

Características agronômicas do feijoeiro em função do molibdênio contido na semente e da sua aplicação via foliar

Alexandre Cunha de Barcellos Ferreira^{1*}, Geraldo Antônio de Andrade Araújo², Antônio Américo Cardoso², Paulo Cezar Rezende Fontes² e Clibas Vieira²

¹Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Epamig/CTZM, Vila Gianetti, 46, Campus da Universidade Federal de Viçosa, 36571-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. ²Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: abarcellos@epamig.br

RESUMO. O presente estudo foi desenvolvido objetivando verificar a influência do conteúdo de molibdênio (Mo) na semente, associado com suas doses aplicadas via foliar aos 25 dias após a emergência, sobre a produtividade e a nutrição nitrogenada do feijoeiro, *Phaseolus vulgaris* L. em duas épocas de plantio. Foram conduzidos dois experimentos com a variedade Meia-Noite. No experimento I, instalado em 24/03/1999, utilizaram-se sementes com quatro conteúdos de Mo ($0,010 \pm 0,0099$; $0,138 \pm 0,017$; $0,24 \pm 0,0253$; e $0,535 \pm 0,024 \mu\text{g semente}^{-1}$), combinadas com quatro doses de Mo aplicadas nas folhas (0, 40, 80 e 120g ha^{-1}). No experimento II, instalado em 01/12/1999, foram usadas as mesmas doses do experimento I e sementes com conteúdos de $0,000 \pm 0$; $0,062 \pm 0,0107$; $0,168 \pm 0,0119$; e $0,335 \pm 0,0338 \mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo. Todas as sementes utilizadas vieram de amostras submetidas às mesmas condições ambientais, desde as etapas de produção no campo até o armazenamento. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em quatro repetições, com os tratamentos distribuídos em esquema fatorial 4x4. O conteúdo de Mo na semente, que variou de 0 a $0,535 \mu\text{g semente}^{-1}$, no experimento I, e de 0 a $0,335 \mu\text{g semente}^{-1}$, no experimento II, não alterou a produtividade, evidenciando-se a necessidade da adubação molíbdica, que aumentou a produção de grãos. Em ambos experimentos, os componentes do rendimento que mais variaram foram a massa de grãos e o número de vagens m^{-2} . A adubação foliar molíbdica melhorou significativamente o estado nutricional nitrogenado do feijoeiro, aumentando o teor de N orgânico na folha.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., produção de grãos, adubação molíbdica, conteúdo de molibdênio.

ABSTRACT. Yield and nitrogenous nutritional status of the plants as a function of seed molybdenum contents and its foliar application. The effect on yield and nutrition of bean plants, *Phaseolus vulgaris* L., of Mo contained in seeds, in association with foliar-applied doses after 25 days on emergence in two planting periods has been evaluated. Two experiments were carried out with the "meia noite" variety. Experiment I, undertaken on March 24, 1999, contained seeds with four Mo contents (0.010 ± 0.0099 ; 0.138 ± 0.017 ; 0.24 ± 0.0253 ; and $0.535 \pm 0.024 \mu\text{g seed}^{-1}$), combined with four doses of Mo applied on leaves (0, 40 80 and 120g ha^{-1}). In experiment II, undertaken on December 1, 1999, the same doses as experiment I and seeds with Mo contents of 0.000 ± 0 ; 0.062 ± 0.0107 ; 0.168 ± 0.0119 ; and $0.335 \pm 0.0338 \mu\text{g seed}^{-1}$, were used. All seeds came from samples kept under the same environmental conditions, from the field production to storage. Experimental design was designed with randomized blocks, with four replications, and treatments distributed in a 4x4 factorial arrangement. Mo contents in the seeds, ranging from 0 to $0.535 \mu\text{g seed}^{-1}$ in experiment I, and from 0 to $0.335 \mu\text{g seed}^{-1}$ in experiment II, did not alter productivity. The need of molybdenum fertilization has been demonstrated since grain production has increased. In the two experiments, yield components that most varied were seed weight and number of pods per m^2 . Molybdenum foliar fertilization improved significantly the nitrogenous nutritional status of bean plants and increased organic nitrogen level in the leaf.

Key words: *Phaseolus vulgaris*, yield, molybdenum, fertilization, molybdenum content.

Introdução

A deficiência de molibdênio afeta o metabolismo do nitrogênio devido à sua participação como

componente da nitrogenase, enzima relacionada à fixação do nitrogênio pelas leguminosas, e da redutase do nitrato, responsável pela redução deste

em nitrito no processo de assimilação do nitrogênio (Marschner, 1995; Zimmer e Mendel, 1999).

