

Rendimento de grãos e componentes de rendimento do feijoeiro em função da aplicação foliar de doses crescentes de molibdênio

Uberlando Tiburtino Leite¹, Geraldo Antônio de Andrade Araújo², Glauco Vieira Miranda², Rogério Faria Vieira³, José Eustáquio de Souza Carneiro² e André Assis Pires^{4*}

¹Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. ²Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. ³Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Centro Tecnológico da Zona da Mata, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. ⁴Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Setor de Nutrição Mineral de Plantas, Av. Alberto Lamego, 2000, 28013-600, Parque Califórnia, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: e-mail: assis@uenf.br

RESUMO. Avaliou-se a influência de doses elevadas de molibdênio aplicadas via foliar sobre componentes de produção e rendimento de grãos dos feijoeiros Novo Jalo e Meia Noite. Conduziu-se o experimento entre março e junho de 2002 em Coimbra, Estado de Minas Gerais, utilizando delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, arranjados no esquema fatorial 7 x 2, (sete doses de Mo combinadas com os cultivares Novo Jalo e Meia Noite). As doses 80 e 160 g ha⁻¹ foram aplicadas 20 dias após a emergência (DAE) das plântulas em dose única. As doses (320 e 640 g ha⁻¹) foram ministradas em três aplicações (15, 20 e 25 DAE), e as doses (1.280 e 2.560 g ha⁻¹) em quatro aplicações (15, 20, 25 e 30 DAE). Os componentes de produção, exceto o número de sementes por vagem e o rendimento de grãos foram influenciados pela adubação molíbdica. A dose ótima estimada de Mo para o feijoeiro, em ambos os cultivares, foi de 255 g ha⁻¹. Doses de molibdênio até 2.560 g ha⁻¹ não promoveram decréscimos em nenhum dos componentes da produção nem no rendimento de grãos.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*, molibdênio, adubação foliar.

ABSTRACT. Grain yield and production components of the bean plant as a result of the application of increasing doses of molybdenum. The influence of high doses of molybdenum through foliar application was evaluated on production components and grain yield of the bean plants Novo Jalo and Meia Noite. The experiment was carried out from March to June, 2002, on Coimbra, Minas Gerais State. A randomized block design, with four repetitions, arranged in the factorial outline 7 x 2 (seven doses of molybdenum combined with Novo Jalo and Meia Noite cultivars) was used. The doses 80 and 160 g ha⁻¹ were applied 20 days after the plantules emergence (DAE) in only dose. The doses (320 and 640 g ha⁻¹) were applied in three applications (15, 20 and 25 DAE), and the doses (1,280 and 2,560 g ha⁻¹) in four applications (15, 20, 25 and 30 DAE). The production components, except the number of seeds for green bean and the income of grains, were influenced by the molybdenum fertilization. The expected optimum rate of molybdenum for the bean plant, in both cultivars, was of 255 g ha⁻¹. Molybdenum doses up to 2,560 g ha⁻¹ did not decrease any of the components of the production nor the grain yield.

Key words: *Phaseolus vulgaris*, molybdenum, foliar fertilization.

Introdução

O feijoeiro depende de adubação nitrogenada suplementar para alcançar produções expressivas, apesar de associar-se simbioticamente com o rizóbio para fixação do nitrogênio molecular (N₂). Desse modo, no Brasil, a deficiência de nutrientes nos solos, em especial de nitrogênio, tem sido considerada fator preponderante para a obtenção

de baixos rendimentos pelo feijão. Em razão do elevado custo dos adubos nitrogenados e do baixo poder aquisitivo da maioria dos produtores, necessário se faz disponibilizar alternativas menos onerosas para o produtor, especialmente para os de baixa renda.

A redução do N₂ atmosférico a amônia (NH₃) ocorre pelo processo denominado fixação simbiótica. Esse processo é realizado pela enzima nitrogenase, a

qual se constitui de duas proteínas distintas, contendo íons de Mo e de Fe (Salisbury e Roos, 1991). Por sua vez, a redução biológica do nitrato (NO_3^-) a nitrito (NO_2^-) é processo catalisado pela enzima redutase do nitrato, e constitui a primeira etapa da incorporação do nitrogênio às proteínas, influenciando, diretamente, a assimilação do N absorvido. O molibdênio atua nesse complexo enzimático como co-fator específico no transporte de elétrons, juntamente com a flavina-adenina-dinucleotídeo e com o citocromo-b, reduzindo o nitrato a nitrito no citoplasma celular (Marschner, 1995). Desse modo, o molibdênio é indispensável ao desenvolvimento do feijoeiro, sendo fundamental para a obtenção de incrementos no rendimento.

Apesar da essencialidade do Mo para as plantas, especialmente para as fixadoras de N_2 atmosférico, a quantidade desse elemento requerida pelas plantas é consideravelmente reduzida, podendo ser fornecido via fertigação, já que o mesmo é translocado na planta satisfatoriamente.

