Fontes de nitrogênio e modos de adubação em cobertura sobre a produtividade de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na "safra das águas"

Marcelo Andreotti^{1*}, Ivair André Nava², Ludwig Wimmer Neto², Vandeir Francisco Guimarães² e Enes Furlani Junior³

¹Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, FE, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Av. Brasil Centro, 56, Cx. Postal 31, 15385-000, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil. ²Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), R. Pernambuco, 1777, Centro, 85960-000, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil. ³Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Socioeconômica, FE, Universidade Estadual Paulista, Av. Brasil Centro, 56, Cx. Postal 31, 15385-000, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil. Autor para correspondência. e-mail: dreotti@agr.feis.unesp.br

RESUMO. O nitrogênio é o nutriente absorvido em maior quantidade pelo feijoeiro e considerado o elemento da qualidade, porque faz parte da composição das proteínas de todas as plantas. As técnicas de manejo de adubação ainda são as melhores estratégias utilizadas para maximizar a eficiência de uso do N e permitir aos produtores obterem máximo retorno econômico com o uso de fertilizantes. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de fontes de N: uréia, sulfato de amônio, nitrato de amônio e cama de aviário, dosados na mesma quantidade de N (60 kg de N ha⁻¹) aplicados em cobertura, com ou sem incorporação ao solo, no estádio V4, sobre os componentes de produção, produtividade e teores foliares de N, P, K, Ca e Mg. A área experimental situada em Palotina, Estado do Paraná, em solo classificado como Latossolo Vermelho, foi semeada no dia 19/10/2002, utilizando-se a cultivar Iapar 31 e a colheita realizada em 17/01/2003. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com os tratamentos arranjados em esquema fatorial 5X2, com 4 repetições. As fontes e modos de aplicação de N influenciaram a resposta do feijoeiro à adubação nitrogenada. As fontes minerais de N foram mais eficientes nos acréscimos de rendimentos de grãos de feijão quando aplicadas em cobertura e com posterior incorporação ao solo, enquanto que a cama de aviário destacou-se dos demais tratamentos quando mantida na superfície. Em relação ao modo de aplicação, os teores de N foliar foram maiores para as fontes minerais quando incorporadas ao solo, comparadas ao modo sem incorporação. Comportamento inverso verificou-se em relação à cama de aviário.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*, adubação nitrogenada, fontes de nitrogênio.

ABSTRACT. Sources of nitrogen and fertilization forms in covering on common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yield on season crop. Nitrogen is the nutrient absorbed in higher quantities by bean plant and it is considered a quality element because it is part of all plants protein composition. The management and fertilization techniques are still the best strategy used to maximize the efficiency of N use and to permit that producers get the maximum profit from fertilizer use. The aim of this work was to evaluate the effect of N sources: urea, ammonium sulfate, ammonium nitrate and poultry manure, in the same amount (60 kg of N ha⁻¹) applied with or without incorporation, in covering (V4 phonological stage), on the production components and yield bean. This work also evaluated the leaf analyses to N, P, K, Ca and Mg. The experimental area placed in Palotina, Paraná, Brazil, was sowed in a Red Latosol (Oxisol), on October 19, 2002. The cultivar *Iapar 31* was used and the harvest occurred on January 17, 2003. The experimental design was a complete randomized block in a factorial scheme 5X2, with four replications. The sources and application forms of N influenced the response of bean to nitrogen fertilization. The mineral sources ammonium sulfate, ammonium nitrate and urea, when applied with incorporation, provided greater contents of leaf N. The poultry manure without incorporation resulted in greater yield from common bean crop. The nitrogen mineral sources incorporation, always benefited the production components and the yield, when compared to the application without incorporation. Opposite side was observed to poultry manure.

Key words: *Phaseolus vulgaris*, nitrogen fertilization, sources of nitrogen.

Introdução

Os desafios que hoje se apresentam aos

profissionais da área de pesquisa e às empresas, sejam elas públicas ou privadas, impõem a necessidade de desenvolverem idéias e ações que aumentem a produtividade das culturas, sem perdas externas e reduzam impactos ao meio ambiente e aos recursos naturais.

Atualmente, a concentração de esforços tem sido efetiva, no sentido de proporcionar a difusão de tecnologias fundamentadas no uso intensivo e, algumas vezes, abusivo, de insumos de produção; sendo que, eventualmente, estes podem acarretar baixa eficiência no sistema produtivo, levando à exaustão progressiva de recursos naturais, desequilíbrios ecológicos e colocando em risco a qualidade de vida.

Pelas informações da Embrapa (2002), o Brasil é o segundo produtor mundial de feijão do gênero *Phaseolus* e o primeiro na espécie *Phaseolus vulgaris*. A importância dessa produção enfoca que o feijão, além de constituir um dos alimentos básicos da população brasileira, é um dos principais produtos fornecedores de proteína na dieta alimentar das classes sociais economicamente menos favorecidas. O feijão é um alimento quase obrigatório da população brasileira, devido ao seu valor protéico. Além do mais, devido ao seu valor econômico, o Estado do Paraná responde, em média, por 15% da produção nacional de feijão nos últimos anos e destaca-se historicamente como primeiro produtor brasileiro (Lollato *et al.*, 2001).

