

RESPOSTA DO FEIJOEIRO DE OUTONO-INVERNO A FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA

RESPONSE OF DRY BEANS TO SOURCE AND RATE OF N APPLICATION TOPDRESSING

Tatiely Gomes BERNARDES¹; Pedro Marques da SILVEIRA²;
Marcos Antônio Machado MESQUITA¹; Paulo Cesar Ribeiro da CUNHA¹

1. Doutorandos em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, Brasil. tatielygb@gmail.com;

2. Pesquisador, Doutor, Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, Brasil.

RESUMO: O estudo teve o objetivo de avaliar o efeito de fontes e doses de nitrogênio (N), em cobertura, na nutrição, desenvolvimento e produtividade do feijoeiro irrigado, cultivado no outono-inverno, no Cerrado. O experimento foi conduzido na Embrapa Arroz e Feijão, em um Latossolo Vermelho distrófico, de textura argilosa. Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, com três fontes nitrogenadas, uréia, uréia + NBPT e N liberação gradual, e quatro doses de N em cobertura 0; 50; 100 e 150 kg ha⁻¹, combinados em esquema fatorial 3 x 4, com quatro repetições. Foram avaliados a massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), índice de área foliar, teor de N total nas folhas, N acumulado na parte aérea, índice relativo de clorofila, estande final, componentes de produção e rendimento de grãos do feijoeiro. A utilização de uréia na dose de 150 kg ha⁻¹ de N resultou em um maior índice relativo de clorofila nas folhas do feijoeiro. A produtividade máxima estimada, de 2.876 kg ha⁻¹, foi obtida com a dose de 133,6 kg ha⁻¹ de N. O teor de N total nas folhas, o acúmulo de N na parte aérea, a MSPA, o índice de área foliar e o índice relativo de clorofila no feijoeiro correlacionaram-se positivamente com a produtividade. As fontes N de liberação gradual, assim como a uréia com inibidor de urease não proporcionaram aumentos no rendimento de grãos, em comparação com a uréia comum.

PALAVRAS-CHAVE: *Phaseolus vulgaris* L. Inibidor de urease. SPAD. Área foliar. Adubação nitrogenada.

INTRODUÇÃO

Os sistemas agrícolas dependem de insumos nitrogenados, inorgânicos ou orgânicos, para sustentar a produtividade das culturas. No entanto, o nitrogênio (N) é um elemento altamente móvel e dinâmico, o que faz do seu uso e gestão eficiente uma tarefa desafiadora, já que podem ocorrer significativas perdas deste nutriente por vários processos como volatilização, lixiviação e desnitrificação no sistema solo-planta (SORATTO et al. 2005).

O N é o nutriente absorvido em maior quantidade pelo feijoeiro, tendo influência positiva e significativa na produtividade. Como fonte nitrogenada, a uréia, CO(NH₂)₂, é o fertilizante mais usado em todo o mundo, por suas vantagens comparativas em termos de facilidade de fabricação e custo final para o agricultor. No entanto, do ponto de vista agrônomo, a uréia apresenta uma séria limitação nas aplicações em superfície do solo, em razão das chances de perdas por volatilização de amônia (N-NH₃), que pode alcançar patamares de até 78% do N aplicado (Lara Cabezas et al. 1997). Para maior eficiência dos fertilizantes nitrogenados, estão disponíveis no mercado novos produtos que podem minimizar o potencial de perda para o meio ambiente. Estes produtos, segundo Cantarella e Marcelino (2008), podem ser classificados em:

fertilizantes de liberação lenta (com baixa solubilidade em relação a uma fonte solúvel de referência), e em fertilizantes estabilizados (que contêm aditivos para aumentar o tempo de disponibilidade no solo).

Ultimamente, a atenção esteve centrada no inibidor de urease, NBPT (N – (n-butil) tiofosfórico triamida), mais amplamente testado em outros países. No entanto, no Brasil as pesquisas com este produto ainda são incipientes. Cunha et al. (2011) concluíram que a aplicação de uréia aditivada com NBPT em cobertura no feijoeiro não foi capaz de promover aumentos significativos de produtividade quando comparada com a uréia comum, 3.102 kg ha⁻¹ e 2.962 kg ha⁻¹, respectivamente. Entretanto, Pereira et al. (2009) relataram que os tratamentos com uréia revestida e uréia com inibidor de urease reduziram a volatilização de N em torno de 50% em relação à uréia comum, refletindo em maiores produtividades do milho cultivado em safrinha.

A quantidade de N a ser fornecida ao feijoeiro comum é definida, principalmente, em razão do rendimento almejado, da quantidade relativa de N fornecida pelo solo (histórico da área), da taxa de fixação biológica de nitrogênio (FBN) e da eficiência de utilização de N proveniente do fertilizante. Normalmente, para produtividades variando de 2.000 a 3.600 kg ha⁻¹, as quantidades totais de N variam entre 40 e 100 kg ha⁻¹

(FANCELLI; TSUMANUMA, 2007).

Valderrama et al. (2009), testando quatro doses de N, com dose máxima de 120 kg ha⁻¹, em cobertura no feijoeiro cv. Pérola, verificaram resposta linear destas, tanto no teor de N foliar, como na produtividade. Crusciol et al. (2007), testando duas fontes nitrogenadas (uréia e nitrocálcio) e quatro doses de N (0, 30, 60 e 120 kg ha⁻¹) em cobertura, no feijoeiro em sistema plantio direto, observaram que com utilização de nitrocálcio houve um aumento linear na produtividade de grãos. Todavia, utilizando uréia obteve-se máxima produtividade estimada com uso de 108,6 kg ha⁻¹ de N.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes fontes e doses de N, aplicados em cobertura, na nutrição, desenvolvimento e produtividade do feijoeiro irrigado, em condições de Cerrado.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na área experimental da Fazenda Capivara, pertencente a Embrapa Arroz e Feijão, no município de Santo Antônio de Goiás, GO. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, de textura argilosa (554 g kg⁻¹ de argila, 111 g kg⁻¹ de silte e 335 g kg⁻¹ de areia). A análise química do solo, anterior à instalação do experimento, apresentou os seguintes resultados analíticos: pH (H₂O): 5,53; Ca: 1,1 cmol_c dm⁻³; Mg: 0,46 cmol_c dm⁻³; P: 20,88 mg dm⁻³; K: 113,60 mg dm⁻³ e matéria orgânica: 20 g dm⁻³.