A adubação molíbdica pode ser alternativa econômica ao nitrogênio, uma vez que há a possibilidade de o molibdênio aumentar a fixação do N_2 , suprimindo parte da adubação nitrogenada aplicada ao feijoeiro. Segundo Vieira *et al.* (1998), a dose de 40 g ha^{-1} de Mo promoveu incrementos na produtividade equivalente à aplicação de 30 kg ha^{-1} de N em cobertura sem aplicação de molibdênio, cerca de 2.100 kg ha^{-1} . Vieira *et al.* (1992) obtiveram aumento de 200% na produção de feijão quando foram aplicados 20 g ha^{-1} de Mo e a associação do Mo com N trouxe incrementos adicionais de 19%.

Contudo, a dose de molibdênio indicada para o feijoeiro tem sofrido incrementos desde os estudos iniciais. Na década de 70 do século XX, verificou-se que a dose ótima estimada para essa cultura era bastante baixa. Braga (1972) obteve resposta quadrática à aplicação do Mo no solo, com a produção máxima sendo promovida pela dose de 13,5 g ha^{-1} de Mo. Junqueira Netto *et al.* (1977), em Paula Cândido, obtiveram incrementos da ordem de 130% resultantes da aplicação de apenas 12,9 g ha^{-1} de Mo nas sementes umedecidas, ao passo que, em Viçosa, o efeito da adubação molíbdica sobre o feijoeiro só ocorreu quando associada às adubações com fósforo, nitrogênio e cobalto. Na década de 90, conseguiram-se respostas positivas à adubação molíbdica foliar com doses mais elevadas. Berger *et al.* (1996) concluíram que a dose de Mo que permite as mais altas produções é de 80 a 90 g ha^{-1} , devendo ser aplicada via foliar entre 14 e 28 dias após a emergência de plântulas.

Pesquisas recentes na Zona da Mata de Minas Gerais indicam a viabilidade da aplicação foliar de doses mais elevadas de Mo (acima de 1.000 g ha^{-1}). Este histórico permite, portanto, a possível recomendação de doses de molibdênio acima de 80 g ha^{-1} para o feijoeiro, em áreas intensivamente cultivadas em que não houve a devida reposição do nutriente.

O presente trabalho objetivou determinar a influência de doses elevadas de molibdênio aplicado via foliar sobre os componentes de produção e rendimento de grãos do feijoeiro.

Material e métodos

O experimento foi conduzido de março a junho de 2002 na Estação Experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, em Coimbra, Estado de Minas Gerais. O local é caracterizado pelas coordenadas geográficas 20° 50' 30" de latitude sul e 42° 48' 30" de longitude oeste, com altitude de 715 metros. O solo é classificado como argissolo vermelho-amarelo distrófico (CFSMG, 1999), o qual foi previamente amostrado à profundidade de 0-20 cm para as caracterizações química e física, obtendo-se os seguintes resultados: pH em água (1:2,5) = 5,87; Al^{3+} = 0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Ca^{2+} = 1,34 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg^{2+} = 0,44 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; K = 60 mg dm^{-3} ; P = 8,3 mg dm^{-3} ; Na = 5,3 mg dm^{-3} ; Mo = 0,86 mg dm^{-3} (extrator Mehlich-3); Cu = 2,3 mg dm^{-3} ; Mn = 77,8 mg dm^{-3} ; Fe = 58,5 mg dm^{-3} ; Zn = mg dm^{-3} ; C = 1,46 dag kg^{-1} ; CTC efetiva = 1,93 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; CTC total = 3,29 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; V = 58,7%.

Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, com os tratamentos arranjados no esquema fatorial 7 x 2, ou seja, sete doses de Mo aplicados via foliar (0, 80, 160, 320, 640, 1.280 e 2.560 g ha^{-1}) combinadas com os cultivares Novo Jalo (sementes grandes) e Meia Noite (sementes pequenas). As doses de 80 e 160 g ha^{-1} foram aplicadas de uma só vez, aos 20 dias após a emergência das plântulas (DAE). As doses 320 e 640 g ha^{-1} foram fornecidas em três aplicações (15, 20 e 25 DAE), e as doses 1.280 e 2.560 g ha^{-1} , em quatro aplicações aos 15, 20, 25 e 30 DAE. Este procedimento teve o objetivo de evitar possíveis danos pelo excesso do nutriente à planta. A alternância de 5 dias entre uma aplicação e outra se justifica pelo rápido desenvolvimento inicial do feijoeiro. A pulverização foi realizada utilizando pulverizador costal manual de 20 litros.

