

UBERLANDO TIBURTINO LEITE

**PRODUÇÃO E QUALIDADE DE SEMENTES DE FEIJÃO ENRIQUECIDAS
COM MOLIBDÊNIO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2004

UBERLANDO TIBURTINO LEITE

**PRODUÇÃO E QUALIDADE DE SEMENTES DE FEIJÃO ENRIQUECIDAS
COM MOLIBDÊNIO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 04 de novembro de 2004.

Prof. José Estáquio de Souza Carneiro

Prof. Jorge Jacob Neto

Dr. Rogério de Faria Vieira
(Conselheiro)

Dr. José Mauro das Chagas

Prof. Geraldo Antonio de Andrade Araújo
(Orientador)

A Jesus Cristo.

Aos meus pais, Simão e Joana.

Aos meus Nove Irmãos.

Aos meus amigos.

Aos agricultores do Brasil.

Dedico.

AGRADECIMENTO

A Jesus Cristo, senhor de todos os meus passos.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização deste sonhado curso.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor e orientador Geraldo Antonio de Andrade Araújo, pela orientação, pelos conselhos, ensinamentos e compreensão conosco durante a realização do curso de doutorado.

Aos meus pais Simão e Joana, pelo exemplo de amor verdadeiro e fiel, apoio incondicional ao longo da minha existência, compreensão da minha ausência durante longos quatro anos, e pelos ensinamentos de vida que serviram de base para a minha formação como homem.

Aos meus irmãos Antonia, Bernardino, Eulalias, Francisco, Glauco, José, Maria Lúcia, Pedro e Syd-Kleber, pelo apoio, amizade, incentivos e críticas feitos durante toda a nossa vida.

À minha namorada Dilce, pelos “vai dar tudo certo” nas horas de angústia, por sua compreensão, pela amizade e companheirismo.

Ao Professor José Eustáquio da Silveira de Souza Carneiro, pela amizade, pelos aconselhamentos e colaboração feitos durante a implantação e condução dos ensaios em campo e em laboratório.

Ao Professor Clibas Vieira (*in memoriam*), pelas valiosas sugestões durante a redação desta Tese.

Ao Pesquisador Dr. Rogério de Faria Vieira, pelos aconselhamentos feitos durante a elaboração do projeto de tese, execução dos ensaios e redação desta tese.

Ao Professor Glauco Vieira Miranda, pela ajuda e sugestões durante a realização das análises estatísticas e redação desta tese.

Ao Professor Jorge Jacob Neto e ao Pesquisador José Mauro, pela participação na banca examinadora e pelas sugestões para a melhoria desta tese.

Aos colegas e ex-colegas do “Programa Feijão”, Aline, Flávia, Gilberto, Glauco, José Ângelo, Lelisângela, Marciane, Renato e Sílvia, pela amizade, boa convivência e ajuda na execução dos ensaios em campo e em laboratório.

Aos funcionários da Estação de Pesquisa de Coimbra, Carlinhos, José Pereira, José Maria, S. Luis, João e Sebastião, pela ajuda prestada, amizade e boa convivência.

Aos funcionários da “Agronomia”, João “soldado”, “seu” Cruz, “seu” Manuel e Gino, pela ajuda prestada durante a realização dos ensaios em campo.

Aos funcionários do Laboratório de Nutrição de Plantas, Domingos e Itamar, pela ajuda prestada e pelos momentos de descontração.

Ao funcionário do Laboratório de Sementes, Marcos, pela ajuda prestada.

Aos amigos e colegas do curso de Fitotecnia, especialmente Raimundo Nonato, Prof. João Carlos, André Assis, Rodrigo Fidelis, Fábio Tancredi, Neide Aparecida, Manoel Mota, Hélio Bandeira e José Márcio, e do curso de Entomologia, Raimundo Wagner e Renato, pela amizade, pela parceria e pelo convívio agradável durante todo o curso.

Aos companheiros de república, André Fernando, Celso Henrique, Eduardo Mendonça e Márcio Mattiello, pela amizade e convívio agradável em todos os momentos.

A todos aqueles com os quais convivi e que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho e que muito colaboraram para minha formação pessoal e profissional.

BIOGRAFIA

Uberlando Tiburtino Leite, filho de Simão Tiburtino Leite e Joana Martins de Araújo, nasceu em 26 de maio de 1973, em Olho D'Água, Paraíba.

Cursou os ensinamentos fundamental e médio em Olho D'Água, Paraíba. Em março de 1999, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), em Areia, Paraíba.

Em março de 1999 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia/Fitotecnia, na Universidade Federal do Ceará (UFC), em Fortaleza, Ceará, defendendo tese em 22 de abril de 2001.

Em abril de 2001 iniciou o curso de Mestrado em Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais, defendendo tese em 04 de novembro de 2004.

ÍNDICE

	Página
RESUMO	vii
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1. O papel do molibdênio na planta	04
2.2. Molibdênio no solo	07
2.3. Adubação molíbdica no feijoeiro	10
2.4. Forma de suprimento do molibdênio	12
2.5. Nível crítico de molibdênio na folha e na semente	13
2.6. Influência do molibdênio da semente sobre as gerações subseqüentes	16
2.7. Influência do molibdênio da semente sobre a sua qualidade fisiológica .	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1. Efeito de doses crescentes de Mo sobre o rendimento de grãos	21
3.2. Efeito de doses crescentes de Mo sobre o teor de nutrientes na semente	24
3.3. Efeito do conteúdo de Mo da semente sobre o rendimento de grãos e componentes da produção	24
3.4. Efeito do conteúdo de Mo da semente sobre sua qualidade fisiológica ..	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1. Influência de doses crescentes de molibdênio sobre os componentes de produção e rendimento de grãos do feijoeiro	29

4.1.1. Efeito do cultivar	29
4.1.2. Efeito da adubação molíbdica	30
4.2. Influência de doses crescentes de molibdênio sobre os teores de nutrientes na folha e na semente	37
4.2.1. Teor Foliar de Mo	37
4.2.2. Teor e conteúdo de Mo na semente e de N-total na folha	38
4.3. Influência do conteúdo de molibdênio na semente sobre sua qualidade fisiológica	46
4.3.1. Efeito do conteúdo de Mo da semente sobre a germinação (TPG) e vigor (primeira contagem de germinação) da semente	47
4.3.2. Efeito do conteúdo de Mo da semente sobre o vigor da semente.....	52
4.4. Influência do conteúdo de molibdênio na semente sobre o stand final, componentes da produção e rendimento de grãos do feijoeiro	54
4.4.1. Efeito da adubação molíbdica	54
4.4.2. Efeito do conteúdo de Mo da semente	57
4.4.3. Novo Jalo	57
4.4.4. Meia Noite	60
5. CONCLUSÕES	67
6. LITERATURA CITADA	68
ANEXOS	76

RESUMO

Leite, Uberlando Tiburtino, D.S., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2004. **Produção e qualidade de sementes de feijão enriquecidas com molibdênio.** Orientador: Geraldo Antonio de Andrade Araújo. Conselheiros: Clibas Vieira, Glauco Vieira Miranda e Rogério Faria Vieira.

Foram conduzidos dois ensaios em campo, com o objetivo de avaliar o efeito da adubação molíbdica sobre componentes agronômicos do feijão. O primeiro ensaio em campo foi conduzido de março a julho de 2002, com o objetivo de determinar a dose capaz de promover o acúmulo de Mo na semente do feijoeiro, em quantidade suficiente para a próxima geração. Os tratamentos avaliados resultaram da combinação de sete doses de Mo, variáveis de 0 a 2560 g ha⁻¹, com dois cultivares de feijão (Novo Jalo, sementes grandes, e Meia-noite, sementes pequenas). O segundo ensaio de campo foi conduzido de março a julho de 2003, objetivando determinar a influência do tamanho da semente sobre o acúmulo desse nutriente nela; e c) estabelecer o nível crítico do nutriente na folha e na semente. Foram realizados dois ensaios, cada um avaliando um cultivar diferente, em razão de os conteúdos de molibdênio das sementes serem distintos nos dois cultivares. Em cada ensaio, utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, com os tratamentos arranjados no esquema fatorial (4 x 2) + 4, ou seja, conteúdos de Mo (0,072, 0,845, 4,403 e 8,087 µg semente⁻¹ de Mo, para o Novo Jalo; 0,097, 0,364, 1,601 e 4,133 µg semente⁻¹ de Mo, para o Meia Noite) combinados com

as doses de Mo (0 e 80 g ha⁻¹ de Mo). Foram aplicados quatro tratamentos adicionais, em cada cultivar (ensaio), avaliando a possibilidade de resposta da cultura às aplicações de molibdênio e de nitrogênio. Os tratamentos adicionais, para o Novo Jalo, foram: 1) 0,072 µg semente⁻¹ de Mo + 80 g ha⁻¹ de Mo + 40 kg ha⁻¹ de N; 2) 8,087 µg semente⁻¹ de Mo + 80 g ha⁻¹ de Mo + 40 kg ha⁻¹ de N; 3) 0,072 µg semente⁻¹ de Mo + 40 kg ha⁻¹ de N; e 4) 8,087 µg semente⁻¹ de Mo + 40 kg ha⁻¹ de N. Para o Meia Noite, os tratamentos adicionais foram: 1) 0,097 µg semente⁻¹ de Mo + 80 g ha⁻¹ de Mo + 40 kg ha⁻¹ de N; 2) 4,133 µg semente⁻¹ de Mo + 80 g ha⁻¹ de Mo + 40 kg ha⁻¹ de N; 3) 0,097 µg semente⁻¹ de Mo + 40 kg ha⁻¹ de N; e 4) 4,133 µg semente⁻¹ de Mo + 40 kg ha⁻¹ de N. Aplicou-se o Mo via foliar, aos 20 dias após a emergência das plântulas (DAE), e, o N, aos 30 DAE. Em Laboratório foi conduzido o ensaio em que se utilizaram sementes produzidas no primeiro experimento de campo, objetivando determinar o efeito do Mo na qualidade fisiológica da semente. Em cada cultivar, foram estudados seis conteúdos de Mo na semente (0,072, 0,74, 1,56, 2,554, 3,892 e 6,767 µg semente⁻¹ de Mo, para o Novo Jalo, e 0,097, 0,364, 0,761, 1,601, 2,645 e 3,158 µg semente⁻¹ de Mo, para o Meia Noite), em ensaios distintos, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os testes foram conduzidos de maio a junho de 2003. A unidade experimental foi constituída por um lote com 50 sementes. Os componentes da 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 255,0 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; o teor, na folha e na semente, e o conteúdo de Mo, na semente, do feijoeiro aumentam em resposta à aplicação do nutriente; o Novo Jalo apresenta maior eficiência na alocação do Mo na semente do que o Meia Noite, e, por isso, requer doses menores de Mo para produção de sementes enriquecidas com o micronutriente; para obtenção de sementes de feijão com o conteúdo crítico de 3,54 µg semente⁻¹ de Mo é necessária a aplicação de 684,0 e 2.560 g ha⁻¹ de Mo, no Novo Jalo e Meia Noite, respectivamente; o conteúdo de Mo da semente influencia-lhe a qualidade fisiológica; elevado conteúdo de Mo na semente retarda, mas não inibe, a germinação das sementes; o conteúdo de Mo na semente de feijão com máxima qualidade fisiológica é de

3,1 e 2,2 $\mu\text{g semente}^{-1}$, respectivamente, para os cvs. Novo Jalo e Meia Noite; a dose ótima de Mo para produção de sementes de feijão de elevada qualidade fisiológica varia com o tamanho da semente; a dose ótima de Mo para produção de sementes de feijão de elevada qualidade fisiológica é de 600,0 e 1.200,0 g ha^{-1} de Mo, respectivamente, para os cvs. Meia Noite e Novo Jalo; o conteúdo de Mo da semente influencia positivamente o rendimento de grãos do feijoeiro; a demanda de Mo pela planta é adequadamente suprida pela semente enriquecida com o nutriente. Para rendimentos acima de 3.000 kg ha^{-1} ainda há resposta à aplicação extra de Mo; o conteúdo ótimo de Mo na semente de feijão, suficiente para suprir a planta resultante, varia com o cultivar. No Novo Jalo, cujas sementes são grandes, esse conteúdo é de 5,58 $\mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo, e no Meia Noite, de sementes pequenas, é de 3,97 $\mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo; e conteúdos de Mo na semente acima de 3,97 $\mu\text{g semente}^{-1}$, no Meia Noite, e 5,58 $\mu\text{g semente}^{-1}$, no Novo Jalo, promovem redução no rendimento de grãos.

ABSTRACT

Leite, Uberlando Tiburtino, D.S., Universidade Federal de Viçosa, November 2004. **Yield and quality of bean seeds improved with molybdenum.** Adviser: Geraldo Antonio de Andrade Araújo. Committee members: Clibas Vieira, Glauco Vieira Miranda and Rogério Faria Vieira.

Two assays were carried out under field conditions, in order to evaluate the effect of the molybdenum fertilization upon the agronomic components of the bean. The first field assay was conducted from March to July 2002, aiming at the determination of the dose able to promote the Mo accumulation in the seed of the bean plant at enough amount for the next generation. The evaluated treatments came from the combination of seven Mo doses ranging from 0 to 2560 g ha⁻¹ with two bean cultivars: Novo Jalo (big seeds) and Meia-noite (small seeds). The second field assay was conducted over the period from March to July 2003, in order to determine the influence of the seed size on the its Mo accumulation; and b) to establish the critical level of this nutrient in both the leaf and seed. Two assays were accomplished, with each one evaluating a different cultivar because the seed molybdenum contents are rather different in both cultivars. In each assay, the randomized block design was used, with four replicates, and the treatments arranged into a factorial scheme (4 x 2) + 4, that is, the molybdenum contents (0.072, 0.845, 4.403 and 8.087 µg seed⁻¹ Mo for the Novo Jalo cv.; 0.097, 0.364, 1.601 and 4.133 µg seed⁻¹ Mo for the Meia-Noite cv.) combined with the molybdenum doses (0 and 80 g ha⁻¹ Mo). Four

additional treatments were applied to each cultivar (assay), and the possibility of crop response to the applications of molybdenum and nitrogen. The additional treatments for the Novo Jalo cv. were: 1) $0.072 \mu\text{g seed}^{-1} \text{ Mo} + 80 \text{ g ha}^{-1} \text{ Mo} + 40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$; 2) $8.087 \mu\text{g seed}^{-1} \text{ Mo} + 80 \text{ g ha}^{-1} \text{ Mo} + 40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$; 3) $0.072 \mu\text{g seed}^{-1} \text{ Mo} + 40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$; and 4) $8.087 \mu\text{g seed}^{-1} \text{ Mo} + 40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$. The additional treatments for the Meia Noite cv. were: 1) $0.097 \mu\text{g seed}^{-1} \text{ Mo} + 80 \text{ g ha}^{-1} \text{ Mo} + 40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$; 2) $4.133 \mu\text{g seed}^{-1} \text{ Mo} + 80 \text{ g ha}^{-1} \text{ Mo} + 40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$; 3) $0.097 \mu\text{g seed}^{-1} \text{ Mo} + 40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$; and 4) $4.133 \mu\text{g seed}^{-1} \text{ Mo} + 40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$. The molybdenum was applied on the leaves at 20 days after the plantlet emergency (DAE), and N was applied at 30 DAE. The assay using those seeds yielded in the first field experiment was carried out under laboratory conditions, in order to determine the molybdenum effect on the physiologic quality of the seed. In each cultivar, six molybdenum contents in the seeds were studied ($0.072, 0.74, 1.56, 2.554, 3.892$ and $6.767 \mu\text{g seed}^{-1} \text{ Mo}$ for Novo Jalo, as well as $0.097, 0.364, 0.761, 1.601, 2.645$ and $3.158 \mu\text{g seed}^{-1} \text{ Mo}$ for Meia Noite) in different assays, by using the entirely randomized design with four replicates. The tests were performed over the period from May to June 2003. The experimental unit consisted of a 50-seeds lot. The production components, except the seed numbers by each pod, as well as the grain yield were affected by the molybdenum fertilization; in both cases, the optimum Mo dose for the bean plant was $255.0 \text{ g ha}^{-1} \text{ Mo}$, so further studies about the economical viability are needed; the doses up to $2,560 \text{ g ha}^{-1} \text{ Mo}$ did not promote any decreases in the production components nor in the grain yield; the Mo concentration in both leaf and seed as well as the Mo content in the seed of the bean plant rather increase in response to this nutrient application; Novo Jalo cv. shows higher efficiency in allocating the molybdenum in the seed than the Meia Noite cv., therefore it requires lower doses of molybdenum for yielding the micronutrient-enriched seeds; to obtaining the bean seeds provided with the critical content of $3.54 \mu\text{g seed}^{-1} \text{ Mo}$, it is necessary to apply 684.0 and $2,560 \text{ g ha}^{-1} \text{ Mo}$ in the cultivars Novo Jalo and Meia Noite, respectively; the molybdenum content in the seed affects its physiologic quality; a high Mo content in the seed delays the germination, but do not inhibit it; the content of molybdenum in the bean seed with maximum physiologic quality is 3.1 and $2.2 \mu\text{g seed}^{-1}$ for both cultivars Novo Jalo and Meia Noite, respectively; the optimum molybdenum dose for the production of bean seeds with high physiologic quality varies according to the

size of the seed; the optimum molybdenum dose for the production of the bean seeds with high physiologic quality is 600.0 and 1,200.0 g ha⁻¹ Mo, for the cultivars Meia Noite and Novo Jalo, respectively; the molybdenum content of the seed positively affects the grain yield of the bean plant; the Mo demand by the plant is appropriately supplied by the nutrient - enriched seed. For yields above 3,000 kg ha⁻¹ there is still a response to the extra Mo application; the optimum Mo content in the bean seed, that is enough to supply the resulting plant, varies according to the cultivar. In Novo Jalo cv., from which the seeds are large, such a content is 5.58 µg seed⁻¹ Mo, whereas in the Meia Noite cv., from which the it is 3.97 µg seed⁻¹ Mo; and the seed Mo contents above 3.97 µg seed⁻¹ in the Meia Noite cv., and 5.58 µg seed⁻¹ in Novo Jalo cv. rather promote the reduction in grain yield.

1. INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) desempenha, no Brasil, importante papel nutricional e sócio-econômico, principalmente para as populações de baixa renda. Apesar dessa importância, a tecnologia utilizada na produção dessa leguminosa é, em muitas áreas, ainda bastante precária, apesar dos avanços tecnológicos obtidos pela pesquisa. Isso ocorre em razão de, no Brasil, a maior parte do feijão ser produzida por pequenos produtores, que, por disporem de poucos recursos para investimento na lavoura, utilizam baixo nível de tecnologia e poucos insumos, como fertilizantes e sementes de alta qualidade. O resultado dessa situação é a atual produtividade média do País, 1.015 kg ha⁻¹ (IBGE, 2003), ainda muito aquém do seu potencial máximo de 6.000 kg ha⁻¹, determinado em condições experimentais (WHITE & IZQUIERDO, 1991).

A baixa fertilidade dos solos tem sido considerada fator preponderante para esse baixo rendimento, principalmente no que se refere ao nitrogênio. O molibdênio também é nutriente indispensável, pois atua como cofator das enzimas nitrogenase e nitrato redutase, ambas primordiais ao metabolismo do nitrogênio na planta. Dada a essencialidade da nitrogenase para a fixação biológica do nitrogênio atmosférico, principalmente em leguminosas, o molibdênio torna-se essencial para o desenvolvimento dessas espécies. Por sua vez, a assimilação do nitrogênio na planta depende diretamente da atuação da nitrato redutase.

Apesar da essencialidade do Mo para as plantas, especialmente para as fixadoras de N₂ atmosférico, a quantidade desse nutriente requerida por elas é relativamente pequena. Desse modo, o conteúdo da semente pode ser suficiente para suprir a planta. O enriquecimento da semente com Mo tem várias vantagens: 1) poderão ser eliminadas as perdas do fertilizante aplicado; 2) a disponibilidade do nutriente ocorrerá de acordo com a demanda da planta, aumentando assim, a eficiência do uso do nutriente; 3) maior incentivo à utilização de sementes de alta qualidade pelo produtor, por ser prática de baixo custo e tecnicamente viável. Todas essas possíveis vantagens têm despertado, há muito, o interesse para se determinar o conteúdo de Mo na semente suficiente para promover o desenvolvimento ótimo da planta. No entanto, os resultados obtidos até o momento ainda são pouco consistentes.

Para fornecer o molibdênio à planta por via da semente, faz-se necessário determinar a dose de Mo necessária para produzir sementes com essa característica. Esta tentativa foi realizada em pesquisa recente, sem, no entanto, resultados satisfatórios (FERREIRA, 2001). Os resultados desse estudo revelam a necessidade do uso de doses elevadas de Mo para atingir tal objetivo. Neste caso, possivelmente, o parcelamento das doses do adubo seja necessário para se evitar injúrias à planta, não havendo, porém, estudos sobre isso. Além disso, o tamanho da semente influencia o comportamento da planta, e, desse modo, pode afetar a quantidade de Mo a ser alocada para a semente produzida.

Assim, várias indagações com relação à adubação molíbdica no feijoeiro dão suporte à realização de pesquisas diversas. O presente trabalho tem como objetivos: a) determinar a dose capaz de promover o acúmulo de Mo na semente de feijão, em quantidade suficiente para a próxima geração; b) estudar a influência do tamanho da semente sobre o acúmulo desse nutriente nela; e c) estabelecer o nível crítico do nutriente na folha e na semente.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Dos elementos químicos absorvidos pela planta, somente alguns foram, até o momento, determinados como essenciais para o crescimento das plantas. Para ser considerado essencial, o elemento deverá ter papel fisiológico definido na planta e a sua ausência impedir que a planta complete seu ciclo de vida (ARNON & STOUT, 1939). Os elementos considerados essenciais para algumas, se não para todas, plantas superiores são 16: carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), cloro (Cl), cobre (Cu), boro (B), manganês (Mn), zinco (Zn) e molibdênio (Mo). Os três primeiros elementos – C, H e O – não são considerados elementos minerais, por serem obtidos principalmente da água ou do dióxido de carbono. Os demais são usualmente classificados como macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) ou micronutrientes (Fe, Cl, Cu, B, Mn, Zn e Mo), segundo sua concentração relativa no tecido da planta.

Existem outros elementos que se acumulam nas plantas, mas que não são considerados essenciais ao desenvolvimento das mesmas. É o caso do alumínio (Al), do selênio (Se), do Cobalto (Co) e de outros elementos.

Por ser material de estudo no presente trabalho, faremos a seguir uma revisão detalhada sobre o molibdênio, descrevendo seu comportamento no solo e na planta, além de apresentar resultados alcançados em estudos com esse elemento, com diversas culturas, principalmente com feijão, em Minas Gerais, no Brasil e no mundo.

2.1. Papel do molibdênio na planta

Nas plantas, o molibdênio (Mo) participa das reações de transferência de elétrons. Ele é considerado elemento essencial para os vegetais em razão, principalmente, da sua participação no metabolismo do nitrogênio, em que participa como cofator das enzimas nitrogenase e nitrato redutase. O Mo ainda participa da estrutura da enzima oxidase do sulfato e na formação da proteína Mo-Fe-S (MARTENS & WESTERMANN, 1991).

A redução do N_2 atmosférico à amônia (NH_3) ocorre pelo processo denominado de fixação simbiótica. Esse processo é realizado pela enzima nitrogenase, a qual se constitui de duas proteínas distintas, contendo íons de Mo e de Fe (SALYSBURY *et al.*, 1991). Por sua vez, a redução biológica do nitrato (NO_3^-) a nitrito (NO_2^-) é processo catalisado pela enzima nitrato redutase. Esse processo constitui a primeira etapa da incorporação do nitrogênio às proteínas. O molibdênio atua nesse complexo enzimático como cofator 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).

