérola), as well as its relationship with crop productivity at different levels and forms of N supply. The experimental design was randomized blocks, in a split-plot scheme, with four replications. The treatments consisted of four inoculation treatments [i] control (no inoculation); ii) inoculation with *Rhizobium tropici*; iii) inoculation with *Azospirillum brasilense*; and, iv) co-inoculation with *R. tropici* and *A. brasilense* and the application of five doses of N in topdressing (0, 30, 60, 90 and 120 kg ha⁻¹). The results showed that the RCI and the leaf N content increased progressively with the increase in nitrogen fertilization rates in topdressing. Topdressing application of 70 to 110 kg ha⁻¹ of N resulted in higher grain yield. The RCI readings can replace, with adequate precision, the traditional determinations of leaf N content for the Pérola cultivar, positively correlating with grain yield. The nitrogen sufficiency index (NSI) of 0.95 can be used as a criterion for optimizing management and recommending the application of N in cover crops in bean crops.

Keywords: Biological nitrogen fixation, *Phaseolus vulgaris* L., rhizobacteria, chlorophyll meter.

Introdução

O Brasil é o terceiro maior produtor de feijão do mundo, superado apenas por Myanmar e Índia (CARNEIRO *et al.*, 2014). No entanto, apesar do país figurar entre os maiores produtores de feijão do mundo, o Brasil possui produtividade média relativamente baixa. Na safra 2022, a produção nacional de feijão alcançou 3,10 milhões de toneladas, ocupando uma área de 3,08 milhões de hectares (CONAB, 2022), o que representa produtividade média de 1.006 kg ha^{-1} , considerada baixa, uma vez que a cultura tem potencial para produtividades acima de 3.500 kg ha^{-1} (CARNEIRO *et al.*, 2014). Um dos fatores dessa baixa produtividade de grãos é que a maior parte do feijão produzido no Brasil, cerca de 60 % da produção nacional, é proveniente de pequenas propriedades (agricultura familiar) que fazem pouca utilização de insumos agrícolas e tecnologia.

O adequado crescimento e desenvolvimento das plantas de feijão e a obtenção de altas produtividades dependem do emprego de tecnologias apropriadas, com destaque para o adequado suprimento de nitrogênio (N). O N é o nutriente requerido em maiores quantidades pela cultura do feijão e, embora o feijoeiro tenha capacidade de suprir parte da sua demanda de N, cerca de 20 a 40%, pela associação com bactérias do gênero *Rhizobium*, a quantidade fornecida por esse processo normalmente é insuficiente (FANCELLI e DOURADO-NETO, 2007). Neste contexto, a adubação nitrogenada é considerada uma das principais práticas agronômicas para a obtenção de altos níveis de produtividade de grãos da cultura do feijão (MAIA *et al.*, 2013; STEINER *et al.*, 2019). No entanto, por ser um nutriente que possui grande dinâmica no sistema solo–planta–atmosfera, devido à variabilidade dos processos de mineralização, lixiviação, volatilização, desnitrificação e absorção pela cultura, o adequado manejo da adubação nitrogenada (época de aplicação, modo de aplicação e a quantidade a ser aplicada), é tido como um dos mais difíceis (MAIA *et al.*, 2012).

Técnicas de manejo que possibilitem a maximização de absorção de N pela cultura do feijão são de extrema importância, em razão do alto custo dos fertilizantes nitrogenados e das perdas de N no sistema solo–planta, que podem representar prejuízos aos produtores e riscos ao ambiente pela contaminação de mananciais de água (HUNGRIA *et al.*, 2007; MAIA *et al.*, 2012). Nesse sentido, a estimativa da necessidade de N pelo feijoeiro mediante a leitura indireta de clorofila, pelo clorofilômetro portátil, pode ser alternativa viável para o correto diagnóstico do estado nutricional de N das plantas (CARVALHO *et al.*, 2012; SEGATTO *et al.*, 2017).

O N é componente estrutural das moléculas de clorofila, sendo assim a deficiência de

N é imediatamente refletida em baixas concentrações de clorofilas as quais são registradas por baixos valores das leituras do clorofilômetro. O clorofilômetro é um aparelho portátil que permite a obtenção de um índice relativo de clorofila (IRC) na folha, com base na intensidade da coloração verde das folhas, o qual se correlaciona com o teor de clorofila e de N na folha (GODOY *et al.*, 2008; SAMBORSKI *et al.*, 2009; CARVALHO *et al.*, 2012). Ao contrário da maioria dos métodos disponíveis para a avaliação do estado nutricional de N das plantas que são onerosos, destrutivos e demorados, o uso do clorofilômetro permite uma avaliação rápida, prática, não destrutiva e de baixo custo (BARBOSA FILHO *et al.*, 2008; ROSOLEM e MELLIS, 2010; SEGATTO *et al.*, 2017). Assim, a determinação do IRC, por meio do clorofilômetro portátil, pode ser alternativa utilizada para estimar a necessidade de adubação nitrogenada de cobertura em diversos estádios da cultura (SAMBORSKI *et al.*, 2009).

O IRC, medido pelo clorofilômetro, pode ser um indicativo da aplicação de N, desde que se conheça o nível crítico abaixo do qual a planta estaria deficiente. No entanto, além do teor de N na planta, outros fatores podem afetar os valores das leituras do IRC, como o estágio da cultura, tipo e quantidade de resíduo da cultura anterior, anos de semeadura direta, condições edafoclimáticas, resposta à adubação nitrogenada nos anos anteriores e outros fatores, impossibilitando estabelecer um valor fixo de nível crítico (BULLOCK e ANDERSON, 1998; ROSOLEM e MELLIS, 2010). Neste sentido, para viabilizar a utilização do clorofilômetro, Schepers *et al.* (1992) propuseram para a cultura do milho, a instalação de uma área de referência na lavoura adubada com dose não limitante de N. A dose a ser aplicada na área de referência deve ser alta, maior que a máxima recomendada para a cultura, para permitir o desenvolvimento da concentração máxima de clorofila nas folhas (MURDOCK *et al.*, 1997), devendo estar entre 1,8 e 2,0 vezes a dose recomendada para a cultura (HUSSAIN *et al.*, 2000). Com essa premissa foi sugerido usar o índice de suficiência de N (ISN), obtido pela relação entre a medida do clorofilômetro (IRC) nas folhas das plantas da lavoura e nas folhas das plantas da área de referência (sem deficiência de N).