A semeadura foi realizada em março de 2002. A densidade populacional utilizada foi de 300.000 plantas ha^{-1} . A unidade experimental foi constituída de cinco linhas de 5 m de comprimento, espaçadas a 0,5 m entre si. A parcela útil, com 6 m^2 , foi formada

por três linhas centrais, excluindo-se como bordadura as linhas externas e 0,50 m de cada extremidade das linhas centrais. Os dados dos componentes de rendimento foram obtidos em duas das três linhas centrais, com área total de 4,0 m².

Os tratamentos receberam adubação uniforme com 300 kg ha⁻¹ da fórmula 08-28-16 no sulco de plantio. Não houve aplicação adicional de nitrogênio em cobertura. A fonte de molibdênio utilizada foi o molibdato de amônio [(NH₄)₆Mo₇O₂₄·2H₂O], com 54% de Mo.

O preparo do solo foi realizado de forma convencional, com uma aração e duas gradagens leves e posterior abertura de sulcos. Foram realizadas capinas manuais para o controle de plantas daninhas, bem como os tratamentos fitossanitários necessários para manter o ensaio livre de pragas e de doenças, durante o ciclo da cultura, utilizando produtos químicos que não continham molibdênio em suas formulações. Quando necessária, foi realizada irrigação por aspersão no experimento.

Os componentes de produção avaliados foram: número de vagens por área, número de grãos por vagem, massa de 100 sementes e produtividade de grãos.

Os dados foram submetidos ao teste F e as médias, quando significativas, comparadas através do teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para as doses, utilizou-se regressão polinomial para verificar se houve ou não ajuste dos dados obtidos.

Resultados e discussão

A análise de variância dos dados revelou efeito significativo ($p < 0,01$) dos níveis de Mo sobre os componentes da produção, exceto sobre o número de sementes por vagem. Estes resultados assemelham-se àqueles obtidos por vários autores em ensaios realizados na Zona da Mata Mineira (Vieira *et al.*, 1992; Vieira e Carvalho, 1994; Amare *et al.*, 1994; Berger, 1995; Berger *et al.*, 1996; Amare, 1997; Coelho *et al.*, 1998; Araújo, 2000; Ferreira, 2001; Pires *et al.*, 2004).

Também foi detectado efeito significativo ($p < 0,01$) do cultivar sobre todos os componentes da produção, sem, no entanto, influenciar significativamente no rendimento final de grãos. A interação entre esses dois fatores influenciou significativamente ($p < 0,05$) apenas a produção de vagens por área, e a melhor combinação ocorreu com a dose 320 g ha⁻¹ de Mo no cultivar Meia Noite.

Efeito do cultivar

As médias do número de vagens por área, de sementes por vagem, da massa de 100 sementes e do

rendimento de grãos, de cada cultivar, estão apresentadas na Tabela 1. Todos os componentes da produção variaram com o cultivar, obtendo o tratamento com o cultivar Meia Noite as maiores médias de número de vagens por área e número de sementes por planta; Novo Jalo obteve a maior média de massa de 100 sementes.

Estes resultados já eram esperados, pelo fato de os dois cultivares testados apresentarem características distintas em relação a essas variáveis, sendo o Meia Noite mais prolífico – produzindo, portanto, maior número de vagens e de sementes que o Novo Jalo que, em contrapartida, produz sementes com aproximadamente o dobro da massa das produzidas pelo Meia Noite.

Tabela 1. Médias do número de vagens por área (VA, vagem m⁻²), do número de sementes por vagem (SV), da massa de 100 sementes (M100s, g) e do rendimento de grãos (RG, kg ha⁻¹) dos cultivares de feijão Novo Jalo e Meia Noite.

Cultivar	Componentes			
	VA	SV	M100s	RG
Novo Jalo	110,9 b	3,7 b	47,0 a	2.189 a
Meia Noite	162,4 a	5,1 a	21,3 b	2.124 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Quanto ao rendimento de grãos, esperava-se que o Meia Noite obtivesse produtividade superior à do Novo Jalo, dadas as informações de que cultivares de ciclo vegetativo mais longo e com hábito de crescimento indeterminado, como o Meia Noite, são mais produtivos que aqueles de ciclo mais precoce e de hábito determinado de crescimento, caso do Novo Jalo, porém, não foi detectado efeito significativo do cultivar (Rennie e Kemp, 1983; Chaverra e Graham, 1992).

Efeito da adubação molibídica

Os modelos de regressão aos quais os dados foram ajustados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Equações ajustadas aos dados de rendimento e componentes do rendimento de feijão, cvs. Novo Jalo e Meia Noite, com seus respectivos coeficientes de variação ajustados.