Os aminoácidos que contêm enxofre exercem papéis importantes nas plantas, sendo a metionina, em particular, necessária para a replicação e transcrição do DNA e síntese de proteínas e de etileno (HU *et al.*, 2002). Segundo esses autores, em trigo, a metionina livre e a incorporada em proteínas foram aumentadas com a adubação molíbdica. Assim, a síntese de proteínas e o crescimento de plantas foram positivamente influenciados pelo Mo. WANG *et al.* (1999) citam o prolongamento do ciclo biológico de trigo de inverno provocado pela deficiência de Mo, e que este efeito estaria relacionado à menor síntese de etileno, causada pela redução na disponibilidade de metionina na planta.

Em feijão, segundo SHI (1989), a adubação molíbdica promoveu incrementos na concentração de aminoácidos totais e dos aminoácidos fenilalanina, histidina, prolina, serina, ácido aspártico, alanina e valina isoladamente. HU *et al.* (2002) obtiveram resultados com trigo, em que, na fase de perfilhamento, o molibdênio, independente da aplicação de N, promoveu incrementos de até 11,8% nas concentrações de aminoácidos livres. Na fase de alongação, o aumento foi de 30,2% em solo com baixa disponibilidade de N,

e de 10,8% em solo rico desse nutriente. Esses resultados permitem que se infira que o Mo aumenta a absorção de N e a síntese de aminoácidos livres na fase vegetativa, quando há deficiência de N.

O ácido glutâmico é o primeiro composto orgânico nitrogenado formado após a assimilação da amônia (LANCIEN *et al.*, 2000). HU *et al.* (2002) reportaram que, quando houve baixa disponibilidade de N para o trigo, a adubação molíbdica promoveu incrementos de 81,2% e 58,3% na concentração de ácido glutâmico livre, respectivamente, nos estádios de perfilhamento e de alongação. Também, a percentagem desse aminoácido na concentração total de aminoácidos na planta foi aumentada. Portanto, a absorção e a assimilação do nitrogênio foram aumentadas pela aplicação de Mo, em baixa disponibilidade desse macronutriente. Esses resultados não foram obtidos na presença de adequado suprimento de nitrogênio. Porém, nessas condições, a concentração total de aminoácidos livres menos a concentração de ácido glutâmico livre foi cerca de 16% superior em plantas supridas com Mo. Isso demonstra que a transformação do ácido glutâmico em outros aminoácidos foi retardada, o que implica em acúmulo de ácido glutâmico livre. Em folhas de chá, a aplicação do micronutriente também aumentou as concentrações de teonina, ácido aspártico e serina (FAN, 1988).

A concentração de glicina livre em folhas de trigo e sua percentagem na concentração total de aminoácidos livres aumentaram com a aplicação de Mo, independentemente da dose de N (HU *et al.*, 2002). Na presença de elevada disponibilidade de nitrogênio, as concentrações de metionina livre nos estádios de perfilhamento, alongação e formação da espiga aumentaram com a adubação molíbdica em, respectivamente, 4,8%, 50,0% e 15,0%. Além disso, as percentagens de metionina e de cisteína livres no total de aminoácidos livres também aumentaram. Este fato sugere que a assimilação do sulfato foi afetada pelo suprimento de Mo. As concentrações de alanina, valina e leucina, bem como suas percentagens na concentração total de aminoácidos, no perfilhamento e na alongação, cresceram com a aplicação de Mo, independentemente do fornecimento de nitrogênio. Com elevada disponibilidade de N, a concentração de alanina livre elevou-se consideravelmente com o uso de Mo, com incrementos de 93,9%, no perfilhamento, e de 83,1%, na alongação. As concentrações de ácido aspártico, lisina e isoleucina também foram positivamente influenciadas pelo molibdênio.

A concentração de ácido aspártico livre aumentou significativamente, e os aumentos no perfilhamento e na alongação foram de, respectivamente, 44,8% e 114,8%. Fenilalanina e tirosina também tiveram suas concentrações livres aumentadas pelo suprimento de Mo, no perfilhamento, alongação e formação da espiga. Os incrementos foram de 50,0% e de 13,2% em condições de baixa e elevada disponibilidade de nitrogênio, respectivamente. Os aminoácidos fenilalanina e tirosina são precursores de AIA, de modo que o aumento nas concentrações desses dois aminoácidos pela aplicação de Mo resulta em incrementos na síntese desse regulador de crescimento, o que favorece a alongação do caule. Ainda, segundo HU *et al.* (2002), a concentração de aminoácidos protéicos em folhas de trigo aumentou em resposta à adubação molíbdica, na presença de elevada disponibilidade de N. O maior aumento ocorreu na concentração da metionina (125%); os incrementos nas concentrações de ácido glutâmico, de tirosina e de ácido aspártico foram de, respectivamente, 17,7%, 17,1% e 11,6%. Esses resultados indicam que a síntese de proteínas aumenta com a aplicação de Mo nas plantas.

O molibdênio é translocado rápido e eficientemente na planta, especialmente quando fornecido em pequenas quantidades; há, no entanto, alguns autores que consideram lenta a mobilidade do Mo na planta (MARSCHNER, 1995; BUCHANAN, 2000). Provavelmente, a sua translocação se dá pelo floema (BRODRICK & GILLER, 1991; MARSCHNER, 1995). GOMEZ & SIERRA (1989) verificaram aumento na atividade da enzima nitrato redutase em raízes de feijão, em razão da aplicação de molibdênio nas folhas. Esse fato também foi constatado por VIEIRA *et al.* (1998a). Estes determinaram o efeito da aplicação de Mo em feijão sobre a atividade da redutase do nitrato e da nitrogenase em um solo de alta fertilidade. Houve aumento na atividade da nitrogenase de 124%, 240% e 172% aos 32, 46 e 60 dias após a emergência (DAE), respectivamente, em relação à sua atividade nas plantas não-adubadas. A aplicação de 40 g ha⁻¹ de Mo foi equivalente à de 30 kg ha⁻¹ de N em cobertura, quando ambas promoveram a maior produtividade (cerca de 2.100 kg ha⁻¹). Em estudo semelhante desses autores, porém em solo de baixa fertilidade, a atividade da redutase do nitrato e o acúmulo de N na parte dos feijoeiros aumentaram significativamente com a aplicação 40 g ha⁻¹ de Mo via foliar, aos 25 DAE. A atividade dessa enzima, bem como a nodulação, foi reduzida com a aplicação de 20 kg ha⁻¹ de N.

Nesse estudo, a atividade da nitrogenase não foi influenciada pela inoculação com *Rhizobium*. Entretanto, a eficiência das estirpes nativas de *Rhizobium* melhorou com a aplicação de Mo, a qual também aumentou a concentração de N nas sementes, fato que não ocorreu com o fornecimento de N em cobertura. As produtividades alcançadas com o Mo aplicado via foliar e com o N em cobertura foram similares. VIEIRA *et al.* (1992) obtiveram aumento de 200% na produção de feijão quando foram aplicados 20 g ha⁻¹ de Mo nas folhas. A associação do Mo com N trouxe incremento adicional de 19%. Não foi vantajoso aplicar nitrogênio no sulco de plantio e depois em cobertura, quando se utilizou Mo. Esses resultados mostram que, em certos solos, a adubação molíbdica em pequenas doses pode “substituir” eficientemente a aplicação de nitrogênio em cobertura.

Citam-se, também, como funções do molibdênio na planta, a participação na formação do pólen e na síntese de proteínas, sendo alguns dos principais metabólitos que o contêm, as enzimas xantina desidrogenase, oxidase do sulfito e nitrogenase (MARTINÉZ *et al.*, 1996).

2.2. Molibdênio no solo

A riqueza dos solos em nutrientes está condicionada às rochas que lhe deram origem. Existem solos com elevado teor, equilíbrio e disponibilidade de nutrientes essenciais às plantas, e que, dessa forma, garantem a nutrição das culturas durante período relativamente longo de tempo. Outros solos originaram-se de material menos fértil ou sofreram transformações durante os tempos, não apresentando, assim, as qualidades exigidas para manter a nutrição mineral das plantas em nível adequado. A concentração total dos nutrientes no solo depende, entre outros fatores, da sua forma química, mobilidade e disponibilidade (MARTINÉZ *et al.*, 1996). A redução na disponibilidade dos nutrientes nos solos é resultado de vários fatores. Com relação aos micronutrientes, os fatores causadores das suas deficiências nos solos brasileiros, segundo LOPES (1991) e FONTES (1997), são os seguintes: 1) a baixa reserva de minerais intemperizáveis dos solos devido à pobreza do material de origem; 2) o incremento da produtividade das culturas, devido ao uso intensivo de técnicas agrícolas modernas, que vêm promovendo retirada crescente de micronutrientes dos solos, sem que se estabeleça a sua

adequada reposição; 3) o cultivo de materiais com alto potencial produtivo, demandando maiores quantidades de micronutrientes; 4) o manejo inadequado dos solos, levando à sua degradação física, química e biológica; 5) a necessidade de uso cada vez maior de calcário, diminuindo a disponibilidade do ferro, manganês, cobre e zinco, em virtude da elevação do pH do solo; 6) o avanço tecnológico industrial, gerando maior pureza dos fertilizantes produzidos; e 7) a incorporação de áreas de cerrado no processo produtivo.

O conteúdo de molibdênio no solo varia com o tipo deste. No entanto, na maioria dos solos, as quantidades são extremamente pequenas. Em solos que adubados com Mo, a concentração do nutriente poderá atingir cerca de 100 mg kg^{-1} , variando de 10 a 100 mg kg^{-1} (MARTINÉZ *et al.*, 1996). Em solo não-adubado, estes autores determinaram concentrações de Mo variando de 1,0 a $5,0 \text{ mg kg}^{-1}$. No solo, o molibdênio pode ser encontrado em quatro formas distintas: 1) Mo indisponível adsorvido a cristais de minerais primários e secundários, 2) Mo condicionalmente disponível adsorvido a minerais de argila, como ânion MoO_4^{2-} ; 3) Mo adsorvido à matéria orgânica; e 4) Mo disponível na solução do solo (FERREIRA, 2001).

Somente as formas solúveis estão disponíveis para as plantas (ZIMMER & MENDEL, 1999). A absorção do molibdênio ocorre na forma iônica (MoO_4^{2-}) disponível na solução do solo, quando o pH do meio é igual ou maior que 5; e como HMoO_4^- em condições de acidez e, em alguns solos, quando a matéria orgânica se encontra em teores elevados, principalmente via fluxo em massa (GUPTA & LIPSETT, 1981; VIDOR & PERES, 1988; MARTINÉZ *et al.*, 1996; MALAVOLTA *et al.*, 1997). A sua translocação da raiz para a parte aérea se dá através do xilema, na forma de íon molibdato ou complexado a compostos orgânicos, como aminoácidos, açúcares ou compostos polihidroxilados (FERREIRA, 2001). Esse micronutriente apresenta mobilidade intermediária na planta, tanto no floema como no xilema, e, desse modo, os sintomas de carência no tecido vegetal são manifestados visualmente nas folhas mais velhas, assemelhando-se aos da deficiência de nitrogênio (MARSCHNER, 1995). A deficiência de Mo pode ser consequência da sua ausência ou presença em quantidades bastante reduzidas no material de origem dos solos. Contudo, por causa da sua absorção na forma de ânion, o molibdênio tem a disponibilidade afetada por uma série de fatores, dentre os quais pode-se destacar o pH do solo, a matéria orgânica, a textura do solo, a

drenagem, os óxidos de ferro e de alumínio, o potencial redox e a interação com outros nutrientes (ILCA, 1987; SANTOS, 1991). De modo geral, os solos originários de rochas ígneas são mais ricos em micronutrientes do que os solos de origem sedimentar, como os aluviais (FONTES, 1997).

Dentre os fatores citados, causadores da redução da disponibilidade de Mo na solução do solo, o pH destaca-se como um dos mais importantes. A adsorção do Mo pelas partículas do solo aumenta em resposta à redução do pH do solo (ZIMMER & MENDEL, 1999), de modo que a sua disponibilidade para as plantas aumenta em resposta à elevação do pH do solo e, por esse motivo, a calagem, por vezes, é suficiente para corrigir-lhe a deficiência, devido à presença de hidroxilas no meio, responsáveis pela remoção do MoO_4^{2-} da proximidade dos sítios de adsorção (LANTMANN *et al.*, 1985). Desse modo, a realização da calagem, liberando cálcio na solução, promove a disponibilidade do Mo, uma vez que o íon molibdato (MoO_4^{2-}) pode combinar-se com o Ca^{2+} , formando um composto bastante solúvel, o CaMoO_4 (CAMARGO, 1991; KOCHIAN, 1991). Essa possibilidade foi comprovada, em milho, por QUAGGIO *et al.* (1991), que obtiveram incrementos na atividade da enzima redutase do nitrato, bem como no conteúdo desse micronutriente, após a realização dessa técnica. Em pH ácido (pH 5,0), além do feijoeiro não responder à aplicação de molibdênio, este proporciona uma redução na fixação do N_2 , o que influencia a nutrição nitrogenada da planta (FRANCO & DAY, 1980). Ainda neste trabalho, após a realização da calagem, em dose necessária para elevar o pH para 5,3, houve resposta significativa às aplicações de Mo. Por conseguinte, a fixação do N_2 e o crescimento das plantas foram beneficiados. Entretanto, estudos feitos por JACOB NETO & FRANCO (1989) demonstraram que, mesmo na ausência de calagem (pH 4,9), ocorreram efeitos positivos do Mo. O cultivo em solos ácidos, ricos em óxidos de ferro e de alumínio e com predominância de argilas do tipo 1:1 (caulinita, p. ex.), promove deficiência severa de molibdênio, principalmente no caso de leguminosas. Essa deficiência é provocada pela presença do nutriente em formas indisponíveis à planta, resultado das reações de adsorção pelos óxidos de Fe e, possivelmente, de Al (GUPTA & LIPSETT, 1981).

A matéria orgânica do solo desempenha dupla função sobre a disponibilidade de Mo na solução do solo. Em solos ácidos, com elevada quantidade de óxidos de ferro e de alumínio, o Mo é retido pela matéria

orgânica, o que impede que ele seja envolvido na formação de compostos insolúveis. Desse modo, o Mo pode ser absorvido em grandes quantidades nesses solos, desde que o conteúdo de matéria orgânica seja elevado (FERREIRA, 2001). Por outro lado, em solos onde a ocorrência desses óxidos é reduzida, o Mo encontra-se inicialmente ligado à matéria orgânica, tornando-se disponível para a absorção pelas raízes somente após a sua mineralização.

A disponibilidade do Mo também sofre influência da interação com outros nutrientes no solo. Os nutrientes que estão mais diretamente envolvidos nesse processo são o fósforo e o enxofre, exercendo efeitos opostos. O fósforo estimula a absorção do Mo devido à substituição do íon molibdato pelo íon fosfato nos sítios de adsorção, aumentando, assim, a disponibilidade do primeiro na solução do solo; além disso, existe a possibilidade da formação de complexos fosfomolibdatos, rapidamente absorvidos pelas raízes e que favorecem, também, o transporte do Mo a longa distância (MARSCHNER, 1995). Em contraste, o enxofre reduz a absorção do Mo (MARTINÉZ *et al.*, 1996). Segundo GUPTA & LIPSETT (1981), esse comportamento é reflexo do antagonismo entre esses dois nutrientes durante o processo de absorção. Desse modo, a aplicação de doses elevadas de fertilizantes sulfúricos poderá promover o surgimento de plantas deficientes em molibdênio. A absorção do Mo pelas raízes é também diminuída pela presença de Cl^- , Cu^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{2+} , e aumentada em presença de Fe^{2+} (MARTINÉZ *et al.*, 1996; MALAVOLTA *et al.*, 1997). A disponibilidade do Mo na solução do solo também depende da textura do solo: em solos arenosos pode ocorrer lixiviação do MoO_4^{2-} e redução da sua disponibilidade, principalmente em condições de chuvas ou irrigações excessivas (FONTES, 1997).

2.3. Adubação molíbdica no feijoeiro

Solos de alta fertilidade normalmente possuem a capacidade de fornecer os micronutrientes necessários para o feijoeiro. Entretanto, a atuação conjunta de alguns fatores, como a remoção dos micronutrientes por cultivos sucessivos, os processos de erosão, a redução da matéria orgânica do solo e a presença de acidez, pode levar à ocorrência de deficiências de alguns micronutrientes essenciais nos solos, até mesmo naqueles provindos de

material de origem rico nesses elementos (MARTENS & WESTERMANN, 1991).

Os resultados de alguns trabalhos com a adubação molíbdica mostraram que, apesar da importância do molibdênio para as leguminosas, nem sempre são obtidas respostas positivas à sua aplicação em feijoeiro. Isto tem ocorrido em razão do alto teor de Mo no solo e, ou devido à reserva desse elemento nas sementes (FERREIRA, 2001; JACOB NETO, 1985). O Mo é o nutriente essencial exigido em menor quantidade pelas plantas.

A resposta ao Mo tem se mostrado variáveis entre as espécies, e entre variedades da mesma espécie. AMANE *et al.* (1994) avaliou as respostas de 17 cultivares de feijão às adubações molíbdicas nitrogenada. Verificaram que, em termos gerais, o feijoeiro respondeu positivamente à aplicação de molibdênio, o que também foi constatado em outras pesquisas realizadas na Zona da Mata Mineira (VIEIRA *et al.*, 1992; VIEIRA, 1994; AMANE, 1997; COELHO *et al.*, 1998). Essas respostas, em parte, são conseqüências da deficiência do Mo nos solos dessa região, provocada por cultivos sucessivos sem a adequada reposição desse elemento, que é removido pelos grãos em quantidades relativamente elevadas.

Em Viçosa, a aplicação conjunta de Mo e N proporcionou incrementos significativos na produção, e superiores aos promovidos pelo fornecimento de N isoladamente em duas aplicações (29% e 20%, respectivamente). Por outro lado, em Coimbra, os incrementos promovidos pelos tratamentos N+Mo e N+N não diferiram significativamente entre si, sendo, ambos, estatisticamente superiores ao obtido no tratamento não-adubado. No entanto, foi observada interação significativa entre adubação e cultivar no experimento das “águas” conduzido em Viçosa, em relação à produção. Contudo, as cultivares apresentaram tendência similar à observada nos dois experimentos anteriores, com N+N e N+Mo promovendo incrementos médios à produção de 63% e 90%, respectivamente, comparado ao tratamento sem N e sem Mo. A concentração de N nas folhas também foi incrementada por esses dois tratamentos (N+N e N+Mo) (AMANE *et al.*, 1994)).

A aplicação complementar de Mo é dispensável em lavouras de feijão proveniente de sementes com conteúdo superior a 3,51 µg por semente, segundo JACOB NETO (1985) e JACOB NETO & FRANCO (1986). MOHANDAS (1985) apresenta resultados em que plantas de feijão

provenientes de sementes embebidas em solução com $2,0 \text{ mg kg}^{-1}$ de Mo e $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$ de Co, superaram as plantas provenientes de sementes que foram embebidas apenas em água destilada ou dos tratamentos de controle, em relação ao número e peso de nódulos frescos, área foliar, peso da parte aérea seca, conteúdo de nitrogênio e produção. Entretanto, VIEIRA *et al.* (1998a,b) reportam resultados em que o molibdênio aplicado via foliar reduziu o número de nódulos, tanto em solo fértil como de baixa fertilidade; porém, aumentou-lhes o tamanho e a massa. A redução no número de nódulos não é relevante, pois é de menor importância na determinação da eficiência nodular; e por serem, a fixação de N_2 e a produção de grãos, dependentes do peso total e da longevidade dos nódulos. DINIZ *et al.* (1995), ao compararem adubações nitrogenadas, na semeadura e em cobertura, com doses de Mo fornecidas por pulverizações foliares, constataram que 40 kg de N na semeadura ou 30 kg de N em cobertura igualaram-se a 40 g de Mo, no aumento da produtividade de feijão em até 200%, em relação ao tratamento não adubado com esses nutrientes.

2.4. Forma de suprimento do molibdênio

O molibdênio utilizado pelas plantas pode ser originado do próprio solo ou resultante da aplicação de produtos químicos e/ou orgânicos que o contenham em sua composição. O fornecimento do fertilizante molíbdico às plantas tem sido feito de três formas: aplicação direta no solo, aplicação foliar e aplicação na semente, este último por imersão em solução aquosa ou por peletização. O fornecimento do Mo via tratamento da semente teria, provavelmente, maior eficiência em razão da pequena dose a ser aplicada. Entretanto, assim como o fornecimento via solo, a aplicação na semente poderá ter a sua eficiência comprometida pelo processo de imobilização do Mo pela matéria orgânica, óxidos de ferro e de alumínio, o que resultaria na redução da disponibilidade do Mo para as plantas. GRASSI FILHO *et al.* (1996) reportam que a aplicação de Mo na semente promoveu aumento do teor de clorofila na folha, sem, no entanto, influenciar a produção de vagens + grãos e de grãos. Com relação à aplicação do Mo via foliar, VIDOR & PERES (1988) citam que há rápida absorção do nutriente pelas plantas, sem haver perdas por fixação, que ocorre quando se faz aplicação diretamente no solo. Assim, a

adubação foliar é a forma mais eficiente de suprir as plantas de Mo (JACOB NETO & ROSSETO, 1998).

Essa eficiência foi comprovada em vários estudos (VIEIRA *et al.*, 1992; VIEIRA, 1994; AMANE, 1997; COELHO *et al.*, 1998; ARAÚJO, 2000; FERREIRA, 2001). O molibdênio aplicado via foliar, segundo BERGER *et al.* (1995), mostrou-se mais eficiente que o seu fornecimento via peletização das sementes do cultivar Ouro. Contudo, o cultivar Ouro Negro mostrou-se indiferente a essas duas formas de aplicação do Mo. BERGER *et al.* (1996) obtiveram resultados em que a adubação foliar com Mo proporcionou aumento de 250% na produtividade do feijoeiro. Comportamento semelhante foi verificado por PESSOA (1998), ao obter aumentos de até 323% na produtividade dessa leguminosa, em resposta à aplicação de 80 g ha⁻¹, quando comparada com a produtividade obtida nos tratamentos com ausência do micronutriente. FERREIRA (2001) também verificou essa tendência de aumento da produção do feijoeiro em resposta à aplicação foliar de Mo, porém, com menor percentagem de aumento. Este autor obteve, com a dose de 83,9 g ha⁻¹ de Mo, aumento de 41% na produção de grãos, em relação ao tratamento sem Mo.

2.5. Nível crítico de molibdênio na folha e na semente

A quantidade exigida de determinado macro ou micronutriente depende da cultura. A determinação de possíveis deficiências e/ou toxicidades pode ser realizada por diversos critérios, dentre eles o nível crítico. O conceito de nível crítico de um dado nutriente é bastante variável, havendo o nível crítico fisiológico, o nível crítico econômico e o nível crítico correspondente a 90% da produção máxima fisiológica. Entretanto, na prática, o mais utilizado é o nível crítico suficiente para promover 90% da produção máxima fisiológica. O nível crítico corresponde à concentração abaixo da qual a taxa de crescimento, ou a produção da planta ou a qualidade do produto colhido, diminuí significativamente; e a partir da qual, é muito baixa a probabilidade de resposta da cultura à aplicação do nutriente.

Diversas partes da planta têm sido utilizadas para estabelecer o nível crítico dos nutrientes. No entanto, há a necessidade de se especificar o órgão da planta a ser analisado, bem como o seu estágio de desenvolvimento, por

ocasião da amostragem (PESSOA, 1998). Contudo, a determinação do nível crítico foliar de Mo tem sido dificultada pelos baixos teores do nutriente nas diversas partes da planta.