Na área experimental cultivou-se durante três anos (2006, 2007 e 2008) milho híbrido AG 7000, no verão, e feijão, cultivar BRS Supremo (grupo preto), irrigado no inverno. Na safra anterior à implantação do experimento, em dezembro de 2008 (safra 2008/09), cultivou-se milho.

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos completos ao acaso, em esquema fatorial 4 x 3, sendo os tratamentos constituídos da aplicação de quatro doses de N, 0; 50; 100 e 150 kg ha⁻¹, utilizando-se três fontes de N, uréia, uréia + NBPT e N liberação gradual, aplicadas em cobertura à lanço, com quatro repetições. Cada parcela experimental foi formada por cinco linhas de feijão, espaçadas em 0,45 m e com 6 m de comprimento, perfazendo área total de 13,5 m², considerando-se como úteis as três linhas centrais, desprezando-se 0,5 m de cada extremidade das linhas.

Antes da semeadura, as sementes de feijão foram tratadas com carboxim + tiram e tiametoxam (75 g + 75 g e 140 g i.a., respectivamente, em 100 kg de sementes). A semeadura do feijoeiro foi

realizada no dia 19 de junho de 2009, sobre uma área preparada em cultivo convencional. Utilizou-se a cultivar Pérola, que são plantas do tipo III e com grãos tipo carioca, semeada mecanicamente distribuindo-se de 10 a 12 sementes por metro. A adubação de semeadura foi de 400 kg ha⁻¹ da fórmula 5-30-15 (N, P₂O₅, K₂O).

A cobertura nitrogenada foi realizada aos 28 dias após a emergência, em 24 de julho, quando as plantas do feijoeiro apresentavam o terceiro trifólio completamente expandido (estádio fenológico V4). Os fertilizantes foram aplicados sobre a superfície, sem incorporação, manualmente, a lanço em toda a área da parcela. No mesmo dia da adubação foi aplicada uma lâmina de irrigação de 19 mm.

A uréia com inibidor da urease (Super N[®]) é obtida adicionando à uréia o NBPT (N-triamida (n-butil) tiofosfórico). Como fonte de N de liberação gradual foi utilizado o produto comercial Sulfammo[®] (26-00-00 + cálcio 5%, enxofre 9%, magnésio 2% e boro 0,3%) que é um fertilizante fornecedor de N nas formas amídica e amoniacal, associado ao carbonato de cálcio marinho. Durante a adubação de cobertura foram adicionadas nas fontes uréia e uréia + NBPT os nutrientes contidos na formulação do Sulfammo[®], utilizando as fontes sulfato de cálcio, sulfato de magnésio e bórax.

O manejo de irrigação foi realizado com base nos dados de retenção de água do solo, evaporação do tanque "Classe A" e os coeficientes da cultura (Kc) nos diferentes estádios fenológicos do feijoeiro. A irrigação foi feita por aspersão, com uso de pivô central. Durante o desenvolvimento da cultura foram fornecidos 319,5 mm de água via irrigação.

A amostragem de plantas para a análise do índice de área foliar e da massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) foi realizada aos 25, 32, 40, 47, 55, 68 e 82 dias após emergência (DAE), coletando três plantas por parcela. Estas plantas foram coletadas fora da área útil para produtividade e evitando-se a bordadura.

As plantas de feijoeiro foram cortadas rente ao solo, colocadas em sacos plásticos e encaminhadas ao Laboratório de Agrofisiologia da Embrapa Arroz e Feijão, onde foram separados o limbo foliar e pecíolos + hastes. Os limbos foliares foram submetidos ao leitor de área foliar modelo LI-3000 Area Meter, cuja leitura é dada em cm². Após a leitura, todas as estruturas vegetais foram submetidas à secagem em estufa a 65 °C, até massa constante, para determinação da MSPA. A partir dos dados de área foliar em cm² e com o número de plantas por m², calculou-se o índice de área foliar (IAF, m² de folha m⁻² de terreno).

Resposta do feijoeiro...

O índice relativo de clorofila (IRC) no feijoeiro foi monitorado com leituras utilizando clorofilômetro, modelo Minolta SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development). Foram efetuadas leituras aos 20, 30, 41, 48 e 60 dias após emergência (DAE). Em cada parcela experimental foi obtido o IRC (leituras SPAD) em plantas escolhidas aleatoriamente, nas quatro linhas centrais, num total de vinte. Avaliaram-se a terceira folha do feijoeiro completamente expandida a partir do ápice da planta. A leitura foi realizada no terço médio da folha, sem considerar a nervura central e as margens.

Para análise do teor de N total nas folhas do feijoeiro (g kg^{-1}) foram coletadas, ao acaso, três plantas no estágio de pleno florescimento, aos 47 dias após emergência. As folhas foram separadas, lavadas em água deionizada, e secas em estufa a 65°C , até massa constante; depois estas foram pesadas e moídas para posterior determinação do N total por digestão-destilação pelo método Kjeldahl. Com esses resultados, foi estimado o N total acumulado (kg ha^{-1}) na parte aérea do feijoeiro.

A colheita foi realizada aos 89 dias após emergência. Foram realizadas as seguintes avaliações: número de vagens por planta, número de grãos por vagens e massa de 100 grãos (13% base úmida) de três plantas de feijão coletadas por parcela, ao acaso, dentro da área útil, e a produtividade de grãos, obtida com a colheita de seis metros em cada parcela. A trilhagem foi realizada manualmente. Os grãos obtidos foram pesados, e os dados transformados para kg ha^{-1} (13% base úmida).