Variável	Equação Ajustada	R ² aj.
VA ¹	$Y = 151,07 * [1 - 10^{-0,0065 (Dose + 49,84)}]$	0,90**
SV ²	$Y = 4,45 * [1 - 10^{-0,155 (Dose + 62,80)}]$ $* [10^{-0,0000013 (Dose + 92,80)^2}]$	0,90**
M100s ²	$Y = 35,07 * [1 - 10^{-0,0099 (Dose + 90,75)}]$ $* [10^{-0,0000029 (Dose + 90,75)^2}]$	0,97**
RGrão ²	$Y = 2384,68 [1 - 10^{-0,012 (Dose + 21,37)}]$ $* [10^{-0,00000002 (Dose + 21,37)^2}]$	0,96**

¹Modelo exponencial de Mitscherlich (primeira equação); ²Modelo exponencial de Mitscherlich (segunda equação).

As curvas ajustadas para os componentes de produção e para o rendimento de grãos podem ser divididas em duas fases: 1- crescimento muito acentuado dos valores estimados em resposta à aplicação de doses mais baixas do molibdênio; 2- fase de estabilização (no caso da produção de vagens por área) ou sensível redução, dos valores estimados (no caso das demais características), em resposta à aplicação de doses mais elevadas do nutriente (Figura 1).

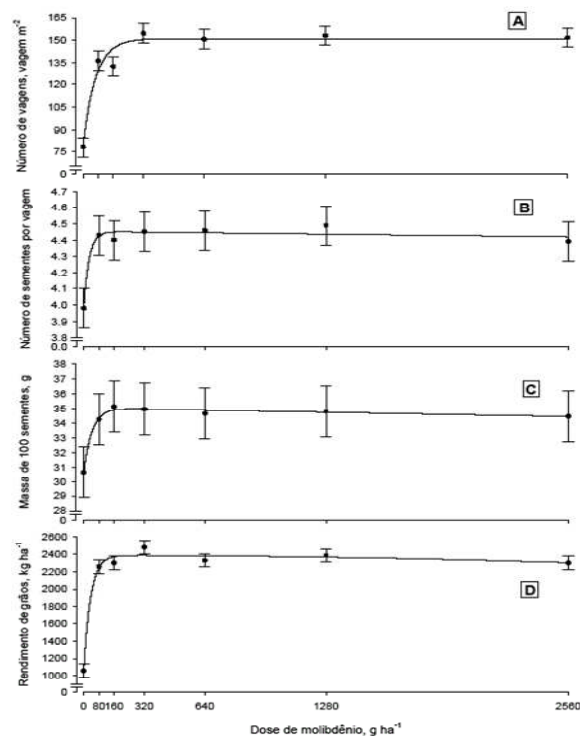


Figura 1. Efeitos de doses de Mo aplicadas via foliar sobre componentes da produção e rendimento de grãos de feijão (média dos cvs. Novo Jalo e Meia Noite). O símbolo representa o erro quadrado médio ajustado para as médias.

O início dessas curvas explicita a elevada resposta do feijoeiro à adubação molíbdica via foliar, com obtenção de incrementos significativos e expressivos nos valores estimados, usando doses reduzidas do nutriente, reafirmando informações de que o Mo é exigido em quantidades bastante reduzidas pelas plantas, tanto por espécies não leguminosas como por leguminosas (Marschner, 1995; Hu *et al.*, 2002). No entanto, a inexistência de decréscimos acentuados nos valores estimados, em todas as características, promovidos pelo uso de doses mais elevadas de Mo, contradiz a afirmação de que, ao menos para o feijoeiro, a toxicidade do Mo possa resultar de doses iguais ou superiores a 240 g ha⁻¹, como sugerem Marschner (1995) e Vieira *et al.* (1998).

A ausência de efeitos tóxicos visíveis, advindos do

uso de doses elevadas, parece indicar a existência de mecanismos internos da planta, inativando e acumulando o molibdênio absorvido em excesso (Hale *et al.*, 2001), ou mesmo por um efeito de massa, uma vez que, mesmo nas maiores doses, o Mo não consegue competir pelos sítios de adsorção do solo, sendo perdido através da lixiviação, ou formando algum tipo de complexo no solo.

O número de vagens por área (vagem m⁻²) foi influenciado pelas doses de molibdênio ($p < 0,01$), com os dados ajustando-se à primeira equação exponencial de Mitscherlich (Figura 1A). A aplicação de 80 g ha⁻¹ de Mo resultou em incrementos na produção de vagens da ordem de 63% em relação à obtida sem a aplicação do micronutriente. Esse aumento na produção de vagens promovido pela adubação molíbdica é confirmado por resultados reportados na literatura. Ferreira (2001) e Pires *et al.* (2004), trabalhando com o feijão Meia Noite, obtiveram incrementos da ordem de 20 e 62%, respectivamente, com a aplicação dessa mesma dose. Contudo, a produção máxima de vagens por área (151 vagens m⁻²) foi obtida com a dose estimada de 429 g ha⁻¹ de Mo. Essa produção foi de 91% superior àquela obtida sem a adubação molíbdica, e aproximadamente 17% superior àquela obtida com a aplicação de 80 g ha⁻¹ de Mo. Também, a produção estimada de vagens, promovida pela aplicação de 2.560 g ha⁻¹ de Mo, possibilitou esses mesmos acréscimos em relação às produtividades alcançadas no tratamento sem adubação e naquele adubado com 80 g ha⁻¹ do nutriente.