As perdas de nitrogênio pelo solo, que contribuem para a poluição ambiental, e o alto custo dos fertilizantes nitrogenados despertam o interesse para a pesquisa de técnicas de manejo que possam maximizar o uso eficiente do nitrogênio pelo feijoeiro, sem a necessidade de adição elevada de fertilizante nitrogenado.

Devido à exportação de Mo pelas sementes, à deficiência natural de alguns solos, à intensificação da produção e à não realização de adubação molibídica pela maioria dos agricultores, aos poucos estão se exaurindo as reservas naturais de molibdênio no solo, o que pode afetar a capacidade produtiva das culturas.

Em alguns casos, o Mo pode substituir a adubação nitrogenada de cobertura devido às suas funções metabólicas, favorecendo a assimilação do nitrogênio atmosférico e/ou, o melhor aproveitamento do nitrogênio, disponível na forma de $N-NO_3^-$ (Vieira, 1994).

Na Zona da Mata de Minas Gerais tem sido observado aumento da produção do feijoeiro quando é realizada a adubação molibídica (Vieira *et al.*, 1992; Vieira, 1994; Amane, 1997; Coelho *et al.*, 1998). Entretanto, nem sempre são obtidas respostas positivas à adubação molibídica do feijoeiro. Vários fatores podem interferir na disponibilidade de Mo nos solos, entre os quais o pH, a matéria orgânica, a textura, os óxidos de ferro e de alumínio, o potencial redox e a interação com outros nutrientes (Santos, 1991).

A adubação é uma forma de aumentar o conteúdo de nutrientes nas sementes (Vieira *et al.*, 1987; Brodrick e Giller, 1991; Jacob-Neto e Rossetto, 1998). Os nutrientes armazenados na semente suprirão a plântula nos estádios iniciais durante o período de crescimento e de desenvolvimento.

Cultivares com capacidade de acumular molibdênio nas sementes podem ser usados para produção de sementes em solos que possuam quantidades favoráveis desse nutriente para serem utilizadas, posteriormente, em solos ácidos e com deficiência de Mo (Franco e Munns, 1981).

O uso de sementes, oriundas de plantas cultivadas em solos com adequada disponibilidade de Mo e pH próximo de 6,0 poderá garantir níveis adequados do micronutriente para a cultura, pois tem sido verificado que o Mo se acumula nas sementes. Tanner (1979), estudando o efeito do Mo na qualidade da semente de milho, constatou que a população de plantas, a massa foliar e a produção

foram significativamente reduzidas quando o conteúdo do nutriente na semente era baixo. Brodrick *et al.* (1992) verificaram que feijoeiros originados de sementes com maior conteúdo de molibdênio apresentaram maior peso dos nódulos, acumularam mais nitrogênio e produziram mais sementes.

Diante do exposto foram conduzidos dois trabalhos, em épocas diferentes de plantio, objetivando determinar o efeito do conteúdo de molibdênio na semente e da pulverização foliar com esse nutriente nos componentes de produção e produtividade do feijoeiro, e verificar se as sementes provenientes de plantas adubadas com Mo conteriam o Mo necessário ao crescimento e desenvolvimento normal da geração posterior, sem a necessidade de adubação complementar.

Material e métodos

O presente trabalho foi conduzido no Campo Experimental Diogo Alves de Mello, em Viçosa, Estado de Minas Gerais, sendo constituído de dois experimentos e utilizando-se a variedade de feijão Meia-Noite, com hábito de crescimento indeterminado (tipo II). Os estudos foram conduzidos num Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico. Anteriormente à instalação dos experimentos, foram coletadas amostras de solo à profundidade de 0-20 cm e realizadas análises químicas, obtendo-se os seguintes resultados: experimento I (pH $H_2O=5,5$; $P=52 \text{ mg dm}^{-3}$; $K=3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $Ca^{2+}=25 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $Mg^{2+}=4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; CTC efetiva= $32 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; CTC total= $72 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $V=45\%$; classificação textural=argiloso) e do experimento II (pH $H_2O=5,6$; $P=50 \text{ mg dm}^{-3}$; $K=3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $Al^{3+}=1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $Ca^{2+}=21 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $Mg^{2+}=3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; CTC efetiva= $28 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; CTC total= $78 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $V=35,8\%$; classificação textural=argiloso).

Os dois experimentos foram delineados em blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo os tratamentos distribuídos em esquema fatorial 4×4 , no total de 64 parcelas.