Os dados foram submetidos às análises de variância e de regressão, com uso dos programas Sisvar e SigmaPlot, respectivamente. Os modelos de regressão foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, testados pelo teste t a 1 e 5 % de probabilidade, e também de acordo com os coeficientes de determinação e a resposta biológica das variáveis em estudo. Para as variáveis de interesse os coeficientes de correlação linear de Pearson foram obtidos com o programa SAS (SAS Institute, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O índice relativo de clorofila (leituras SPAD) foi influenciado significativamente pelas interações fontes e doses de N, e entre doses de N e épocas de avaliação. Na dose de 50 kg ha^{-1} as fontes uréia + NBPT e N liberação gradual proporcionaram maior teor de clorofila quando comparadas com a uréia comum (Figura 1A). Nas doses de 0 e 100 kg

ha^{-1} não houve diferenças significativas entre as fontes nitrogenadas. Entretanto, na dose de 150 kg ha^{-1} a utilização de uréia proporcionou maior índice relativo de clorofila comparada com a fonte uréia + NBPT.

Observa-se na Figura 1B, que houve influência positiva (ajuste linear) das doses de N no índice relativo de clorofila a partir dos 41 dias após emergência, ou seja, 13 dias após a aplicação da cobertura nitrogenada. Entretanto, Santana et al. (2010) verificaram que o teor relativo de clorofila nas folhas no período de florescimento do feijoeiro, respondeu de forma quadrática ao aumento das doses de N (0, 30, 60, 120, 240 kg ha^{-1}), corroborando Soratto et al. (2004), que utilizando diferentes doses de N (0, 35, 70, 140 e 210 kg ha^{-1}) em cobertura no feijoeiro obtiveram máximo índice relativo de clorofila de 46,8 na dose estimada de aproximadamente 165 kg ha^{-1} de N. Contudo, as doses de N utilizadas no presente estudo não foram suficientes para obter-se o máximo índice relativo de clorofila no feijoeiro.

As equações de regressão referentes ao índice relativo de clorofila para todas as doses de N em razão do desenvolvimento do feijoeiro podem ser observadas na Figura 1C. Houve resposta linear positiva, até 60 DAE, e, não foi possível detectar o máximo índice relativo de clorofila. Entretanto, há relatos na literatura que a partir dos 50 DAE do feijoeiro, o índice relativo de clorofila tende a estabilizar (Maia, 2011; Silveira et al., 2003; Barbosa Filho et al., 2009), tornando-se ineficaz o uso do clorofilômetro a partir desta fase, como indicador da necessidade da aplicação de N em cobertura.

As fontes nitrogenadas utilizadas em cobertura no feijoeiro não influenciaram no teor de N total nas folhas no período de florescimento (Tabela 1). Binotti et al. (2009) estudaram o efeito de fontes nitrogenadas (uréia, sulfato de amônio - SA e mistura - $\frac{1}{2}$ N uréia + $\frac{1}{2}$ N SA) no teor de N total nas folhas do feijoeiro, cultivar Pérola, e também concluíram que as diferentes fontes não afetaram a variável estudada. Resultados semelhantes também foram obtidos por Valderrama et al. (2009) com uso de uréia e uréia revestida em cobertura no feijoeiro, e estas não influenciaram no teor de N nas folhas, obtendo em média $35,4 \text{ g kg}^{-1}$.

Com o aumento das doses de N houve um aumento significativo no teor de N total nas folhas do feijoeiro no florescimento (Figura 2A), até a dose estimada de $120,7 \text{ kg ha}^{-1}$, atingindo o valor máximo de $47,2 \text{ g}$ de N por kg de massa seca, com melhor ajuste pelo modelo quadrático. Resultados diferentes foram obtidos por Santana et al. (2010), que

Resposta do feijoeiro...

BERNARDES, T. G. et al.

testando doses de N até 240 kg ha⁻¹ sobre o de N nas folhas do feijoeiro cultivar BRS Horizonte, no florescimento, obtiveram respostas lineares. Valderrama et al. (2009), também testaram doses de N em cobertura no feijoeiro e verificaram que o teor

de N nas folhas aumentou concomitantemente ao acréscimo de N em cobertura, sendo que os teores de N foliar variaram de 31,5 g kg⁻¹ (testemunha) até 39,25 g kg⁻¹ (120 kg ha⁻¹ de N), teores inferiores aos encontrados neste trabalho.