Muitos trabalhos demonstram que o nitrogênio é o nutriente absorvido em maior quantidade pelo feijoeiro e devido à fixação biológica não suprir a demanda da planta, a adubação nitrogenada freqüentemente tem proporcionado expressivos aumentos na produtividade do feijoeiro. O nitrogênio é o elemento da qualidade, fazendo parte da composição das proteínas, portanto seu uso, quando adequado, pode otimizar as produções e os lucros e, ao mesmo tempo, minimizar possíveis efeitos negativos sobre os solos e o meio ambiente.

Quantidades superiores a 100 kg de N ha⁻¹ são requeridas para garantir a extração do nutriente associada às altas produções. As maiores produções em resposta às aplicações de fertilizantes nitrogenados, quando outros fatores não são limitantes, têm sido obtidas quando o teor de fósforo presente no solo encontra-se entre médio e alto, e o teor de umidade é suficiente para facilitar o transporte de nutrientes e suprir as necessidades da cultura (Araujo *et al.*, 1996).

Rosolem (1987) citando Ruschel e Ruschel (1975) afirmou que a fixação de nitrogênio é máxima entre 60 e 70 dias após a emergência, mas é relativamente baixa entre 40 e 50 dias, época em que a exigência da planta é máxima, o que em parte explica o grande número de experimentos que apresentam respostas

positivas à adubação nitrogenada. O mesmo autor concluiu que a variação entre os teores de nitrogênio fixado que tem sido encontrada é muito grande, dependendo das condições experimentais e também na atividade específica dos nódulos.

A maior acumulação de nitrogênio na planta ocorre entre 50 e 60 dias após a germinação, nos cultivares que apresentam ciclo vegetativo entre 90 e 100 dias. Quando o nitrogênio é deficiente, as plantas são atrofiadas com caule e ramos delgados, folhas apresentando coloração entre verde-pálido e amarela, a formação de ramos é reduzida, poucas flores se desenvolvem e as vagens contêm poucas sementes e estas são pequenas resultando em baixa produção de grãos (Araujo *et al.*, 1996).

Segundo Rosolem (1987), não houve diferença significativa entre as fontes de nitrogênio (uréia, sulfato de amônio e nitrato de sódio) na maioria dos ensaios analisados, embora Sá *et al.* (1981) tenham encontrado melhores resultados com nitrogênio na forma de nitrato quando comparado com uréia. Têm sido obtidas respostas do feijoeiro ao nitrogênio aplicado, de maneira generalizada no Brasil todo, embora a freqüência e a amplitude da resposta variem de região para região e, ainda, há que se considerar que, na época da seca, a probabilidade da resposta ao nitrogênio é menor que na época das águas.

Nos trabalhos de Siqueira e Franco (1988) e Amane *et al.* (1999), não ocorreram incrementos significativos de produtividade de feijão com a inoculação de estirpes de *Rizóbio*. Isso porque, em geral, as bactérias dos nódulos radiculares são consideradas pouco eficientes, pois não fixam a quantidade suficiente do nitrogênio do ar para satisfazer as necessidades do feijoeiro, quando se desejam altos rendimentos, daí a utilização de altas doses de nitrogênio na adubação.

A adubação de semeadura (10 a 20 kg de N ha⁻¹) e uma em cobertura (20 a 40 kg N ha⁻¹) em torno de 30 dias após a germinação têm resultado em maior produtividade que aplicações nitrogenadas sucessivas. Aplicações pesadas de nitrogênio têm prejudicado sua fixação biológica, contudo é necessária a aplicação deste nutriente pelo menos na semeadura, mesmo usando cultivares mais eficientes na fixação (Araujo *et al.*, 1996).

O feijoeiro, de modo geral, é considerado uma planta exigente em nutrientes devido ao seu ciclo curto e ao seu pequeno e pouco profundo sistema radicular (Rosolem e Marubayashi, 1994).

Freitas *et al.* (1994) consideram como objetivo principal da fertilização nitrogenada a complementação das exigências de nitrogênio pelas plantas que não foram supridas pelo N-inorgânico do solo ou pela fixação biológica do nitrogênio atmosférico.

Rosolem (1987), em trabalho de revisão

bibliográfica, inferiu que a maior demanda do feijoeiro por nitrogênio ocorre entre 45 e 55 dias da emergência, ou seja, em uma época em que a cultura encontra-se em final de florescimento (R5 – R6), já com um bom número de vagens em desenvolvimento. Desta maneira, seria esperado que aplicações do nutriente até 35 e 40 dias (V4 – R5) dessem bom resultado. Entretanto, alguns resultados experimentais mais atuais (Araujo *et al.*, 1996; Amane *et al.*, 1999) não têm confirmado essa hipótese; assim sendo, estes demonstraram que, quando a aplicação do fertilizante foi realizada na época da semeadura ou logo após a emergência, até os 20 dias (V2 – V3), 70% do nitrogênio contido na planta provinha do fertilizante; mas a partir de 60 dias (R6) essa taxa caiu para menos de 40%, de maneira que a planta ao final do ciclo continha bem mais nitrogênio proveniente do solo do que de fertilizante. Baseado nestes resultados, Araujo *et al.* (1996) recomendaram o parcelamento da adubação nitrogenada, devendo-se aplicar 1/3 da dose na semeadura e 2/3 dos 30 aos 45 dias (V4 – R6). Ainda relataram que, quando o nitrogênio é aplicado antes ou durante o florescimento, a utilização do fertilizante pelo feijoeiro é maior do que quando aplicado na semeadura.