As doses de adubação molíbdica não influenciaram significativamente a produção de sementes por vagem. Contudo, os dados ajustaram-se ao segundo modelo exponencial de Mitscherlich (Figura 1B). A aplicação de 80 g ha⁻¹ de Mo via foliar resultou em incrementos na produção de sementes por vagem da ordem de 11% em relação à obtida sem essa adubação. Resultados semelhantes também foram obtidos por Ferreira (2001), que reporta incrementos da ordem de 13% na produção de sementes por vagem em resposta à aplicação de 80 g ha⁻¹ de Mo. Pires *et al.* (2004) cita aumento do número de sementes por vagem de 4,84 no tratamento testemunha, para 5,27 (incremento de 8,8%) nos tratamentos adubados com 80 g ha⁻¹ de Mo, em dose única ou parcelada. O valor máximo obtido no presente estudo (4,45 sementes por vagem⁻¹) não foi proporcionado pela dose de 80 g ha⁻¹ de Mo. Aqui, esse valor foi conseguido com a dose estimada de 123 g ha⁻¹ de Mo. Os incrementos proporcionados por essa dose, em relação ao tratamento sem adubação e com aplicação de 80 g

ha⁻¹ de Mo foram, respectivamente, de 12 e 0,68%. Houve, portanto, pouca diferença entre as produções obtidas com essas duas doses. Vale ressaltar, entretanto, que o número de sementes por vagem é característica genética do cultivar, sendo pouco influenciada por fatores externos como a adubação.

A aplicação de molibdênio via foliar, em diferentes níveis, influenciou significativamente ($p < 0,05$) o comportamento da massa de 100 sementes: as produzidas com adubação apresentaram maior tamanho e massa em relação àquelas produzidas sem adubação (Figura 1C). Os dados dessa variável ajustaram-se ao modelo representado pela segunda equação exponencial de Mitscherlich. As sementes das plantas adubadas com 80 g ha⁻¹ de Mo apresentaram média de massa de 100 sementes (34,3 g), 12% superior (30,6 g) à das sementes produzidas sem adubação molibídica. Com a aplicação dessa mesma dose no cultivar Meia Noite, Ferreira (2001) e Pires *et al.* (2004) obtiveram incrementos de 7 e 9,5%, respectivamente. Também houve, para a massa de 100 sementes (Figura 1C), incrementos expressivos com a aplicação de doses superiores a 80 g ha⁻¹ de Mo. Assim, o valor máximo estimado da massa de 100 sementes (35 g) foi obtido com a dose estimada de 199 g ha⁻¹ de Mo, com aumento de até 2% em relação à massa obtida com aquela dose. Esse incremento, apesar de parecer pouco expressivo, ganha importância quando analisado juntamente com o número de sementes produzidas por hectare, resultando em ganhos expressivos no rendimento de grãos. Em adição, o fornecimento de 2.560 g ha⁻¹ de Mo resultou em incrementos de 12,42% em relação ao tratamento sem adubação, sendo, apesar de pouco expressivo, superior ao proporcionado pela aplicação de 80 g ha⁻¹ de Mo.

A Figura 1D apresenta os dados de rendimento de grãos, que se ajustaram ao modelo exponencial representado pela segunda equação de Mitscherlich. Na ausência de adubação molibídica, o Novo Jalo rendeu 55% mais que o Meia Noite (1.289 e 831 kg ha⁻¹, respectivamente). Em leguminosas, a floração tardia pode estender o período de fixação biológica de N₂ e, conseqüentemente, reduzir a dependência da adubação nitrogenada (Chaverra e Graham, 1992). Assim, a obtenção de maior rendimento de grãos pelo Novo Jalo não seria o resultado esperado, dado o fato de o Novo Jalo possuir ciclo vegetativo mais precoce que o Meia Noite. Segundo Rennie e Kemp (1983), cultivares de ciclo mais precoce possuem menor potencial de produção, na ausência de adubação mineral, devido à curta duração da

atividade dos nódulos, resultado do menor tempo para o desenvolvimento dos nódulos no início do crescimento e de sua senescência na época do enchimento de grãos, resultando em menos N₂ fixado em cultivares precoces e maior fixação nos tardios. Contudo, o Mo presente na semente poderá ter influenciado essa resposta, uma vez que o seu conteúdo na semente do Novo Jalo era maior que o do Meia Noite e, segundo Jacob Neto e Franco (1986), a demanda de Mo pela planta poderá ser suprida pelo conteúdo do nutriente na semente.