A exigência de Mo pelas plantas é bastante pequena, de modo que, como citado anteriormente, a quantidade exigida é a menor entre todos os micronutrientes necessários para o crescimento normal das plantas (ZIMMER & MENDEL, 1999; MARSCHNER, 1995). Contudo, a quantidade de molibdênio requerida é relativamente grande, principalmente nos nódulos radiculares de leguminosas. A visualização dos sintomas de toxicidade de Mo na planta é rara, mesmo com absorção em quantidades elevadas, sobretudo em condições de campo, como reportado por JACOB-NETO (1985) e por LEITE *et al.* (2003). Segundo esses últimos autores, o rendimento de grãos não foi significativamente reduzido por doses de até 2.560 g ha⁻¹ de Mo. A sintomatologia típica causada pela deficiência de molibdênio nas plantas é a deficiência de nitrogênio, atraso no crescimento e presença de folhas jovens cloróticas. Nas espécies dicotiledôneas essa deficiência tem como consequência uma drástica redução no tamanho das folhas, além dos seus bordos apresentarem-se irregulares. Esses são sintomas visuais típicos resultantes da necrose local no tecido e de uma diferenciação insuficiente dos sistemas vasculares nos estádios iniciais de desenvolvimento da folha (MARSCHNER, 1995).

A concentração de molibdênio no tecido da planta é bastante variável, indo de 0,1 a 300 mg kg⁻¹. Essa variação ocorre em resposta a fatores diversos, sendo, a sua disponibilidade no solo o mais importante (MARTINÉZ *et al.*, 1996). No entanto, as concentrações comumente reportadas situam-se na faixa de 0,1 a 10,0 mg kg⁻¹ de Mo (HAQUE, 1987; MARTINÉZ *et al.*, 1996). Em condições de suprimento externo limitado, a concentração de Mo nos nódulos é maior que nas folhas, ao passo que sob suprimento externo suficiente, o conteúdo nas folhas aumenta mais que nos nódulos (JACOB-NETO & FRANCO, 1989; BRODRICK & GILLER, 1991a). Pesquisas têm determinado níveis críticos de Mo, para o feijão, com uma faixa de variação relativamente ampla. Alguns autores consideraram o nível de 0,4 mg kg⁻¹ como sendo suficiente para o desenvolvimento normal do feijão, ao passo que MILLS & JONES JUNIOR (1996) citam, como nível ótimo, a concentração de 0,12 mg kg⁻¹ no tecido. Em contraposição, PESSOA (1998) considera deficientes em

molibdênio os feijoeiros que apresentam teores foliares inferiores a $0,6 \text{ mg kg}^{-1}$. Outros pesquisadores não determinam o nível crítico, mas uma faixa ótima de concentração de Mo no feijão. REUTER *et al.* (1997) e OLIVEIRA & THUNG (1988) consideram a faixa de concentração de Mo, variando de 0,4 a $1,4 \text{ mg kg}^{-1}$, como a mais adequada para o desenvolvimento ótimo da cultura.

O teor de molibdênio na folha do feijoeiro sofre variação de acordo com o seu estágio de desenvolvimento. NICOLOSO *et al.* (1990), avaliando a absorção de Mo em feijoeiro-comum, verificou que o teor máximo nas folhas foi alcançado aos 49 DAE (10 dias após o início da floração), quando teria coincidido com o início da formação de vagens. Por sua vez, o teor mínimo foi determinado aos 39 DAE (início da floração) em todos os tratamentos com ou sem o nutriente. Durante todo o ciclo da cultura, os teores de Mo determinados nos talos foram superiores àqueles determinados nas folhas. Nos talos, o teor de Mo também se apresentou bastante variável no decorrer do ciclo da planta, ocorrendo aumento a partir dos 20 DAE até o início da floração (39 DAE), quando foi encontrado o valor máximo. A partir desse estágio, os teores decresceram até 60 DAE, quando ocorreu novo aumento. Efeito inverso foi observado nas folhas, pressupondo que, até o início da floração, o molibdênio absorvido foi preferencialmente translocado para os talos, sendo posteriormente redistribuído para as folhas até os 69 DAE. Após esse período e até os 82 DAE, com o início da senescência das folhas, o teor de Mo nos talos apresentou novo aumento. JACOB NETO & FRANCO (1988) reportam que 24% a 65% do Mo absorvido pelas plantas de feijão podem ser translocados para as sementes.

Essas variações nos níveis críticos de Mo no tecido das plantas, bem como a escassez de publicações sobre o assunto, resultam de problemas metodológicos, principalmente daqueles referentes à extração e à determinação do nutriente (FERREIRA, 2001). Contudo, essas limitações vêm sendo dirimidas. A metodologia citada por PESSOA (1998) vem apresentando resultados satisfatórios (FERREIRA, 2001), e é fundamentada no princípio da ação catalítica de íons de molibdato na reação de oxi-redução entre o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e o iodeto de potássio (KI) em meio ácido. Na reação catalisada pelo íon molibdato, o KI é oxidado pelo H_2O_2 , formando HIO, o qual apresenta uma coloração alaranjada e que pode ser lida em espectrofotômetro a 350 nm, por meio da cubeta de quartzo.

A concentração de molibdênio nas sementes, assim como a concentração foliar, aumenta com o incremento da dose aplicada. Esse fato foi observado por FERREIRA (2001) e por LEITE *et al.* (2002), e o incremento das doses de molibdênio originou sementes com maiores concentrações desse micronutriente.

2.6. Influência do molibdênio da semente sobre as gerações subsequentes

A influência dos componentes químicos da semente sobre o seu vigor e potencial de armazenamento torna fundamental o conhecimento da composição química dela (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000). A avaliação da qualidade fisiológica da semente tem como atributos fundamentais o vigor e a viabilidade, sendo esta, determinada principalmente pelo teste padrão de germinação – TPG (FERREIRA, 2001). Este teste tem como objetivos a obtenção de informações sobre o valor das sementes para fins de semeadura, além de fornecer dados para a comparação de lotes distintos. No entanto, uma falha desse teste é não predizer o desempenho das sementes no campo, uma vez que é realizado sob condições ótimas em laboratório (AOSA, 1983).

Vários autores citam a adubação como uma forma para aumentar o conteúdo de nutrientes nas sementes (JACOB-NETO, 1985; JACOB-NETO & FRANCO, 1986; VIEIRA *et al.*, 1987; BRODRICK & GILLER, 1991; JACOB NETO & ROSSETO, 1998). Dentre os micronutrientes, o Mo é o único que, dependendo da espécie, o conteúdo encontrado na semente é suficiente para promover o crescimento normal da planta. Segundo MEAGHER *et al.* (1952), citados por VIDOR & PERES (1988), para o caso do feijão, a reserva da semente pode ser suficiente para a demanda de até duas gerações. Quando o molibdênio da planta encontra-se em níveis insuficientes, ocorre o acúmulo preferencial desse nutriente nos nódulos na raiz, podendo provocar uma considerável redução no seu conteúdo na parte aérea e nas sementes das leguminosas (ISHIZUKA, 1982). Entretanto, a alocação relativa do Mo nos diferentes órgãos da planta varia consideravelmente entre as espécies, bem como entre cultivares da mesma espécie, como tem sido constatado no feijoeiro (BRODRICK & GILLER, 1991b).

A influência do conteúdo de molibdênio na semente sobre as respostas das plantas à aplicação desse nutriente tem sido mencionada na literatura, porém sem consenso entre os pesquisadores. FERREIRA (2001) cita que o conteúdo de Mo na semente não influenciou a qualidade fisiológica da semente, contradizendo resultados obtidos por BRODRICK *et al.* (1992). Estes autores verificaram que a viabilidade das sementes foi inferior naquelas que apresentavam menor conteúdo de Mo ($1,41 \mu\text{g semente}^{-1}$), em relação às aquelas com conteúdo elevado do micronutriente ($1,64 - 3,57 \mu\text{g semente}^{-1}$). Entretanto, o conteúdo mínimo de Mo verificado neste último estudo foi superior ao máximo utilizado por FERREIRA (2001): $0,535 \mu\text{g semente}^{-1}$. Em soja, as sementes com maior conteúdo de molibdênio apresentam melhor qualidade fisiológica, suprimindo melhor a demanda metabólica inicial, levando ao maior crescimento inicial das plântulas e, posteriormente, possibilitando maior e mais rápido crescimento do sistema radicular; resultando no aumento da absorção de nutrientes, e, conseqüentemente, na cadeia produtiva da planta (TRIGO *et al.*, 1997). Segundo CARVALHO & NAKAGAWA (2000), os nutrientes contidos na semente podem suprir as necessidades da planta nos estádios iniciais do seu desenvolvimento.

Para MEAGHER *et al.* (1952), citados por VIDOR & PERES (1988), sementes com conteúdo de Mo acima de $0,5 \mu\text{g semente}^{-1}$ suprem a demanda da planta por, no mínimo, uma geração, sem prejuízos à produtividade. Entretanto, FERREIRA (2001) cita que plantas originadas de sementes com o conteúdo de $0,535 \mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo apresentaram produtividade semelhante às originadas de sementes com menores conteúdos desse micronutriente. BRODRICK *et al.* (1992) verificaram que sementes com conteúdo de Mo variando de $1,64$ a $3,57 \mu\text{g semente}^{-1}$ deram origem a plantas com maior peso de nódulos, maior acúmulo de nitrogênio e maior produção de sementes. Esses resultados, em parte, assemelham-se aos obtidos por JACOB NETO & FRANCO (1986), que citam o conteúdo de $3,51 \mu\text{g semente}^{-1}$ como suficiente para promover o desenvolvimento normal do feijão. Esse conteúdo foi obtido com a aplicação de 200 g ha^{-1} de molibdênio parcelado em cinco aplicações foliares. Contudo, altas doses desse micronutriente, embora possam elevar o seu conteúdo na semente, podem provocar efeito tóxico sobre a planta, dependendo das condições edafoclimáticas e da própria planta,

levando à redução do rendimento da cultura (JACOB NETO & ROSSETO, 1998).

A adubação molíbdica se faz necessária na cultura do feijão em solo com baixo teor de molibdênio associado ao emprego de sementes com baixo conteúdo desse micronutriente. O teor de molibdênio no solo, considerado normal e suficiente para promover o desenvolvimento da planta, varia de 0,5 a 5,0 mg kg⁻¹ (GUPTA & LIPSETT, 1981). O pH do solo influencia consideravelmente a disponibilidade do Mo, sendo baixa em solos ácidos e elevada em solos alcalinos. Assim, a probabilidade de resposta das plantas à aplicação de Mo é maior em solos ácidos. A deficiência de Mo pode ser agravada pelo cultivo sucessivo sem a sua aplicação, por causa da exportação do elemento via grãos e, principalmente, se o solo apresentar pobreza do elemento no material de origem.

A concentração de Mo nas folhas não foi influenciada significativamente pelo conteúdo desse micronutriente na semente, em trabalho realizado por FERREIRA (2001). Entretanto, o autor cita que a reserva de Mo das sementes não influenciou a sua concentração e o seu conteúdo das sementes colhidas. BRODRICK *et al.* (1992) reportam uma redução no conteúdo desse micronutriente e no rendimento de sementes, em variedades de sementes grandes e pequenas, nas plantas originadas de sementes com baixo conteúdo de Mo e sem aplicação adicional desse nutriente. Esse aumento da concentração de Mo na matéria seca das sementes, em resposta ao incremento das doses aplicadas via foliar, evidencia o elevado potencial de translocação e armazenamento desse elemento no dreno principal, conforme ressaltado por JACOB NETO & ROSSETO (1998).

BRODRICK *et al.* (1995) citam que a utilização de sementes com 9,3 µg de Mo semente⁻¹ impediu a produção de sementes deficientes nesse elemento por até quatro colheitas consecutivas, numa mesma área. Utilizando sementes com menor conteúdo desse micronutriente (0 a 0,335 µg semente⁻¹), FERREIRA (2001) não verificou influência da reserva de Mo sobre a nutrição molíbdica da planta.

A velocidade de fixação do N₂ atmosférico no feijoeiro é influenciada pelo conteúdo de molibdênio na semente. BRODRICK & GILLER (1991) constataram que a absorção de molibdênio da solução, durante os primeiros 20 a 25 DAE, foi menor nas plantas originadas de sementes com elevado teor

desse nutriente (1,5 – 2,1 µg de Mo semente⁻¹). A fixação do nitrogênio foi iniciada em seguida, promovida pelos nódulos radiculares formados após os 25 DAE. Na variedade BAT 1297, a fixação máxima de N₂ ocorreu somente após o conteúdo de Mo na planta ter sido significativamente maior do que o encontrado na semente. Por outro lado, as sementes com baixo conteúdo de Mo (0,24 ± 0,152 µg de Mo semente⁻¹) originaram plantas capazes de formar nódulos e iniciar a fixação de N₂. Entretanto, esse molibdênio não foi suficiente para promover a velocidade máxima de fixação do N₂ nestas plantas. Quando se forneceu Mo, este foi rapidamente absorvido pelas raízes, nódulos e parte aérea. BRODRICK & GILLER (1991) consideram os nódulos radiculares de *P. vulgaris* extremamente eficientes na utilização do Mo contido na semente ou proveniente de fontes externas, prevenindo a redução na velocidade de fixação de N₂. A necessidade dos nódulos pelo Mo pode ser a razão desse comportamento. Em trabalho realizado por JACOB-NETO & FRANCO (1989), o conteúdo de 3,0 µg de Mo foi determinado como sendo o nível crítico desse micronutriente nos nódulos de *P. vulgaris*.

2.7. Influência do molibdênio da semente sobre a sua qualidade fisiológica

A oxidase do aldeído catalisa a etapa final da biossíntese dos fitohormônios ácido indolacético (AIA) e ácido abscísico (ABA) (MENDEL & SCHWARZ, 1999). Estas duas funções já são suficientes para assegurar a essa enzima um importante papel no desenvolvimento da planta e sua adaptação a condições de estresse, embora existam vias alternativas para a síntese desses dois hormônios (TAYLOR, 1991). O ABA controla processos fisiológicos essenciais, tais como desenvolvimento da semente, germinação e abertura estomática, bem como a resposta das plantas a uma série de estresses, incluindo seca, salinidade e baixa temperatura (MERLOT & GIRAUDAT, 1997; QUATRANO *et al.*, 1997). O AIA promove o crescimento radicular, mantém a dominância apical e regula o comportamento fototrópico e gravitropico (NORMANLY *et al.*, 1995), mas parece estar também envolvido na resposta a estresses, como deficiência hídrica e salinidade (DUNLAP & BINZEL, 1996). Além disso, a oxidase do aldeído apresenta especificidade por uma grande quantidade de substratos, de modo que ela está envolvida em

outras reações metabólicas além da síntese de fitohormônios (MENDEL & SCHWARZ, 1999). As reações de desintoxicação e de resposta a patógenos podem ser prováveis boas candidatas para estas funções adicionais da enzima. Para MENDEL & SCHWARZ (1999), é de interesse particular o estudo da ligação entre as atividades da oxidase do aldeído e a assimilação primária do nitrato.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Efeito de doses de Mo sobre o rendimento de grãos

O experimento foi conduzido de março a junho de 2002, na Estação Experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, em Coimbra, MG. Suas coordenadas geográficas são: 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, o qual foi previamente amostrado às profundidades de 0-5, 0-10 e 0-20 cm, para a caracterização química apresentada na Tabela 1.

Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, com os tratamentos arranjados no esquema fatorial 7 x 2: 7 doses de Mo (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, via foliar, de uma só vez, aos 20 dias após a emergência das plântulas. As demais doses foram fornecidas em três (320 e 640 g ha⁻¹), aos 15, 20 e 25 DAE, ou em quatro aplicações (1.280 e 2.560 g ha⁻¹), aos 15, 20, 25 e 30 DAE. Esse procedimento teve o objetivo de evitar possíveis danos à planta, causados pelo excesso do nutriente.

Tabela 1. Características químicas do solo de amostra retirada das camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade

Profundidade	pH	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	CTC (t)	CTC(T)	V	m	C.O.
----- cm -----	H ₂ O	----- mg dm ⁻³ -----			----- cmol _c dm ⁻³ -----							----- % -----		-- dag kg ⁻¹ --
0 – 5	5,87	8,0	65	6,0	1,42	0,47	0,0	1,2	2,06	2,06	3,26	63,0	0,0	1,43
5 – 10	5,94	9,0	65	6,0	1,24	0,40	0,0	1,4	1,81	1,81	3,24	56,0	0,0	1,50
10 – 20	5,80	8,0	50	4,0	1,36	0,45	0,0	1,4	1,93	1,93	3,37	57,0	0,0	1,46
Profundidade		Cu		Mn		Fe		Zn		Mo				
----- cm -----		----- mg dm ⁻³ -----												
0 – 5		2,3		88,0		56,5		4,3		0,85				
5 – 10		2,2		82,4		66,3		6,0		0,86				
10 – 20		2,2		63,0		52,7		8,7		0,86				

pH em água: relação 1:2,5.

Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺: extrator KCl 1 mol L⁻¹.

P, K e Na: extrator Mehlich 1.

H⁺ + Al³⁺: extrator Acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, a pH 7,0.

C.O. = Carbono orgânico.

A semeadura foi realizada em março de 2002. A densidade populacional utilizada foi de 300.000 sementes por hectare. A unidade experimental foi constituída de cinco linhas de 5 m de comprimento, espaçadas 0,5 m entre si. A parcela útil, com 6 m², foi formada por três linhas centrais, excluindo-se 0,50 m das extremidades. Os dados dos componentes de rendimento (CRs) foram obtidos em duas das três linhas centrais, em área de 4,0 m². A terceira linha foi usada para a coleta dos dados obtidos por meio do clorofilômetro medidor do índice SPAD (Soil Plant Analysis Development), que mede a tonalidade verde da folha, e que está relacionada ao conteúdo de clorofila desta.

Os tratamentos receberam adubação uniforme com 300 kg ha⁻¹ da fórmula 8-28-16 no sulco de plantio. Não houve aplicação de nitrogênio em cobertura. A fonte de molibdênio utilizada foi o molibdato de amônio [(NH₄)₆Mo₇O₂₄.2H₂O], com 54% de Mo.

O solo foi preparado de forma convencional, com uma aração e duas gradagens e posterior abertura de sulcos. O controle de plantas daninhas foi realizado por meio de capinas manuais. Os demais tratos fitossanitários, necessários para controlar a infestação de pragas e de doenças na área experimental durante todo o ciclo da cultura, foram realizados com o uso de produtos químicos recomendados para a cultura. A irrigação, por aspersão, foi utilizada quando necessária, principalmente nos estádios iniciais do desenvolvimento, de floração e de enchimento de grãos.

Foram feitas as seguintes avaliações:

1. Estande final (n^o de plantas ha⁻¹): na época da colheita foi realizada a contagem das plantas dos 4,0 m² utilizados para coleta dos dados dos CRs;
2. Número de vagens por área: foi realizada a contagem de todas as vagens das plantas contidas nos 4,0 m² utilizados para coleta dos dados dos CRs;
3. Número de grãos vagem⁻¹: foram contados os grãos totais e divididos pelo n^o de vagens das plantas existentes nos 4,0 m² utilizados para coleta dos dados dos CRs;
4. Massa de 100 sementes: foi obtido dividindo-se a massa de grãos dos 4,0 m² utilizados para coleta dos dados dos CRs pelo número de sementes correspondente, multiplicado por 100;

5. Produtividade (kg ha^{-1}): pela conversão da massa obtida nos $4,0 \text{ m}^2$ utilizados para coleta dos dados dos CRs para kg ha^{-1} .

Os dados foram submetidos a análises de variância e ao ajuste de equações de regressão. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, no caso das variáveis qualitativas. As significâncias dos coeficientes de correlação e do teste de Tukey foram consideradas até 5% de probabilidade.

3.2. Efeito de doses de Mo sobre o teor de nutrientes na folha e na semente

Foram feitas as seguintes avaliações:

1. Índice SPAD: a sua determinação foi feita utilizando-se um clorofilômetro, aparelho que permite mensurar o conteúdo de clorofila da planta, expresso em unidades SPAD. Foi obtido aos 55 DAE, tomando-se três folhas do terço superior, de 15 plantas de cada parcela, escolhidas aleatoriamente em uma das linhas centrais da mesma;

2. Teor de N na folha: as folhas foram coletadas aos 36 DAE, utilizando-se a metodologia descrita por CATALDO *et al.* (1975), e digestão sulfúrica seguida de avaliação colorimétrica, utilizando-se o reagente de Nessler (JACKSON, 1965), para a determinação do nitrogênio orgânico;

3. Teor de Mo na folha: foi determinado no início do florescimento, seguindo-se metodologia empregada por FERREIRA (2001);

4. Teor de Mo na semente: foi usada a mesma metodologia empregada na determinação do teor de Mo na folha;

5. Conteúdo de Mo na semente: determinado com base no teor de Mo na semente e da massa desta, medida logo após a sua secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 70°C , por 72 horas, período considerado suficiente para que o material seco atingisse massa constante.

3.3. Efeito do conteúdo de Mo da semente sobre o rendimento de grãos e componentes da produção

Foram realizados dois ensaios, um com o Novo Jalo e outro com o Meia Noite, em razão de os conteúdos de molibdênio de suas sementes serem distintos. Foram conduzidos de março a junho de 2003, na Estação

Experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, em Coimbra, MG, cujas características geográficas e de solo já foram mencionadas. O solo foi previamente amostrado às profundidades de 0-5, 0-10 e 0-20 cm, para a sua caracterização química (Tabela 2).

Em cada ensaio, utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, com os tratamentos arranjados no esquema fatorial 4 x 2: 4 conteúdos de Mo (0,072, 0,845, 4,403 e 8,087 $\mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo, para o Novo Jalo; 0,097, 0,364, 1,601 e 4,133 $\mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo, para o Meia Noite) combinados com 2 doses de Mo (0 e 80 g ha^{-1} de Mo).

A semeadura foi realizada em março de 2003. Foram semeadas 440.000 sementes por hectare. A unidade experimental foi constituída de quatro linhas de 4 m de comprimento, espaçadas entre si de 0,5 m. A parcela útil, com 3 m^2 , foi formada por duas linhas centrais, excluindo-se 0,5 m de cada extremidade. Os dados dos componentes de rendimento foram obtidos em duas das três linhas centrais. A coleta de dados do índice SPAD e de material vegetal para análise de nutrientes foi realizada também nessas duas linhas, em plantas escolhidas aleatoriamente.

Os tratamentos receberam adubação uniforme com 300 kg ha^{-1} da fórmula 8-28-16 no sulco de plantio. Houve aplicação de nitrogênio em cobertura somente nos tratamentos adicionais. As fontes de molibdênio e de nitrogênio foram, respectivamente, molibdato de amônio $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$, com 54% de Mo, e uréia $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$, com 45% de N.

Os ensaios foram conduzidos em sistema de plantio direto, sobre palhada de milho e plantas invasoras. A área de cultivo vem sendo explorada em sistema de plantio direto por três anos, com uso intensivo, ou seja, três cultivos por ano, com rotação de feijão e milho.

As plantas invasoras entre as linhas da cultura foram controladas com herbicidas. Os demais tratos fitossanitários, necessários para controlar pragas e doenças durante todo o ciclo da cultura, foram realizados com o uso de produtos que não continham molibdênio em suas composições, para evitar interferência nos resultados. A irrigação por aspersão foi utilizada quando necessária, principalmente nos estádios iniciais do desenvolvimento, de floração e de enchimento de grãos.

Tabela 2. Características químicas do solo de amostra retirada das camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade

Profundidade	pH	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	m
----- cm -----	H ₂ O	----- mg dm ⁻³ -----			----- cmol _c dm ⁻³ -----				-----		----- % -----		
0 – 20	6,07	15	68	0	1,79	0,58	0,0	1,62	2,54	2,54	4,16	61	0,0
Profundidade	Cu		Mn		Fe		Zn		Mo				
----- cm -----	----- mg dm ⁻³ -----												
0 – 5	2,1		89,0		60,3		4,5		0,90				
5 – 10	2,0		80,4		62,3		6,0		0,87				
10 – 20	2,5		54,0		57,7		8,8		0,88				

pH em água: relação 1:2,5.

Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺: extrator KCl 1 mol L⁻¹.