De acordo com Godoy *et al.* (2008), a cultura avaliada somente deve ser adubada com N quando o ISN for menor do que 0,95, praticando a chamada “adubação quando necessária” com o objetivo de otimizar a adubação nitrogenada em cobertura. No entanto, Barbosa Filho *et al.* (2008) verificaram que o valor de 0,90 do ISN foi o critério mais adequado para recomendar a aplicação de N em cobertura na cultura do feijoeiro irrigado. Portanto, ainda há a necessidade de avaliar a eficácia do clorofilômetro na predição dos teores de N foliar em função das diferentes tecnologias de inoculação e/ou co-inoculação com *Rhizobium tropici* e

Azospirillum brasilense que são utilizadas no cultivo do feijoeiro, pois a menor ou maior disponibilidade de N no solo e/ou fixação biológica de N pode interferir nas leituras do IRC e, consequentemente, na predição do manejo adequado da adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro.

Este trabalho foi conduzido com o objetivo avaliar a eficiência do clorofilômetro portátil na predição dos teores de N foliar em diferentes estádios fenológicos da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Pérola), bem como sua relação com a produtividade da cultura em diferentes níveis e formas de suprimento de N.

Material e Métodos

O experimento foi realizado na área experimental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Unidade Universitária de Cassilândia – MS (51°48' de longitude W, 19°05' de latitude S e altitude média de 470 m), durante a safra de feijão “das águas”, no período de Novembro de 2015 a Março de 2016. O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo tropical chuvoso (Aw), com verão chuvoso e inverno seco (precipitação no inverno menor que 60 mm), com precipitação e temperatura média anual de 1.520 mm e 24,1 °C, respectivamente.

O solo da área experimental foi classificado como Neossolo Quartzarênico órtico (NQo), profundo, bem drenado e de textura arenosa (120 g kg⁻¹ de argila, 50 g kg⁻¹ de silte e 830 g kg⁻¹ de areia). Antes do início do experimento, área experimental vinha sendo ocupada com pastagem, sem histórico de uso agrícola. Antes da implantação do experimento, foram coletadas amostras de solo na camada de 0,0–0,20 m de profundidade, os principais resultado da análise química do solo é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades químicas do solo na camada de 0,0–0,20 m de profundidade antes da implantação do experimento.

pH	P _{Resina}	MO	H + Al	Al	K	Ca	Mg	CTC	V
CaCl ₂	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³						%
5,2	2,0	14,0	2,2	0,0	0,2	1,0	0,7	4,1	46
S-SO ₄	Micronutrientes								
	B	Cu		Zn	Fe		Mn		
	mg dm ⁻³								
2,0	0,08	0,60		0,30	8,00		5,70		

Com a finalidade de obter diferentes níveis de nutrição de N das plantas de feijão e

verificar a eficácia do clorofilômetro portátil na predição dos teores de N foliar, neste estudo foram avaliadas diferentes tecnologias de (co)inoculação do feijoeiro com *R. tropici* e *A. brasilense* e doses de adubação nitrogenada em cobertura.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas com uma área de 62,5 m² (5,0 x 12,5 m), foram constituídas por quatro tratamentos de inoculação: 1) controle (sem inoculação); 2) inoculação das sementes com *Rhizobium tropici*; 3) inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*; e, 4) coinoculação das sementes com *R. tropici* e *A. brasilense*. As subparcelas tiveram uma área de 12,5 m² (5,0 x 2,5 m), e foram constituídas da aplicação de cinco doses de N em cobertura (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹), divididas em duas aplicações aos 25 e 40 dias após a emergência das plantas (DAE).

Cada unidade experimental foi constituída de 5,0 m de comprimento por 2,5 m de largura (5 linhas de semeadura de feijão com espaçamento entrelinhas de 0,50 m). Para as avaliações foram consideradas as três linhas centrais desprezando-se 0,5 m na extremidade de cada fileira de plantas e duas fileiras de cada lado da unidade experimental [totalizando uma área útil de 6,0 m² (4,0 x 1,5 m)].

Em Outubro de 2015, foi realizada a correção da acidez do solo com a aplicação de 1,4 Mg ha⁻¹ de calcário (PRNT de 72 %), visando elevar a saturação por bases do solo a 70 %, conforme as recomendações de Sousa e Lobato (2004). Em seguida, o preparo de solo foi realizado mediante uma gradagem pesada e duas gradagens leve, deixando o terreno nivelado, apto ao cultivo e livre de plantas daninhas.

A cultura do feijão cv. Pérola foi semeada mecanicamente no espaçamento entrelinhas de 0,50 m utilizando a quantidade de sementes suficientes para obtenção de densidade de 12 a 14 plantas por metro. A adubação de base foi realizada de acordo com as recomendações de Sousa e Lobato (2004), com 600 kg ha⁻¹ da fórmula 04-14-08 no sulco de semeadura. As doses de N em cobertura (30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹) foram aplicadas nas subparcelas em duas parcelas iguais, aos 25 DAE e 40 DAE. O cultivar de feijão semeado apresenta grão tipo Carioca, peso médio de 100 sementes de 23-25 g, hábito de crescimento indeterminado II/III, porte semi-ereto a prostrado e ciclo normal (RAMALHO; ABREU, 2006).