Dourado Neto e Fancelli (2000) afirmaram que há uma necessidade de enfoque específico com ênfase na importância de se conhecer a fertilidade atual, bem como a de definir a produtividade almejada, levando em consideração as limitações metodológicas da análise química do solo. Recomenda-se aplicar de 20 a 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio, a partir de 1.200 kg ha⁻¹ de feijão como produtividade almejada, em aplicação única por ocasião da emissão do 3º trifólio (V4). Em situações especiais recomenda-se a aplicação de 10 a 25 kg ha⁻¹ de nitrogênio entre o estádio R5 (botões florais) e R7 (aparecimento das vagens). O parcelamento da adubação nitrogenada será necessário quando a cultura for instalada em solo com teor de argila inferior a 30% e a quantidade de nitrogênio a ser utilizada for superior a 60 kg ha⁻¹. Quando for utilizado o parcelamento, a segunda aplicação não deverá exceder 40% da primeira e deverá ser aplicada até o início do aparecimento dos botões florais (R5). A adubação em cobertura deverá ser incorporada, principalmente em sistemas de plantio direto, sendo imprescindível a definição prévia da produtividade a ser atingida. Recomenda-se o parcelamento da adubação nitrogenada levando em consideração a fenologia (estádios de definição da produção e a marcha de absorção de nitrogênio) da cultura de feijão e as condições edafoclimáticas do local de cultivo. Salienta-se a importância da incorporação do fertilizante nitrogenado, especialmente em sistemas de plantio direto, quando a fonte empregada for uréia.

Parra (2000) explicou que o nitrogênio é o

nutriente absorvido em maiores quantidades pelo feijoeiro. Devido ao fato de a fixação biológica não suprir a demanda da planta, a adubação nitrogenada freqüentemente tem proporcionado expressivos aumentos na produtividade do feijoeiro. Entretanto, a magnitude das respostas está relacionada ao manejo do solo e às condições climáticas ocorridas, pois por se tratar de um elemento móvel no solo e de baixa eficiência de absorção na fase inicial, recomenda-se o parcelamento da adubação nitrogenada.

Em relação à fonte de nitrogênio, os resultados encontrados por Araujo *et al.* (1996) permitem concluir que não existem grandes diferenças entre os fertilizantes disponíveis no mercado. Entretanto, os conhecimentos atuais mostram que, quando se aplica uréia em cobertura, deve-se proceder a sua incorporação a pelo menos 5 cm de profundidade, visando ao melhor aproveitamento do adubo.

Embora a uréia e o sulfato de amônio estejam entre os fertilizantes mais utilizados na cultura do feijoeiro, de um modo geral, as várias fontes de nitrogênio disponíveis no mercado poderão ser utilizadas. Em condições de deficiência de enxofre no solo há maior probabilidade de o sulfato de amônio proporcionar melhor resposta na produtividade da cultura, quando comparado com outro fertilizante que não contenha esse nutriente. Por outro lado, o custo unitário do nitrogênio deve ser levado em consideração na escolha do fertilizante nitrogenado e, neste aspecto, a uréia tem sido a opção mais freqüente (Parra, 2000).

O objetivo geral do presente trabalho foi de avaliar o efeito das fontes de nitrogênio uréia, sulfato de amônio, nitrato de amônio e cama de aviário, fornecidas nas mesmas quantidades de N, aplicadas em cobertura com ou sem incorporação ao solo, sobre os componentes de produção e a produtividade de feijão cultivado na safra das águas. Avaliou-se, também, os teores foliares de N, P, K, Ca e Mg.

Material e métodos

O experimento foi implantado em 19 de outubro de 2002, em área sob sistema convencional, localizado na Linha São Vicente, no município de Palotina, Estado do Paraná, Latitude 24° 39' S e Longitude 53° 36' W a 380 metros de altitude. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico (Embrapa, 1999), com textura argilosa.

A área, caracterizada por apresentar topografia plana, havia sido cultivada anteriormente com milho e, na entressafra, verificou-se a ocorrência de plantas daninhas como nabo forrageiro, camomila, picão-preto e serralha.

O clima que caracteriza a região é do tipo subtropical quente úmido, Cfa, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual

é de 24°C, com a mínima de 2°C e a máxima de 42°C, sendo que as médias de precipitações pluviais, temperaturas e umidade relativa nos meses de condução do experimento (outubro/2002 a janeiro/2003) estão indicados na Tabela 1.