P, K e Na: extrator Mehlich 1.

H⁺ + Al³⁺: extrator Acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, a pH 7,0.

C.O. = Carbono orgânico.

Para alcançar os objetivos deste estudo, foram avaliadas as mesmas características mencionadas no subcapítulo 4.1, utilizando-se das mesmas metodologias de determinação e análises.

3.4. Efeito do conteúdo de Mo da semente sobre sua qualidade fisiológica

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Sementes do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, sendo utilizadas sementes de feijão dos cultivares Novo Jalo e Meia Noite produzidas no experimento de campo.

Foram estudados seis conteúdos de Mo na semente (0,072, 0,74, 1,56, 2,554, 3,892 e 6,767 $\mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo, no caso do Novo Jalo; e 0,097, 0,364, 0,761, 1,601, 2,645 e 3,158 $\mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo, no caso do Meia Noite), em ensaios distintos, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições.

Os testes foram conduzidos de maio a junho de 2003. A unidade experimental foi constituída por um lote com 50 sementes.

O teor de água das sementes foi determinado pelo método da estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ por um período de 24 horas, de acordo com BRASIL (1992). Após a determinação, o grau de umidade das sementes foi ajustado para 13% em todos os tratamentos.

A qualidade fisiológica das sementes foi avaliada pelos testes de germinação e de vigor, descritos a seguir.

Teste de germinação – Foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes de cada tratamento. Estas foram distribuídas em substrato de papel germistet previamente umedecido com quantidade de água destilada equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco. O teste foi conduzido em germinador regulado para a temperatura constante de 25°C . As contagens foram efetuadas aos cinco e aos nove dias após a montagem do experimento, e os resultados foram apresentados em porcentagem (BRASIL, 1992).

Primeira contagem de germinação – O teste foi executado em conjunto com o de germinação. Anotaram-se as plântulas normais no quinto dia após a instalação do mesmo.

Comprimento da raiz primária e parte aérea – O teste foi conduzido conforme metodologia recomendada por VIEIRA & CARVALHO (1994). De

cada tratamento, foram utilizadas quatro repetições de 10 sementes, tendo-se como substrato papel germitest umedecido com quantidade de água destilada equivalente a 2,5 vezes o peso do papel seco. As sementes foram colocadas com o hilo orientado para a extremidade inferior do papel. Em seguida, os rolos foram levados ao germinador com temperatura constante de 25°C, onde permaneceram por sete dias. O comprimento da raiz primária e da parte aérea foi obtido com o auxílio de uma régua graduada.

Massa das plântulas secas – Empregaram-se todas as plântulas normais das subamostras usadas para a determinação do comprimento de raiz primária e parte aérea. As plântulas foram colocadas em saquinhos de papel e levadas para secar em uma estufa de circulação de ar a 70°C por 72 horas.

Envelhecimento acelerado – Foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes de cada tratamento. As sementes foram colocadas sobre uma tela em caixas plásticas do tipo gerbox com 40 ml de água e levadas para o germinador a uma temperatura constante de 42 °C, onde permaneceram por período de 48 horas. Posteriormente, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, e a avaliação do vigor foi feita nove depois (BRASIL, 1992).

Condutividade elétrica – O método empregado foi o de massa, utilizando-se quatro repetições de 50 sementes de cada tratamento. As sementes de cada repetição foram imersas em 75 ml de água destilada no interior de copos plásticos. Os recipientes foram levados à câmara de germinação com temperatura constante de 25 °C por um período de 24 horas. Em seguida, foi efetuada a leitura da condutividade elétrica com um condutivímetro.

Todos os dados, em porcentagem, foram transformados em arco-seno $\sqrt{\frac{\text{dado em \%}}{100}}$, antes de serem submetidos à análise de variância. Após a análise de variância simples, modelos de regressão não-linear foram ajustados aos dados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Influência de doses de molibdênio sobre os componentes de produção e rendimento de grãos do feijoeiro

A análise de variância dos dados revelou efeito significativo ($P < 0,01$) das doses de Mo sobre todos os componentes da produção, exceto sobre o número de sementes por vagem (Tabela 3). Estes resultados assemelham-se àqueles obtidos por vários autores em ensaios realizados na Zona da Mata mineira (VIEIRA *et al.*, 1992; VIEIRA, 1994; AMANE, 1994; AMANE, 1997; BERGER, 1995; BERGER *et al.*, 1996; COELHO *et al.*, 1998; ARAÚJO, 2000; FERREIRA, 2001; PIRES, 2003). 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.

4.1.1. Efeito do Cultivar

Todos os componentes da produção variaram com o cultivar, obtendo o Meia Noite as maiores médias de número de vagens por área e número de sementes por planta, e, o Novo Jalo, a maior média de massa de 100 sementes (ANEXO 1).

Tabela 3. Análise de variância do número de vagens por área (VA, vagem m⁻²), de sementes por vagem (SV), da massa de 100 sementes (M100s, g) e do rendimento de grãos (kg ha⁻¹) dos cultivares de feijão Novo Jalo e Meia Noite, em resposta a doses crescentes de Mo, aplicadas via foliar

F.V.	G.L.	Quadrado Médio			
		VA	SV	M100s	RGrãos
Bloco	3	2709,60	0,554	2,043	230367,20
Cultivar	1	37152,10**	31,052**	9290,601**	59109,73 ^{ns}
Nível de Mo	6	5951,11**	0,252 ^{ns}	19,642**	1912512,91**
Cultivar x Nível	6	2227,28*	0,234 ^{ns}	2,473 ^{ns}	127270,94 ^{ns}
Resíduo	39	952,36	0,280	1,411	127377,53
CV (%)		22,59	12,10	3,48	16,55

* = Significativo (P < 0,05).

** = Significativo (P < 0,01).

ns = Não-significativo.

4.1.2. Efeito da adubação molíbdica

Os modelos de regressão aos quais os dados foram ajustados estão apresentados no ANEXO 2.

As curvas ajustadas pelos modelos, para todos 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, e 2) fase de estabilização, no caso da produção de vagens por área, ou ligeira redução, no caso das demais características, dos valores estimados, em resposta à aplicação de doses mais elevadas do nutriente (Figura 1). O início dessas curvas explicita a elevada resposta do feijoeiro à adubação molíbdica, com obtenção de incrementos significativos e expressivos nos valores estimados com o uso de 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; BRINTON & O'CONNOR, 1999; CHATTERJEE & NAUTIYAL, 2001; HU *et al.*, 2002; VÍLLORA *et al.*, 2002). Por outro lado, a inexistência de decréscimos significativos nos valores estimados, em todas as características, promovidos pelo uso de doses mais elevadas do nutriente, destoa dos resultados

alcançados por BERGER (1996) e da afirmação de que a toxicidade do Mo possa resultar de doses iguais ou superiores a 240 g ha⁻¹ de Mo, como sugerem MARSCHNER (1995) e VIEIRA (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).

A dose de molibdênio indicada para o feijoeiro tem sofrido incrementos desde os estudos iniciais envolvendo-os. Na década de 1970, foram desenvolvidos vários trabalhos sobre a adubação molíbdica no feijoeiro, nos quais a dose ótima estimada para essa cultura era bastante baixa. Em 1972, BRAGA obteve resposta quadrática à aplicação do Mo, com a produção máxima sendo promovida pela dose de 13,5 g ha⁻¹ de Mo aplicada na semente. JUNQUEIRA NETTO *et al.* (1977) conduziram ensaios em Paula Cândido e Viçosa, e obtiveram, em Paula Cândido, incrementos da ordem de 130% resultantes da aplicação de apenas 12,9 g ha⁻¹ de Mo, ao passo que, em Viçosa, o efeito da adubação molíbdica sobre o feijoeiro só ocorreu quando associada às adubações com fósforo, nitrogênio e cobalto. Ainda na década de 1970, SANTOS *et al.* (1979) constataram em casa de vegetação, que a aplicação de Mo, em solo de Paula Cândido, reduziu a produção do feijoeiro, mas em dois solos de Viçosa essa adubação teve efeito positivo, com as maiores produções conseguidas com 12,3 g ha⁻¹, num solo, e 16 g ha⁻¹, noutro. Em ensaios conduzidos nos municípios de Viçosa e Coimbra, 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 entre 14 e 28 dias após a emergência de plântulas.

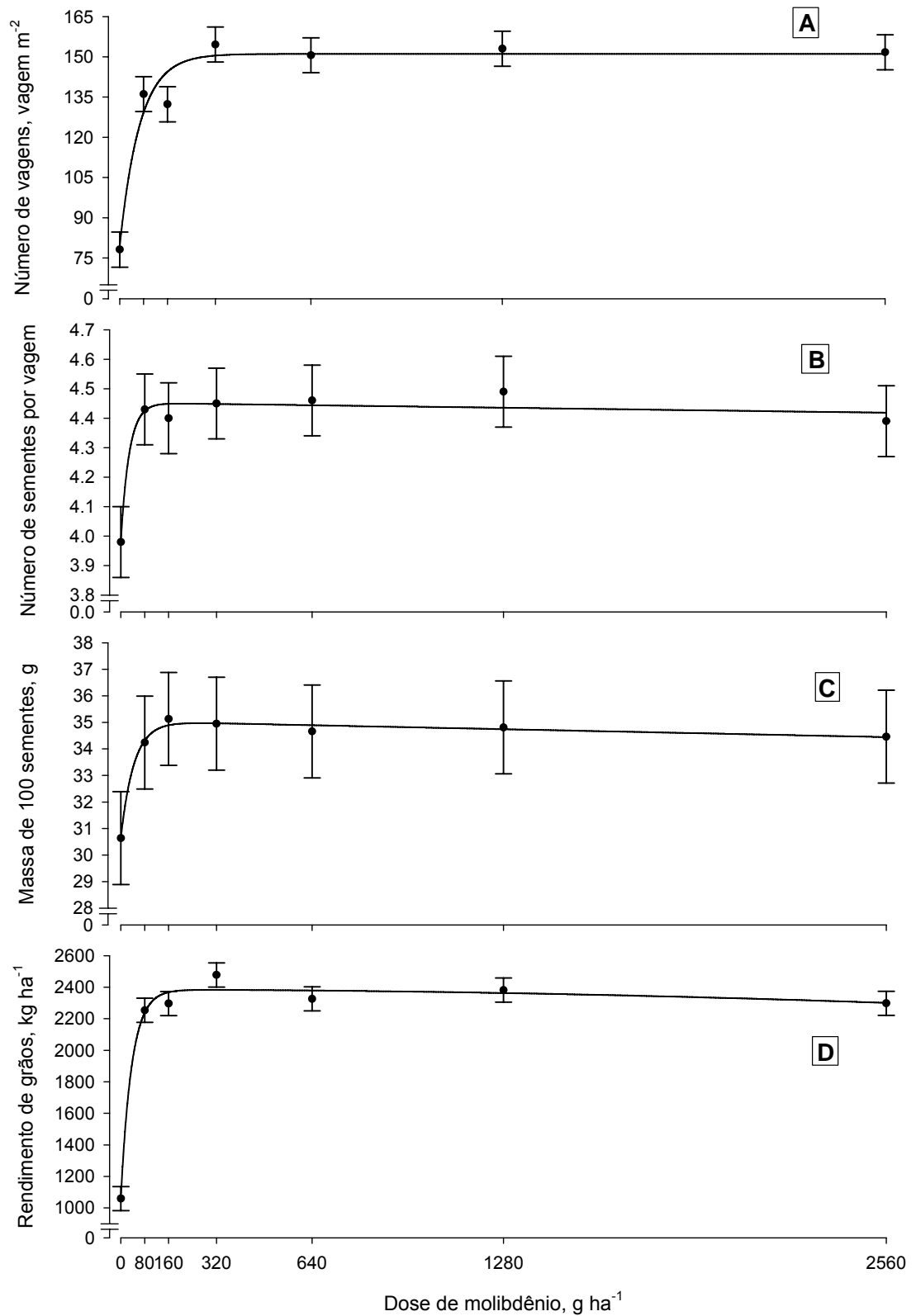


Figura 1. Efeito de doses de Mo sobre componentes da produção e rendimento de grãos de feijão (médias dos cvs. Novo Jalo e Meia Noite). O símbolo representa o erro quadrado médio ajustado para as médias.

O número de vagens por área (vagem m^{-2}) foi influenciado pelas doses de molibdênio (ANEXO 2), 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 (2003), 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) foi obtida com a dose estimada de 429 g ha^{-1} de Mo. Essa produção foi cerca 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.

A adubação molíbdica não influenciou significativamente a produção de sementes por vagem (Tabela 3). Contudo, os dados ajustaram-se ao segundo modelo exponencial de Mitscherlich (Figura 1B). A aplicação de 80 g ha^{-1} de Mo resultou em incrementos na produção de sementes por vagem, com incrementos da ordem de 11% em relação à obtida sem essa adubação. Resultados semelhantes também foram obtidos em outros estudos. FERREIRA (2001) reporta incrementos da ordem de 13% na produção de sementes por vagem em resposta à aplicação de 80 g ha^{-1} de Mo. PIRES (2003) cita o 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 (4,45) no presente estudo não foi proporcionado pela dose de 80 g ha^{-1} de Mo. Aqui, essa produção foi conseguida com a dose estimada de 123 g ha^{-1} de Mo. Os incrementos proporcionados por essa dose, em relação à produção sem adubação e com a 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.

A aplicação de molibdênio, em diferentes níveis, influenciou significativamente o comportamento da massa de 100 sementes: as produzidas

com adubação apresentaram maior tamanho e massa em relação às aquelas 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) cerca de 12% superior (30,6 g) às das sementes produzidas sem adubação molíbdica. Com a aplicação dessa mesma dose no cultivar Meia Noite, FERREIRA (2001) e PIRES (2003) obtiveram incrementos de cerca de 7% e 9,5%, respectivamente, em comparação às sementes produzidas na ausência de adubação com molibdênio. Também, para a massa de 100 sementes (Figura 1C), houve incrementos com a aplicação de doses superiores a 80 g ha⁻¹ de Mo em comparação com a média obtida com essa dose. 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 reduzido, ganha importância quando estimado com o número de sementes produzidas por hectare, resultando em ganhos significativos no rendimento de grãos. Em adição, o fornecimento de 2.560 g ha⁻¹ de Mo resultou em incrementos de 12,42% na massa de 100 sementes 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 molíbdica, o Novo Jalo rendeu 55% mais que o Meia Noite (1.289 e 831 kg ha⁻¹, respectivamente).

Os rendimentos estimados para as demais doses, entre os cultivares, são semelhantes, não havendo diferenças significativas entre ambos (ANEXO 1). A comparação dos rendimentos, considerando-se o erro-padrão médio, revela que todas as doses de Mo promoveram rendimentos de grãos significativamente superiores ao obtido sem adubação molíbdica (Figura 1D).

Com relação às doses, a de 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%, em relação à testemunha, demonstrando a elevada capacidade de resposta do feijoeiro à adubação molíbdica.

Incrementos dessa magnitude, e até superiores, também são reportados na literatura, para situações em que não se forneceu nitrogênio em cobertura. Em trabalho realizado por DINIZ *et al.* (1995), a aplicação de 40 g ha⁻¹ de Mo 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. PESSOA (1998) e BERGER *et al.* (1996) 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 (2003), com o cultivar Meia Noite no cultivo de verão-outono, obteve efeito significativo da aplicação foliar de Mo sobre a produtividade do feijoeiro, que aumentou 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 percentagem de aumento. Este autor constatou que 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.*, 1996a, b; RODRIGUES *et al.*, 1996; ANDRADE *et al.*, 1996; LIMA *et al.*, 1996), incrementos de até 90% no rendimento de grãos foram obtidos com a aplicação de molibdênio, corroborando os resultados aqui obtidos.

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 de Mo, dose esta atualmente recomendada para o feijoeiro (BERGER *et al.*, 1996; PESSOA, 1998; PIRES, 2003). 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, 1998) citam que a toxicidade do molibdênio 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.

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, cerca de 2,82% superior ao conseguido com 80 g ha⁻¹. Considerando-se apenas as doses de 80 a 2560 g ha⁻¹ de Mo (ANEXO 7), o rendimento de grãos aumentou em correspondência ao incremento na dose de Mo até 320 g ha⁻¹. A partir dessa dose, houve redução nos valores do rendimento até a dose de 640 g ha⁻¹, quando não houve alteração significativa dos valores.

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 (HILE *et al.*, 2001). Por conseguinte, deve haver algum mecanismo nas plantas por meio do qual os efeitos tóxicos do Mo são reduzidos. HALE *et al.* (2001) sugerem que as antocianinas sejam parte desse mecanismo. Segundo esses autores, a participação das antocianinas no acúmulo de Mo pode ser direta, pela complexação do Mo livre, ou indireta. Diretamente, ocorre a formação do complexo Mo-antocianina, envolvendo um ou mais átomos de Mo. Complexação similar de metais com antocianinas foi reportada para o magnésio (KONDO *et al.*, 1992), ferro (EVEREST & HALL, 1921) e alumínio (TAKEDA *et al.*, 1985). Dessa forma, é provável que as antocianinas complexem diretamente o Mo, resultando em um composto de coloração azul (HALE *et al.*, 2001). De fato, o molibdato é utilizado em determinações colorimétricas de compostos fenólicos e lipídicos em que o produto resultante torna-se azul (ROUSER *et al.*, 1970). Em seu estudo com *Brassica* spp., HALE *et al.* (2001) relatam que variedades de *Brassica rapa* produtoras de antocianinas acumularam mais Mo na parte aérea e produziram biomassa em quantidade semelhante ou superior à daquelas que não continham essas substâncias. Para eles, é provável que as antocianinas facilitem a vacuolização do Mo nas células epidérmicas, como ocorre com o níquel (HEATH *et al.*, 1997) e com o zinco (KÜPPER *et al.*, 1999), permitindo à planta, desse modo, separar o Mo metabólico em outros compartimentos celulares. Essa separação reduz a fitotoxicidade do micronutriente. Também, COELHO *et al.* (2002) citam

que variedades de cana-de-açúcar não-produtoras de antocianinas na bainha do colmo externaram sintomas de toxidez de Mo quando submetidas a concentrações de Mo acima de 0,20 mg L⁻¹ na solução de cultivo, equivalente à dose de 400 g ha⁻¹ de Mo.

4.2. Influência de doses crescentes de molibdênio sobre os teores de nutrientes na folha e na semente

A análise de variância (Tabela 4) revelou efeito significativo (P < 0,01) das doses de Mo sobre todas as características avaliadas, exceto sobre o teor de N-total na semente. O efeito do cultivar também foi significativo para todas as características avaliadas, à exceção do teor de Mo na semente. A interação entre esses dois fatores influenciou significativamente (P < 0,01) o teor de Mo na folha, o conteúdo de Mo na semente e o índice SPAD.

Tabela 4. Análise de variância do teor foliar de Mo (mg kg⁻¹), do teor (mg kg⁻¹) e do conteúdo (µg semente⁻¹) de Mo na semente e do teor de nitrogênio total (NH₄⁺ + N-NO₃⁻) (dag kg⁻¹) na folha e na semente dos cultivares de feijão Novo Jalo e Meia Noite, em resposta a doses crescentes de Mo, aplicadas via foliar

F.V.	G.L.	Quadrado Médio					
		Mo Foliar	Mo na semente		N-total		SPAD
			Teor	Cont.	Folha	Semen.	
Cultivares (C)	1	680,04**	2,96	37,12**	2,52**	0,66**	10,81*
Doses de Mo (D)	6	10082,24**	344,10**	36,28**	1,49**	0,05	74,57**
C x N	6	467,28**	1,75	5,90**	0,03	0,02	7,03**
Resíduo	39	21,47	5,25	0,43	0,11	0,06	1,55
CV (%)		15,37	37,66	33,29	10,06	7,83	3,12

** Significativo pelo teste F, a 1% de probabilidade.

4.2.1. Teor de Mo na folha

O teor de Mo na folha do cultivar Novo Jalo apresentou crescimento sigmoidal em resposta ao incremento das doses de Mo (Figura 2A), com crescimento mais acentuado a partir da dose de 640 g ha⁻¹ de Mo. Os incrementos promovidos pelas doses acima de 1.280 g ha⁻¹ de Mo foram

reduzidos, sugerindo a ocorrência de saturação dos sítios de absorção e/ou de um mecanismo regulador da absorção. O teor estimado mais elevado de Mo na folha (85,17 mg kg⁻¹) foi conseguido com a maior dose (2.560 g ha⁻¹). No Meia Noite (Figura 3A), os teores, especialmente os promovidos pelas doses entre 160 e 1280 g ha⁻¹ de Mo, foram superiores aos determinados no Novo Jalo, também ocorrendo resposta à aplicação do nutriente. Porém, para este cultivar, apesar de apresentar crescimento sigmoidal, os dados ajustaram-se ao modelo log-logístico dose-resposta, em que os valores aumentaram expressivamente já em resposta à aplicação da dose de 160 g ha⁻¹ de Mo. Porém, a partir de 1.280 g ha⁻¹ de Mo os incrementos foram pouco acentuados, semelhantemente aos resultados do Novo Jalo. Aqui, o teor mais elevado (84,84 mg kg⁻¹) também foi conseguido com a dose de 2.560 g ha⁻¹ de Mo.

Esses teores são muito superiores à faixa de concentração considerada por OLIVEIRA & THUNG (1988) como a normal para o feijão: 0,40 a 1,40 mg kg⁻¹. MATINÉZ *et al.* (1996), apesar de considerarem como normal a faixa de concentração entre 1,0 e 10,0 mg kg⁻¹ de Mo, citam que o molibdênio pode estar presente no tecido da planta com teores de até 300 mg kg⁻¹, valores próximos aos aqui encontrados. Para esses autores, a variação do teor de Mo no tecido vegetal ocorre em resposta a fatores diversos, sendo, porém, o mais importante a sua disponibilidade no solo, de modo que essas duas variáveis apresentam uma significativa correlação positiva.

Apesar de elevados os teores de Mo determinados nas plantas que receberam as maiores doses de molibdênio, estes não foram suficientes para promover sintomas visuais da toxicidade provocada pelo excesso do nutriente no tecido.

4.2.2. Teor e conteúdo de Mo na semente e de N-total na folha

As médias do teor de Mo na semente, dos dois cultivares (Figura 4A), e do conteúdo de Mo na semente do Meia Noite (Figura 3B) ajustaram-se ao modelo de regressão não-linear log-logístico dose-resposta, ao passo que os dados médios do conteúdo de Mo na semente do Novo Jalo (Figura 2B) ajustaram-se ao modelo logístico dose-resposta.