No experimento I, instalado em 24/03/1999, foram utilizadas sementes com quatro conteúdos de Mo ($0,010 \pm 0,0099$; $0,138 \pm 0,017$; $0,24 \pm 0,0253$; e $0,535 \pm 0,024 \mu\text{g semente}^{-1}$), combinadas com quatro doses de Mo (0, 40, 80 e 120 g ha^{-1}). No experimento II, instalado em 01/12/1999, foram usadas as mesmas doses de Mo do experimento I e sementes com conteúdos de Mo de $0,000 \pm 0$; $0,062 \pm 0,0107$; $0,168 \pm 0,0119$; e $0,335 \pm 0,0338 \mu\text{g semente}^{-1}$. Os tratamentos conteúdos de Mo foram

considerados pela média do lote, incluindo-se o desvio padrão.

As sementes utilizadas no experimento I foram obtidas de trabalho anterior, que utilizou doses crescentes de molibdênio. Elas foram analisadas com relação ao teor e conteúdo de Mo, para depois serem separadas em lotes com diferentes conteúdos de Mo, constituindo os tratamentos conteúdos de Mo do experimento I. Com as sementes colhidas do experimento I, procedeu-se da mesma forma para obter as sementes que constituíram os tratamentos do experimento II. As sementes utilizadas foram provenientes de amostras submetidas às mesmas condições ambientais, desde as etapas de produção no campo até o armazenamento.

Cada parcela foi constituída de cinco linhas medindo 5 m de comprimento cada uma, distanciadas em 0,5 m. A parcela útil, com 6 m², foi formada por três fileiras centrais, excluindo-se, como bordadura, as fileiras externas e meio metro de cada extremidade. Na avaliação dos componentes de produção e rendimento, foram colhidas duas fileiras, com área total de 4 m². Todos os tratamentos receberam 600 kg ha⁻¹ da fórmula 4-14-8 (N, P₂O₅ e K₂O). A fonte de molibdênio foi o molibdato de sódio, aplicado por via foliar aos 25 dias, após a emergência (DAE).

Em nenhum dos experimentos foi realizada a inoculação das sementes nem a adubação nitrogenada em cobertura.

O preparo do solo foi realizado com uma aração e duas gradagens. Os controles de plantas daninhas e pragas foram realizados quando necessários, assim como as irrigações, principalmente no experimento I. O controle de plantas daninhas foi executado por meio de capinas, o controle de pragas, pelo uso de inseticida (Azodrin) e a irrigação, pelo sistema de aspersão.

Por ocasião da colheita, foi contado o número de plantas parcela⁻¹ (stand final); o número de vagens m⁻²; o número de grãos.vagem⁻¹ (número médio de grãos obtidos nas vagens colhidas na parcela); massa de 100 grãos (obtido pela divisão da massa dos grãos da parcela dividido pelo seu número e multiplicado por 100); e a produtividade de grãos (massa dos grãos da parcela, transformada em kg ha⁻¹, com teor de umidade ajustado para 13%).

No início do florescimento (35 DAE - estágio R6) foi coletada, de cinco plantas da parcela útil, a primeira folha trifoliolada completamente desenvolvida, a partir do ápice da planta, para as análises de nutrientes. As folhas foram lavadas em água destilada, secadas em estufa de ventilação forçada a 70°C e moídas em moinho tipo Wiley. Na

matéria seca foi determinada a concentração de N orgânico e N-NO₃⁻.

Na determinação do N orgânico, 0,1 g de matéria seca das amostras foi colocado em digestão sulfúrica. No extrato, foi dosado o N orgânico, usando-se o reagente de Nessler (Jackson, 1958), com leitura em espectrofotômetro a 480 nm. O teor de N-NO₃⁻ foi determinado conforme metodologia descrita por Cataldo *et al.* (1975).

Resultados e discussão

Produtividade de grãos e componentes da produtividade

Experimento I. O conteúdo de molibdênio nas sementes não apresentou efeito significativo na produtividade de grãos (Tabela 1), ao contrário do verificado por Brodrick *et al.* (1992). Estes autores observaram que as plantas originadas das sementes com maior conteúdo de molibdênio (1,64 - 3,57 µg semente⁻¹), muito maior que os conteúdos das sementes do presente experimento, apresentaram maior peso dos nódulos, acumularam mais nitrogênio e produziram mais sementes. Segundo Meagher *et al.* (1952), a reserva da semente (maior que 0,5 µg semente⁻¹) pode fornecer molibdênio suficiente por, no mínimo, uma geração, sem redução da produtividade. Entretanto, tais fatos não foram observados no presente trabalho.