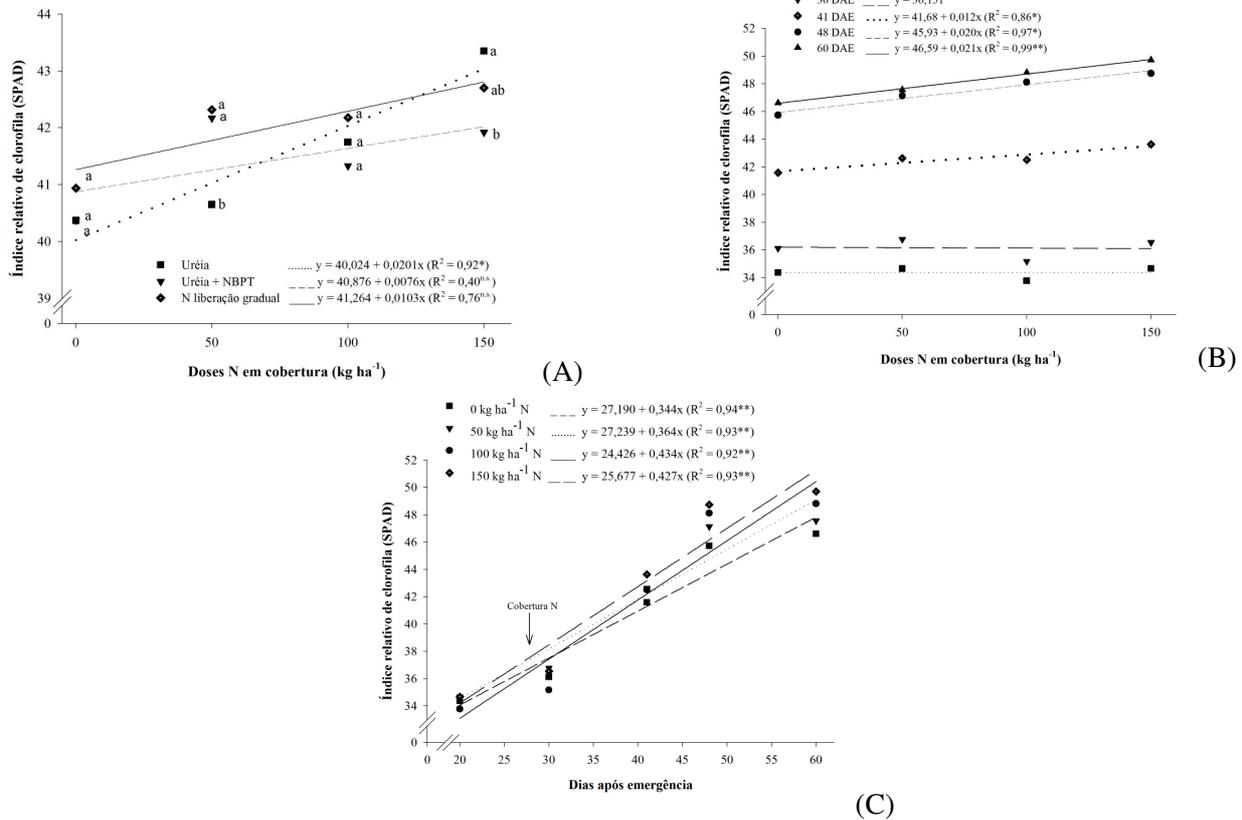


Figura 1. Índice relativo de clorofila (SPAD) do feijoeiro referente ao desdobramento da interação fontes e doses de N (A), da interação doses de N e épocas de avaliação (B) e da interação épocas de avaliação e doses de N (C). Santo Antônio de Goiás, 2009. Letras iguais, entre fontes de N, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 1. Teor de N total e N acumulado nas folhas do feijoeiro adubado em cobertura com três fontes e quatro doses de N. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Tratamentos	Teor de N (g kg ⁻¹)	N (kg ha ⁻¹)
Fontes		
Uréia	44,0 a	63,35 a
Uréia + NBPT	45,4 a	51,96 a
N liberação gradual	44,4 a	66,73 a
D.M.S. (5%)	2,07	23,41
C.V. (%)	5,34	44,46
Doses (kg ha⁻¹)		
0	39,9	42,95
50	44,9	59,86
100	46,7	62,98
150	46,8	76,96
Média geral	44,6	60,68

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Resposta do feijoeiro...

Os teores de N avaliados em todos os tratamentos estão na faixa considerada adequada para a cultura, 30 a 50 g kg⁻¹(folha), de acordo com Malavolta et al. (1997). Mesmo na testemunha, em que não houve aplicação de N em cobertura, o teor de N total das folhas, de 39,9 g kg⁻¹, está dentro da faixa adequada, possivelmente devido ao N aplicado na sementeira, 20 kg ha⁻¹, associado à fixação simbiótica com bactérias nativas fixadoras de N e ao N proveniente da mineralização da matéria orgânica

BERNARDES, T. G. et al.

do solo (BINOTTI et al. 2009).

A quantidade acumulada de N nas folhas do feijoeiro durante o florescimento não foi influenciado pelas fontes utilizadas em cobertura, no entanto, houve incremento significativo com as doses (Figura 2B). Os valores ajustaram-se de forma linear quanto às doses de N. Estes resultados estão diretamente relacionados com os resultados dos teores de N total nas folhas do feijoeiro.

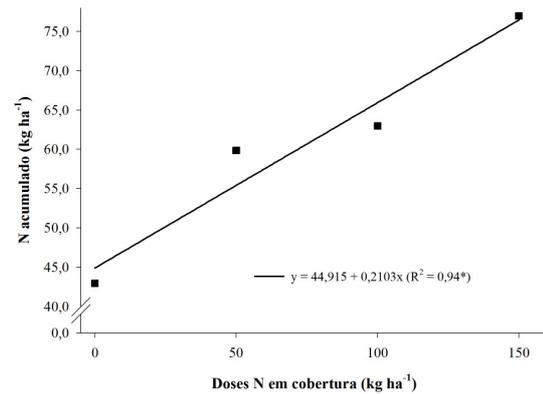
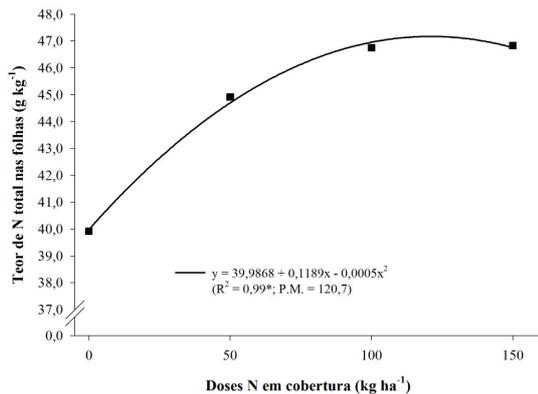


Figura 2. Teor de N total nas folhas do feijoeiro (A) e N acumulado (B). Santo Antônio de Goiás, 2009

O efeito das doses de N sobre o IAF ajustou-se ao modelo quadrático, sendo de 116 kg ha⁻¹ de N a dose máxima estimada pela equação de regressão para um IAF de 1,86 m²m⁻² (Figura 3A). Santos e Fageria (2008), medindo o IAF do feijoeiro, cultivar Pérola, obtiveram valor máximo de 5,32 m²m⁻² utilizando dose de N de 160 kg ha⁻¹,

índice maior que o encontrado no presente estudo. Aumentando-se o IAF, há aumento da interceptação da luz, e, portanto, da fotossíntese, mas essa relação não é contínua indefinidamente, porque o auto-sombreamento provoca uma diminuição na taxa de fotossíntese média por unidade de área foliar.