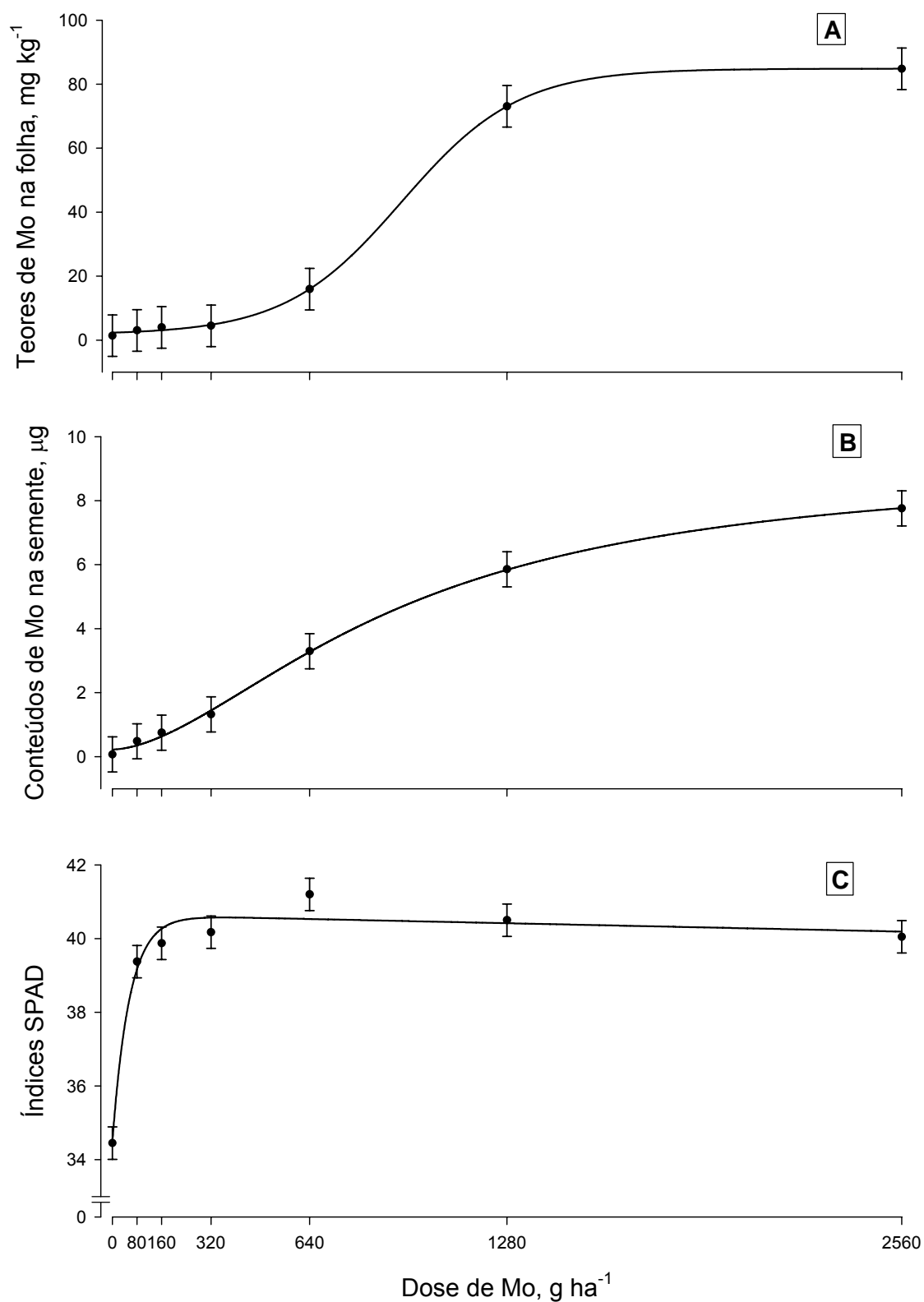


Figura 2. Efeito de doses de Mo sobre o seu teor na folha e conteúdo na semente e sobre o índice SPAD do feijoeiro Novo Jalo. O símbolo representa o erro quadrado médio ajustado para as médias.

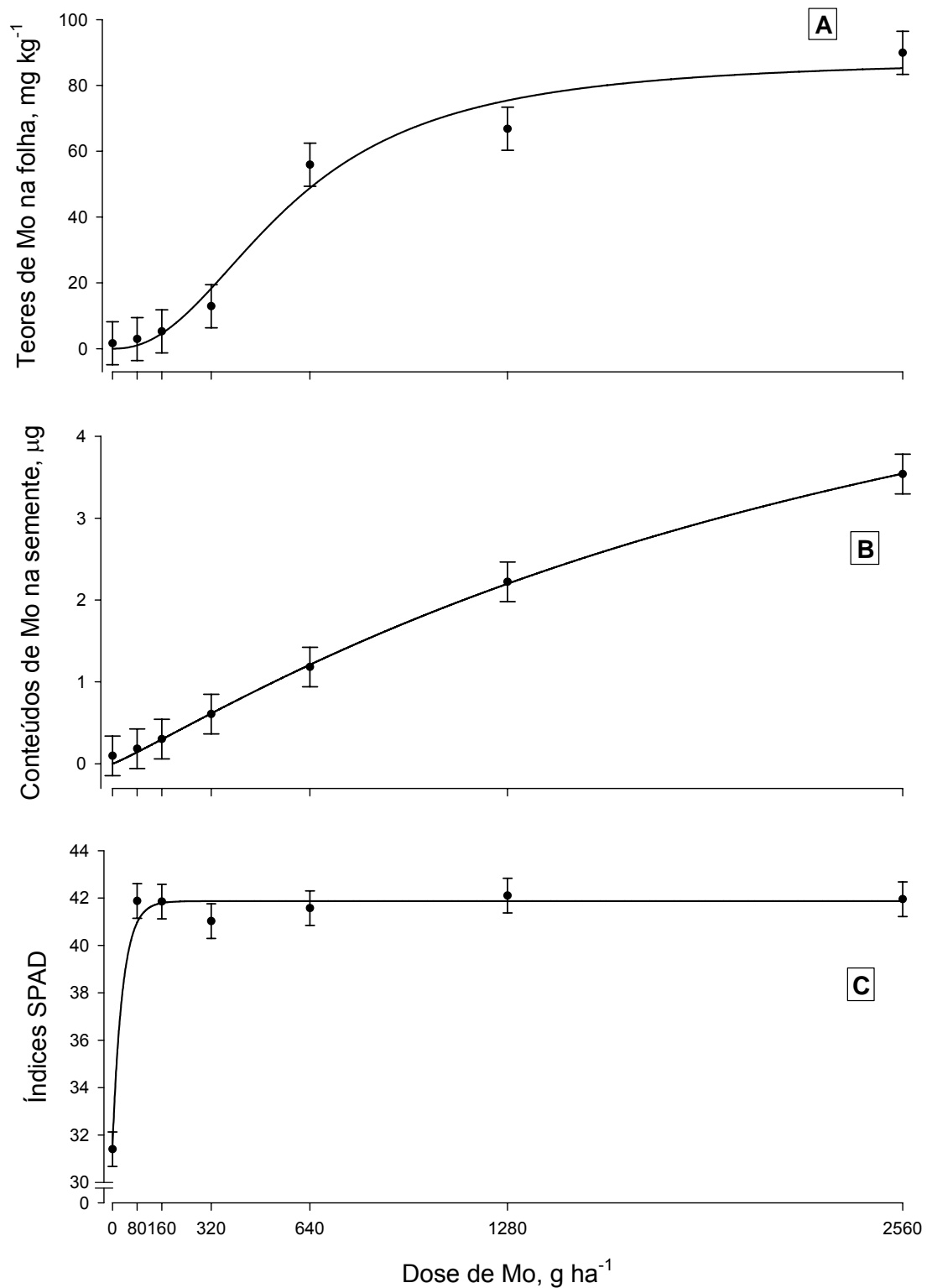


Figura 3. Efeito de doses de Mo sobre o seu teor na folha e conteúdo na semente e sobre o índice SPAD do feijoeiro Meia Noite. O símbolo representa o erro quadrado médio ajustado para as médias.

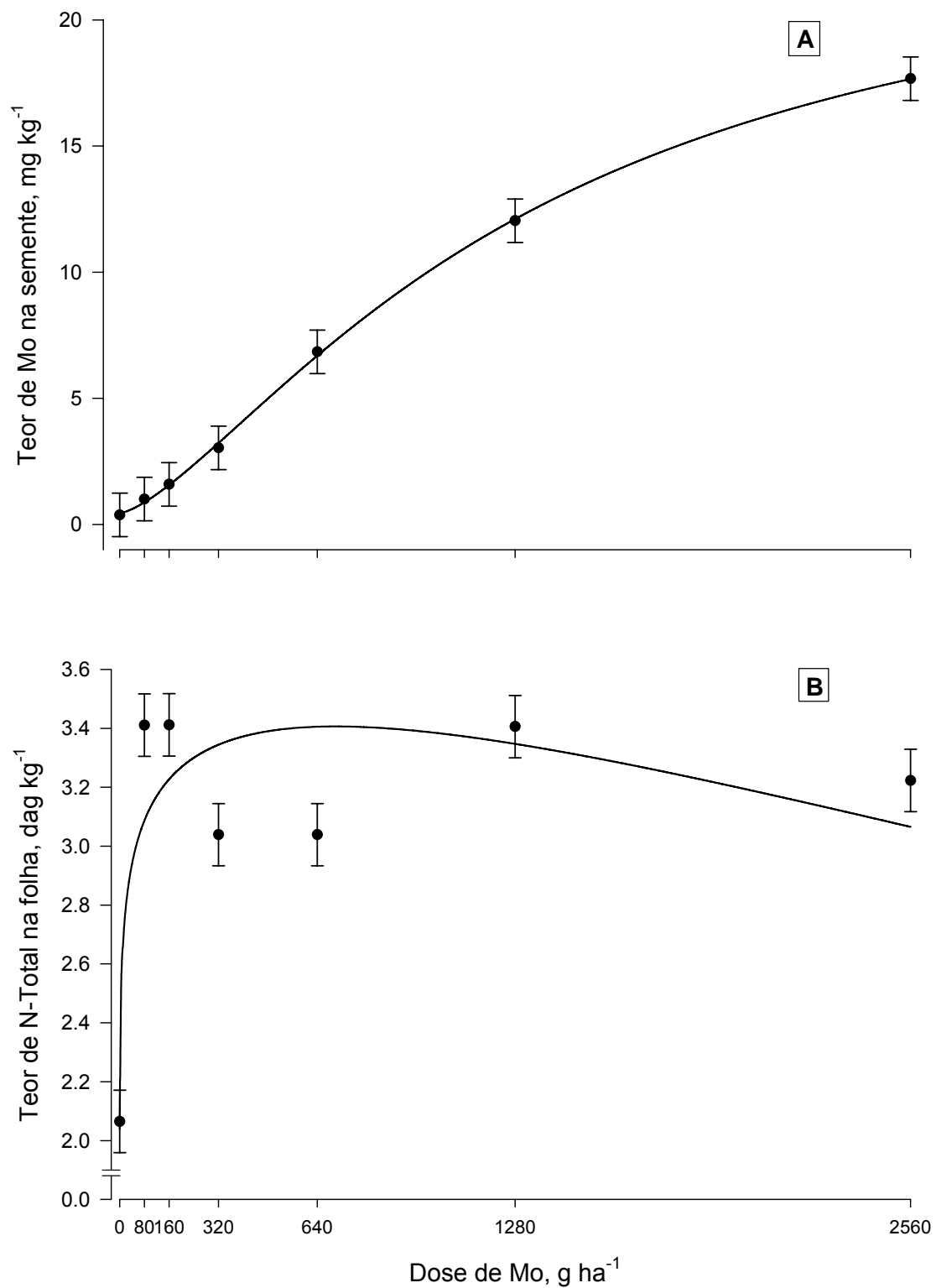


Figura 4. Efeitos de doses de Mo sobre o seu teor na semente e de nitrogênio total na folha dos feijões Novo Jalo e Meia Noite. O símbolo representa o erro quadrado médio ajustado para as médias.

Em feijão, segundo BRODRICK & GILLER (1991), durante a fase inicial do enchimento da semente, o Mo dela é obtido da redistribuição das raízes. Após essa fase, a maior parte desse Mo é obtida dos nódulos, das paredes da vagem e dos ramos intermediários. JONGRUAYSUP *et al.* (1997) também citaram a redistribuição do Mo dos diferentes órgãos da planta de *Vigna mungo* para a semente, e enfatizaram a importância das raízes como fonte primária do nutriente para as sementes, em plantas deficientes. Contudo, a partir da fase final do enchimento de vagens, os nódulos tornam-se a fonte principal, respondendo por até 99% do Mo contido na semente no estágio de maturidade fisiológica.

Analisando individualmente cada cultivar observa-se que tanto o teor quanto o conteúdo de Mo nas sementes do Novo Jalo foram maiores que os do Meia Noite (ANEXO 3). Como as sementes do Novo Jalo possuem tamanho e massa maiores que as do Meia Noite, estes resultados suportam a hipótese de haver influência do tamanho da semente sobre a alocação do molibdênio para esse órgão.

Em leguminosas, as sementes na maturidade fisiológica contêm grande proporção do molibdênio total da planta (REBAFKA *et al.*, 1993; JONGRUAYSUP *et al.*, 1994). Segundo JACOB NETO & FRANCO (1989), de 24 a 65% do Mo absorvido pelas plantas de feijão podem ser translocados para as sementes. Essa eficiência na translocação do Mo para as sementes foi comprovada no presente estudo, em que o conteúdo máximo de Mo estimado na semente do Novo Jalo foi $7,80 \mu\text{g semente}^{-1}$, obtido com a dose de 2.250 g ha^{-1} de Mo. Na semente do Meia Noite esse conteúdo foi de $3,54 \mu\text{g semente}^{-1}$, obtido com a aplicação de 2.560 g ha^{-1} de Mo. No Novo Jalo, esse conteúdo ($3,54 \mu\text{g semente}^{-1}$) foi obtido com a dose estimada de apenas $684,0 \text{ g ha}^{-1}$ de Mo, demonstrando ser o Novo Jalo mais eficiente que o Meia Noite quanto à absorção e/ou translocação do molibdênio para a semente.

Os conteúdos determinados situam-se ou ultrapassam a faixa de $1,64$ a $3,57 \mu\text{g semente}^{-1}$, considerada suficiente para o suprimento da geração subsequente (BRODRICK *et al.*, 1992). Assim, a produção de sementes de feijão com conteúdo de Mo suficiente para a geração subsequente requer doses do nutriente bem acima dos 80 g ha^{-1} recomendados para a cultura (BERGER *et al.*, 1996).

O teor médio de N-total na folha dos dois cultivares ajustou-se à equação gerada pelo segundo modelo exponencial de Mitscherlich (FIGURA 4B). A aplicação de molibdênio resultou em incrementos no teor de nitrogênio na folha do feijoeiro, de modo que o menor valor (2,38 dag kg⁻¹ de N) foi estimado no tratamento que não recebeu o micronutriente, e o valor mais elevado (3,48 dag kg⁻¹ de N) foi obtido com a dose estimada de 57,0 g ha⁻¹ de Mo. Desse modo, os incrementos resultantes dessa adubação foram de até cerca de 46%. Esse incremento também se repetiu em resposta a doses mais elevadas de Mo, visto que o teor estimado na folha de plantas adubadas com 2.560 g ha⁻¹ de Mo (3,33 dag kg⁻¹ de N) superou em cerca de 40% o estimado na das não-adubadas. Essa mesma tendência de resposta do feijoeiro à adubação molíbdica foi verificada por PIRES (2003). Segundo este autor, a aplicação de 80 g ha⁻¹ de Mo resultou em incrementos de até 25% no teor de N na folha, comparado ao tratamento sem adubação.

Assim, os resultados obtidos no presente estudo, corroborando os dados obtidos por PIRES (2003), permitem inferir que a influência do Mo no metabolismo do nitrogênio e, por conseguinte, no rendimento de grãos do feijão, dada a correlação positiva existente entre essas duas variáveis, é percebida com doses reduzidas do micronutriente; confirmando, informações feitas por MARSCHNER (1995). Em adição, esses resultados evidenciam que a presença de Mo em teores elevados na folha não compromete, na mesma proporção da sua deficiência, o metabolismo do N na planta de feijão.

O N-total encontrado na folha foi constituído quase que exclusivamente de N-orgânico, ocorrendo apenas reduzida contribuição do N-NO₃⁻. Para o feijoeiro, que apresenta de baixa a moderada eficiência de fixação simbiótica do N₂, o nitrato, fornecido pelo solo e/ou pela adubação básica, é importante fonte de N. Uma vez absorvido pela planta, a conversão do nitrato a amônio é necessária para que ocorra a assimilação do N-mineral em forma orgânica (HILE *et al.*, 2001; GUPTA, 2002). Essa conversão ocorre em duas etapas, por meio de uma reação de redução que requer oito elétrons, sendo a redutase do nitrato a enzima responsável pela primeira etapa do processo (BUCHANAN, 2000; SOUZA *et al.*, 2002). Desse modo, a obtenção de teores reduzidos de N-NH₄⁺ na folha de plantas com deficiência de Mo indica que essas plantas possuem reduzido conteúdo de redutase do nitrato ou, mesmo que possuam conteúdo normal da enzima, esta tem atividade ou eficiência reduzida, como

verificado em trabalho com feijoeiro desenvolvido por PESSOA *et al.* (2001). Também, dada a participação do Mo como cofator da enzima nitrogenase, sua deficiência resulta em prejuízos à atividade da enzima, inativando-a, em plantas superiores, na ausência do micronutriente (PESSOA *et al.* 2001), prejudicando a conversão do N₂ atmosférico em NH₄⁺ e, por conseguinte, reduzindo os teores do nitrogênio amoniacal na parte aérea das plantas (BUCHANAN, 2000; LEITE *et al.*, 2003). Desse modo, os baixos teores de N-NH₄⁺ determinados nas plantas que não receberam Mo podem ser devidos à baixa eficiência da nitrogenase. Resultados semelhantes foram obtidos por PESSOA *et al.* (2001), em que a aplicação foliar de Mo aumentou a atividade da nitrogenase, mantendo-a em patamares mais altos durante o ciclo da cultura, proporcionando maiores teores de N nas folhas e maior produtividade de grãos.

Os menores teores de N-total nas sementes do tratamento que não recebeu Mo comprovam que a deficiência do micronutriente afetou seriamente o metabolismo do nitrogênio da planta, em consequência das menores atividades das enzimas nitrogenase e redutase do nitrato. De acordo com HUNGRIA & NEVES (1986), o maior acúmulo de N nas sementes do feijoeiro está associado a taxas elevadas da atividade da nitrogenase, no período de floração e estabelecimento inicial das vagens, e a taxas elevadas de translocação do N das folhas para as sementes. Plantas adubadas com Mo apresentam teores elevados de N nas folhas durante o estágio do florescimento (VIEIRA, 1994). Com o desenvolvimento das vagens, os teores de N começam a diminuir, por causa do intenso crescimento e da translocação para as vagens, associados à diminuição da absorção de N do solo, bem como à redução da fixação biológica, por causa da diminuição da atividade da nitrogenase. Segundo PESSOA (1998), esses efeitos são muito mais acentuados nas plantas deficientes em Mo, apresentando menor concentração de N nos grãos.

A adubação molíbdica influenciou significativamente a coloração da folhagem independentemente do cultivar considerado. Os índices SPAD do Meia Noite foram, em todos os tratamentos, significativamente mais elevados que os do Novo Jalo (ANEXO 3). Contudo, a folhagem do Meia Noite apresenta naturalmente coloração verde mais intenso que a do Novo Jalo, explicando, assim, a diferença entre os índices SPAD das suas folhagens.

Visualmente, esse efeito foi percebido pela diferença entre as colorações exibidas pelas folhas das plantas adubadas com o micronutriente e daquelas cultivadas sem a sua aplicação. As folhas das plantas adubadas apresentaram coloração verde mais intenso, ao passo que as das plantas deficientes exibiram coloração verde-pálido e/ou amareladas, o que foi confirmado pelos dados do índice SPAD.

Os dados de ambos os cultivares ajustaram-se ao segundo modelo exponencial de Mitscherlich (Figuras 2C e 3C), demonstrando índices SPAD reduzidos na ausência de Mo e/ou na presença de baixa disponibilidade do micronutriente, mas incrementos nos índices foram obtidos com doses reduzidas de Mo.

Os incrementos máximos dos índices SPAD foram alcançados com a aplicação de molibdênio: 18%, no Novo Jalo, e 33%, no Meia Noite.

Essa característica apresentou tendência de resposta à adubação molíbdica semelhante às das demais características, ou seja, os maiores incrementos resultaram de doses de molibdênio superiores a 80 g ha^{-1} . No Novo Jalo, o valor máximo do índice SPAD foi obtido com a dose estimada de 300 g ha^{-1} Mo. No Meia Noite, esse máximo foi proporcionado por dose um pouco menor, 270 g ha^{-1} de Mo. Os incrementos obtidos com 80 g ha^{-1} de Mo em relação à testemunha sem adubação molíbdica foram de 13,6% e 29,98%, respectivamente, para Novo Jalo e Meia Noite.

Resultados reportados na literatura corroboram esse efeito positivo da adubação molíbdica sobre o índice SPAD. FERREIRA (2001), em trabalho com o cultivar Meia Noite, obteve resultados em que a aplicação de molibdênio via foliar resultou em incrementos de até 37% no índice SPAD. Ainda segundo esse autor, os índices SPAD também variaram com o ano de cultivo, de modo que os valores obtidos nos experimentos conduzidos em 1999 e em 2000, com 80 g ha^{-1} de Mo, foram, respectivamente, 31,0 e 34,1. PIRES (2003) também cita resultados em que os tratamentos que receberam suprimento de Mo apresentaram índice SPAD cerca de 29% superior ao dos tratamentos que não receberam o micronutriente. Ao estudar o efeito da combinação das adubações molíbdica e nitrogenada no feijoeiro, ARAÚJO (2000) verificou que tanto a aplicação foliar de Mo aos 25 DAE quanto a adubação nitrogenada em cobertura proporcionaram aumento do teor de clorofila nas folhas, com base

em leituras feitas com o clorofilômetro. Contudo, esse aumento foi ainda mais elevado com a combinação da aplicação foliar de Mo com a de N em cobertura.

O aumento no índice SPAD, indicando maior intensidade da coloração verde das folhas, evidencia a estreita relação entre o molibdênio e o metabolismo do nitrogênio na planta, evidenciando, em adição, a existência de relação indireta entre esse micronutriente e a cor verde da folha. Essa relação indireta entre o molibdênio e a cor verde da folha resulta da atuação direta do Mo nos processos de fixação/absorção do N₂ atmosférico e assimilação do N-nítrico absorvido (MARSCHNER, 1995). Assim, a adubação molíbdica favorece o aumento do teor de N (VIEIRA *et al.*, 1992; PIRES, 2003) e, conseqüentemente, do conteúdo de clorofila na folha (HIREL *et al.*, 2001), intensificando a coloração verde da mesma. Indiretamente, portanto, o molibdênio influencia positivamente o processo fotossintético da planta, explicando, em parte, os incrementos obtidos no rendimento de grãos com o fornecimento desse micronutriente (STONE *et al.*, 2002).

Houve correlação positiva ($r = 0,995^{**}$) entre o teor de Mo na folha e o seu conteúdo na semente. Esta observação é importante, pois o conteúdo de Mo na semente poderá ser estimado, com algumas limitações, a partir do teor de Mo na semente, sem a necessidade de se proceder à análise desta, o que favorece o produtor tanto do ponto de vista econômico como de economia de tempo.

4.3. Influência do conteúdo de molibdênio na semente sobre sua qualidade fisiológica

As equações geradas pelos modelos ajustados às médias das variáveis aqui discutidas estão apresentadas no ANEXO 6.

A análise de variância dos dados do Novo Jalo (Tabela 5) revelou efeitos significativos ($P < 0,01$) do conteúdo de Mo na semente sobre o vigor da semente, em todos os testes, mas esse efeito não ocorreu com a germinação. A influência do conteúdo de Mo da semente sobre o vigor do Meia Noite foi detectada pelos testes de envelhecimento acelerado ($P < 0,05$) e condutividade elétrica ($P < 0,01$), mas não pelo de primeira contagem de germinação.

Tabela 5. Análise de variância do teste padrão de germinação (TPG) e do vigor da semente de feijão, cvs. Novo Jalo e Meia Noite, determinado pelos testes de primeira contagem de germinação (PC), envelhecimento acelerado (EA) e condutividade elétrica (CE), em resposta a diferentes conteúdos de Mo na semente

F.V.	G.L.	Quadrado Médio			
		TPG	PC	EA	CE
----- Novo Jalo -----					
Conteúdo	5	0,004 ^{ns}	0,096 ^{**}	0,057 ^{**}	183,51 ^{**}
Resíduo	18	0,004	0,0017	0,016	16,09
CV (%)		4,96	4,16	10,02	6,82
----- Meia Noite -----					
Conteúdo	5	0,01 ^{ns}	0,015 ^{ns}	0,044 [*]	872,00 ^{**}
Resíduo	18	0,007	0,007	0,015	12,45
CV (%)		5,69	5,79	9,02	4,29

^{**}, ^{*} = Significativo pelo teste F, a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente.