Tabela 1. Valores observados da produtividade de grãos obtidos de plantas provenientes de sementes com diferentes conteúdos de molibdênio, no experimento I

Conteúdo de Mo (µg semente ⁻¹)	0,010 ± 0,0099	0,138 ± 0,017	0,240 ± 0,0253	0,535 ± 0,024	
Produtividade (kg ha ⁻¹)	1598,9	1454,1	1477,1	1401,4	ns

ns - não significativo a 5% de probabilidade

O maior conteúdo de molibdênio estudado nas sementes deste experimento foi de 0,535 µg semente⁻¹, inferior ao considerado por Jacob Neto e Franco (1986) como suficiente para o crescimento normal do feijoeiro (3,51 µg semente⁻¹). Tal conteúdo foi obtido por esses autores com a aplicação de 200 g ha⁻¹ de molibdênio, via foliar, parcelado em cinco aplicações. Entretanto, dependendo das condições edafoclimáticas e da própria planta, pode ocorrer efeito tóxico quando se utilizam altas doses de molibdênio, que, embora possam elevar o conteúdo de Mo nas sementes, ao mesmo tempo levam à diminuição do rendimento da cultura (Jacob Neto e Rosseto, 1998).

A baixa quantidade de molibdênio nas sementes estudadas, associada ao baixo teor de molibdênio disponível nos solos (0,0238 mg kg⁻¹), evidenciou a

necessidade da realização da adubação molíbdica. O teor de molibdênio no solo considerado normal encontra-se na faixa de 0,5 a 5,0 mg kg⁻¹ (Gupta e Lipsett, 1981). O solo tinha pH ácido (pH em H₂O de 5,5), o que contribuiu para que a disponibilidade do Mo no solo fosse menor ainda, aumentando a chance de resposta da cultura à aplicação do micronutriente.

Além daqueles fatores, o histórico das áreas da Zona da Mata de Minas Gerais pode auxiliar na explicação dos resultados, pois a pobreza do material de origem dos solos cultivados, os plantios sucessivos ao longo dos anos sem adubação com molibdênio e a exportação do elemento via grãos acentuam o problema de deficiência desse micronutriente.

Diferentemente do efeito do conteúdo de molibdênio na semente, a adubação foliar influenciou, positivamente, a produtividade de grãos (Figura 1). No experimento I, o efeito das doses de molibdênio sobre o rendimento de grãos foi quadrático, atingindo o máximo (1.659 kg ha⁻¹) com a dose de 83,9 g ha⁻¹, ou seja, contribuindo com aumento de 41% na produtividade em relação à dose zero.

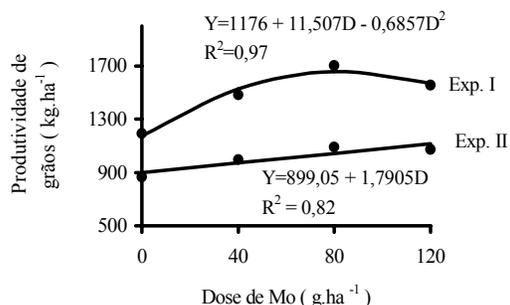


Figura 1. Efeito de doses de molibdênio aplicadas via foliar sobre a produtividade do feijoeiro, nos experimentos I e II

O aumento de produção devido à adubação foliar está relacionado, provavelmente, ao efeito do molibdênio na fixação biológica do nitrogênio e a atividade da redutase do nitrato, embora isso não tenha sido avaliado neste trabalho. Contudo, existem autores (Vieira, 1994; Saco et al., 1995; Coelho et al., 1998; Zimmer e Mendel, 1999) que têm relatado a importante participação do nutriente nesses processos metabólicos, resultando em melhor qualidade nutricional nitrogenada das plantas.

Na ausência da aplicação do molibdênio houve crescimento reduzido das folhas e da planta, clorose e senescência mais rápida das folhas no período de

formação das sementes. No caso dos tratamentos que receberam esse micronutriente, as plantas ficaram verdes, podendo isso ser atribuído à maior atividade da enzima redutase do nitrato, tal como observado por Coelho et al. (1998) e Vieira et al. (1998).

A massa de 100 grãos aumentou com a adubação molíbdica, apresentando efeito quadrático ($\hat{Y} = 16,92 + 0,0355D - 0,000238D^2$; $R^2 = 0,99$). A massa máxima de 100 grãos (18,25 g) foi obtida com a dose estimada de 74,9 g ha⁻¹ de Mo.

O número de vagens m⁻² apresentou resposta linear positiva à aplicação foliar de doses de Mo ($\hat{Y} = 166,13 + 0,3004D$; $R^2 = 0,86$). Já o conteúdo de Mo nas sementes não influenciou essa característica. O número de grãos vagem⁻¹ oscilou devido ao conteúdo de molibdênio nas sementes e às doses de Mo, conforme a equação de regressão: $\hat{Y} = 4,956 - 1,908C - 0,00436D + 0,02196CD$; $R^2 = 0,53$ (Figura 2). Entretanto, tais influências do conteúdo de molibdênio não tiveram efeito marcante a ponto de alterar a produtividade, sendo esta predominantemente influenciada pelo número de vagens área⁻¹ e pela massa dos grãos.