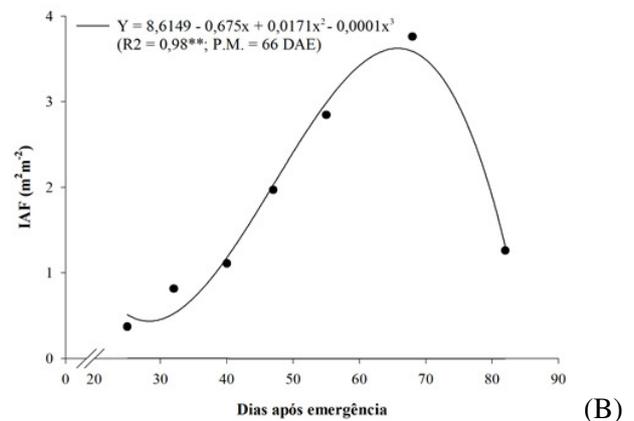
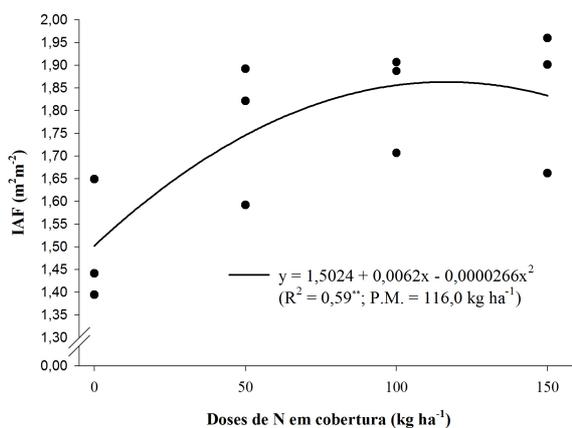


Figura 3. Índice de área foliar do feijoeiro em razão das doses de N em cobertura (A) e de dias após emergência-DAE (B). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Observa-se que a evolução temporal do IAF médio dos tratamentos para a cultura do feijão, durante seu ciclo vital de desenvolvimento (Figura 3B), seguiu o padrão característico de plantas anuais, com uma fase inicial lenta, seguida de uma fase de rápido crescimento, obtendo-se o ponto máximo de IAF de $3,6 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$ aos 68 dias após a emergência, estágio de pleno desenvolvimento. Após este estágio, houve decréscimo do IAF, pois a área foliar verde vai se reduzindo, sobretudo em virtude da senescência das folhas mais velhas. Portes (1996) relatou valores experimentais de IAF variando de $0,75$ a $2,20 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$ e de $0,80$ a $4,0 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$, respectivamente, durante o ciclo de cultivares de feijoeiro Carioca e Aporé. Estas variações podem decorrer devido a diferenças de cultivares e também a variações climáticas ocorrentes durante ao desenvolvimento do feijoeiro.

Não houve diferença na massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) do feijoeiro em razão das fontes nitrogenadas utilizadas em cobertura, Binotti et al. (2009), também não observaram diferenças na massa de matéria seca do feijoeiro, cultivar Pérola, em relação à utilização de diferentes fontes de N em cobertura. Santos (2009) analisando o efeito das fontes, uréia e Entec 26[®] (fertilizante liberação lenta), em dois anos de estudo, obteve resultados diferentes quanto à influência destas no acúmulo de matéria seca do feijoeiro, cv. Pérola, no florescimento; no primeiro ano não houve efeito das fontes, no entanto, no segundo ano de estudo, a fonte Entec 26[®] proporcionou um maior acúmulo de MSPA comparada com a uréia (16,3 e 14,2 g por planta, respectivamente).

As doses de N proporcionaram aumento

significativo da MSPA do feijoeiro (Figura 4A). Os dados se ajustaram numa equação quadrática, em que, a máxima produção de MSPA, de $12,37 \text{ g planta}^{-1}$, foi obtida na dose de 140 kg ha^{-1} de N. Resultados semelhantes foram obtidos por Binotti et al. (2009) que verificaram aumento na MSPA do feijoeiro com aumento da dose de N aplicado em cobertura, obtendo máxima MSPA de 12 g planta^{-1} , na dose de 154 kg ha^{-1} . Santana et al. (2008), no primeiro ano de cultivo do feijoeiro, não obtiveram incremento na massa seca total em razão das doses de N durante as épocas de avaliação. Entretanto, os mesmos autores relatam que no segundo ano de cultivo houve diferenças significativas na massa seca total do feijoeiro em razão das doses de N nas avaliações realizadas aos 31, 38, 45, 52 e 66 dias após a emergência (DAE). O acréscimo na dose de N aplicado aumenta sua disponibilidade no solo e, conseqüentemente, incrementa a absorção deste nutriente pelas plantas, elevando assim a produção de massa de matéria seca, uma vez que o N tem influência direta na fotossíntese e crescimento da planta, sendo parte integrante da molécula de clorofila.

Os valores de MSPA do feijoeiro em razão dos dias após emergência ajustaram-se ao modelo exponencial $y = 0,0016 * e^{(0,2545x - 0,0016x^2)}$. Observa-se, na Figura 4B, que o crescimento inicial do feijoeiro é lento até aproximadamente 40 DAE, doze dias após a adubação de cobertura, e passa por um período de rápido crescimento, com a MSPA máxima estimada aos 77 DAE, de 30 g planta^{-1} . Posteriormente, a planta inicia o processo de senescência, com conseqüente diminuição da MSPA.

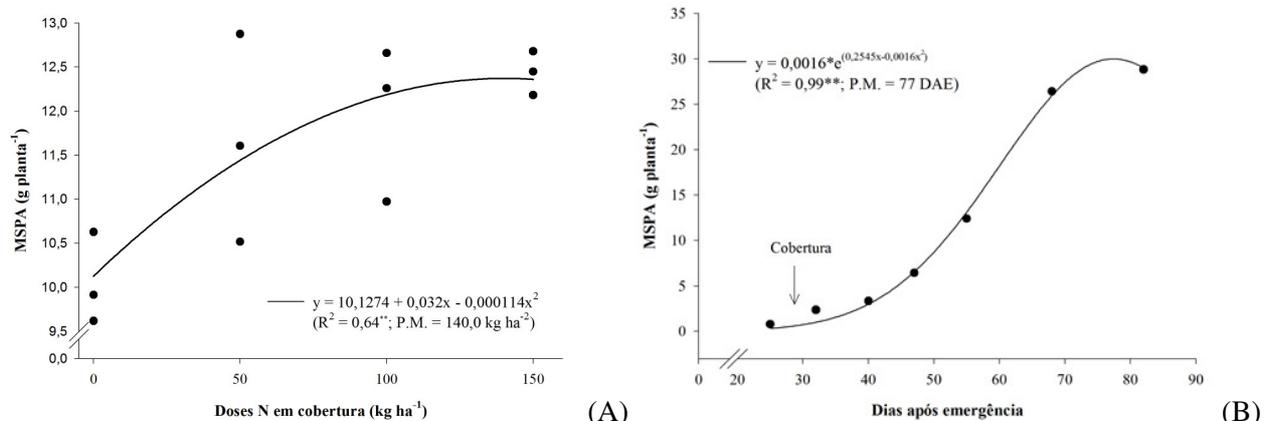


Figura 4. Massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) do feijoeiro em razão das doses de N (A) e de dias após emergência- DAE (B). Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Não houve efeito significativo das fontes nitrogenadas, e da interação entre fontes e doses de N para rendimento de grãos, nº de vagens por planta, nº de grãos por vagem, massa de 100 grãos e estande final de plantas (Tabela 2). Binotti et al. (2009), avaliando o uso das fontes nitrogenadas uréia (U), sulfato de amônio (SA) e U+SA (1:1) no feijoeiro, não obtiveram efeito significativo para as variáveis número de vagem por planta, número de