^{ns} = Não significativo.

1 = Dados transformados em arco-seno $\sqrt{\text{Valor em \%}/100}$, antes de serem submetidos à análise de variância.

4.3.1. Efeito do conteúdo de Mo da semente sobre a germinação (TPG) e vigor (primeira contagem de germinação) da semente

O comportamento da germinação do feijão Meia Noite, em resposta a diferentes conteúdos de Mo na semente, está apresentado na Figura 5A. A curva tracejada descreve crescimento da germinação na medida em que o conteúdo de Mo é aumentado. Após atingir a germinação máxima estimada (1,54), determinada nas sementes com conteúdo de 1,45 $\mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo, ocorre a estabilização. Por estes resultados, fica evidenciado, portanto, que o conteúdo de molibdênio da semente tem influência sobre o potencial de germinação, e que sementes pobres em molibdênio têm a sua germinação reduzida em comparação à daquelas com reservas expressivas do micronutriente. Além disso, os resultados permitem inferir que conteúdos de Mo de até 3,158 $\mu\text{g semente}^{-1}$ não foram suficientes para prolongar o período de dormência das sementes.

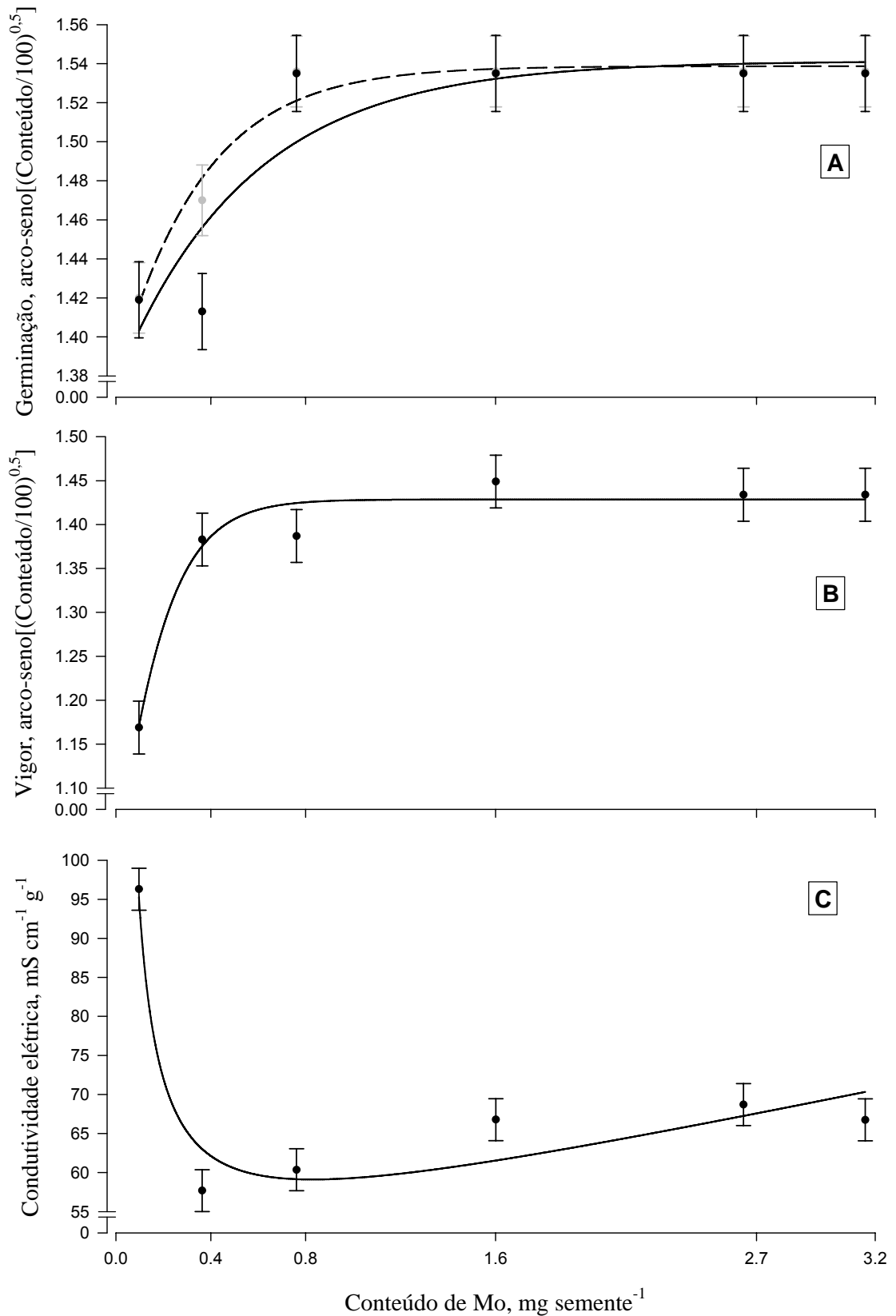


Figura 5. Germinação e vigor de sementes de feijão Meia Noite, em função do conteúdo de molibdênio na semente. O símbolo representa o erro quadrado médio ajustado para as médias.

Essa constatação é importante, já que, para o produtor de sementes, é importante que as sementes produzidas apresentem, simultaneamente, conteúdos satisfatórios de Mo e germinação normal, evitando-se atraso na emergência de plântulas no campo e as conseqüências advindas desse atraso.

A curva tracejada (Figura 6A) apresenta os resultados do teste padrão de germinação (TPG) realizado com sementes do Novo Jalo. Os resultados assemelham-se aos obtidos com o Meia Noite, em que a germinação aumentou em resposta ao incremento do conteúdo de molibdênio da semente. A percentagem máxima estimada de germinação nesse cultivar foi de 1,33, atingido por sementes com conteúdos acima de $1,67 \mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo. As sementes com conteúdos inferiores apresentaram germinação mais reduzida. É interessante observar que, apesar de se estar avaliando sementes com conteúdos de molibdênio de até $6,767 \mu\text{g semente}^{-1}$, não foram verificados prejuízos ao processo de germinação, mesmo na presença do Mo em conteúdos dessa magnitude.

Os resultados de ambos os cultivares revelam que o molibdênio tem influência na germinação das sementes, beneficiando-a. Também ficou evidenciado que, mesmo com conteúdos mais elevados, o molibdênio não prejudicou a capacidade de germinação. Resultados alcançados por MEIRELES *et al.* (2004), em trabalho conduzido com o cultivar Meia Noite, corroboram aqueles aqui obtidos. Segundo esses autores, a aplicação de 80 g ha^{-1} de Mo favoreceu a germinação das sementes. Por outro lado, BASSAN *et al.* (2001) citam que a germinação de sementes de feijão Pérola foi prejudicada pela adubação molíbdica, tendo a dose de 75 g ha^{-1} de Mo reduzido a germinação. CARVALHO (1994) verificou que não houve efeito da aplicação conjunta de Mo + N, na presença ou ausência de inoculação, sobre a germinação de sementes de feijão. BINNECK (1999) também não verificaram influência da adubação molíbdica, na dose de 40 mg g^{-1} de semente, sobre a germinação de sementes de trevo-branco.

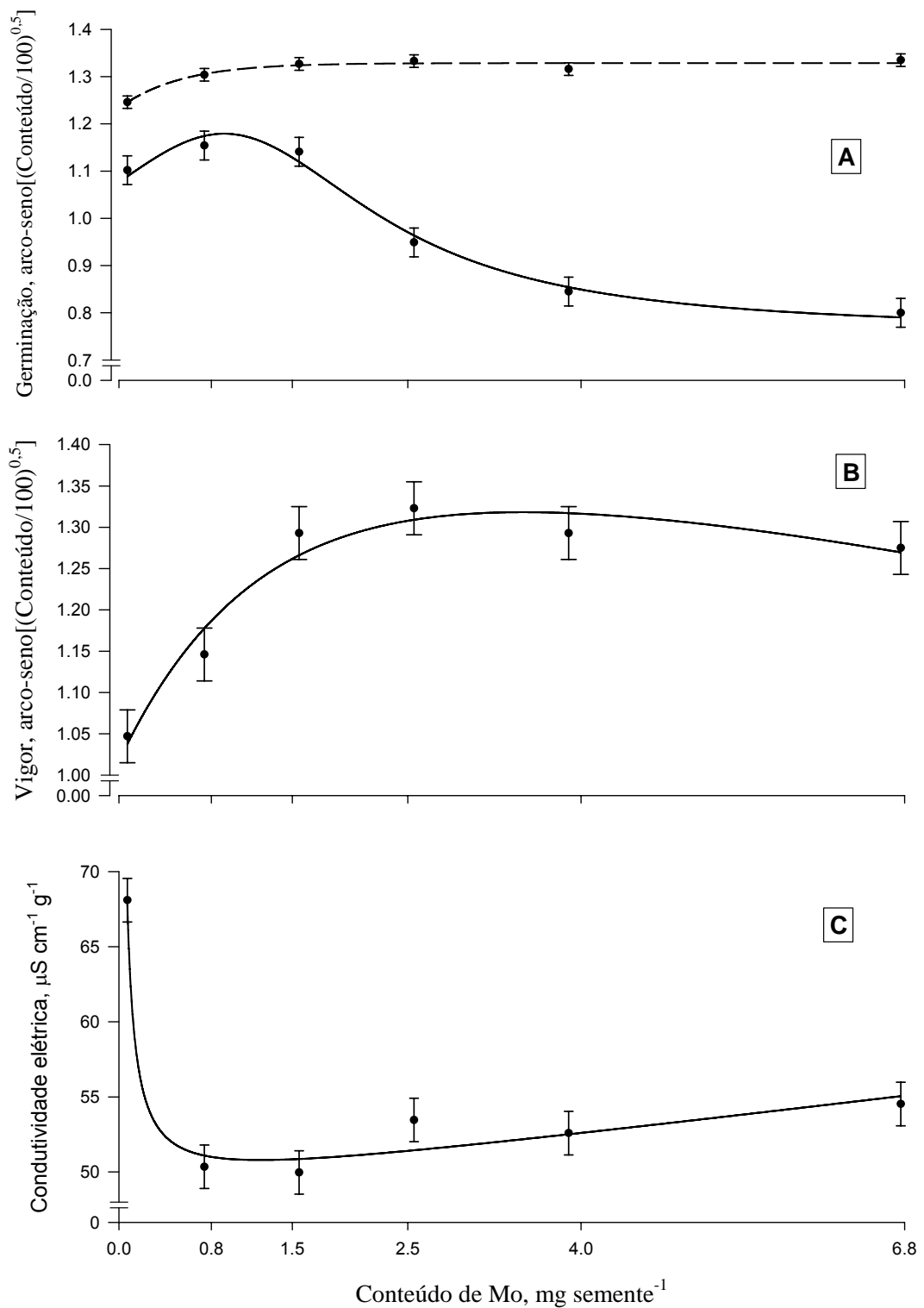


Figura 6. Germinação e vigor de sementes de feijão Novo Jalo, em função do conteúdo de molibdênio na semente. O símbolo \bullet representa o erro quadrado médio ajustado para as médias.

Houve prolongamento do período de dormência das sementes do Novo Jalo quando o conteúdo de molibdênio ficou acima de $1,0 \mu\text{g semente}^{-1}$, revelado pela redução na percentagem de germinação, determinada pelo teste de primeira contagem da germinação. Em trabalho realizado com o Manteigão Fosco 11, cultivar de sementes grandes, LEITE *et al.* (resultados não publicados) obtiveram resultados em que sementes com conteúdos de Mo acima de $1,4 \mu\text{g}$ apresentaram período de dormência mais longo em relação ao determinado para as sementes com menores conteúdos do micronutriente. Fica claro, portanto, que o molibdênio em conteúdos elevados na semente atua retardando o processo de germinação. Isto pode ser confirmado pela curva que descreve os resultados do teste de germinação (realizado mais tardiamente que o teste da primeira contagem – aos nove dias após a semeadura das sementes em papel germitest), que indica que há restabelecimento da germinação, mesmo com conteúdos elevados do micronutriente; sugerindo que o fator de indução da dormência foi eliminado.

Estudos com trigo dão suporte aos aqui reportados. Segundo MODI (1994), a aplicação de Mo influencia significativamente a germinação do trigo, ocorrendo prolongamento do período de dormência nas sementes com maior conteúdo do micronutriente, o que foi confirmado em estudo posterior do mesmo autor (MODI, 2002).

O molibdênio é cofator da oxidase do aldeído, enzima que catalisa a etapa final da biossíntese dos fitohormônios ácido indolacético (AIA) e ácido abscísico (ABA) (MENDEL & SCHWARZ, 1999), de modo que sementes com elevado conteúdo de Mo apresentam, também, níveis elevados de ABA. O ABA controla vários processos fisiológicos essenciais na planta, dentre eles o desenvolvimento e a germinação da semente (MERLOT & GIRAUDAT, 1997; QUATRANO *et al.*, 1997). Elevados níveis de ABA na semente retardam-lhe a germinação, prolongando o período de dormência. A germinação é retardada porque o ABA inibir a atividade da α -amilase (MODI, 2002), enzima responsável pela quebra do amido armazenado na semente em açúcares simples, necessários para o desenvolvimento do processo, o que explicaria o prolongamento da dormência em sementes ricas em molibdênio.

Assim, os resultados aqui obtidos dão suporte à suposição de que, ao menos para o feijoeiro, o molibdênio em elevada quantidade na semente poderá prolongar-lhe o período de dormência.

4.3.2. Efeito do conteúdo de Mo da semente sobre o vigor da semente

O vigor da semente, de ambos os cultivares, tanto pelo envelhecimento acelerado quanto pela condutividade elétrica, foi significativamente influenciado pelo conteúdo de molibdênio da semente. As sementes produzidas sem adubação molíbdica apresentaram menor vigor em relação às produzidas com essa adubação.

No Meia Noite, as sementes apresentaram conteúdos de Mo variáveis entre 1,64 e 3,57 $\mu\text{g semente}^{-1}$. Para esse cultivar, não houve efeito depressivo do conteúdo de Mo sobre o vigor da semente, quando determinado pelo teste de envelhecimento acelerado (Figura 5B). No Novo Jalo, entretanto, a determinação do vigor da semente pelo teste de envelhecimento acelerado revelou que o Mo da semente, que variou de 0,072 a 6,767 $\mu\text{g semente}^{-1}$, em conteúdos superiores a 3,40 $\mu\text{g semente}^{-1}$, reduziu discretamente o vigor da mesma (Figura 6B).

O comportamento diferenciado dos cultivares pode ter ocorrido em razão de os conteúdos de Mo em ambos terem sido diferentes. Assim, 3,57 $\mu\text{g semente}^{-1}$ não teria sido suficiente para depreciar a germinação do Meia Noite, como o foi o conteúdo de 6,767 $\mu\text{g semente}^{-1}$ do Novo Jalo.

Efeito positivo do molibdênio sobre o vigor da semente tem sido relatado em alguns poucos trabalhos com feijão. MEIRELES *et al.* (2004) citam que o molibdênio influencia significativamente o vigor das sementes de feijão, quando determinado pelo teste do envelhecimento acelerado, sendo que as sementes produzidas com deficiência do micronutriente apresentam menor vigor em relação às produzidas por plantas adubadas. Também com o feijão, CARVALHO (1994) verificou que a aplicação conjunta de Mo + N, na presença ou ausência de inoculação, influenciou positivamente o vigor de sementes, quando determinado pelo teste do envelhecimento acelerado.

Quando determinado pelo teste da condutividade elétrica, o vigor da semente de feijão apresentou comportamento semelhante ao determinado pelo teste de envelhecimento acelerado em resposta ao conteúdo de Mo na semente, em ambos os cultivares.

Os valores do teste de condutividade elétrica das sementes do Meia Noite foram superiores aos determinados no Novo Jalo, significando que, quando determinado por esse teste, as sementes do Novo Jalo foram mais

vigorosas do que as do Meia Noite. Contudo, em ambos os cultivares, sementes produzidas com deficiência de molibdênio apresentaram menor vigor em relação ao daquelas produzidas com suficiência do micronutriente (Figuras 5C e 6C). CHATTERJEE & NAUTIYAL (2001) constataram que sementes de trigo produzidas por plantas com deficiência de Mo apresentaram valores elevados de condutividade elétrica, indicando baixo vigor, comparados aos de sementes produzidas por plantas adequadamente supridas com o micronutriente.

No Novo Jalo, semelhantemente ao verificado com o teste de envelhecimento acelerado, conteúdos elevados de Mo na semente depreciou-lhe o vigor (Figura 6C). Esse comportamento também se repetiu com o Meia Noite, sendo, porém, menos expressivo (Figura 5C). Talvez a menor redução do vigor das sementes do Meia Noite tenha ocorrido em razão de os conteúdos de Mo na semente terem sido menores que aqueles do Novo Jalo.

A elevada condutividade elétrica de sementes com baixo e alto conteúdo de Mo evidencia a ocorrência de mudanças degradativas nas membranas celulares, devido às quais elas tornam-se “permeáveis” e permitem o fluxo de solutos para fora da célula, resultando em decréscimo das reservas durante a embebição. A elevada atividade de enzimas peroxidases, proteinases, fosfatases ácida e ribonucleases associadas à baixa atividade de amilases em sementes com baixo e elevado conteúdo de Mo permite o acúmulo substancial de albumina nas sementes, em condições de deficiência do nutriente (CHATTERJEE & NAUTIYAL, 2001).

Segundo LI *et al.* (2001), as enzimas dismutase do superóxido, peroxidase e catalase compõem o sistema enzimático anti-oxigênio na planta, e qualquer mudança nessas enzimas pode afetar a produção do oxigênio ativo, responsável pela produção de compostos químicos fenólicos. Estes compostos dão origem a radicais livres que reagem com os lipídios da membrana plasmática, reduzindo a sua plasticidade (LIU *et al.*, 1985; BUCHANAN, 2000). O resultado desse efeito é o aumento da lixiviação de solutos para o meio externo, reduzindo o vigor da semente. MUNSHI & MONDY (1988) obtiveram resultados em que a deficiência de molibdênio promoveu incrementos no conteúdo de compostos fenólicos em trigo, evidenciando participação desse micronutriente na determinação do vigor da semente.

No Meia Noite, o conteúdo de molibdênio em sementes de feijão de elevado vigor, determinado pelos testes de envelhecimento acelerado e de condutividade elétrica, situa-se na faixa de 0,83 a 2,4 $\mu\text{g semente}^{-1}$ (Figuras 5B e 5C). No Novo Jalo, o conteúdo situa-se numa faixa mais ampla, 0,91 a 3,4 $\mu\text{g de Mo semente}^{-1}$ (Figuras 6B e 6C). Porém, considerando-se todos os testes realizados, de vigor e de germinação, o conteúdo de Mo na semente de feijão de elevada qualidade fisiológica é 2,2 $\mu\text{g semente}^{-1}$, para o Meia Noite (Figura 5A, 5B e 5C), e 3,1 $\mu\text{g semente}^{-1}$, para o Novo Jalo (Figura 6A, 6B e 6C).

Esses resultados evidenciam a essencialidade do molibdênio para obtenção de sementes de feijão de elevado vigor, apesar de resultados obtidos por BASSAN *et al.* (2001) terem revelado que a aplicação de molibdênio, associado à inoculação da semente com rizóbio, reduziu o vigor da semente de feijão.

Em ambos os cultivares, o conteúdo de molibdênio da semente influenciou-lhe o vigor, quando determinado pela produção de matéria seca da plântula (dados não apresentados).

4.4. Influência do conteúdo de molibdênio na semente sobre o stand final, componentes da produção e rendimento de grãos do feijoeiro

4.4.1. Efeito da adubação molíbdica foliar

A análise de variância dos dados do Novo Jalo revelou efeito significativo da adubação molíbdica sobre o número de sementes por vagem ($P < 0,05$), massa de 100 sementes ($P < 0,05$) e o rendimento de grãos ($P < 0,01$), mas não ($P > 0,05$) sobre o número de vagens por área e stand final (Tabela 6).

Nos componentes da produção, os incrementos obtidos foram de 4,16%, 9,68% e 2,78%, respectivamente, para número de vagens m^{-2} , número de sementes por vagem e massa de 100 sementes. O maior acréscimo promovido pela aplicação de Mo, em relação à ausência de aplicação, foi do rendimento de grãos (10,45%).

Tabela 6. Análise de variância do stand final, produção de grãos e seus componentes dos cv. Novo Jalo e Meia Noite, em resposta a diferentes conteúdos de Mo na semente

F.V.	G.L.	Quadrado Médio				
		"Stand"	VA	SV	M100s	RGrãos
----- Novo Jalo -----						
Níveis de Mo (N)	1	3068068611 ^{ns}	442,53 ^{ns}	0,551*	17,449*	755835,1**
Conteúdo de Mo (C)	3	6943503148**	1475,55 ^{ns}	0,162 ^{ns}	5,670 ^{ns}	304859,8*
N x C	3	3478280092*	552,47 ^{ns}	0,067 ^{ns}	8,095 ^{ns}	200647,7 ^{ns}
Resíduo	21	1018919021	928,07	0,117	3,400	87262,3
CV (%)		8,68	16,57	10,52	3,37	9,55
----- Meia Noite -----						
Níveis de Mo (N)	1	1168039445 ^{ns}	554,45 ^{ns}	0,080 ^{ns}	1,221 ^{ns}	7290,3 ^{ns}
Conteúdo de Mo (C)	3	10244937037**	4040,67*	0,152*	0,347 ^{ns}	371161,6*
N x C	3	783791482 ^{ns}	739,85 ^{ns}	0,041 ^{ns}	0,102 ^{ns}	62751,2 ^{ns}
Resíduo	21	1184330992	909,50	0,033	0,811	99066,6
CV (%)		10,24	10,45	4,00	4,28	12,17

* = Significativo (P < 0,05).

** = Significativo (P < 0,01).

ns = Não-significativo.

O Meia Noite não respondeu significativamente à adubação molíbdica, quando se considera as características avaliadas (Tabela 6 e ANEXO 6).

A ausência de resposta desse cultivar à aplicação do Mo pode ter ocorrido em razão de o molibdênio contido na semente ter sido suficiente para o suprimento da planta. Resultados obtidos por JACOB NETO & FRANCO (1998), com a soja, mostraram que o molibdênio na semente, em conteúdos acima de 3,5 µg semente⁻¹, é suficiente para atender a demanda da planta. Vale salientar que as sementes aqui estudadas apresentaram conteúdo de Mo variando de 0,097 a 4,133 µg semente⁻¹. O nitrogênio disponível no solo poderá ter sido outro fator que contribuiu para esse comportamento.

A área em que o ensaio foi conduzido vem sendo cultivada em sistema de plantio direto há três anos. Durante esse período, foi adotada a rotação de culturas, principalmente milho e feijão, intercaladas por períodos de pousio, resultando, assim, na adição de quantidades consideráveis de matéria orgânica ao solo. Além disso, em todos os cultivos anteriores, ou com milho ou com feijão, foram realizadas adubação química, principalmente com fertilizantes NPK, e, em alguns deles, correção do pH do solo e fornecimento de Ca²⁺ e de Mg²⁺ com calcário. Essas práticas favoreceram, de modo geral, as

características químicas e de fertilidade desse solo, o qual apresentou, quando da implantação do ensaio, ótimos valores de pH e de disponibilidade de nutrientes (Tabela 2).

Essas boas condições de fertilidade e, em especial, do pH do solo que resulta diretamente em aumento da disponibilidade de Mo no solo, em conjunto com o Mo contido na semente, podem estar relacionados à ausência de resposta significativa à adubação molíbdica do Meia Noite. Este fato, além do Mo existente na semente, pode ser explicado por uma possível maior demanda desse elemento na nutrição nitrogenada do Novo Jalo, diferenciando-o do Meia Noite. Isso poderá ter ocorrido, porque o Novo Jalo produziu mais que o Meia Noite e, por isso, possivelmente, demandou maior quantidade de nitrogênio, já que elevado rendimento de grãos, em especial nas leguminosas, está associada à absorção e assimilação de elevadas quantidades de N (MARSCHNER, 1995). Desse modo, seria necessário maior número e/ou atividade das enzimas nitrogenase e redutase do nitrato no Novo Jalo, para promover essa maior absorção e assimilação do N. Por conseguinte, devido à sua participação como cofator dessas duas enzimas, a necessidade de Mo seria mais elevada nessas circunstâncias.