Outra hipótese plausível para esse resultado é que a eficiência de fixação do N₂ pelo Novo Jalo seja maior que a do Meia Noite. Resultados obtidos por Stralio *et al.* (2002) corroboram essa hipótese, porque indicam que linhagens do Grupo Jalo demonstraram maior potencial para obtenção de N por meio da fixação simbiótica do N₂. Também, segundo esses autores, materiais precoces, com maturação aos 75 dias, apresentaram maior potencial para obtenção de N por via simbiótica do que materiais de ciclo normal, como o Meia Noite (maturação aos 88 dias).

Estes resultados, ainda que preliminares, conflitam com aqueles reportados na literatura, que indicam que materiais com maior período vegetativo seriam mais eficientes em aproveitar o nitrogênio atmosférico advindo da fixação biológica (Rennie e Kemp, 1983; Chaverra e Graham, 1992). Os resultados ora obtidos parecem indicar que, nos genótipos que possuem sementes grandes e hábito determinado, há um maior potencial para fixação biológica de nitrogênio. Neste caso, a paralisação do crescimento vegetativo após a floração permitiria a manutenção do estoque de carboidratos na planta e, conseqüentemente, maior reserva energética para o processo simbiótico. Em plantas de hábito determinado, a paralisação do crescimento vegetativo, por ocasião do florescimento, permitiria que a fixação biológica de nitrogênio fosse suficiente para manter o processo de enchimento de grãos, levando à maior produtividade, quando dependentes da fixação biológica de N.

Os rendimentos estimados para as demais doses são semelhantes, entre os cultivares, não havendo diferenças significativas entre ambos (Tabela 1). A comparação dos rendimentos pelo erro-padrão médio revela que todas as doses de Mo promoveram rendimentos de grãos significativamente superiores às sem adubação molibídica (Figura 1D).

Com relação às doses, 320 g ha⁻¹ de Mo promoveu produção superior às obtidas com as doses de 80 e 160 g ha⁻¹ de Mo. Contudo, o rendimento de grãos foi aumentado de 1.060 kg ha⁻¹

para 2.238 kg ha⁻¹ com a aplicação de 80 g ha⁻¹ de Mo, incremento de aproximadamente 111%, o que reafirma os aumentos dos componentes de produção e demonstra a elevada capacidade de resposta do feijoeiro ao micronutriente.

Incrementos dessa magnitude, e até superiores, também são reportados na literatura. Em trabalho realizado por Diniz *et al.* (1995), a aplicação de 40 g ha⁻¹ de Mo via foliar resultou em incrementos de até 200% no rendimento de grãos do feijoeiro. Segundo esses autores, essa dose apresentou eficiência semelhante à de 40 kg ha⁻¹ de N na semeadura ou de 30 kg ha⁻¹ de N em cobertura. Berger *et al.* (1996) e Pessoa (1998) obtiveram resultados em que a adubação foliar com Mo, na dose de 80 g ha⁻¹ de Mo, proporcionou aumentos de, respectivamente, 323% e 250% na produtividade do feijoeiro. Também, Pires *et al.* (2004), com o cultivar Meia Noite no cultivo de verão-outono, obteve efeito significativo da aplicação foliar de Mo sobre a produtividade do feijoeiro (de 902, no tratamento sem adubação, para 2.558 kg ha⁻¹, incremento de 183,6%, com a aplicação de 80 g ha⁻¹ de Mo). Ferreira (2001) também verificou essa tendência de aumento da produção do feijoeiro em resposta à aplicação foliar de Mo, porém com menor porcentagem de aumento, pois a dose estimada de 83,9 g ha⁻¹ de Mo proporcionou aumento na produtividade de 41% em relação ao tratamento sem Mo. Em vários ensaios realizados no sul de Minas Gerais com o feijoeiro (Diniz *et al.*, 1995; Rodrigues *et al.*, 1996), incrementos de até 90% no rendimento de grãos foram obtidos com a aplicação foliar de molibdênio, corroborando os resultados aqui obtidos.

A disponibilidade de nitrogênio para absorção e assimilação pela planta influencia diretamente a produção e desenvolvimento de órgãos reprodutivos, dentre os quais sementes e vagens. Também o processo de enchimento da semente, em especial nas leguminosas, é influenciado diretamente pela disponibilidade de N. Diretamente, essa influência resulta da necessidade de se produzir aminoácidos e proteínas em quantidades consideráveis, dada a existência de elevados teores de proteínas na semente dessas plantas. Indiretamente, o N influencia o desenvolvimento desses órgãos pela sua essencialidade para produção de clorofila, interferindo diretamente na produção de fotoassimilados essenciais para o enchimento da semente, o que tem reflexos diretos no rendimento de grãos. A existência de Mo disponível para absorção pela planta influencia diretamente a sua capacidade em adquirir nitrogênio, via fixação simbiótica do N₂, principalmente na ausência de

adubação nitrogenada, e assimilar o N-nítrico absorvido (Marschner, 1995; Vieira *et al.*, 1998). Assim, a participação do Mo na aquisição e na assimilação do N pelo feijoeiro explicaria a resposta positiva, expressa pelos incrementos dos componentes da produção e do rendimento de grãos, quando se faz a adubação molíbdica.