grãos por vagem, massa de 100 grãos e estande final. No entanto, os mesmo autores citaram o efeito destas fontes na produtividade do feijoeiro. Os resultados obtidos neste trabalho corroboram com os apresentados por Santos (2009) o qual concluiu que as fontes nitrogenadas uréia e Entec 26[®] não influenciaram significativamente na produtividade do feijoeiro, em dois anos de avaliação.

Tabela 2. Rendimento de grãos, número de vagem por planta, número de grãos por vagem, massa de 100 grãos e estande final do feijoeiro, submetido a três fontes e quatro doses de N em cobertura. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

Tratamentos	Rendimento (kg ha ⁻¹)	Nº vagem planta ⁻¹	Nº de grãos vagem ⁻¹	Massa de 100 grãos (g)	Estande final (plantas m ⁻¹)
Fontes					
Uréia	2.746 a	11,49 a	5,81 a	26,59 a	9,34 a
Uréia + NBPT	2.598 a	10,09 a	5,82 a	27,14 a	9,62 a
N liberação gradual	2.543 a	10,50 a	5,75 a	26,57 a	9,58 a
D.M.S. (5%)	340,7	1,52	0,23	1,24	0,71
CV (%)	14,9	16,36	4,48	5,35	8,59
Doses (kg ha⁻¹)					
0	2.185	9,09	5,82	26,47	9,57
50	2.668	11,39	5,78	26,85	9,35
100	2.778	10,62	5,83	26,65	9,62
150	2.884	11,67	5,73	27,08	9,52
Média geral	2.629	10,7	5,79	26,76	9,51

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A produtividade aumentou com o incremento das doses de N, sendo que, a produtividade máxima estimada foi de 2.876 kg ha⁻¹, com a dose de 133,6 kg ha⁻¹ de N (Figura 5A). Entretanto, Silveira et al. (2003) obtiveram com o cultivo do feijoeiro cultivar Pérola, produtividade máxima de 2.449 kg ha⁻¹ com a dose de 62 kg ha⁻¹ de N em cobertura, menos da metade da dose estimada neste trabalho. Binotti et al. (2009) observaram aumento na produtividade de grãos até a aplicação de 198 kg ha⁻¹ de N, e Kikuti et al. (2005), obtiveram incremento na produtividade de feijoeiro de inverno, com doses de 170 kg ha⁻¹ e 144 kg ha⁻¹, respectivamente, em 2000 e 2002; entretanto, há necessidade de se considerar a viabilidade econômica da aplicação de doses elevadas desse nutriente. Estes resultados indicam que as informações encontradas na literatura a respeito da dose dos fertilizantes nitrogenados na cultura do feijoeiro são controversas, generalizadas e muito influenciadas pelo sistema agrícola empregado. As condições de resposta ao N estão relacionadas com o solo do local de semeadura (cultura anterior, teor de matéria orgânica, textura do solo e irrigação), como também, em relação a cultivares e variações de clima (CHIDI et al. 2002).

As doses de N influenciaram no número de vagens por planta e com a dose 130 kg ha⁻¹ obteve-se um número máximo de vagens por planta de 11,5 (Figura 5B). Esses resultados corroboram com os de Binotti et al. (2009), que também observaram um efeito quadrático das doses de N no número de vagens por planta, com maiores valores sendo obtidos com a utilização de até 160 kg ha⁻¹ de N. Arf et al. (2008) e Silva (2010) verificaram incremento linear para número de vagens por planta quando se aumentou as doses de N em cobertura. De acordo com Macedo e Silva et al. (2002), o número de vagens por planta é uma característica bastante variável, podendo ser influenciada pelo ambiente de cultivo.

O número médio de vagens por planta obtida foi de 10,7 (Tabela 2); resultados semelhantes foram obtidos por Silveira et al. (2006), que encontraram média máxima de 10,8 vagens por planta em experimento com feijoeiro irrigado, cultivar Pérola, sob diferentes sistemas de preparo de solo e rotação de culturas.

O número de grãos por vagem não foi influenciado significativamente pelas doses de N (Tabela 2), concordando com Binotti et al. (2009). Segundo estes autores, o número de grãos por

vagem talvez esteja mais relacionado com o cultivar, característica de herdabilidade genética, sofrendo pouca influência das práticas culturais utilizadas na cultura, sendo que estes valores normalmente estão por volta de 4 a 5 grãos por

vagem. No entanto, resultados de trabalhos de pesquisa indicam que uma melhor nutrição em N pode aumentar o número de óvulos fertilizados por vagem, com os dados se ajustando a equações lineares crescentes (Soratto et al. 2006).