JACOB NETO (1985) e JACOB NETO & FRANCO (1986) consideram que a aplicação complementar de Mo é dispensável em lavouras de feijão proveniente de sementes com conteúdos desse elemento acima de 3,51 μg por semente. Para o Novo Jalo, contudo, essa afirmação não é aceitável, uma vez que ele respondeu positivamente à aplicação extra de Mo, mesmo na presença de conteúdos de Mo na semente acima dos 3,51 μg . Além disso, o rendimento de grãos desse cultivar aumentou em resposta aos incrementos do micronutriente acima dos 3,51 μg semente⁻¹, obtendo-se o máximo de 3.312 kg ha^{-1} com o conteúdo de 5,58 μg , comparado ao rendimento de 3.251 kg ha^{-1} com o conteúdo de 3,51 μg .

O Novo Jalo foi mais produtivo que o Meia Noite, tanto na presença como na ausência de aplicação de molibdênio. Na ausência, as produtividades obtidas pelos dois cultivares foram 2.941 kg ha^{-1} , para o Novo Jalo, e 2.570 kg ha^{-1} , para o Meia Noite. Nos tratamentos adubados, essas produtividades foram de 3.248 e de 2.600 kg ha^{-1} para Novo Jalo e Meia Noite, respectivamente. Assim, na ausência do Mo, o Novo Jalo foi cerca de 14,4% mais produtivo que o Meia Noite. Na presença do nutriente, essa diferença

aumentou para 24,9%. Esses resultados indicam maior capacidade do Novo Jalo em responder à aplicação do Mo em relação ao Meia Noite, confirmando os dados do experimento apresentado e discutido no capítulo I, em que o Novo Jalo também respondeu melhor à adubação foliar com o micronutriente.

O rendimento de grãos do Novo Jalo foi depreciado por conteúdos de Mo acima de $5,58 \mu\text{g semente}^{-1}$. Esse efeito não se repetiu com o Meia Noite, cujos conteúdos de Mo na semente foram inferiores ($0,097$ a $4,133 \mu\text{g semente}^{-1}$). Isso permite inferir que a aplicação de Mo, associada à existência do nutriente na semente e no solo em quantidades elevadas.

4.4.2. Efeito do conteúdo de Mo da semente

Observa-se influência do conteúdo de molibdênio na semente do Novo Jalo somente sobre o stand final ($P < 0,01$) e rendimento de grãos ($P < 0,05$) (Tabela 6). No Meia Noite, porém, o conteúdo de molibdênio da semente influenciou todas as características, exceto a massa de 100 sementes. A interação conteúdo x nível só foi significativa ($P < 0,05$) para a população final de plantas.

A ausência de efeito significativo do conteúdo de Mo da semente sobre os componentes da produção, especialmente a massa de 100 sementes, deveu-se, possivelmente, ao elevado teor de matéria orgânica do solo, favorecendo, direta e indiretamente, a nutrição nitrogenada da planta. Diretamente, o fornecimento de N para a planta ocorre após a liberação do nutriente na matéria orgânica após a sua mineralização. Indiretamente, a matéria orgânica favorece a nutrição nitrogenada da planta ao atuar como fonte de carbono para as bactérias fixadoras de N_2 (MOREIRA & SILVEIRA, 2002), aumentando sua população e, por conseguinte, a quantidade de N disponível para a planta. Poderia haver, dessa maneira, aumento na demanda de Mo, o que possivelmente resultaria em resposta positiva à sua aplicação.

4.4.3. Novo Jalo

O conteúdo de Mo da semente apresentou efeito quadrático sobre o stand final do Novo Jalo (Figura 7A). A curva ajustada evidencia crescimento da população de plantas em resposta ao molibdênio da semente até o

conteúdo estimado de $4,69 \mu\text{g semente}^{-1}$, quando foi atingida a população máxima estimada ($407.171 \text{ plantas ha}^{-1}$). Com conteúdos superiores, houve redução na população de plantas, de modo que a população estimada para o conteúdo máximo estudado ($8,09 \mu\text{g semente}^{-1}$) foi de $368.118 \text{ plantas ha}^{-1}$. Essa população foi ainda superior à estimada para o menor conteúdo estudado ($337.537 \text{ plantas ha}^{-1}$).

É importante observar que, para todos os conteúdos de Mo na semente, as populações de plantas estimadas foram altas, sendo, para alguns tratamentos, até mesmo superiores à faixa de população recomendada para a cultura (200.000 a $375.000 \text{ plantas ha}^{-1}$) (VIEIRA, 1983; ARAÚJO, 1998). Os elevados níveis de germinação e de vigor apresentados pelas sementes de ambos os cultivares explicam a obtenção desses níveis populacionais elevados, já que foram semeadas 20 sementes por metro. Ademais, a ocorrência de doenças, fúngicas principalmente, que promovem redução do stand foi reduzida, assim como o ataque por lesmas, importante praga na fase inicial do desenvolvimento do feijoeiro em sistema de plantio direto, graças ao eficiente controle realizado. Esses dois fatores certamente contribuíram, também, para a obtenção dessas populações elevadas.

Dentre os componentes da produção, apenas a resposta da massa de 100 sementes ao conteúdo de Mo na semente não se ajustou a nenhum modelo de regressão. Sobre o número de vagens por área (Figura 7B), o efeito do conteúdo de Mo na semente foi linear positivo, de modo que o maior valor estimado (201 vagem m^{-2}) foi obtido com o maior conteúdo de Mo na semente. A produção de vagens nesse tratamento foi cerca de 17% superior à estimada para o menor conteúdo (172 vagem m^{-2}).

O número de sementes por vagem sofreu efeito quadrático do conteúdo de Mo da semente (Figura 7C). Os valores estimados aumentaram nos conteúdos iniciais, atingindo o valor máximo ($3,37 \text{ sem vagem}^{-1}$) em resposta ao conteúdo estimado de $2,66 \mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo. Com conteúdos superiores, o Mo promoveu redução, de modo que o número de sementes por vagens obtido com o maior conteúdo estudado ($3,04 \text{ sem vagem}^{-1}$) foi cerca de 11% inferior ao valor máximo estimado.

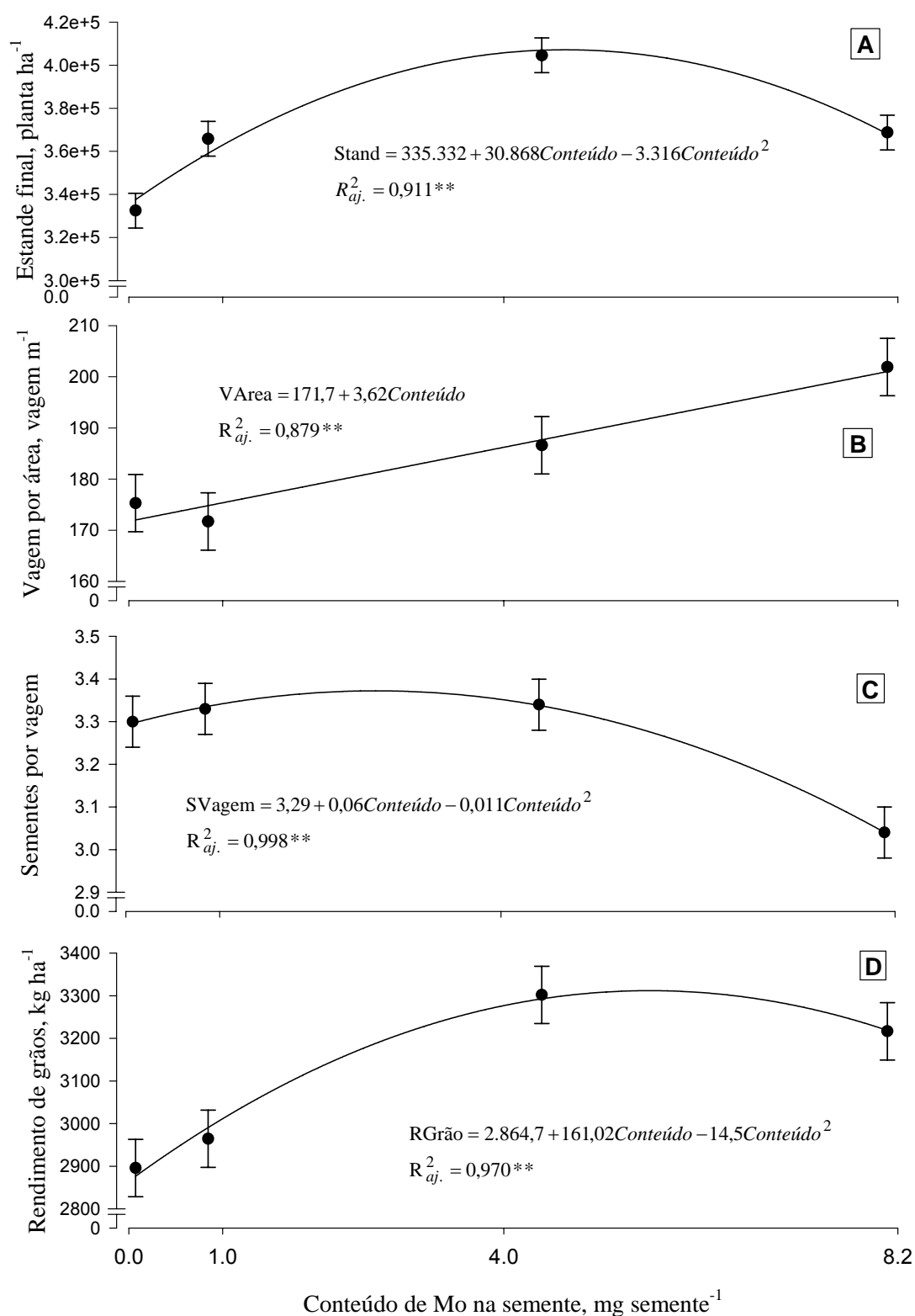


FIGURA 7. Efeito do conteúdo de molibdênio na semente no estande final de plantas, componentes da produção e rendimento do feijão Novo Jalo. O símbolo representa o erro quadrado médio ajustado para as médias.

Quanto ao rendimento de grãos, também foi determinado efeito quadrático do molibdênio contido na semente (Figura 7D), e os valores aumentaram com o incremento no conteúdo do nutriente na semente até o valor de 5,58 $\mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo. Incrementos no conteúdo de Mo, a partir desse valor, resultaram em redução no rendimento de grãos. Estes resultados evidenciam que a contribuição da produção de vagens por área foi mais expressiva para o rendimento de grãos do que o número de sementes por vagem. O rendimento máximo estimado foi de 3.312 kg ha^{-1} , obtido com o conteúdo estimado de 5,58 $\mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo. Este rendimento foi aproximadamente 15,2% superior ao estimado para o menor conteúdo. Apesar de o rendimento de grãos ter sofrido decréscimos com o aumento do conteúdo de Mo na semente acima de 5,58 $\mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo, o rendimento de 3.219 kg ha^{-1} , estimado para o conteúdo de 8,09 $\mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo, foi cerca de 12% maior que o estimado para o menor conteúdo (2.876 kg ha^{-1}).

4.4.4. Meia Noite

A análise de variância dos dados do experimento com o Meia Noite não revelou efeito significativo ($P \leq 0,05$) do conteúdo de Mo na semente sobre a massa de 100 sementes (TABELA 6), cujos dados também não se ajustaram a nenhum modelo de regressão. Para os demais componentes da produção, bem como para o “stand” final ($P \leq 0,01$), esse efeito foi significativo ($P \leq 0,05$). Além disso, os dados dessas características ajustaram-se satisfatoriamente a modelos de regressão, os quais geraram as equações apresentadas na Figura 8.

Em relação ao “stand” final, houve efeito hiperbólico do conteúdo de Mo na semente (Figura 8A), ocorrendo a menor população de plantas com o menor conteúdo do nutriente na semente. Houve aumento rápido da população com os demais conteúdos, especialmente os superiores a 0,5 $\mu\text{g semente}^{-1}$, sendo a maior população (367.713 plantas ha^{-1}) estimada para o conteúdo de 0,83 $\mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo. Esse efeito da adubação molíbdica, utilizada a dose de 80 g ha^{-1} de Mo via foliar, sobre o “stand” final do feijão Meia Noite, não foi constatado por PIRES (2003), mas esse autor obteve efeito significativo da época de aplicação dessa dose sobre essa característica.

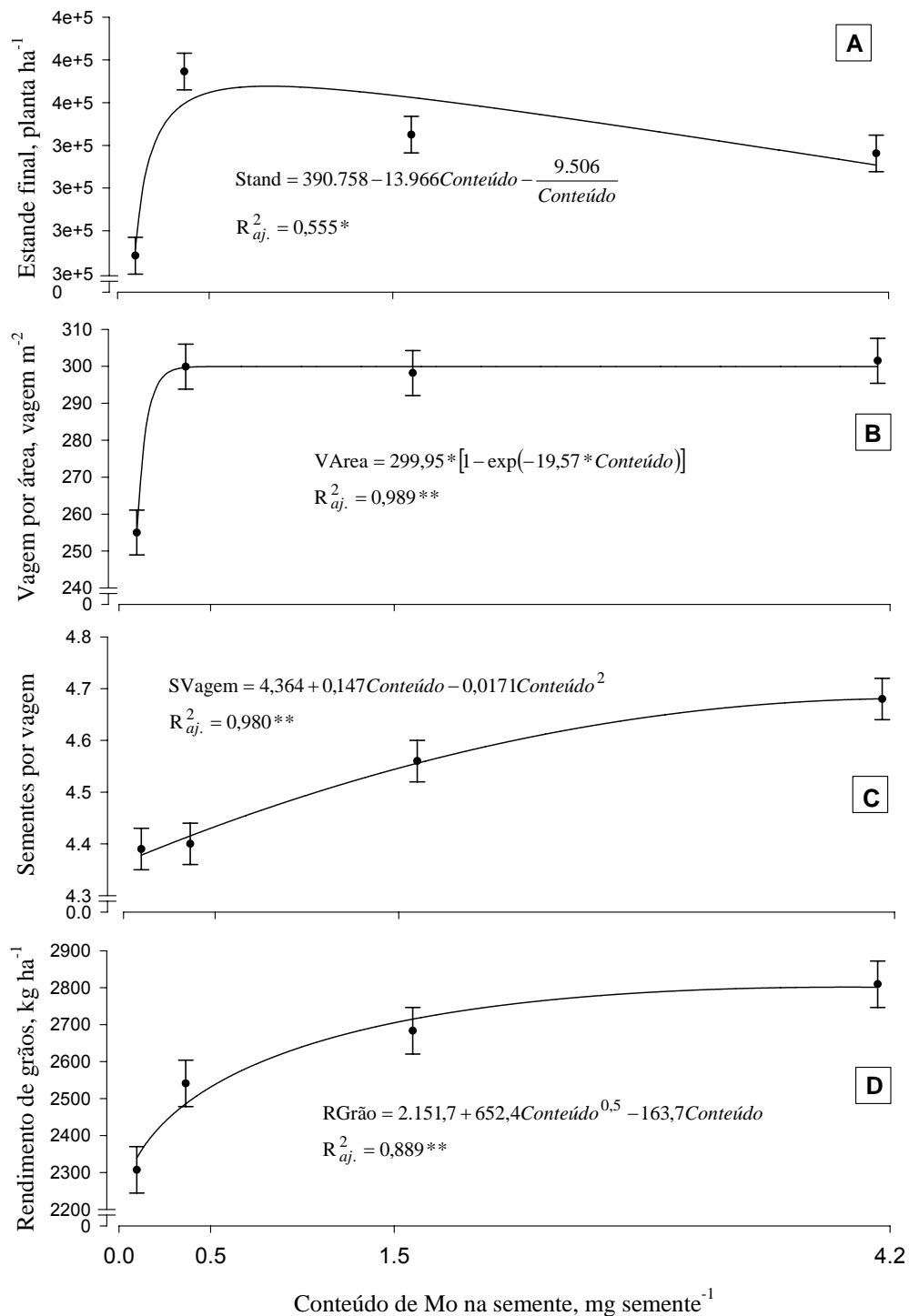


FIGURA 8. Efeito do conteúdo de molibdênio na semente no estande final de plantas, componentes da produção e rendimento do feijão Meia Noite. O símbolo representa o erro quadrado médio ajustado para as médias.

O efeito do conteúdo de Mo na semente sobre a população final de plantas, possivelmente, está relacionado à influência do nutriente no vigor da semente (CHATTERJEE & NAUTIYAL, 2001; CARVALHO, 1994; MEIRELES *et al.*, 2004) e, por conseguinte, da planta resultante. Contudo, tanto as populações obtidas por PIRES (2003) como as aqui encontradas com todos os conteúdos de Mo na semente, situam-se entre 200.000 a 375.000 plantas por hectare, faixa populacional considerada adequada por VIEIRA (1983).

A adubação molíbdica, via conteúdo do nutriente na semente, influenciou significativamente o número de vagens por área, com os dados ajustando-se ao modelo de regressão sigmoidal (Figura 8B). Esse modelo expressa crescimento expressivo dos valores da variável dependente em resposta à pequena variação dos valores da variável independente, o que pode ser perfeitamente verificado na referida figura, em que a menor produção estimada (255 vagens m⁻²) foi obtida com o menor conteúdo do nutriente na semente (0,1 µg semente⁻¹ de Mo) e a maior produção (300 vagens m⁻²), com 0,71 µg semente⁻¹. Sementes com conteúdos de Mo acima desse valor não trouxeram em incrementos nessa característica.

Esse efeito positivo da adubação molíbdica sobre a produção de vagens de feijão por área foi obtido no experimento apresentado e discutido no capítulo I, bem como em outros trabalhos realizados com a cultura. PIRES (2003), também trabalhando com o cultivar Meia Noite, cita que a aplicação foliar de 80 g ha⁻¹ de Mo resultou em incrementos de até 62% na produção de vagens em relação à obtida na ausência de aplicação do nutriente. Estes incrementos são superiores aos obtidos no presente estudo (18%), porém, apesar de menores, os incrementos aqui obtidos evidenciam a eficiência do molibdênio contido na semente em suprir a planta resultante, confirmando a possibilidade de se utilizar a técnica de produção de sementes enriquecidas com esse nutriente, para adubar a geração seguinte (JACOB NETO, 1985; JACOB NETO & FRANCO, 1986; BRODRICK *et al.*, 1992).

Quanto ao número de sementes por vagem, foi obtido efeito quadrático significativo ($P \leq 0,05$) do conteúdo de Mo na semente (Figura 8C), com variações de 4,4 a 4,7 sementes por vagem, extremos obtidos, respectivamente, com o menor (0,10 µg semente⁻¹) e o maior (4,13 µg semente⁻¹) conteúdos de Mo. Obteve-se, desse modo, incrementos de cerca de 6,8% no número de sementes produzidas por vagem. Numericamente, esse

incremento parece pouco expressivo. Contudo, partindo-se da pressuposição de que essa característica é pouco influenciada por fatores não-hereditários, a obtenção desse nível de incremento ratifica a importância da adubação molíbdica para o feijoeiro e, por sua vez, a possibilidade de o Mo contido na semente satisfazer a necessidade da planta resultante.

Incrementos no número de sementes por vagem, em resposta ao molibdênio, também foram obtidos por PIRES (2003). Porém, nesse trabalho, o molibdênio foi fornecido via foliar. Os incrementos obtidos pelo autor (8,5%) foram pouco maiores que os aqui obtidos.

O rendimento de grãos do Meia Noite foi significativamente influenciado pelo conteúdo de Mo na semente, com o comportamento desse efeito sendo descrito pelo modelo de regressão raiz quadrático (Figura 8D).

Os incrementos advindos do uso de sementes enriquecidas com Mo foram mais expressivos para o Meia Noite do que para o Novo Jalo (ANEXO 6). Comparando o maior e o menor rendimentos obtidos, verifica-se que no Meia Noite, houve acréscimos de até 19,8 % em resposta ao molibdênio da semente, ao passo que no Novo Jalo os incrementos foram da ordem de 15,2%. Vale salientar, contudo, que a média de rendimento do Novo Jalo foi cerca de 19,7% superior à do Meia Noite (respectivamente, 3.094 e 2.585 kg ha⁻¹).

A maior estimativa da produtividade de grãos do Meia Noite (2.802 kg ha⁻¹) ocorreu com o conteúdo de 3,97 µg semente⁻¹. Semelhantemente ao que ocorreu com o Novo Jalo, a menor estimativa do rendimento (2.339 kg ha⁻¹) aconteceu com o conteúdo de 0,097 µg semente⁻¹, menor conteúdo estudado.

Os resultados positivos promovidos pelo uso de sementes ricas em Mo assemelham-se, em comportamento, aos obtidos com a adubação molíbdica convencional (via foliar e solo, principalmente). Entretanto, os incrementos aqui obtidos foram inferiores aos normalmente reportados para a aplicação foliar, com a qual já se obtiveram aumentos de até 323% na produtividade (PESSOA, 1998). Esses resultados demonstram que o feijoeiro se utiliza eficientemente do Mo contido na semente, e, por isso, se presente em quantidade suficiente, esse Mo poderá suprir, sozinho, as necessidades da planta.

Os resultados alcançados nos poucos trabalhos que abordaram a influência do conteúdo de Mo na semente de feijão sobre o rendimento de

grãos e demais características agronômicas da cultura ainda são pouco consistentes. MEAGHER *et al.* (1952) consideram que conteúdo de Mo na semente acima de 0,5 $\mu\text{g semente}^{-1}$ é suficiente para suprir a demanda da planta por, no mínimo, uma geração, sem prejuízo à produtividade. Porém, FERREIRA (2001) comprovou que a produtividade de plantas originadas de sementes com o conteúdo de 0,535 $\mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo foi semelhante à obtida de plantas originadas de sementes com conteúdos inferiores.

Os resultados aqui obtidos confirmam a informação de MEAGHER *et al.* (1952), ressaltando, porém, que o rendimento de grãos, tanto do Novo Jalo quanto do Meia Noite, ainda responde positiva e significativamente a incrementos no conteúdo de Mo na semente além de 0,5 microgramas. Por outro lado, estes resultados diferem, em parte, dos obtidos por FERREIRA (2001), já que, para o Meia Noite, mesmo cultivar estudado por esse autor, o ganho em produtividade promovido com o conteúdo estimado de 0,535 $\mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo, em relação à ausência do nutriente na semente, foi superior a 18% (18,11%). Para o Novo Jalo, o ganho foi de apenas 2,9%, concordando com os resultados do autor.

BRODRICK *et al.* (1992) verificaram que conteúdos de Mo variando de 1,64 a 3,57 $\mu\text{g semente}^{-1}$ deram origem a plantas que apresentaram os maiores peso de nódulos, acúmulo de nitrogênio e produção de grãos. Também JACOB NETO & FRANCO (1986) definem o conteúdo de 3,51 $\mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo como o suficiente para promover o desenvolvimento normal do feijoeiro. O de 3,97 $\mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo, responsável pelo maior rendimento de grãos com o Meia Noite no presente estudo, apesar de pouco superior, assemelha-se a essa faixa e valor definidos como ótimo para a cultura. Entretanto, no Novo Jalo, o conteúdo de Mo na semente responsável pelo maior rendimento de grãos, 5,58 μg , é muito superior ao limite máximo da faixa ótima definida por BRODRICK *et al.* (1992) e JACOB NETO & FRANCO (1986). Isto mostra que a resposta do feijoeiro ao conteúdo de Mo na semente depende do cultivar, em que o Novo Jalo requer maior quantidade do micronutriente na semente do que o Meia Noite.