A inoculação das sementes com *Rhizobium tropici* foi realizada com o inoculante comercial turfoso Nitro1000® FEIJÃO com a estirpe Semia 4080, na dose de 8 g kg⁻¹ de semente. Para a inoculação com *Azospirillum brasilense* foi utilizado o inoculante comercial líquido Nitro1000® GRAMÍNEAS que contém as estirpes AbV5 e AbV6, na dose de 8 mL

kg⁻¹ de sementes. A coinoculação foi realizada misturando as duas rizobactérias, nas mesmas proporções utilizadas quando inoculadas isoladamente, ou seja, 8 g de inoculante turfoso contendo *R. tropici* + 8 mL de inoculante líquido contendo *A. brasilense* para cada quilograma de semente de feijão. A inoculação do inoculante turfoso foi realizada misturando o inoculante com solução açucarada a 10 % na proporção de 250 mL da solução para 500 g de inoculante. A solução açucarada tem a finalidade de contribuir para maior adesão do inoculante a superfície da semente (STRALIOTTO, 2002).

O controle de plantas daninhas durante o experimento foi realizado com duas capinas manuais aos 30 e 48 DAE. Para o controle de pragas foram realizadas aplicações dos inseticidas deltametrina + triazofós (0,4 + 140 g i.a. ha⁻¹). Para o controle de doenças foram utilizados os fungicidas propiconazol + trifloxitrobina (75 + 75 g i.a. ha⁻¹), mancozeb (1.600 g i.a. ha⁻¹) e azoxistrobina (60 g i.a. ha⁻¹).

O índice relativo de clorofila (IRC) foi determinado utilizando um clorofilômetro portátil, modelo SPAD-502 (*Soil and Plant Analysis Development*) da Minolta Co., Osaka, Japão (1989). Antes de realizar as leituras, o aparelho foi calibrado com o verificador de leitura (“*reading checker*”) de acordo com as recomendações técnicas do equipamento. As determinações do IRC foram realizadas no período da manhã sombreando o aparelho com o corpo para evitar interferência da luz solar. As leituras foram iniciadas aos 15 DAE e, a partir desta data, foram tomadas, a cada 10 dias, amostrando-se dez plantas por unidade experimental, sendo que em cada planta foram realizadas duas leituras por trifólio da penúltima folha trifoliada completamente desenvolvida, somando assim, 20 leituras por unidade experimental. Foi tomado o cuidado de não amostrar plantas não sadias (com ataque de pragas e ocorrência de doenças) e atípicas (fora de espaçamento).

O cálculo do índice de suficiência de nitrogênio (ISN) foi realizado através da relação das medidas dos valores das leituras do clorofilômetro (IRC) em cada unidade experimental (LA) e na parcela referência (LR) pela Equação 1.

$$\text{ISN (\%)} = (\text{LA} / \text{LR}) \times 100 \dots\dots\dots (\text{Eq. 1})$$

Neste estudo, foi considerado como área de referência as subparcelas do tratamento controle que receberam a aplicação de 140 kg ha⁻¹ de N, sendo aplicados 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura, 60 kg ha⁻¹ aos 25 DAE e 60 kg ha⁻¹ aos 40 DAE.

Após a determinação do IRC, as folhas amostradas foram imediatamente coletadas,

levadas para o laboratório, submetidas à lavagem com água destilada, acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa para secagem e, posteriormente, moídas para a análise do teor de N foliar, conforme metodologia descrita por Malavolta *et al.* (1997). Com estes resultados foi possível verificar a influência da inoculação e da adubação nitrogenada no teor de N e estabelecer as correlações entre o teor de N foliar e os índices relativos de clorofila (leituras do clorofilômetro).

A colheita do feijão foi realizada no dia 03/03/2016, totalizando um ciclo de 96 dias após a emergência das plantas. Para a determinação da produtividade de grãos do feijoeiro, as plantas contidas em duas linhas de 4,0 m de comprimento, na área útil de cada unidade experimental, foram arrancadas manualmente e colocadas em sacos plásticos, previamente identificados e armazenados na sombra para secagem, e posteriormente foram trilhadas manualmente. Após esta operação, os grãos debulhados das vagens foram pesados, e a produção estimada para kg ha^{-1} , corrigindo-se para 13 % de umidade (base úmida).

A produtividade relativa foi calculada definindo-se a porcentagem de aumento da média de produtividade de grãos em cada tratamento de inoculação e dose de N em relação à média do controle (sem aplicação de N).

A eficiência de utilização do nitrogênio aplicado foi determinada mediante a relação kg ha^{-1} da produtividade incrementada / kg ha^{-1} de N aplicado em cada tratamento, em relação à testemunha (sem aplicação de N).

Os dados foram submetidos à análise de variância seguindo o esquema de parcelas subdivididas, aplicando-se o teste F em nível de 5 % de probabilidade. As médias do fator inoculação das sementes com rizobactérias foram comparadas pelo teste t (LSD), a 5 % de probabilidade. Os dados do fator doses de N em cobertura foram submetidos a análises de regressão, e, as equações significativas ($p \leq 0,05$) com os maiores coeficientes de determinação (R^2) foram ajustadas. Todas as análises foram realizadas utilizando-se o software estatístico Sisvar versão 5.6 para Windows (Software de Análises Estatísticas, UFPA, Lavras, MG, BRA) (FERREIRA, 2014).

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos para índice relativo de clorofila (IRC) e teor foliar de N nas plantas de feijão em função da inoculação das sementes com *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense* de forma isolada e combinada são mostrados na Tabela 2. A inoculação com *R. tropici* e *A. brasilense* de forma isolada ou combinada influenciou significativamente ($p <$

0,05) o IRC apenas na avaliação aos 55 DAE e 65 DAE (Tabela 2). O maior IRC foi obtido com a inoculação das sementes com *R. tropici* e *A. Brasilense* de forma isolada e combinada, enquanto que os menores valores do IRC foram obtidos no tratamento controle (sem inoculação).

A fixação biológica de N atmosférico (N_2) é um processo altamente energético, podendo as bactérias nodulares utilizar cerca de 30 % dos fotoassimilados produzidos pela planta hospedeira (SHUBERT; RYLE, 1980). Assim qualquer fator que interfira na produção de assimilados da planta, por conseguinte interfere também na fixação simbiótica do N_2 . Da mesma forma, se as condições forem adversas aos microorganismos fixadores de N, a nutrição nitrogenada da cultura pode ser prejudicada.