Experimento II. Conforme foi observado no experimento I, o conteúdo de Mo nas sementes não apresentou efeito significativo na produtividade de grãos (Tabela 2). Neste experimento, o maior conteúdo de Mo estudado foi de 0,335 µg semente⁻¹, quantidade bem inferior aos 3,51 µg semente⁻¹, considerados críticos por Jacob Neto e Franco (1986).

Tabela 2. Valores observados da produtividade de grãos obtidos de plantas provenientes de sementes com diferentes conteúdos de molibdênio, no experimento II

Conteúdo de Mo (µg semente ⁻¹)	0,000 ± 0	0,062 ± 0,0107	0,168 ± 0,0119	0,335 ± 0,0338
Produtividade (kg ha ⁻¹)	948,5	994,5	1045,7	1037,3

ns - não significativo a 5% de probabilidade

A baixa quantidade de molibdênio nas sementes estudadas, associada ao seu baixo teor disponível no solo (0,0165 mg kg⁻¹), evidenciou, assim como no experimento I, a necessidade da aplicação da adubação molíbdica. O solo utilizado neste experimento tinha pH ácido (pH em H₂O de 5,6), o que contribuiu para que a disponibilidade do Mo no solo fosse menor ainda, aumentando a chance de resposta da cultura à aplicação desse micronutriente.

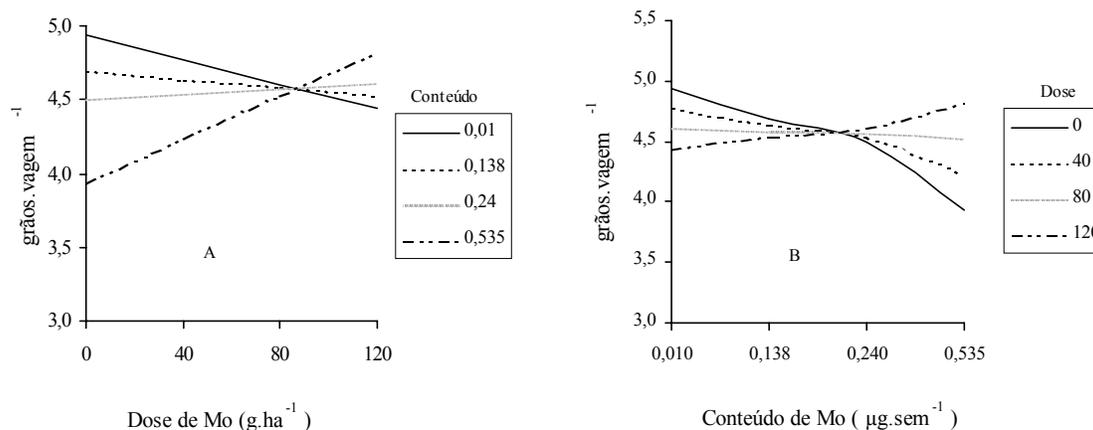


Figura 2. Corte na superfície de resposta ($\hat{Y} = 4,956 - 1,908C - 0,00436D + 0,02196CD$), relativo ao número de grãos.vagem⁻¹ (experimento I), em função das doses de Mo aplicadas via foliar (A) e conteúdo de Mo na semente (B)

A produtividade de grãos apresentou resposta linear positiva à aplicação foliar de doses de Mo (Figura 1), elevando a produtividade de 899 para 1.114 kg ha⁻¹, incremento de 23,9% quando comparada a dose 0 com a de 120 g.ha⁻¹. Esses resultados vêm corroborar com os resultados obtidos por Vieira *et al.* (1992), Vieira (1994), Amane (1997) e Coelho *et al.* (1998), evidenciando a importância da aplicação de Mo na cultura do feijoeiro cultivado na Zona da Mata de Minas Gerais. A adubação foliar com molibdênio proporcionou aumento de 250% na produção dessa leguminosa (Berger *et al.*, 1996). Pessoa (1998) obteve incrementos de até 323% na produtividade do feijoeiro com a dose de 80g ha⁻¹, em comparação com os dos tratamentos que não receberam molibdênio.

Semelhante ao discutido no primeiro experimento, o aumento de produção devido à adubação foliar está relacionado, provavelmente, ao efeito do molibdênio na fixação biológica do nitrogênio e à atividade da redutase do nitrato, tal como verificado por Vieira (1994), Coelho *et al.* (1998) e Zimmer e Mendel (1999).

A massa de 100 grãos foi afetada, positivamente, tanto pelo conteúdo de molibdênio nas sementes quanto pela adubação foliar (Figuras 3 e 4).