Tabela 1. Médias de precipitações pluviais (mm), temperaturas máxima (MAX) e mínima (MIN), em °C, e umidade relativa (UR%) durante a realização do experimento, nos meses de outubro/2002 a janeiro/2003 (Iapar, Palotina, Estado do Paraná)

Mês	Precipitação (mm)	Temperaturas		UR%
		Max	Min	
Outubro	125	36,9	20,8	81,5
Novembro	307	35,8	19,4	81,4
Dezembro	129	31,7	20,4	82,3
Janeiro	335	30,7	18,9	83,0

No início do trabalho coletou-se amostra composta do solo em área total do experimento (média de 30 amostras simples), na profundidade de 0-20 cm, para análise de rotina no Laboratório de Química Agrícola e Ambiental da Unioeste. A caracterização química inicial da área experimental está representada na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios das principais características químicas do solo no início do experimento (0 – 20 cm). Palotina, Estado do Paraná, 2002

pH	MO	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	V	Al
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----	cmol _c dm ⁻³	-----	-----	---	% ---
4,34	22,78	11,34	0,32	4,22	1,48	0,50	45,54	7,67

Na área do experimento foi realizada uma subsolagem variando de 30 a 40 cm de profundidade, no dia 7 de setembro de 2002, e no dia 22 de setembro de 2002 foram aplicadas 2,54 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, conforme recomendação para elevar a saturação por bases a 60% para cultura do feijoeiro, sendo este incorporado no dia 28 de setembro de 2002 através de uma gradagem superficial, a qual também serviu como capina mecânica da área experimental.

Com ênfase em avaliar a eficiência de diferentes fontes de adubos nitrogenados na aplicação em cobertura na cultura de feijoeiro, utilizaram-se os insumos industriais: uréia, sulfato de amônio, nitrato de amônio e um adubo orgânico de cama de aviário sobre produtividade de grãos, componentes de produção e teores foliares de N, P, K, Ca e Mg.

A cama de aviário foi analisada em laboratório segundo metodologia de Tedesco *et al.* (1995) e apresentou as seguintes concentrações de macronutrientes: 19,3; 16,5 e 41,1 g Kg⁻¹ de N, P e K respectivamente, a qual foi obtida de aviários convencionais para criação de frangos de corte com uma média de quatro lotes de aves.

A adubação utilizada na semeadura, baseada em análise de solo, foi de 400 kg ha⁻¹ da fórmula 5-25-25, adicionando por hectare 20 Kg de N; 100 Kg de

P₂O₅; 100 Kg de K₂O e adubação de cobertura com 60 Kg de N ha⁻¹ (em uma aplicação de cobertura) no estádio V4 (3° trifólio), utilizando as fontes uréia (45% de N), sulfato de amônio (20% de N), nitrato de amônio (33% de N) e cama de aviário (1,93 % de N).

Para semeadura utilizou-se a cultivar de feijão Iapar 31, de porte ereto, altura média de 50 cm; hábito de crescimento indeterminado, tipo II, recomendado para semeadura em todo o Estado do Paraná (Iapar, 1994). As sementes foram tratadas com os produtos: *Carboxin* + *Thiram*, (Vitavax+Thiram) na dose (0,25 L produto comercial (pc) por 100 kg de sementes) e *Fipronil*. (Standak) na dose de 50,0 g do pc por 100 kg de sementes. Foi realizado teste de germinação em câmara de germinação do tipo BOD e obteve-se o resultado de 87,2% de germinação com plântulas normais.

Para o manejo das plantas daninhas emergidas, foi feito controle químico, através da aplicação de herbicida à base de *Glyphosate* na dose de 2,0 L do pc ha⁻¹.

A semeadura do feijão foi realizada no dia 19 de Outubro de 2002, utilizando-se uma semeadora de 9 linhas, com espaçamento de 0,45 m entre linhas e deposição de 10 sementes por metro linear.

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, sendo os tratamentos arrançados no esquema fatorial 5X2, com 4 repetições. As fontes de N foram aplicadas em cobertura no solo aos 25 dias após a emergência das plantas (V4) e avaliadas com e sem incorporação. A cama de aviário foi aplicada à lanço em área total e as fontes minerais nas entrelinhas da cultura.

As parcelas foram constituídas de 5 linhas de feijão com 4 metros de comprimento, tendo um espaço de 0,90 m de distância entre cada parcela. Como parcela útil utilizou-se as 3 linhas centrais desprezando-se ainda como bordadura 1 metro do início e 1 metro do final de cada parcela, ou seja, uma área útil de 2,7 m².

Aos 93 dias após a semeadura, colheu-se a parcela útil, em que foram avaliados os componentes de produção: número de vagens por planta, número de grãos por vagem, número de grãos por planta, massa de 100 grãos (13% de umidade) e produtividade.

O número de vagens por planta, bem como o número de grãos por vagem foram determinados pela média de 10 plantas colhidas aleatoriamente na área útil das parcelas por ocasião da colheita.

O número de grãos por planta também foi avaliado através da média de 10 plantas de cada parcela útil, contados de cada planta. A massa de 100 grãos (13% de umidade) foi determinada através da média de 10 amostras de cada parcela útil, sendo os grãos contados e pesados em balança semi-analítica e depois calculado o teor de umidade corrigido a 13%.