Tabela 2. Efeito da (co)inoculação das sementes com rizobactérias no índice relativo de clorofila (IRC) durante os diferentes estádios de desenvolvimento das plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Pérola) cultivado em solo arenoso do Cerrado

Inoculação das sementes	Época de avaliação					
	15 DAE	25 DAE	35 DAE	45 DAE	55 DAE	65 DAE
Índice relativo de clorofila (IRC)						
Controle	32,7 a	36,1 a	40,0 a	38,1 a	42,5 b	39,8 b
<i>Rhizobium tropici</i>	34,1 a	40,7 a	43,4 a	40,6 a	44,7 ab	44,8 ab
<i>Azospirillum brasilense</i>	39,5 a	39,5 a	41,7 a	39,8 a	45,0 ab	42,5 ab
<i>R. tropici</i> + <i>A. brasilense</i>	34,8 a	40,6 a	44,2 a	40,9 a	46,7 a	45,5 a
CV (%)	10,81	11,51	9,34	8,73	9,84	10,43
Teor foliar de N ($g\ kg^{-1}$)						
Controle	44,1 a	40,2 a	45,1 a	37,5 b	47,8 a	44,8 b
<i>Rhizobium tropici</i>	45,0 a	42,1 a	47,8 a	41,8 a	50,8 a	49,5a
<i>Azospirillum brasilense</i>	44,2 a	40,4 a	45,4 a	40,0 ab	48,1 a	47,0 ab
<i>R. tropici</i> + <i>A. brasilense</i>	45,3 a	41,1 a	50,0 a	42,9 a	50,2 a	49,8 a
CV (%)	9,37	11,61	9,79	10,47	7,72	8,43

Média seguida por letra distinta nas colunas são diferentes pelo teste t (LSD) ao nível de 5% de probabilidade.

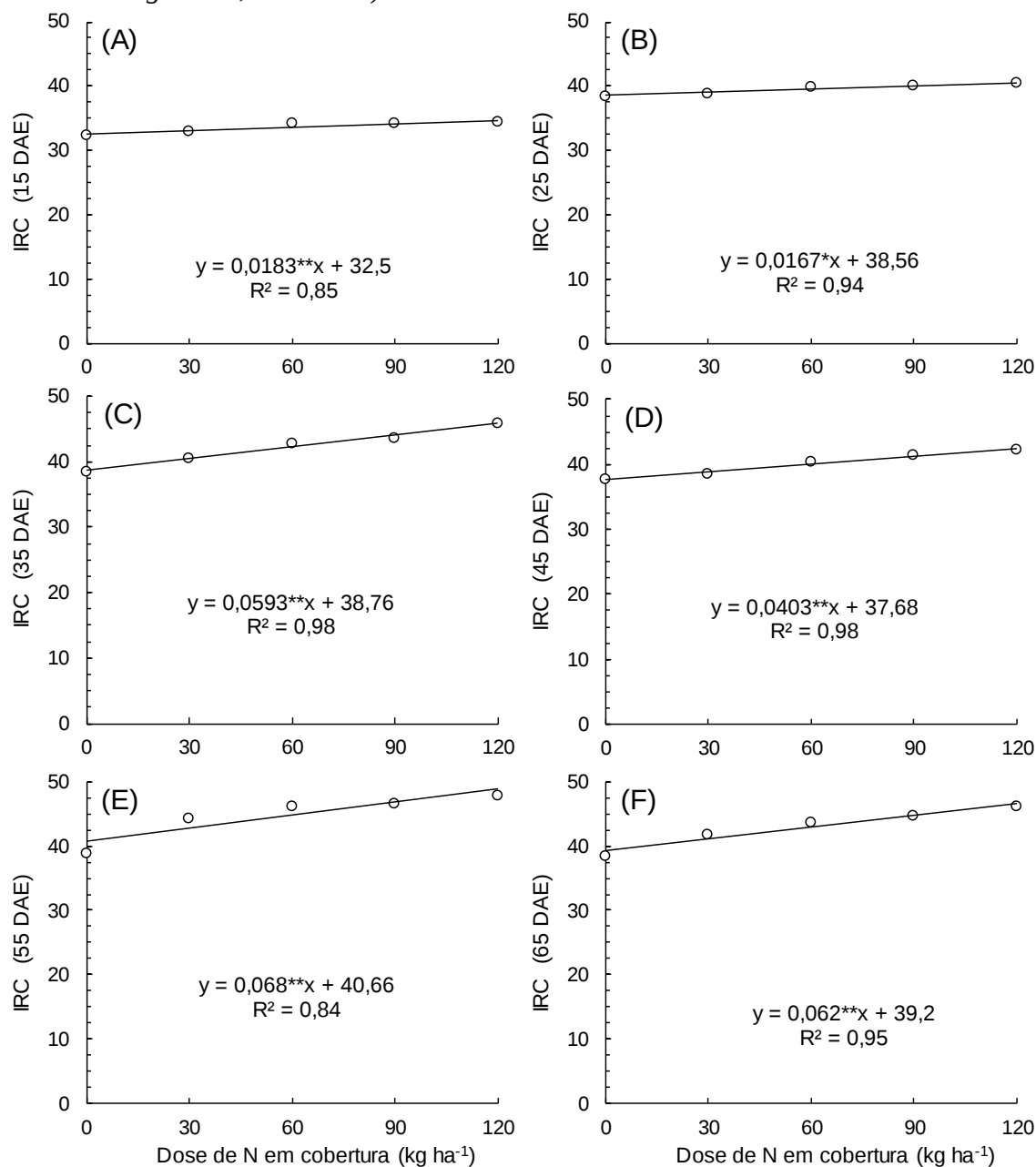
A inoculação com *R. tropici* e *A. brasilense* de forma isolada ou combinada não resultou em efeito significativo ($p > 0,05$) no teor de N nas folhas de feijão aos 15 DAE, 25 DAE, 35 DAE e 55 DAE (Tabela 2). Resultados semelhantes foram reportados por Steiner *et al.* (2018), os quais não observaram efeito significativo da co-inoculação de *R. tropici* e *A. brasilense* nos teores de N nas folhas feijão.