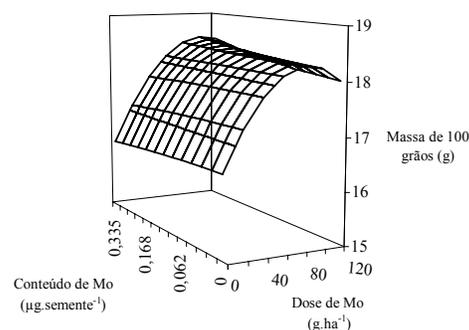


Figura 3. Efeito do conteúdo de molibdênio nas sementes (C) e das doses de molibdênio (D) aplicadas via foliar sobre a massa de 100 grãos (experimento II): $\hat{Y} = 16,54 - 0,554C + 0,04148D - 0,000244D^2 + 0,000132CD^2$; $R^2 = 0,50$.

O número de grãos vagem⁻¹ foi positivamente afetado pelo conteúdo de molibdênio na semente, apresentando efeito quadrático ($\hat{Y} = 3,517 - 3,112C + 10,5893C^2$; $R^2 = 0,99$).

Houve interação significativa entre doses e conteúdos de Mo sobre o número de vagens área⁻¹ (Figura 5). O número de grãos vagem⁻¹, o número de vagens m⁻² e a massa de 100 grãos foram influenciados pelo conteúdo de molibdênio nas sementes, porém não influenciou, da mesma forma, a produtividade de grãos, indicando ser esta característica mais dependente da adubação foliar, nas condições do presente trabalho.

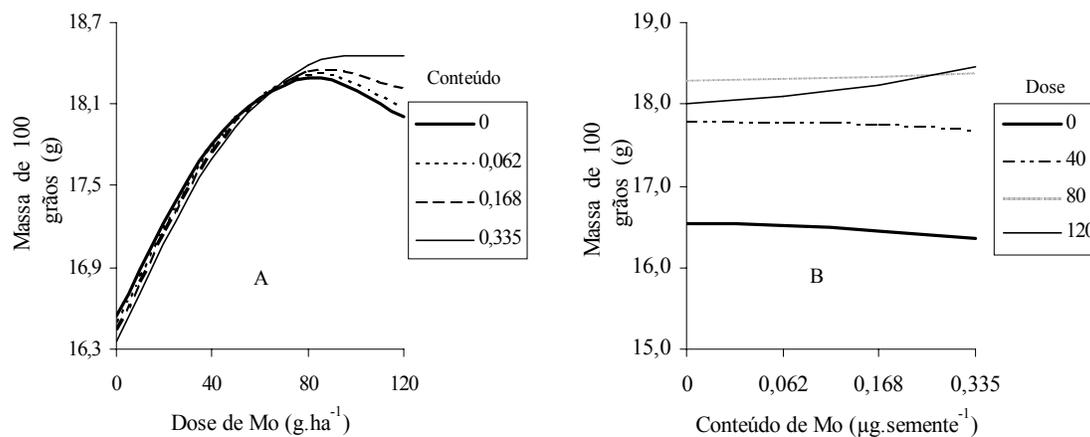


Figura 4. Corte na superfície de resposta da Figura 3, relativa à massa de 100 grãos (experimento II), em função das doses de Mo aplicadas via foliar (A) e do conteúdo de Mo na semente (B)

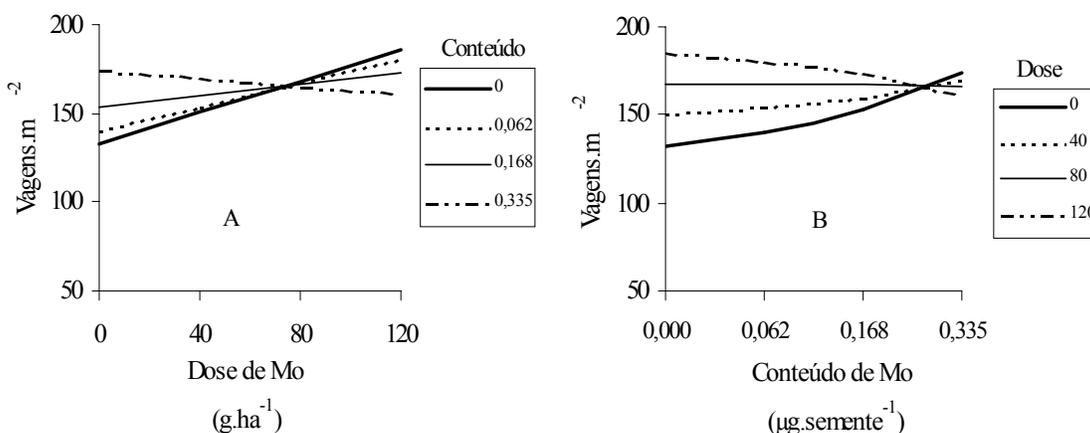


Figura 5. Corte na superfície de resposta ($\hat{Y} = 132,71 + 124,528C + 0,441D - 1,649CD$), relativa ao número de vagens.área⁻² (experimento II), em função das doses de Mo aplicadas via foliar (A) e do conteúdo de Mo na semente (B)

Em ambos os experimentos, os componentes que mais influenciaram a produtividade foram a massa de grãos e o número de vagens área⁻¹.