As produtividades de grãos de feijão, em kg ha⁻¹,

foram avaliadas após correção da umidade para 13%.

Para se determinar os teores de nutrientes nas folhas, estas foram coletadas conforme metodologia recomendada por Rosolem (1987), ou seja, coleta em 20 plantas da área útil de 20 trifólios (terço médio), na ocasião do aparecimento de botões florais (R5). O material coletado foi lavado com água destilada e deionizada e colocado para secar em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 65°C até massa constante e, posteriormente, moído. Amostras de 1,0 g de tecido foliar, secas e moídas, foram submetidas à digestão nítrico-peróxida para extração de K, Ca e Mg. Nos extratos, os teores desses nutrientes foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (Tedesco *et al.*, 1995). Para determinação do N total e P, utilizou-se amostras de 0,2 g que foram submetidas à digestão sulfúrica (Tedesco *et al.*, 1995). No extrato o N total foi determinado por destilação pelo método Kjeldahl e o P por espectrofotometria UV-VIS.

Na análise estatística utilizou-se o teste F e para comparação das médias o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados e discussão

Componentes de Produção e Produtividade

Na Tabela 3 estão contidos os resultados de componentes de produção e da produtividade de feijão em função das fontes e formas de aplicação de N em cobertura. Não houve efeito da fonte nem da forma de aplicação do nitrogênio para número de vagens por planta, número de grãos por vagem, número de grãos por planta e massa de 100 grãos. Entretanto, houve efeito significativo da interação

fonte versus forma de aplicação para a produtividade de grãos, no qual o desdobramento dessa interação está apresentado na Tabela 4.

Tabela 3. Componentes de produção (NV: número de vagens, NGV: número de grãos por vagem, NGP: número de grãos por planta, M100: massa de 100 grãos (g)) e produtividade do feijão lapa 31 (PROD: produtividade (Kg ha⁻¹)), em função de fontes e formas de aplicação de N em cobertura. Palotina, Estado do Paraná (2002)

Tratamentos	NV	NGV	NGP	M100	PROD*
Testemunha	15,00	4,75	74,75	16,24	2228,72
Uréia	14,87	4,75	72,75	18,67	3094,75
Sulfato de Amônio	18,00	4,75	84,37	18,45	3311,94
Nitrato de Amônio	17,12	5,00	83,50	20,12	3034,98
Cama de Aviário	17,00	4,87	81,00	18,99	3587,14
Com Incorporação	16,65	4,90	81,85	18,71	3325,22
Sem Incorporação	16,15	4,75	76,70	18,28	2777,79
CV%	18,33	7,85	19,71	15,44	14,01

Ao avaliar a Tabela 4, verifica-se que entre as fontes de nitrogênio, os tratamentos sulfato de amônio, nitrato de amônio e a uréia, foram significativamente superiores quanto à produtividade em relação ao tratamento cama de aviário e a testemunha, para o modo de aplicação com incorporação.

Verifica-se também na mesma tabela que, com incorporação do adubo, os tratamentos sulfato de amônio, nitrato de amônio, uréia e testemunha, não apresentaram diferenças estatísticas entre si, mas o tratamento cama de aviário foi superior a todos nesse modo de aplicação.

Teores Foliares de N, P, K, Ca e Mg

Na Tabela 5 estão os resultados para os teores de nutrientes encontrados na análise foliar. Estes

Tabela 4. Desdobramento da interação fontes versus modos (CI: com incorporação, SI: sem incorporação) de aplicação de N em cobertura sobre a produtividade do feijoeiro (Kg ha⁻¹) cultivar lapa 31. Palotina, Estado do Paraná (2002)

Modo	Testemunha	Uréia	Sulfato de Amônio	Nitrato de Amônio	Cama de Aviário
CI	2228,7 Ca	3657,9 Aba	4067,4 Aa	3655,8 ABa	3016,3 BCb
SI	2228,7 Ba	2531,6 Bb	2556,5 Bb	2414,1 Bb	4158,0 Aa

Letras iguais minúsculas na vertical e maiúsculas na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

indicaram que não houve interação significativa entre os tratamentos para os teores de P, K, Ca e Mg. Entretanto, para o nitrogênio, ocorreu interação significativa entre os tratamentos, cujo desdobramento está na Tabela 6.

Tabela 5. Teores foliares de N, P, K, Ca e Mg (dag Kg⁻¹), do feijão lapa 31 em função de fontes e formas de aplicação de N em cobertura. Palotina, Estado do Paraná (2002)

Tratamentos	Nutrientes (dag kg ⁻¹)				
	N**	P	K	Ca	Mg
Testemunha	3,21	0,95	1,48	0,30	0,45
Uréia	3,10	0,99	1,47	0,30	0,41
Sulfato de Amônio	3,33	0,99	1,56	0,30	0,46
Nitrato de Amônio	4,26	0,99	1,50	0,30	0,46
Cama de Aviário	3,71	0,98	1,52	0,29	0,40
Com Incorporação	3,64	0,98	1,53	0,30	0,43

Sem Incorporação	3,41	0,98	1,48	0,30	0,44
CV%	15,8	10,41	9,01	14,62	16,50

Segundo Oliveira *et al.* (1996), são considerados como níveis críticos internos para o desenvolvimento do feijoeiro, concentrações que variam de 2,8% a 6% de nitrogênio, de 0,25% a 0,5% de fósforo, de 1,8% a 2,5% de potássio, de 0,8% a 3% de cálcio e de 0,25% a 0,70% de magnésio. Quando resultados de análises foliares revelam concentrações de nutrientes abaixo dos níveis críticos, a cultura necessita de alguma adubação adicional para completar o seu ciclo vegetativo em condições nutricionais adequadas.