A inoculação com *R. tropici* e *A. brasilense* de forma isolada ou combinada afetou significativamente ($P < 0,05$) o teor de N nas folhas de feijão aos 45 DAE e 65 DAE (Tabela 2). O maior teor foliar de N foi obtido com a co-inoculação das sementes com *R. tropici* e *A. brasilense* de forma isolada e combinada, enquanto que os menores valores foram obtidos no

tratamento controle (sem inoculação). Este fato, pode estar relacionado aos benefícios oriundos da co-inoculação, por meio da associação da capacidade de fixação de N pelo *R. tropici* com a produção de hormônios vegetais pelas bactérias *A. brasilense*. Segundo Bárbaro *et al.* (2009) e Chibeba *et al.* (2015) consiste na utilização de combinações de diferentes microorganismos, aos quais produzem um efeito sinérgico, em que quando utilizados superam os resultados produtivos obtidos com os mesmos, quando em forma isolada. Cabe salientar, que entre os hormônios vegetais, o *A. brasilense* tem capacidade em produzir de auxinas, giberelinas, citocininas em condições “in vitro” (FUKAMI *et al.*, 2018).

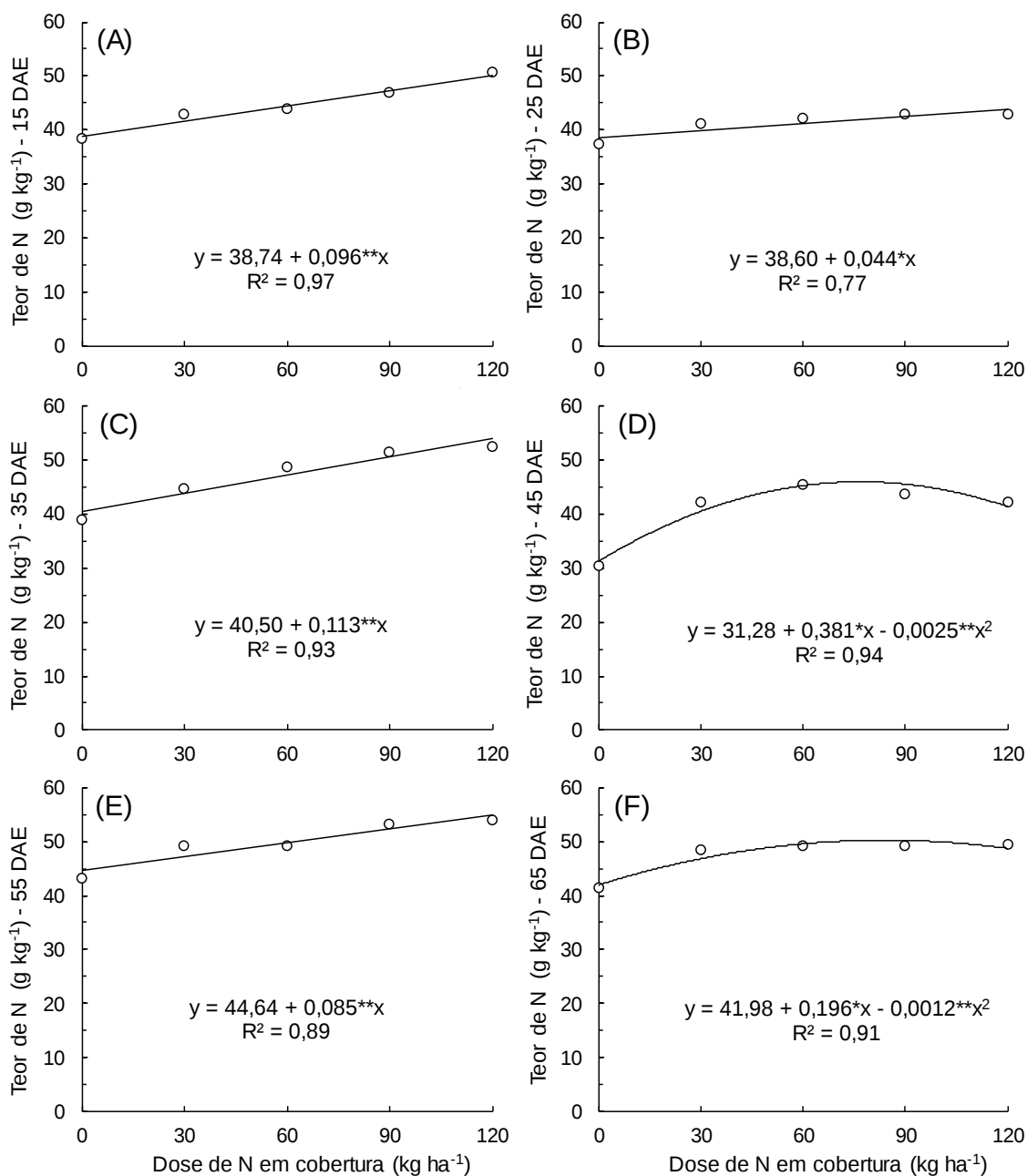
A aplicação de doses de N em cobertura resultou em efeito significativo ($p < 0,05$) no índice relativo de clorofila (IRC) em todas as épocas de avaliação (Figura 1). Houve aumento linear no IRC em função do aumento da dose de N em cobertura. Estes resultados foram devido ao fato de o N ser constituinte da molécula de clorofila (TAIZ *et al.*, 2017). Soratto *et al.* (2004), García *et al.* (2011) e Maia *et al.* (2012) também constataram aumento nos valores do IRC com o incremento nas doses de N aplicadas.

Figura 1. Efeito da adubação nitrogenada em cobertura no índice relativo de clorofila (IRC) nos diferentes estádios de desenvolvimento das plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Pérola) cultivado em solo arenoso do Cerrado.