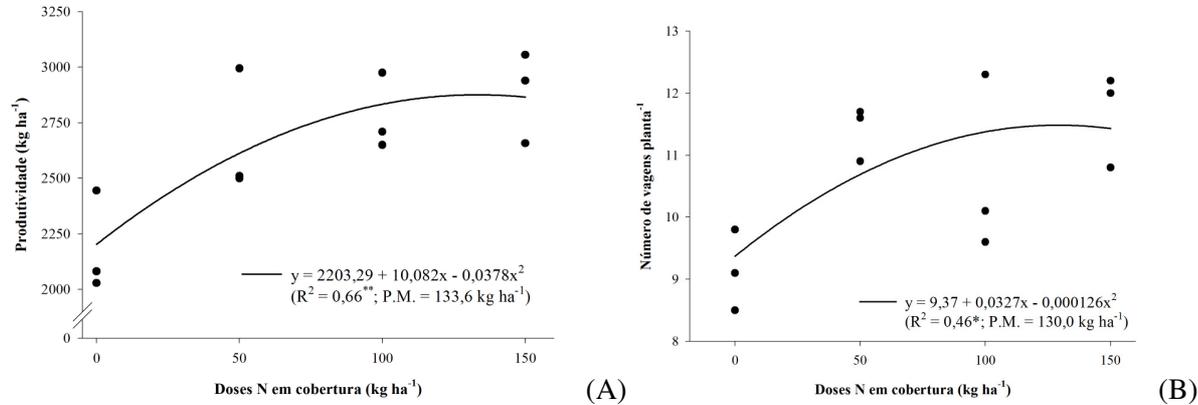


Figura 5. Produtividade (A) e número de vagem por planta (B) do feijoeiro em razão das doses de N. Santo Antônio de Goiás, GO, 2009

A aplicação de doses crescentes de N não propiciou aumento significativo na massa de 100 grãos, resultado semelhante ao obtido por Maia (2011) que não obteve diferença significativa na massa de 100 grãos do feijoeiro, cv. Pérola, em diferentes manejos e doses de N. Meira et al. (2005) também não observaram efeito significativo das doses de N, 0, 40, 80, 120, 160 e 240 kg ha⁻¹, no feijoeiro, cv. IAC Carioca, com relação à massa de 100 sementes. Entretanto, resultados diferentes foram obtidos por Binotti et al. (2009), que obtiveram respostas significativas com aumento da massa de 100 grãos até a dose de 187 kg ha⁻¹ e por Teixeira et al. (2005) e Kaneko et al. (2010), que verificaram incrementos positivos das doses de N na massa de 100 grãos do feijoeiro.

A população final de plantas também não foi influenciada pelas doses crescentes de N em

cobertura (Tabela 2), ressaltando que na semeadura foram utilizados 20 kg ha⁻¹ de N. Maia (2011) em trabalho com épocas de aplicação de N e doses observou que a maior dose utilizada na semeadura (40 kg ha⁻¹) não foi elevada o suficiente para influenciar no estabelecimento da cultura. Contudo é importante ressaltar que diversos autores obtiveram menor população final de plantas devido ao uso de doses crescentes de N (KIKUTI et al. 2005, TEIXEIRA et al. 2005, BINOTTI et al. 2009) quando aplicado no sulco de semeadura, em decorrência da maior salinização pela aplicação mais elevada do fertilizante.

Foram estimados os coeficientes de correlação de Pearson para as características analisadas e os resultados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Coeficientes de correlação (r) entre teor de N total nas folhas, N acumulado na parte aérea, massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), índice de área foliar (IAF) e índice relativo de clorofila (IRC) no florescimento e produtividade do feijoeiro. Cálculo a partir das médias das variáveis nas fontes e doses de N testadas, quatro repetições (n=48)

Variável	Teor N total	Acúmulo de N	MSPA	IAF	IRC	Produtividade.
Teor N total	1					
Acúmulo de N	0,165 ^{n.s.}	1				
MSPA	0,028 ^{n.s.}	0,988 ^{**}	1			
IAF	0,005 ^{n.s.}	0,947 ^{**}	0,961 ^{**}	1		
IRC	0,322 [*]	0,477 ^{**}	0,415 ^{**}	0,408 ^{**}	1	
Produtividade	0,287 [*]	0,463 ^{**}	0,421 ^{**}	0,397 ^{**}	0,558 ^{**}	1

n.s.: não significativo. * e **: significativos pelo Teste t a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

O teor de N total nas folhas do feijoeiro correlacionou-se positivamente com o índice relativo de clorofila ($r = 0,32^*$). Como o N é constituinte da molécula de clorofila, geralmente existe alta correlação entre o seu teor na planta e o índice relativo de clorofila. No entanto, apesar de significativo o coeficiente de correlação obtido neste trabalho foi baixo; isto pode ter ocorrido porque se analisou os teores de N de todas as folhas do feijoeiro. Furlani Júnior et al. (1996) e Soratto et al. (2004) obtiveram altas correlações, 0,97 e 0,78, respectivamente, analisando-se o teor de N foliar nas mesmas folhas em que realizou-se as leituras com clorofilmetro. Vários autores têm relatado a viabilidade de se utilizar a avaliação indireta de clorofila como indicativo do estado nutricional em relação ao N (SORATTO et al. 2004).

O índice relativo de clorofila correlacionou-se com o teor de N acumulado, MSPA e IAF, com valores de r iguais a 0,48, 0,41 e 0,41, respectivamente. As variáveis acúmulo de N, MSPA, índice de área foliar e índice relativo de clorofila no feijoeiro em florescimento e

produtividade foram altamente e positivamente relacionados (Tabela 3), confirmando a importância da adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro irrigado, assim como a área foliar torna-se índice determinante na acumulação de matéria seca, no metabolismo vegetal, na capacidade fotossintética e no rendimento de grãos. Santana et al. (2010) também obtiveram correlação positiva entre teor de clorofila e produtividade de feijoeiro.

CONCLUSÕES

A utilização das fontes nitrogenadas uréia, uréia + NBPT e N liberação gradual não proporciona diferenças no índice de área foliar, massa da matéria seca, teor e acúmulo de N das folhas e na produtividade de grãos do feijoeiro;

O índice relativo de clorofila, índice da área foliar e a massa da matéria seca das folhas variam com as doses de N aplicadas em cobertura;

A dose estimada de $133,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de N proporciona ao feijoeiro maior rendimento de grãos.