Concentração de N orgânico nas folhas e nas sementes e concentração de N-NO₃⁻ nas folhas

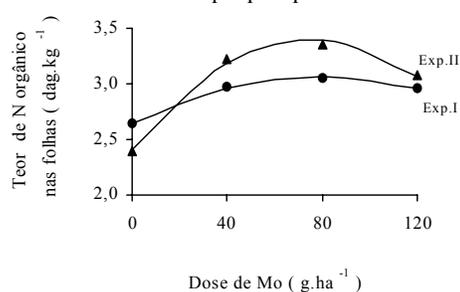
Experimento I. O conteúdo de molibdênio nas sementes não afetou significativamente ($P < 5\%$) os teores de N orgânico e N-NO₃⁻ na matéria seca das folhas do feijoeiro, o que ajuda a explicar a ausência de resposta das plantas, em termos de produtividade, quando utilizadas sementes com diferentes conteúdos do micronutriente.

Já a adubação foliar molíbdica afetou significativamente a nutrição nitrogenada das

plantas, principalmente o teor de N orgânico nas folhas. No primeiro experimento, houve resposta quadrática à aplicação de doses crescentes de molibdênio (Figura 6). A concentração máxima estimada foi de 3,07 dag kg⁻¹, com 80 g . ha⁻¹. É importante ressaltar que a produtividade máxima e o teor máximo de N orgânico foram obtidos praticamente com a mesma dose de Mo (83,9 g ha⁻¹). Incremento de 15,85% foi observado nos teores de N orgânico nas folhas, comparando-se a dose zero de Mo com a dose que proporcionou a máxima produtividade de grãos.

O aumento da concentração de N orgânico na matéria seca das folhas, devido à adubação com molibdênio, pode ser explicado pela sua participação

nas enzimas redutase do nitrato e nitrogenase, melhorando suas atividades e possibilitando maior aproveitamento do nitrogênio (Coelho *et al.*, 1998; Taiz e Zeiger, 1998; Zimmer e Mendel, 1999). Em virtude de seu papel fundamental no metabolismo do nitrogênio, o molibdênio influencia, concomitantemente, os processos fotossintético e respiratório das plantas (Taiz e Zeiger, 1998), contribuindo, desse modo, para o aumento da produtividade. Quando não receberam adubação foliar com molibdênio, as plantas apresentaram sintomas característicos de deficiência de nitrogênio, isto é, clorose nas folhas mais velhas, com posterior amarelecimento geral da planta, e crescimento reduzido das folhas e da própria planta.



Exp. I ($f = 2,65 + 0,0104D - 0,000065D^2$; $R^2 = 0,99$)

Exp. II ($f = 2,40 + 0,0263D - 0,000173D^2$; $R^2 = 0,99$)

Figura 6. Concentração de N orgânico na matéria seca das folhas do feijoeiro devido às doses de molibdênio aplicadas via foliar, nos experimentos I e II

Nas plantas que não receberam adubação com molibdênio, esperava-se acúmulo de nitrato na matéria seca das folhas. A deficiência desse micronutriente nas plantas pode levar ao acúmulo de nitrato na folha, devido à não-indução da enzima redutase do nitrato. Por essa razão, freqüentemente leguminosas deficientes de Mo apresentam sintomas de deficiência de nitrogênio, mesmo em solos com alta disponibilidade de nitrogênio (Gupta e Lipsett, 1981; Marschner, 1995). Entretanto, tal fato não foi verificado em nenhum dos dois trabalhos, sendo que em várias amostras de folhas analisadas não foi detectado $N-NO_3^-$.

Experimento II. Da mesma maneira do experimento I, o conteúdo de molibdênio das sementes não afetou significativamente ($P < 5\%$) os teores de N orgânico e $N-NO_3^-$ na matéria seca das folhas do feijoeiro.

A concentração de N orgânico nas folhas aumentou, de forma quadrática, em função das doses de molibdênio (Figura 6): a concentração máxima estimada foi de $3,4 \text{ dag kg}^{-1}$, com 76 g ha^{-1} .