Já para Dourado Neto e Fancelli (2000), os teores críticos dos macronutrientes na folha do feijoeiro

comum são: 2,00 a 3,00% para o nitrogênio; 0,20 a 0,39% para o fósforo; 2,00 a 2,60% para o potássio; 1,50 a 2,40% para o cálcio e 0,20 a 0,29% para o magnésio. Sendo assim, os teores de N, P e Mg obtidos no presente trabalho podem ser considerados adequados, enquanto que o K e Ca ficaram em limites inferiores aos teores críticos, sendo assim, considerados deficientes. Entretanto, esta deficiência momentânea não resultou em limitações na produtividade de grãos.

Ao analisar a Tabela 6, verifica-se que, no modo de aplicação com incorporação, as fontes uréia, sulfato de amônio, nitrato de amônio e cama de aviário não apresentaram diferenças significativas entre si e em relação ao tratamento testemunha. Entretanto, para o modo de aplicação sem incorporação, as fontes nitrato de amônio e cama de aviário proporcionaram resultados significativamente maiores aos obtidos com uréia e sulfato de amônio, não diferindo, entretanto, do teor de N foliar obtido com o tratamento testemunha.

Verifica-se também na Tabela 6, que nas fontes uréia e sulfato de amônio, a melhor forma de aplicação foi com incorporação, sendo que, para a fonte nitrato de amônio, não houve diferença entre os modos. Para a cama de aviário, o maior teor de N foliar foi obtido sem incorporação do material.

Analisando os efeitos dos tratamentos contidos na Tabela 4 (desdobramentos da produtividade) e Tabela 6 (teor de nitrogênio nas folhas), verifica-se que os tratamentos uréia, sulfato de amônio e nitrato de amônio com incorporação tiveram melhores resultados. No caso da uréia, Silva *et al.* (1995),

explicou que as perdas de NH_3 por volatilização diminuíram com a incorporação e localização da uréia no solo.

Segundo Jorge (1985), a cama de aviário trata-se de um material que ainda não se encontra estabilizado por possuir grande quantidade de maravalha. Devido a essa característica do material utilizado no presente trabalho, o menor teor de N foliar, quando se utilizou a cama de aviário incorporada, poderia ser explicado pelo fato desta não ter sofrido o processo de estabilização. Assim, ao entrar em contato com o solo, a atividade microbiana foi intensificada pela presença de substrato, resultando em aumento da decomposição, gerando um déficit temporário de nitrogênio para a cultura.

Essa afirmação está de acordo com Kirchmann e Bernal (1997), que verificaram no tratamento com cama de aviário, as maiores taxas de indisponibilização de N em relação às fontes minerais, as quais foram explicadas pelo fato desta não ter sofrido o processo de estabilização antes da aplicação, sendo rica em nitrogênio proveniente das fezes e carbono presente na maravalha, que ao entrar em contato com o solo, tem a atividade microbiana intensificada pela presença de alimento (C), resultando em aumento da decomposição e conseqüente déficit momentâneo de N disponível para as plantas.

Malavolta (1989) comentou ainda que “à medida que a matéria orgânica vai se decompondo, os nutrientes são liberados gradualmente, tornando-se aproveitáveis pelas plantas”. Essa afirmativa pode explicar em parte os resultados da Tabela 6, em que a aplicação sem incorporação da cama de aviário,

Tabela 6. Desdobramento da interação fontes versus modos (CI: com incorporação, SI: sem incorporação) de aplicação de N em cobertura sobre o teor de N foliar em feijão Iapar 31. Palotina, Estado do Paraná (2002).

Modo	Testemunha	Uréia	Sulfato de Amônio	Nitrato de Amônio	Cama de Aviário
CI	3,21 Aa	3,67 Aa	3,78 Aa	4,33 Aa	3,20 Ab
SI	3,21 ABa	2,53 Bb	2,89 Bb	4,19 Aa	4,22 Aa

Letras iguais, minúsculas na vertical e maiúsculas na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Tuckey a 5%.

devido à decomposição mais gradual, pode ter fornecido N e outros nutrientes em quantidade, nos estádios em que a planta mais necessita desses elementos (R5 ao R8), ou seja, no crescimento de vagens e enchimento de grãos, o que resultou em maior produtividade (Tabela 4).