ABSTRACT: The study aimed to evaluate the effect of sources and rates of nitrogen (N) topdressing, nutrition, development and productivity of common beans crop irrigated, grown in the autumn-winter, in the Cerrado. The experiment was conducted at Embrapa Arroz e Feijão, in Santo Antônio de Goiás, Goiás State, using a dystrophic Dark Red Latosol, of clay texture. We used a randomized block design, with three sources of nitrogen fertilizer, urea, urea + NBPT and gradual release N fertilizer, and four rates of nitrogen in 0; 50; 100 and 150 kg ha^{-1} , combined in a regimen 3 x 4 factorial, with four replications. We evaluated the dry mass weight (MSPA), leaf area index, leaf N content, N accumulated uptake, relative chlorophyll index, final stand, yield components and grain yield of common beans. The use of urea at 150 kg ha^{-1} of N resulted in a greater relative chlorophyll content in leaves of common beans. The estimated maximum yield of 2.876 kg ha^{-1} was obtained with a dose of $133,6 \text{ kg N ha}^{-1}$. The leaf N content, the accumulation of N in the shoot, the dry mass weight, leaf area index and relative chlorophyll content in common beans correlated positively with their productivity. The gradual release N fertilizer and urea with urease inhibitor does not provide increases in common beans yield.

KEYWORDS: *Phaseolus vulgaris* L. Urease inhibitor. SPAD. Leaf area. Nitrogen fertilization.

REFERÊNCIAS

- ARF, O.; AFONSO, R. J.; ROMANINI JUNIOR, A.; SILVA, M. G.; BUZZETTI, S. Mecanismos de abertura do sulco e adubação nitrogenada no cultivo do feijoeiro em sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 499-506, 2008.
- BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. Época de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado monitorada com auxílio de sensor portátil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 425-431, 2009.
- BINOTTI, F. F. S.; ARF, O.; SÁ, M. E.; BUZZETTI, S.; ALVAREZ, A. C.; KAMIMURA, K. M. Fontes, doses e modo de aplicação de N em feijoeiro no sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 68, n. 2, p. 473-481, 2009.

- CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho. In: ABDALLA, S. R. S.; PROCHNOW, L. I.; FANCELLI, A. L. Simpósio discute como utilizar insumos e recursos para otimizar a produtividade do milho. Piracicaba, IPNI, 2008. p. 12-14. (Informações Agronômicas, 122)
- CHIDI, S. N.; SORATTO, R. P.; SILVA, T. R. B.; ARF, O.; SÁ, M. E.; BUZZETTI, S. Nitrogênio via foliar e em cobertura em feijoeiro irrigado. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 24, n. 5, p. 1391-1395, 2002.
- CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; SILVA, L. M. da; 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.
- CUNHA, P. C. R. da; SILVEIRA, P. M. da; XIMENES, P. A.; SOUZA, R. de F.; ALVES JÚNIOR, J.; NASCIMENTO, J. L. do. Fontes, formas de aplicação e doses de nitrogênio em feijoeiro irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 80-86, 2011.
- FANCELLI, A. L.; TSUMANUMA, G. M. Nitrogênio e enxofre nas culturas de milho e feijão. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. e; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, 2007. p. 190-249.
- 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**, v. 55, n. 1, p. 171-175, 1996.
- KANEKO, F. H.; ARF, O.; GITTI, D. C.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P.; BUZZETTI S. Mecanismos de abertura de sulcos, inoculação e adubação nitrogenada em feijoeiro em sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 125-133, 2010.
- KIKUTI, H.; ANDRADE, M. J. B.; CARVALHO, J. G.; MORAIS, A. R. Nitrogênio e fósforo em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) variedade cultivada BRS MG Talismã. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 27, n. 3, p. 415-422, 2005.
- LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 3, p. 489-496, 1997.
- MACEDO E SILVA, G. de; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Manejo da adubação nitrogenada no feijoeiro irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 32, n. 1, p. 1-5, 2002.
- MAIA, S. C. M. **Uso do clorofilômetro portátil na determinação da adubação nitrogenada de cobertura em cultivares de feijoeiro**. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C., OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- MEIRA, F. de A.; SÁ, M. E. de; BUZZETTI, S.; ARF, O. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado cultivado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 4, p. 383-388, 2005.
- PEREIRA, H. S.; LEÃO, A. F.; VERGINASSI, A.; CARNEIRO, M. A. C. Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1685-1694, 2009.
- PORTES, T. A. Ecofisiologia. In: ARAUJO, R. S.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O., **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 101-137.

- SANTANA, E.V.P.; SANTOS, A.B.; SILVEIRA, P.M. da. Adubação nitrogenada na produtividade, leitura SPAD e teor de nitrogênio em folhas de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 4, p. 491-496, 2010.
- SANTANA, E. V. P.; SILVEIRA, P. M. da. Crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) influenciado por doses de nitrogênio em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 2, p. 134-140, 2008.
- SANTOS, A. B. dos; FAGERIA, N. K. Características fisiológicas do feijoeiro em várzeas tropicais afetadas por doses e manejo de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 1, p. 23-31, 2008.
- SANTOS, T. E. B. dos. **Comunidade microbiana do solo e produtividade do feijoeiro, com e sem inoculação com rizóbio, associado a fontes e épocas de aplicação de nitrogênio**. 2009. 97 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.
- SAS INSTITUTE. **Statistical analysis system: user's guide**. Cary: SAS, 2000.
- SILVA, M. P. **Espaçamentos entrelinhas e doses de nitrogênio em dois cultivares de feijoeiro irrigado no sistema plantio direto**. 2010. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.
- SILVEIRA, P. M.; BRAZ, A. J. B. P.; DIDONET, A. D. Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n.9, p. 1083-1087, 2003.
- SILVEIRA, P. M.; SILVEIRA NETO, A. N.; STONE, L. F.; OLIVEIRA, L. F. C. Produtividade do feijoeiro irrigado sob diferentes sistemas de preparo do solo e de rotação de culturas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 22, n. 1, p. 45-52, 2006.
- 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.
- SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; SILVA, L. M.; LEMOS, L. B. Aplicação tardia de nitrogênio no feijoeiro em sistema de plantio direto. **Bragantia**, v. 64, n. 2, p. 211-218, 2005.
- SORATTO, R. P.; CARVALHO, M. A. C. de; ARF, O. Nitrogênio em cobertura no feijoeiro cultivado em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 2, p. 259-266, 2006.
- TEIXEIRA, C. M.; CARVALHO, G. J.; ANDRADE, M. J. B.; FURTINI NETO, A. E.; MARQUES, E. L. S. Palhadas e doses de nitrogênio no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 27, n. 3, p. 499-505, 2005.
- VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M. E. de. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 3, p. 191-196, 2009.