A aplicação de N em cobertura resultou em efeitos significativos ($p < 0,05$) nos teores foliares de N em todas as épocas de avaliações realizadas (Figura 2). Os teores mais elevados de N nas folhas de feijão foram obtidos com a aplicação das doses mais elevadas de adubação nitrogenada.

Figura 2. Efeito da adubação nitrogenada em cobertura no teor foliar de nitrogênio nos diferentes estádios de desenvolvimento das plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Pérola) cultivado em solo arenoso do Cerrado.

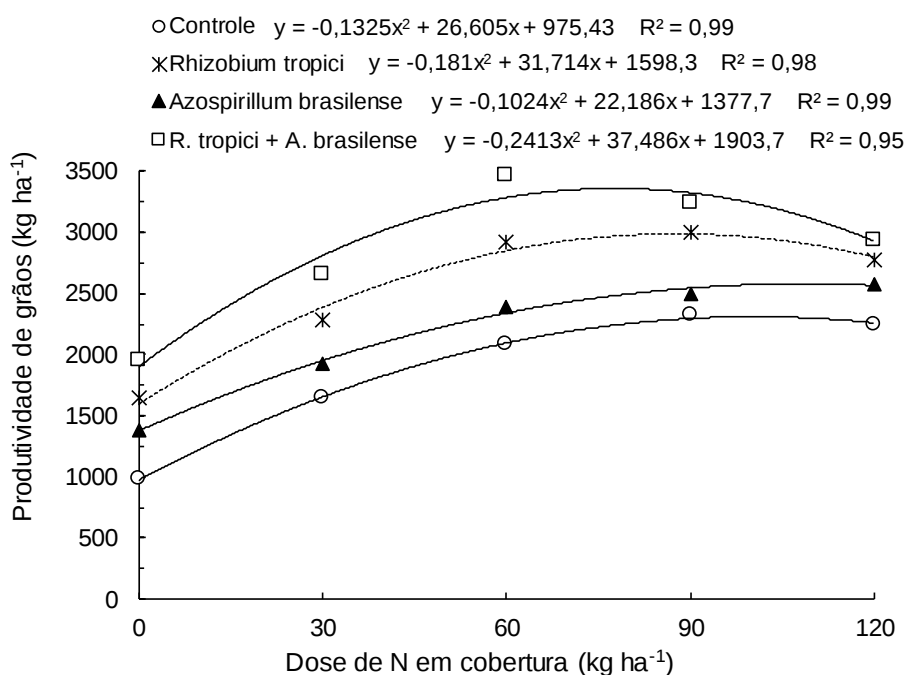


O maior teor de N obtidos nas maiores doses de adubação nitrogenada pode ser devido a melhoria no processo fotossintético das plantas de feijão. Tal inferência deve-se ao fato de o N ser um componente da estrutura da clorofila, de enzimas e proteínas. As clorofilas atuam na conversão da radiação luminosa em energia química, na forma de ATP (adenosina trifostato) e NADPH-H (nicotinamida adenina dinucleótideo fosfato reduzida) (TAIZ *et al.*, 2017), sendo assim, as clorofilas estão relacionadas com a eficiência fotossintética das plantas.

Portanto, os maiores teores de N nos tecidos foliares promoveram uma maior quantidade de clorofila, resultando em um aumento na taxa fotossintética na planta (STEINER *et al.* 2018), na qual, proporcionam ganhos na produção de fotoassimilados e consequentemente, maior produtividade de grãos (Figura 3).

A inoculação com *R. tropici* e *A. brasilense* de forma isolada ou combinada afetou significativamente ($P < 0,05$) a produtividade da cultura do feijão (Figura 3). A maior produtividade de grãos foi obtida com a co-inoculação de *R. tropici* e *A. brasilense* e com a inoculação de *R. tropici*, enquanto que os menores valores foram obtidos no tratamento controle (sem inoculação). A maior produtividade de feijão foi obtida com a aplicação de 70 a 110 kg ha⁻¹ de N em cobertura (Figura 3). Pelegrin *et al.* (2009) obtiveram a maior produtividade com a dose de 160 kg ha⁻¹ de N, chegando aos 795 kg ha⁻¹.

Figura 3. Efeito da (co)inoculação das sementes com rizobactérias e da adubação nitrogenada em cobertura na produtividade de grãos da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Pérola) cultivado em solo arenoso do Cerrado.



Os resultados obtidos para o incremento relativo da produção de grãos e para a eficiência de utilização do N em função da inoculação das sementes com *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense* de forma isolada e combinada e da aplicação de N em cobertura são mostrados na Figuras 4 e 5, respectivamente.

Figura 4. Efeito da (co)inoculação das sementes com rizobactérias e da adubação nitrogenada em cobertura no incremento relativo da produtividade de grãos da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Pérola) cultivado em solo arenoso do Cerrado. Valores representam a porcentagem de incremento em relação ao tratamento sem aplicação de N em cobertura.