Estes resultados corroboram aqueles obtidos por diversos autores (Berger *et al.*, 1996; Pessoa, 1998; Ferreira, 2001; Pires *et al.*, 2004). Contudo, é importante salientar que esses autores definiram doses ótimas bastante inferiores à que promoveu o rendimento máximo estimado no presente trabalho. A aplicação de Mo, em doses acima da atualmente recomendada (80 g ha⁻¹) (Berger, 1995; Berger *et al.*, 1996; Vieira *et al.*, 1998), não promove toxidez para o feijoeiro, mas, ao contrário, resulta em incrementos significativos no rendimento de grãos. Essa constatação é muito importante, pelas seguintes razões: 1) reduzida demanda de Mo pela planta; 2) baixos custos da adubação molíbdica; 3) tolerância relativamente elevada do feijoeiro ao Mo. Esses fatores possibilitam o uso e a recomendação de doses acima daquela atualmente recomendada, em aplicação única, favorecendo a razão benefícios/custos, e, por conseguinte, a renda do produtor.

A dose ótima estimada no presente trabalho, entretanto, foi de 255 g ha⁻¹ de Mo, responsável pelo rendimento máximo estimado de 2.383 kg ha⁻¹ de grãos, 125% superior ao rendimento obtido sem aplicação de Mo, e 6,5% superior ao rendimento obtido com 80 g ha⁻¹, dose esta atualmente recomendada para o feijoeiro (Berger *et al.*, 1996; Pessoa, 1998; Pires *et al.*, 2004). Não foram encontrados na literatura estudos sobre a eficiência agrônômica da dose de 255 g ha⁻¹ de Mo quando aplicada em dose única, bem como sobre possíveis efeitos fitotóxicos advindos de sua aplicação. Contudo, alguns autores (Marschner, 1995; Vieira *et al.*, 1998) citam que a toxicidade do Mo resulta da aplicação de doses superiores a 240 g ha⁻¹. Mas, no presente trabalho, doses dessa magnitude, e até superiores, foram aplicadas sem que houvesse prejuízos visíveis às plantas.

Estes resultados apontam para a possibilidade de uso economicamente viável de doses mais amplas de Mo em feijão, uma vez que não exigem custos adicionais, exceto os relativos ao preço do adubo, mas que são compensados pelos incrementos obtidos no rendimento.

Assim como ocorreu com a massa de 100 sementes, o uso de doses elevadas de Mo não resultou em depreciação expressiva do rendimento

de grãos, ocorrendo, ao contrário, incrementos, até mesmo em relação à dose recomendada para a cultura. Com 2.560 g ha⁻¹ de Mo, obtiveram-se 2.301 kg ha⁻¹, 2,82% superior ao conseguido com 80 g ha⁻¹. Esse aumento na produção permite inferir que esta dose não seria suficiente para disponibilizar o micronutriente em quantidade suficiente para os processos de fixação simbiótica do N₂, assimilação de N-nítrico, síntese de fitohormônios, dentre outros, nos quais o molibdênio esteja envolvido (redução do SO₄²⁻, catabolismo da purina, etc.). A elevada quantidade de Mo disponível pela aplicação de doses mais elevadas supre satisfatoriamente a demanda da planta, permitindo a eficiência máxima desses processos, com reflexos positivos diretos na produção final.

Para alguns autores (Marschner, 1995; Berger, 1995; Berger *et al.*, 1996), entretanto, o uso dessas doses promoveria o acúmulo do nutriente em quantidades tóxicas no tecido vegetal. Contudo, há citações de que as plantas em geral apresentam tolerância razoável ao Mo (Hille, 1999). Por conseguinte, deve haver algum mecanismo nas plantas por meio do qual os efeitos tóxicos do Mo são reduzidos.

Conclusão

Os componentes da produção, exceto o número de sementes por vagem, e o rendimento de grãos foram influenciados pelas doses de molibdênio aplicadas via foliar.

A dose ótima estimada de Mo para o feijoeiro, em ambos os cultivares, foi de 255,0 g ha⁻¹ de Mo, carecendo de estudos sobre sua viabilidade econômica.

Doses de molibdênio até 2.560 g ha⁻¹ de Mo não promoveram decréscimos em nenhum dos componentes da produção nem no rendimento de grãos.

Agradecimentos

Agradecemos ao apoio financeiro da Fapemig

Referências

- AMANE, M.I.V. *et al.* Resposta de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) às adubações nitrogenada e molibídica. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 41, n. 234, p. 202-216, 1994.
- AMANE, M.I.V. *Adubação nitrogenada e molibídica da cultura do feijão (Phaseolus vulgaris L.) na Zona da Mata de Minas Gerais: efeitos de doses, calagem e rizóbio*. 1997. Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.
- ARAÚJO, P.R.A. *Combinações de doses de nitrogênio e molibdênio na cultura do feijão (Phaseolus vulgaris L.)*. 2000.

Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

BERGER, P.G. *Adubação molibídica na cultura do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.): doses, épocas e modos de aplicação*. 1995. Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

BERGER, P.G. *et al.* Efeitos de doses e épocas de aplicação de molibdênio sobre a cultura do feijão. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 31, n. 7, p. 473-480, 1996.

BRAGA, J.M. Resposta do feijoeiro 'Rico 23' a aplicação de enxofre, boro e molibdênio. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 19, p. 222-226, 1972.

CFSMG-Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. 5ª aproximação. Viçosa, 1999.

CHAVERRA, M.H.; GRAHAM, P.H. Cultivar variation in traits affecting early nodulation of common bean. *Crop Sci.*, Fort Lauderdale, v. 32, n. 6, p. 1432-1436, 1992.

COELHO, F.C. *et al.* Nitrogênio e molibdênio nas culturas do milho e do feijão, em monocultivo e em consórcio: I – Efeitos sobre o feijão. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 45, p. 393-407, 1998.

DINIZ, A.R. *et al.* Resposta da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) à aplicação de nitrogênio (semeadura e cobertura) e de molibdênio foliar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. *Anais...* Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1995. v. 3, p. 1225-1227.

FERREIRA, A.C.B. *Nutrição e produtividade do feijoeiro em função do molibdênio contido na semente e da sua aplicação via foliar*. 2001. Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

HALE, K.L. *et al.* Molybdenum Sequestration in *Brassica* Species. A Role for Anthocyanins? *Plant Physiology*, Rockville, v. 126, p. 1391-1402, 2001.

HILLE, R. Molybdenum enzymes. *Essays Biochemical*. Essex, v. 34, p. 125-137, 1999.

HU, C. *et al.* Effect of molybdenum applications on concentrations of free amino acids in winter wheat at different growth stages. *J. Plant Nutr.*, Madison, v. 25, n. 9, p. 1487-1499, 2002.

JACOB NETO, J.; FRANCO, A.A. Conteúdo de molibdênio nas sementes para auto-suficiência do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). *An. Acad. Bras. Cienc.*, Rio de Janeiro, v. 58, n. 3, p. 508, 1986.

JUNQUEIRA NETTO, A. *et al.* Ensaios preliminares sobre a aplicação de molibdênio e de cobalto na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 24, p. 628-633, 1977.

MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plant*. 2. ed. New York: Academic Press, 1995.

PESSOA, A.C.S. *Atividades de nitrogenase e redutase do nitrato e produtividade do feijoeiro em resposta à adubação com molibdênio e fósforo*. 1998. Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

PIRES, A.A. *et al.* Rendimento de grãos, componentes do rendimento e índice SPAD do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*

- L.) em função de época de aplicação e do parcelamento da aplicação foliar de molibdênio. *Cienc. Agrotec.*, Lavras, v. 28, n. 5, p. 1092-1098, 2004.
- RENNIE, R.J.; KEMP, G.A. N₂-fixation in field beans quantified by 15 N isotope dilution. II. Effect of cultivars of beans. *Agron. J.*, Madison, v. 75, p. 645-649, 1983.
- RODRIGUES, J.R.M. et al. Respostas de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e doses de molibdênio aplicadas via foliar. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISAS DE FEIJÃO, 5., 1996, Goiânia, *Anais...* Goiânia: Embrapa-CNPAF-APA, 1996. v. 1, p. 76-78.
- SALYSBURY, F.B.; ROOS, C.W. *Plant physiology*. 4. ed. California: Wadsworth Publishing Company, 1991.
- SANTOS, A.B. et al. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao molibdênio e ao cobalto em solos de Viçosa e Paula Cândido, Minas Gerais. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 26, p. 92-101, 1979.
- STRALIOTTO, R. et al. Avaliação da produtividade de linhagens de feijoeiro de diferentes tipos de grãos sob adubação nitrogenada e inoculação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25., REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 9., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 7., REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 4., 2002, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, 2002. CD-Rom.
- VIEIRA, C. et al. Adubação nitrogenada e molíbdica na cultura do feijão. *Rev. Agric.*, Piracicaba v. 67, n. 2, p. 117-124, 1992.
- VIEIRA, R.F. et al. Foliar application of molybdenum in common beans. I. Nitrogenase and reductase activities in a soil of high fertility. *J. Plant Nutr.*, Madson, v. 21, n. 1, p. 169-180, 1998.
- VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. *Testes de vigor em sementes*. Jaboticabal: Funep, 1994.

Received on November 22, 2005.

Accepted on July 13, 2006.