Incremento de 27,5% foi observado nos teores de N orgânico nas folhas, comparando-se a dose 0 de Mo com a dose que proporcionou a máxima produtividade de grãos. O teor estimado de N orgânico (Tabela 3), na matéria seca de folhas, obtido com a dose de $120 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ de Mo, está na faixa considerada como suficiente ($3,00 - 3,5 \text{ dag kg}$), segundo Reuter e Robinson (1986).

Tabela 3. Concentrações estimadas de nitrogênio orgânico na matéria seca de folhas de feijão, amostradas no início do florescimento, e na matéria seca de semente, obtidas com as doses de $83,9$ (experimento I) e de $120 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ de Mo (experimento II)

Experimento	Concentração Estimada	
	Folha (dag kg ⁻¹)	Semente (dag kg ⁻¹)
I	3,07	3,60
II	3,06	3,64

Agradecimentos

Esse trabalho foi desenvolvido com o apoio financeiro da Fapemig.

Referências

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.

BERGER, P.G. *et al.* A. 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.

BRODRICK, S.J. *et al.* Seed analysis as a means of identifying micronutrient deficiencies of *Phaseolus vulgaris* L. in the tropics. *Trop. Agric.*, St Augustine, v.72, n.4, p.277-284, 1995.

BRODRICK, S.J.; GILLER, K.E. Genotypic difference in molybdenum accumulation affects N_2 -fixation in tropical *Phaseolus vulgaris* L. *J. Exp. Bot.*, Oxford, v.42, n.243, p.1339-1343, 1991.

BRODRICK, S.J. *et al.* Molybdenum reserves of seed, and growth and N_2 fixation by *Phaseolus vulgaris* L. *Biol. Fertil. Soils*, Berlin, v.13, n.1, p.39-44, 1992.

CATALDO, D.A. *et al.* Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitrification of salicylic acid. *Communication Soil Sci. Plant Nutr.*, Bunkyo-Ku, v.6, n.1, p.71-81, 1975.

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. *Revista Ceres*, Viçosa, v.45, p.393-407, 1998.

FRANCO, A.A.; MUNNS, A.N. Response of *Phaseolus vulgaris* L. to molybdenum under acid conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v.45, p.1144-1148, 1981.

GUPTA, U.C.; LIPSETT, J. Molybdenum in soil, plants and animals. *Adv. Agron.*, San Diego, v.34, p.73-115, 1981.

- JACKSON, M.L. Nitrogen determinations for soil and plant tissue. In: JACKSON, M.L. (Ed.). *Soil chemical analysis*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1958. p.183-204.
- 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.
- JACOB-NETO, J.; ROSSETTO, C.A.V. Concentração de nutrientes nas sementes: o papel do molibdênio. *Floresta e Ambiente*, v.5, n.1, p.171-183, 1998.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plant*. 2. ed. New York: Academic Press, 1995.
- MEAGHER, W.R. *et al.* Molybdenum requirement of leguminous plants supplied with fixed nitrogen. *Plant Physiol., Bethesda*, v.27, p.223-230, 1952.
- PESSOA, A.C. dos 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.
- REUTER, D.J.; ROBINSON, J.B. *Plant analysis an interpretation manual*. Melbourne, Australia: Inkata Press, 1986.
- SACO, D. *et al.* Activity of nitrate reductase and the content of proteins in *Nicotiana rustica* grown with various levels of molybdenum. *J. Plant Nutr.*, Monticello, v.18, p.1149-1153, 1995.
- SANTOS, O.S. dos. Molibdênio. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Ed.). *Micronutrientes na agricultura*, Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. p.191-217.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant physiology*. 2. ed. (S. l.): Sinauer Associates, Inc., 1998.
- TANNER, P.D. The effect of molybdenum on maize seed quality. *Rhod. J. Agric. Res.*, Harare, v.17, p.125-129, 1979.
- VIEIRA, C. *et al.* Adubação nitrogenada e molíbdica na cultura do feijão. *Revista Agricultura*, v.67, n.2, p.117-124, 1992.
- VIEIRA, R.F. *Aplicação foliar de molibdênio e seu efeito nas atividades da nitrogenase e redutase do nitrato no feijoeiro em campo*. 1994. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.
- 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.*, Monticello, v.21, p.169-180, 1998.
- VIEIRA, R.F.; *et al.* Desempenho de sementes de feijão colhidas de plantas não adubadas, adubadas com macronutrientes + micronutrientes. *Revista Ceres*, Viçosa, v.34, n.192, p.162-179, 1987.
- ZIMMER, W.; MENDEL, R. Molybdenum metabolism in plants. *Plant Biol.*, New York, v.1, p.160-168, 1999.

Received on April 22, 2002.

Accepted on July 29, 2002.