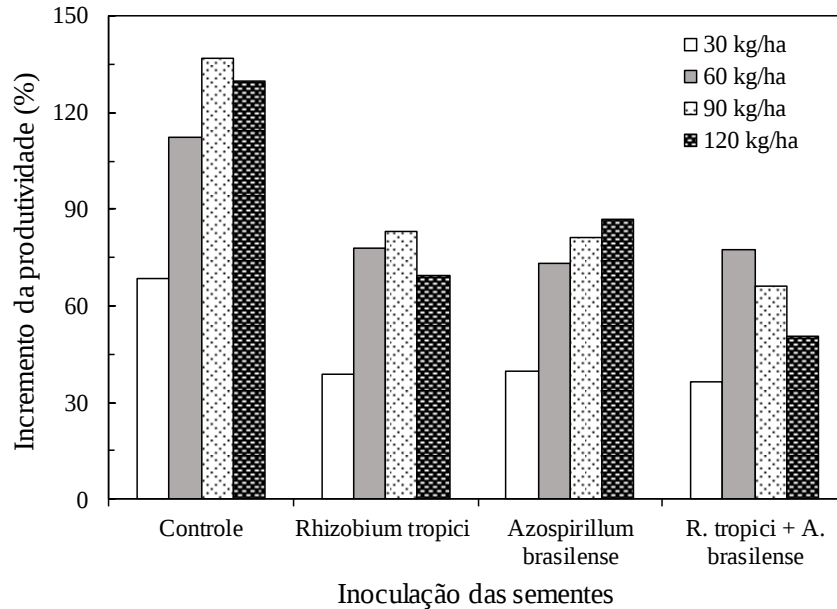
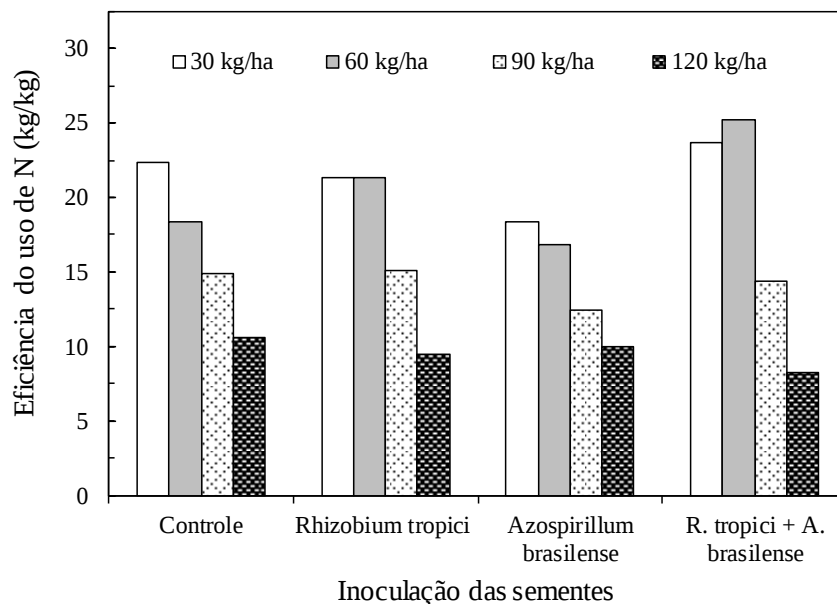


Figura 5. Efeito da (co)inoculação das sementes com rizobactérias e da adubação nitrogenada em cobertura na eficiência de utilização de N das plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Pérola) cultivado em solo arenoso do Cerrado. A eficiência de uso de N indica a quantidade de produção (em kg) incrementada para cada kg de N aplicado em cobertura.

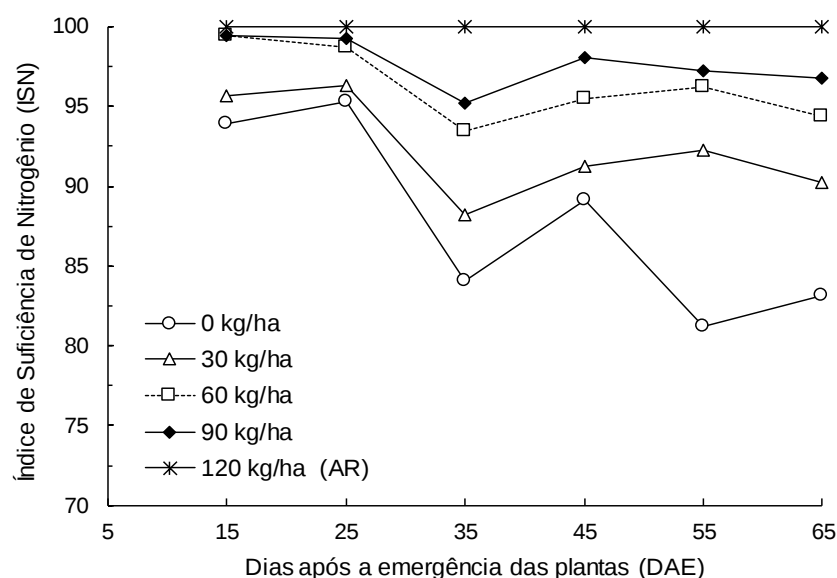


Os maiores valores para o incremento relativo no tratamento sem a inoculação das sementes indica que a produtividade de grãos do feijoeiro foi mais dependente da adubação nitrogenada quando comparado as plantas (co)inoculadas com *R. tropici* e *A. brasilense*.

(Figura 4). Por sua vez, o incremento da dose de N em cobertura resultou na menor eficiência de utilização do N pelas plantas de feijão (Figura 5).

Os resultados obtidos para o índice de suficiência de nitrogênio (ISN) em função da inoculação das sementes com *R. tropici* e *A. brasilense* de forma isolada e combinada e da aplicação de N em cobertura são mostrados na Figuras 6. Neste experimento, foi calculado o ISN considerando o valor do IRC nas plantas que receberam a maior dose de N (120 kg ha^{-1}) como valor de referência. O valor do ISN nas plantas que não foram adubadas com N foi menor que 95 % durante todo o ciclo, indicando a deficiência de N (Figura 6). As plantas que receberam a aplicação de 30 kg ha^{-1} apresentaram o ISN menor que 95 % somente a partir dos 25 DAE, permanecendo até a colheita. O ISN nas plantas adubadas com as doses de 60 e 90 kg ha^{-1} de N foi maior que 95 % praticamente durante todo o ciclo, exceto na dose 60 kg ha^{-1} aos 35 DAE e 65 DAE (Figura 6).

Figura 6. Índice de suficiência de nitrogênio (ISN) calculado pelo quociente entre o IRC de uma subparcela e o de outra subparcela que recebeu a maior dose de N em cobertura (referência), durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Pérola) cultivado em solo arenoso do Cerrado. O valor do IRC nas plantas que receberam a maior dose de N (120 kg ha^{-1}) foi considerado como valor de referência.