Os menores rendimentos de grãos nos tratamentos com uréia, sulfato de amônio e nitrato de amônio, para a aplicação sem incorporação comparados aos obtidos com incorporação destes fertilizantes, pode ser explicado, pois, segundo Olson e Kurtz (1982), a baixa eficiência do uso de nitrogênio de fertilizantes pelas culturas deve-se a quatro processos que atuam de forma direta: as perdas por volatilização de amônia, a denitrificação, o escoamento superficial e a imobilização microbiana. Por sua vez, a utilização do N-fertilizante pelas plantas pode ser maximizada,

aplicando-se o adubo na região mais ativa do sistema radicular e no estágio fisiológico no qual a cultura apresenta maior demanda pelo nutriente, tudo isso aliado a condições adequadas de regime hídrico a práticas de manejo.

Complementando essa afirmação, segundo Lopes (1998), os teores adequados de fósforo e potássio aumentam a capacidade das plantas em utilizar altas doses de nitrogênio na produção de proteínas melhorando a qualidade dos produtos, essa alta quantidade de P e K é encontrada na análise do solo do experimento (Tabela 2) e pode ter influenciado nos resultados, quando compara-se as fontes minerais incorporadas em relação à cama de aviário.

O nitrogênio também é muito importante nas fases de floração e enchimento de grãos. No feijão, por exemplo, como existem muitas vagens e grãos

crescendo quase ao mesmo tempo, a demanda de N nesse período é considerável. Também nesse período o nitrogênio das folhas é translocado para os grãos e as folhas inferiores caem, fazendo com que a taxa fotossintética das folhas remanescentes decresça simultaneamente devido à escassez de nitrogênio (Oliker *et al.*, 1978). Essa afirmação explica por que no tratamento com cama de aviário, com incorporação, devido uma rápida decomposição, acarretou falta de nitrogênio na época de alta demanda pelo nutriente.

Deve-se levar em consideração que as testemunhas também apresentaram bons resultados (Tabelas 4 e 6), indicando que a planta de alguma maneira conseguiu compensar a falta de uma aplicação nitrogenada de cobertura. Para auxiliar essa constatação, Hungria *et al.* (1985) afirmaram que tem sido verificado que o N mineral pode inibir a nodulação e a fixação do N₂, tendo sido comprovado, inclusive, que a associação simbiótica *Phaseolus vulgaris* - *Rhizobium* é muito sensível à presença do N mineral. Essa afirmação poderia explicar, em parte, o resultado de teor foliar de N da testemunha (Tabela 6), que teve um valor estatisticamente semelhante aos melhores tratamentos no modo com incorporação e sem incorporação. Assim, nas testemunhas, por não ter sido aplicado nenhuma fonte de N em cobertura, pode ter favorecido a presença de bactérias do gênero *Rhizobium*, que segundo Rosolem (1987), *Rhizobium phaseoli* é de ocorrência generalizada nos solos brasileiros. Embora, no presente trabalho, não terem sido avaliadas a nodulação e a fixação de N atmosférico, como a área, anteriormente havia sido cultivada com soja e feijão em rotação nos anos anteriores, pode ter ocorrido esse efeito residual na nodulação do feijoeiro.

Gallo e Miyasaka (1961), citados por Neptune e Muraoka (1978), relataram resultados semelhantes, tendo em vista que a maior demanda de N pelo feijoeiro ocorreu no período de enchimento de grãos. Consideraram também que a adubação nitrogenada pode interferir com o processo de fixação simbiótica do nitrogênio, pois o feijoeiro absorve e utiliza este nutriente até um certo teto para a produção de grãos (R8).

Verifica-se que a incorporação das fontes minerais foi benéfica porque as perdas de N foram menores (Tabelas 4 e 6), conseqüentemente maior foi a disponibilidade de N para as plantas de feijão, refletindo assim na maior concentração nas folhas que aumentou a produtividade de grãos.

Carvalho *et al.* (1999) afirmaram que o nitrogênio é um dos elementos essenciais absorvido e exportado em maior quantidade, devido a sua dinâmica no solo pode ser perdido facilmente; sendo assim fundamental o estudo das fontes e das formas de aplicação desse elemento, de modo a proporcionar

um melhor aproveitamento do nutriente pela planta, aumentando a produtividade e, com isso, melhorando a relação custo/benefício para o produtor.

Neste experimento deve-se levar em consideração que o mesmo foi realizado em apenas um ano e num local e, segundo Cardoso *et al.* (1978) cultivares de feijão apresentam resposta diferenciada ao N e que a frequência e amplitude da resposta variam de acordo com a região e clima. Azan *et al.* (1985) relataram, também, que os valores de produtividade podem ser significativamente maiores ou menores, em função de vários fatores relacionados com a planta, com o solo, com a fonte de N usada, com o manejo empregado e com as condições ambientais, particularmente precipitação e temperatura.

Conclusão

As fontes e modos de aplicação de N influenciaram a resposta do feijoeiro à adubação nitrogenada.

As fontes minerais de N foram mais eficientes nos acréscimos de rendimentos de grãos de feijão quando aplicadas em cobertura e com posterior incorporação ao solo, enquanto que a cama de aviário destacou-se dos demais tratamentos quando mantida na superfície.

Em relação ao modo de aplicação, os teores de N foliar foram maiores para as fontes minerais quando incorporadas ao solo, comparadas ao modo sem incorporação. Comportamento inverso verificou-se em relação à cama de aviário.

Referências

- AMANE, M.L.V. *et al.* Adubação nitrogenada e molibídica da cultura do feijão na Zona da Mata de Minas Gerais. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 645-650, 1999.
- ARAUJO, R.S. *et al.* *Cultura do feijoeiro comum no Brasil*. Piracicaba: Potafós, 1996.
- AZAN, F. *et al.* Transformations in soil and availability to plants of nitrogen-15 applied as inorganic fertilizer na legume residues. *Plant Soil*, Madison, v. 86, n. 1, p. 3-13, 1985.
- CARDOSO A.A. *et al.* Efeitos de fontes e doses de adubo nitrogenado sobre a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 139, n. 2, p. 292-295, 1978.
- CARVALHO, M.A.C. *et al.* Efeitos de modos de aplicação e fontes de fertilizantes nitrogenados no feijoeiro de "inverno" (*Phaseolus vulgaris* L.). In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6, 1999, Salvador. *Resumos Expandidos*. Goiânia: Embrapa (CNPAP), 1999. p. 816-818.
- DOURADO NETO D.; FANCELLI, A. L. *Produção de Feijão*. Guaíba: Agropecuária, 2000.
- EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solo (Rio de Janeiro – RJ). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília: Embrapa Produção de Informações, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

- EMBRAPA, Arroz e Feijão. *A Cultura do Feijoeiro, Sistemas de Produção do Feijoeiro*. 2002. On-line. Disponível em www.cnpaf.embrapa.br. Acesso em: 20 set. 2002.
- FREITAS, J. G. et al. Produtividade e resposta de genótipo de trigo ao nitrogênio. *Bragantia*, Campinas, v. 53, n. 2, p. 281-290, 1994.
- HUNGRIA, M. et al. Assimilação do nitrogênio pelo feijoeiro. 1. atividade da nitrogenase, da redutase do nitrato e transporte do nitrogênio na seiva do xilema. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 9, n. 1, p. 193-200, 1985.
- IAPAR. *Cultivar de feijão IAPAR 31*. Londrina: Iapar, 1994. 8p. (Panfleto explicativo, 2ª tiragem).
- JORGE, J.A. *Física e manejo dos solos tropicais*. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985.
- KIRCHMANN, H.; BERNAL, M.P. Organic waste treatment and C stabilization efficiency. *Soil Biol. Biochem.*, Kidlington, v. 29, n. 11/12, p. 1747 – 1753, 1997.
- LOLLATO, M. A. et al. *Cadeia produtiva do feijão: diagnóstico e demandas atuais*. Londrina: Iapar, 2001. 48p. (Documento, 25).
- LOPES, A.S. *Manual internacional de fertilidade do solo*. 2 Ed. Piracicaba: Potafós, 1998.
- MALAVOLTA, E. *ABC da adubação*. 5. ed. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1989.
- NEPTUNE, A. M.L; MURAOKA, T. Aplicação de uréia em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) cultivar carioca. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 2, n. 1, p. 51-55, 1978.
- OLIKER, M. et al. Changes in weight nitrogen accumulation respiration and photosynthesis during growth and development of seed and pods of *Phaseolus vulgaris*. *Am. J. Bot.*, Lawrence, v. 65, n. 3, p. 366-71, 1978.
- OLIVEIRA, P.I. et al. A Planta: nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In: ARAUJO, R.S. et al. *Cultura do feijoeiro comum do Brasil*. Piracicaba: Potafós, 1996. Seção 3, p. 169-221.
- OLSON, R.A; KURTZ, L.T. Crop nitrogen requirements, utilization and fertilization. In: STEVENSON, F.J. (Ed.). *Nitrogen in agricultural soils*. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 567-604.
- PARRA, M.S. *Feijão: Tecnologia de Produção*. Londrina: Iapar, 2000. 115p. (Informe da pesquisa, 135).
- ROSOLEM, C.A.. *Nutrição e Adubação do Feijoeiro*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 93p. (Boletim técnico, 8).
- ROSOLEM, C. A; MARUBAYASHI, O. M. Seja o Doutor do seu Feijoeiro. In: *Encarte de Informações Agronômicas*, Piracicaba: Potafós, n.689, 1994, 16p.
- SÁ, M.F.M., et al. Efeitos da aplicação de N-mineral sobre a assimilação de nitrogênio e produção de sementes por *Phaseolus vulgaris*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18, Salvador, 1981. *Resumos*. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1981. p.87.
- SILVA, A.J. et al. Perdas de amônia por volatilização proveniente da uréia aplicada a solos dos trópicos úmidos. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 19, n. 1, p. 141-144, 1995.
- SIQUEIRA J.O.; FRANCO, A.A. *Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas*. Brasília: Ministério da Educação e Cultura, 1988.
- TEDESCO, M. J. et al. Resíduos orgânicos no solo e o impacto no ambiente. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, 1995. p. 159-196.

Received on March 03, 2005.

Accepted on November 23, 2005.