Em geral, estes resultados demonstram que para a otimização do manejo do N e obtenção de altos níveis de produtividade de grãos, a adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro somente deve ser realizada quando o índice de suficiência de nitrogênio (ISN) for menor do que 0,95. Estes resultados confirmam os reportados por Godoy *et al.* (2008).

Conclusões

O índice relativo de clorofila (IRC) e o teor de N nas folhas de feijão aumentaram progressivamente com o aumento da dose de adubação nitrogenada em cobertura.

A coinoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense* e a inoculação de *R. tropici* melhorou a produtividade de grãos do feijoeiro cultivado em solo arenoso do Cerrado.

A aplicação de 70 a 110 kg ha⁻¹ de N em cobertura resultou na maior produtividade de grãos da cultura do feijão.

O valor de 0,95 do índice de suficiência de nitrogênio (ISN) pode ser utilizado como critério para otimizar o manejo e a recomendação da aplicação de N em cobertura na cultura do feijão.

Referências

BÁRBARO, I.M.; MACHADO, P.C.; BÁRBARO-JUNIOR, L.S.; TICELLI, M.; MIGUEL, F.B.; SILVA, J.A.A. Produtividade da soja em resposta à inoculação padrão e co-inoculação. **Colloquium Agrariae**, v. 5, n. 1, p. 1-7, 2009.

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. 5, p. 1843-1848, 2008.

BULLOCK, D.G.; ANDERSON, D.S. Evaluation of the Minolta SPAD - 502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. **Journal of Plant Nutrition**, v. 21, n. 4, p.741-755, 1998.

CARNEIRO, J. E.; PAULA JUNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio a colheita**. Viçosa: UFV, 2014. 384p.

CARVALHO, M.A.F.; SILVEIRA, P.M.; SANTOS, A.B. **Utilização do clorofilômetro para racionalização da adubação nitrogenada nas culturas do arroz e do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2012. 14p.

CHIBEBA, A. M.; GUIMARÃES, M. F.; BRITO, O. R.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Co-inoculation of soybean with *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* promotes early nodulation. **American Journal of Plant Science**, v. 6, p. 1641-1649, 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos**, oitavo levantamento, outubro 2022. Brasília, DF: Conab, 2022. 36 p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de feijão**. 2. ed. Piracicaba: Livro Ceres, 2007. 386 p.

FERREIRA, D. F. **Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons**. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FUKAMI, J.; CEREZINI, P.; HUNGRIA, M. Azospirillum: Benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **AMB Express**, v. 8, n. 1, p. 1-12, 2018.

GARCÍA, M. L.; MEDRANO, E.; SÁNCHEZ-GUERRERO, M. C.; LORENZO, P. Climatic effects of two cooling systems in greenhouses in the Mediterranean area: external mobile shading and fog system. **Biosystems Engineering**, v. 108, n. 4, p. 133-143, 2011.

GODOY, L.J.G.; SANTOS, T.S.; VILLAS BÔAS, R.L.; JÚNIOR, J.B.L. Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em nitrogênio durante o ciclo de cafeeiro fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 217-226, 2008.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 80p. (Documentos, 283)

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**, v. 92, n. 5, p. 875-879, 2000.

MAIA, S.C.M.; SORATTO, R.P.; BIAZOTTO, F.O.; ALMEIDA, A.Q. Estimativa da necessidade de nitrogênio em cobertura no feijoeiro IAC Alvorada com clorofilômetro portátil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 2229-2238, 2013.

MAIA, S.C.M.; SORATTO, R.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.

MALAVOLTA, E.A.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 201p.

MURDOCK, L.; JONES, S.; BOWLEY, C.; NEEDHAM, P.; JAMES, J.; HOWE, P. **Using a chlorophyll meter to make nitrogen recommendations on wheat**. Lexington: Cooperative Extension Service, University of Kentucky, 1997. 4p.

PELEGRIN, R.; MERCANTE, F. M.; OTSUBO, I. M. N.; OTSUBO, A. A. 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.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Cultivares. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. L.; BORÉM, A. (Ed.) **Feijão**. 2. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006. p. 415-436.

RODRIGUEZ, H.; GONZALEZ, T.; GOIRE, I.; BASHAN, Y. Gluconic acid production and phosphate solubilization by the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* spp. **Naturwissenschaften**, v. 91, n. 4, p. 552-555, 2004.

ROSOLEM, C.A.; MELLIS, V. Monitoring nitrogen nutrition in cotton. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1601-1607, 2010.

SAMBORSKI, S.M.; TREMBLAY, N.; FALLON, E. Strategies to make use of plant sensors-based diagnostic information for nitrogen recommendations. **Agronomy Journal**, v. 101, n.

8, p. 800-816, 2009.

SCHEPERS, J.S.; FRANCIS, D.D.; VIGIL, M.; BELOW, F.E. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter reading. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 23, n. 5, p. 2173-2187, 1992.

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. 6, p. 895-901, 2004.

SHUBERT, K.; RYLE, G. The energy requirements of nodulated legumes. In: SUMMERFIELD, R.S.; BUNTING, A. H. (Eds.). **Advances in legume Science**. Kew: Royal Botanic Gardens, 1980. p. 85.

SEGATTO, C.; CONTE, C.; LAJÚS, C. R.; LUZ, G. L. Relação da leitura do clorofilômetro com o rendimento da cultura do milho em diferentes níveis de suprimento de nitrogênio. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n. 2, p. 253-259, 2017.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

STEINER, F., FERREIRA, H. C. P.; ZUFFO, A. M. Can co-inoculation of *Rhizobium tropici* and *Azospirillum brasilense* increase common bean nodulation and grain yield? **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 81-98, 2019.

STEINER, F.; ALAN, M. Z.; BUSCH, A.; SANTOS, D. M. S. Silicate fertilization potentiates the nodule formation and symbiotic nitrogen fixation in soybean. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 3, p. 212-221, 2018.

STRALIOTTO, R.; TEIXEIRA, M.G.; MERCANTE, F.M. **Cultivo do feijoeiro comum: fixação biológica de nitrogênio**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. (Sistemas de Produção, 2).

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.