A aplicação de doses elevadas de Mo, embora possa elevar o seu conteúdo na semente, pode provocar efeito tóxico sobre a planta, dependendo das condições edafoclimáticas e da própria planta, levando à redução do rendimento da cultura (JACOB NETO & ROSSETO, 1998). Esse efeito

negativo do excesso de Mo foi observado no presente estudo no Novo Jalo, pois a aplicação de 80 g ha⁻¹ de Mo, associada a conteúdos elevados do micronutriente na semente, resultou em decréscimos no rendimento de grãos (Figura 8D). No Meia Noite, esse efeito negativo não foi observado (Figura 7D). O comportamento diferenciado dos cultivares pode ter ocorrido em virtude de os conteúdos no Novo Jalo serem mais elevados que no Meia Noite. Há, portanto, a necessidade de se fazer novos ensaios com o Meia Noite, testando conteúdos mais elevado do micronutriente na semente, para que esse comportamento diferenciado dos cultivares seja confirmado ou negado.

Esse possível efeito depressivo do Mo no rendimento de grãos parece indicar saturação dos mecanismos internos da planta, responsáveis pela inativação do molibdênio absorvido em excesso (HALE *et al.*, 2001). Isto mostra que, apesar de pouco comum (JACOB NETO & ROSSETO, 1998; GUPTA, 2002), a toxidez provocada pelo excesso de Mo no tecido vegetal pode ocorrer em situações de elevada disponibilidade, mesmo em espécies fixadoras de N₂. Ainda assim, os prejuízos advindos desse excesso de Mo são inferiores aos resultantes da sua deficiência, discordando das informações de MARSCHNER (1995) e VIEIRA (1998), segundo os quais, doses de Mo acima de 240 g ha⁻¹ seriam suficientes para induzir decréscimos no rendimento de grão, equivalentes aos promovidos pela deficiência do nutriente.

Em soja, as sementes com maior conteúdo de molibdênio apresentam melhor qualidade fisiológica, suprimindo melhor a demanda metabólica inicial da plântula (TRIGO *et al.*, 1997). Segundo os autores, plântulas provenientes dessas sementes apresentam crescimento inicial mais vigoroso, com maior e mais rápido crescimento do sistema radicular, o que resulta em aumento na absorção de nutrientes e, conseqüentemente, nos componentes da produção.

A literatura reporta que o conteúdo de Mo da semente pode influenciar a nutrição molíbdica da planta, suprimindo a demanda da plantas por mais de uma geração. Segundo alguns autores, a reserva de molibdênio na semente do feijoeiro pode ser suficiente para as necessidades de até duas gerações. BRODRICK *et al.* (1995) citam que a utilização de sementes com 9,3 µg de Mo por unidade impediu a produção de sementes deficientes nesse elemento por até quatro colheitas consecutivas, numa mesma área. Utilizando sementes com menor conteúdo desse micronutriente (0 a 0,335 µg semente⁻¹), FERREIRA (2001) não verificou influência da reserva de Mo sobre a nutrição molíbdica da

planta. Os diferentes resultados encontrados nesses estudos, apesar terem sido obtidos com uso de sementes com conteúdos de Mo bastante variáveis, evidenciam certa falta de consenso entre os autores com relação ao teor de Mo na semente suficiente para propiciar o desenvolvimento normal do feijoeiro, sem a necessidade de aplicá-lo adicionalmente.

A intensidade de fixação do N₂ atmosférico no feijoeiro é grandemente influenciada pelo conteúdo de molibdênio na semente. BRODRICK & GILLER (1991) obtiveram resultados em que a absorção de molibdênio da solução, durante os primeiros 20 a 25 DAE, foi menor nas plantas originadas de sementes com elevado teor desse nutriente (1,5 – 2,1 µg de Mo semente⁻¹). A fixação do nitrogênio foi iniciada em seguida, promovida pelos nódulos radiculares formados após os 25 DAE. Na variedade BAT 1297, a fixação máxima de N₂ ocorreu somente após o conteúdo de Mo na planta ter sido significativamente maior do que o encontrado na semente. As sementes com baixo conteúdo de Mo (0,24 ± 0,152 µg de Mo semente⁻¹) originaram plantas capazes de formar nódulos e iniciar a fixação de N₂. Entretanto, esse molibdênio não foi suficiente para promover a intensidade máxima de fixação do N₂ nestas plantas. Quando se forneceu Mo, este foi rapidamente absorvido por raízes, nódulos e parte-aérea. BRODRICK & GILLER (1991) consideram os nódulos radiculares de *P. vulgaris* extremamente eficientes na utilização do Mo contido na semente ou de fontes externas, prevenindo a redução na fixação de N₂. A elevada afinidade dos nódulos pelo Mo pode ser a razão desse comportamento.

5. CONCLUSÕES

1. O teor, na folha e na semente, e o conteúdo de Mo, na semente, do feijoeiro aumentam em resposta à aplicação desse nutriente.

2. O teor foliar de nitrogênio total e a intensidade da cor verde da folha do feijoeiro aumentam em resposta à aplicação de Mo.

3. O Novo Jalo apresenta maior eficiência na alocação do Mo na semente do que o Meia Noite, e, por isso, requer doses menores de Mo para produção de sementes enriquecidas com o micronutriente.

4. Elevado conteúdo de Mo na semente retarda a germinação das sementes.

5. O conteúdo de Mo na semente de feijão com máxima qualidade fisiológica é de 3,1 e 2,2 $\mu\text{g semente}^{-1}$, respectivamente, para os cvs. Novo Jalo e Meia Noite.

6. O conteúdo de Mo da semente aumenta o rendimento de grãos do feijoeiro.

7. O conteúdo ótimo de Mo na semente de feijão, suficiente para suprir a planta resultante, varia com o cultivar. No Novo Jalo, cujas sementes são grandes, esse conteúdo é de 5,58 $\mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo, e no Meia Noite, de sementes pequenas, é de 3,97 $\mu\text{g semente}^{-1}$ de Mo.

6. LITERATURA CITADA

- AMANE, M.I.V. Adubação nitrogenada e molíbdica da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na Zona da Mata de Minas Gerais: efeitos de doses, calagem e rizóbio. Viçosa, MG: UFV, 1997. 83p. Dissertação (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa.
- AMANE, M.I.V.; VIEIRA, C.; CARDOSO, A.A.; ARAÚJO, G.A. de A. Respostas de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) às adubações nitrogenada e molíbdica. Revista Ceres, v. 41, n. 234, p.202-216, 1994.
- ARAÚJO, P.R. de A. combinações de doses de nitrogênio e molibdênio na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Viçosa, 2000. 55p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa.
- ARNON, D.I.; STOUT, P.R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. Plant Physiology. v.14, n.01, p.371-375, 1939.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS – AOSA. Handbook on seed testing. Contribution, 32. Seed vigor testing handbook. East Easing: 1983. 88p.
- BASSAN, D.A.Z.; ARF, O.; BUZETTI, S.; CARVALHO, M.A.C.; SANTOS, N.C.B.; SÁ, M.E. Inoculação de sementes e aplicação de nitrogênio e molibdênio na cultura do feijão de inverno: produção e qualidade fisiológica de sementes. Revista Brasileira de Sementes. v. 23, n. 01, p.76-83, 2001.
- BERGER, P.G. Adubação molíbdica na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.): doses, épocas e modo de aplicação. Viçosa, MG:UFV, 1995. 75p. Dissertação (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- BERGER, P.G; VIEIRA, C.; ARAÚJO, G.A. de A.; CASSINI, S.T.A. Peletização de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) com carbonato de cálcio, rizóbio e molibdênio. Revista Ceres, v.42, n.243, p.562-574, 1995.

- BERGER, P.G.; VIEIRA, C.; ARAÚJO, G.A. de A. Efeitos de doses e épocas de aplicação do Molibdênio sobre a cultura do feijão. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.31, p.473-480, 1996.
- BINNECK, E.; Peletização e aplicação de molibdênio em sementes de trevo branco. Revista Brasileira de Sementes, Brasília, v.21, n.2, p.203-207, 1999.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Regras para análise de sementes. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 1992. 365p.
- BRODRICK, S.J.; AMJEE, F.; KIPE-NOLT, J.A.; GILLER, K.E. Seed analysis as a means of identifying micronutrient deficiencies of *Phaseolus vulgaris* L. in the tropics. Tropical Agriculture, v.72, n.4, p.277-284, 1995.
- BRODRICK, S.J.; GILLER, K.E. Root nodules of *Phaseolus*: efficient scavengers of molybdenum for N₂-fixation. Journal of Experimental Botany, v.42, n.238, p.679-686, 1991a.
- BRODRICK, S.J.; GILLER, K.E. Root nodules of *Phaseolus*: efficient scavengers of molybdenum for N₂ fixation. Journal of Experimental Botany, v.42, n.243, p.679-686, 1991b.
- BRODRICK, S.J.; SAKALA, M.K.; GILLER, K.E. Molybdenum reserves of seed, and growth and N₂ fixation by *Phaseolus vulgaris* L. Biology and Fertility of Soils, v.13, n.1, p.39-44, 1992.
- BUCHANAN, B.B.; GRUSSEIN, W.; JONES, R.L. Biochemistry & Molecular Biology of Plants. Rockville, Maryland, American Society of Plant Physiologists, 2000. 1367p.
- CAMARGO, O.S. Reações e interações de micronutrientes no solo. In: CRUZ, M. C. P. da; FERREIRA, M. E. Micronutrientes na agricultura. Piracicaba : POTAFOS/CNPQ, 1991. p.262-264.
- CAMPO, J.R.; LANTMANN, A.F. Efeitos de micronutrientes na fixação biológica do nitrogênio e produtividade da soja. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 1998.
- CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência tecnologia e produção. 4 ed. FUNEP, Jaboticabal, 2000. 588p.
- CATALDO, D.A.; HAROON, M.; ICHARDER, M. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitrification of salicylic acid. Comm. Soil Sci. Plant Anal., v.6, n.1, p.71-81, 1985.
- CHATTERJEE, C; NAUTIYAL, N. molybdenum stress affects viability and vigor of wheat seeds. Journal of Plant Nutrition. v.4, n.9, p.1377-1386, 2001.
- CHAVERRA, M.H.; GRAHAM, P.H. Cultivar variation in traits affecting early nodulation of common bean. Crop Science, v.32, n.6, p.1432-1436, 1992.

- COELHO, F.C.; VIEIRA, C.; MOSQUIM, P.R.; CASSINI, S.T.A. Nitrogênio e molibdênio nas culturas do milho e do feijão, em monocultivo e em consórcio: I – Efeitos sobre o feijão. *Revista Ceres*, v.45, p.393-407, 1998.
- DINIZ, A.R.; ANDRADE, M.J.B. de; BUENO, L.C. de S.; CARVALHO, J.G. de. 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, MG. Anais... Viçosa: UFV, 1995. v.3, p.1225-1227.
- EVEREST, A.E.; HALL, A.J. Anthocyanins and anthocyanidins: Part IV. Observations on (a) anthocyan colors in flowers and (b) the formation of anthocyanins in plants. *Proc. R. Soc. B.*, v.92, p.150-162, 1921.
- FERREIRA, A.C. de B. Nutrição e produtividade do feijoeiro em função do molibdênio contido na semente e da sua aplicação via foliar. Viçosa, 2001. 53p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa.
- FONTES, R.L.F. Pesquisa com micronutrientes em solos e plantas. Difusão dos resultados no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. Palestras (CD-ROOM). Rio de Janeiro: SBCS, 1997. Não paginado.
- FRANCO, A.A.; DAY, J.M. Effects of lime and molybdenum on nodulation and nitrogen fixation of *Phaseolus vulgaris* L. in acid soil of Brazil. *Turrialba*. v.30, p.99-105, 1980.
- GOMEZ, S.M.; SIERRA, D.S. Efecto del aporte de molibdeno sobre el crecimiento y actividad nitrato-reductasa de *Phaseolus vulgaris* L. *An. Edafol. Agrobiol.*, v.48, p.161-174, 1989.
- GRASSI FILHO, H.; GOMES, E.N.; ORSI, A.C.; PIERI, J.C. de.; COELHO, J.C. Aplicação de molibdênio na semente e de nitrogênio em cobertura na produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*). In: XXII REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, MANAUS – AM. Anais... p.276-277, 1996.
- GUPTA, U.C. Effect of methods of application and residual effect of molybdenum on the molybdenum concentration and yield of forages on podzol soils. *Canadian Journal Soil Science*, v.59, p.183-189, 1979.
- GUPTA, U.C.; LIPSETT, J. Molybdenum in soils, plants and animals. *Advance in Agronomy*, v.34, n.1, p.73-115, 1981.
- HALE, K.L.; MCGRATH, S.P.; LOMBI, E.; STACK, S.M.; TERRY, N.; PICKERING, I.J.; GEORGE, G.N.; PILON-SMITS, E. A.H. Molybdenum Sequestration in *Brassica* Species. A Role for Anthocyanins? *Plant Physiology*, v.126, p.1391–1402, 2001.
- HAQUE, I. Molybdenum in soils and plants and its potential importance to livestock nutrition, with special reference to sub-Saharan Africa. *Ilca Buletin*, v.26, p.20-28, 1987.

- HARDARSON, G.; BLISS, F.A.; CIGALES-RIVERO, M.R.; HENSON, R.A.; KIPE-NOLT, J.A.; LONGERI, L.; MANRIQUE, A.; PEÑA-CABRIALES, J.J.; PEREIRA, P.A.A.; SANABRIA, C.A.; TSAI, S.M. Genotypic variation in biological nitrogen fixation by common bean. *Plant and Soil*, v.152, p.59-70, 1993.
- HEATH, S.M.; SOUTHWORTHE, D.; D'ALLURA, J.A. Localization of nickel in epidermal subsidiary cells of leaves of *Thlaspi montanum* var *sikiyouense* (Brassicaceae) using energy-dispersive X-ray microanalysis. *Int. J. Plant Sci.*, v.158, p.184-188, 1997.
- HILLE, R. Molybdenum enzymes. *Essays Biochemical*. V.34, p.125-137, 1999.
- HIREL, B., BERTIN, P., QUILLERÉ, I., BOURDONCLE, W., ATTAGNANT, C., DELLAY, C., GOUY, A., CADIOU, S., RETAILLIAU, C., FALQUE, M., GALLAIS, A. Towards a better understanding of the genetic and physiological basis for nitrogen use efficiency in maize. *Plant Physiology*, v.125, n.5, p.1258-1270, 2001.
- HU, C.; WANG, Y.; WEI, W. Effect of molybdenum applications on concentrations of free amino acids in winter wheat at different growth stages. *Journal of Plant Nutrition*. v.25, n9, p.1487-1499, 2002.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (dezembro de 2003). Disponível em <http://www.cnpaf.embrapa.br/apps/socioeconomia/index.htm>. Acessado em 12/12/2004.
- ILCA (International Livestock Centre for Africa). Annual Report 1986. Addis Ababa, Ethiopia. 1987.
- ISHIZUKA, J. Characterization of molybdenum absorption and translocation in soybean plants. *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokio, v.28, 63-78, 1982.
- JACKSON, C. M. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1965. 196p.
- JACOB NETO, J. Variação estacional, concentração nas sementes e níveis críticos de molibdênio nos nódulos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Itaguaí: UFRRJ, 141p. 1985 (Tese de Mestrado).
- JACOB NETO, J.; FRANCO, A.A. Conteúdo de Mo nas sementes para auto-suficiência do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). *An. Acad. Bras. Ciênc.*, v.58, n.3, p.508, 1986.
- JACOB NETO, J.; FRANCO, A.A. Determinação do nível crítico de Mo nos nódulos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Turrialba, Costa Rica, v.39, n.2, p.215-223. 1989.
- JACOB NETO, J.; FRANCO, A.A. Época de aplicação foliar visando aumentar a concentração de molibdênio em sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: XVIII REUNIÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – Guarapará – ES. Anais... 1988.

- JACOB NETO, J.; ROSSETO, C.A.V. Concentração de nutrientes nas sementes: o papel do molibdênio. *Floresta e Ambiente*, v.5, n.1, p.171-183, 1998.
- JONGRUAYSUP, S., DELL, B., BELL, R.W. Distribution and redistribution of molybdenum in black gram (*Vigna mungo* L. Hepper) in relation to molybdenum supply. *Annals of Botany*. v.73, n.1, p.161-167, 1994.
- LANCIEN, M., DAFAL, P., HODGES, M. Enzyme redundancy and the importance of 2-oxoglutarate in higher plant ammonium assimilation. *Plant Physiology*, v.123, n.4, p.817-824, 2000.
- LIMA, S.F. de., ANDRADE, M.J.B. de., CARVALHO, J.G. de. Resposta do feijoeiro à adubação foliar de boro, molibdênio e zinco. *Ciência e Agrotécnica*, Lavras, v.23, n.2, p.462-467, 1999.
- KARMIAN, N.; COX, F.R. Adsorption and extractability of molybdenum in relation to some chemical properties of soils. *Soil Science Society American Journal*, v.42, n.3, p.757-761, 1978.
- KOCHIAN, L.V. Mechanisms of micronutrients uptake and translocation in plants. In: MORTVEDT, J. J. et al. (Eds.). *Micronutrients in agriculture*. Madison: Soils Science Society of America, 1991. p.229-292.
- KONDO, T.; YOSHIDA, K.; NAKAGAWA, A.; KAWAI, T.; TAMURA, H.; GOTO, T. Structural basis of blue-color development in flower petals from *Commelina communis*. *Nature*, v.58, p.515-518, 1992.
- KÜPPER, H.; ZHAO, F.; McGRATH, S.P. Cellular compartmentation of zinc in leaves of the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *Plant Physiol.*, v.119, p.305-311, 1999.
- LANTMANN, A.F.; CAMPOS, R.J.; SFREDO, J.J.; BORKERT, C.M. Micronutrientes para a cultura da soja no Estado do Paraná: zinco e molibdênio. Londrina: EMBRAPA/CNPSoja, 1985. 8p. (Comunicado Técnico, 34).
- LEITE, U.T., PIRES, A.A., ARAÚJO, G.A. de A., VIEIRA, R.F. Absorção de Mo e de N em diferentes variedades de feijão em função de doses de Mo. In: VII Congresso Nacional de Pesquisa de Feijão, 2002, Viçosa. Resumos expandidos/ VII Congresso Nacional de Pesquisa de Feijão, 2002, p.814.
- LOPES, A.S. Micronutrientes: filosofias de aplicação, fontes, eficiência agrônômica e preparo de fertilizantes. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Eds.). *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 1991. p.357-390.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. New York, Academic Press, 1995. 889p.

- MARTENS, D.C.; WESTERMANN, D.T. Fertilizers applications for correcting micronutrient deficiencies. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCH, R.M. (Eds.). Fertilizers applications for correcting micronutrient deficiencies: micronutrients in agriculture. 2.ed. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p.549-592.
- MARTÍNÉZ, E.L.; BARRACHINA, A.C.; CARBONELL, F.B.; POZO, M.A.; GARCIA, M.A.; BENEYTO, J.M. Molybdenum uptake, distribution and accumulation in bean plants. *Fresenius Envir Bull*, v.5, p.73-78, 1996.
- MEAGHER, W.R.; JOHNSON, C.M.; STOUT, P.R. Molybdenum requirement of leguminous plants supplied with fixed nitrogen. *Plant Physiology*, v.27, p.223-230, 1952.
- MILLS, H.A.; JONES JUNIOR, J.B. Plant analysis handbook II. Athens, Georgia, USA: MicroMacro Publishing, Inc.; 1996. 422p.
- MOHANDAS, S. Effect of presowing seed treatment with molybdenum and cobalt on growth, nitrogen and yield in bean (*Phaseolus vulgaris*). *Plant and Soil*, v.88, p.283-285, 1985.
- NICOLOSO, F.T.; SANTOS, O.S dos.; CAMARGO, R.P. Absorção de molibdênio pelo feijoeiro comum. *Ver. Centro de Ciências Rurais*, v.20, n.1-2, p.37-49, 1990.
- OLIVEIRA, I.P.; THUNG, M.D. T. Nutrição mineral. In: ZIMMERMANN, M.J.O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Eds.). *Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba, SP: POTAFOS, 1988. p.175-212.
- PESSOA, A.C. dos S. Atividades de nitrogenase e redutase do nitrato e produtividade do feijoeiro em resposta à adubação com molibdênio e fósforo. Viçosa, 1998. 151p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa.
- PIRES, A.A. Parcelamento e época de aplicação foliar do molibdênio na cultura do feijoeiro. Viçosa, MG:UFV, 2003. 49p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 2003.
- QUAGGIO, J.A.; RAMOS, V.J.; FURLANI, P.R.; CARELLI, M.L.C. Liming and molybdenum effects on nitrogen uptake and grain yield of corn. In: WRIGHT, R.J.; BALIGAR, V.C.; MURRNAN, R.P. (Eds.). *Plant-soil interaction at low pH*. Dordrecht : Kluwer Academic, 1991. p.327-332.
- REBAFKA, F.P., NDUNGURU, B.J., MARSCHNER, H. Single superphosphate depresses molybdenum uptake and limits yield response to phosphorous in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) grown on na acid sandy soil in Niger, West Africa. *Fertiliser Research*, v.34, n.2, p.233-242, 1993.
- RENNIE, R.J.; KEMP, G.A. N₂-fixation in field beans quantified by 15 N isotope dilution. II. Effect of cultivars of beans. *Agronomy Journal*, v.75, p.645-649, 1983.

- REUTER, D.J.; EDWARDS, D.G.; WILHELM, N.S. Temperate and tropical crops. In: REUTER, D.J.; ROBINSON, J.B. (Eds.). Plant analysis: an interpretation manual. 2.ed. Collingwood, Australia: CSIRO, 1997. p.83-284.
- RODRIGUES, J.R.M.; ANDRADE, M.J.B.; CARVALHO, J.G. Resposta de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris*) e doses de molibdênio aplicadas via foliar. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 5, Goiânia, 1996, Anais... Goiânia: EMBRAPA-CNPAF-APA, 1996. v.1, p.76-78.
- ROUSER, G.; FLEISHER, S.; YAMAMOTO, A. Twodimensional thin layer chromatographic separation of polar lipids and determination of phospholipids by phosphorous analysis of spots. *Lipids*, v.5, p.494-496, 1970.
- SALYSBURY, F.B.; ROOS, C.W. Plant physiology. 4.ed. California: Wadsworth Publishing Company, 1991. 682p.
- SANTOS, O.S. dos. Molibdênio. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Eds.). Micronutrientes na agricultura. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. p.191-217.
- STONE, L.F.; GUIMARÃES, C.M.; MOREIRA, A.A.J. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.6, p.207-212, 2002.
- STRALIOTTO, R.; DEL PELOSO, M.J.; ZIMMERMANN, F.J.P.; ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M. G. Avaliação da produtividade de linhagens de feijoeiro de diferentes tipos de grão 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. CDRoom... Rio de Janeiro, 2002.
- TAKEDA, K.; KARIUDA, M.; ITOI, H. Blueing of sepal color of *Hydrangea macrophylla*. *Phytochemistry*, v.24, p.2251-2254, 1985.
- TRIGO, L.F.N, PESKE, S.T.; GASTAL, M.F.; VAHL, L.C.; TRIGO, M.F.O. Efeito do conteúdo de fósforo na semente de soja sobre o rendimento da planta resultante. *Revista Brasileira de Sementes*, v.19, n.1, p.111-115, 1997.
- VIDOR, C.; PERES, J.R.R. Nutrição de plantas com molibdênio e cobalto. In: SIMPÓSIO SOBRE ENXOFRE E MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA. Anais... Londrina: EMBRAPA-CNPSO/IAPAR/SBCS, p. 179-203, 1988.
- VIEIRA, C. Cultura do feijão. Viçosa: UFV, 1983. 146p.
- VIEIRA, C.; NOGUEIRA, A.O.; ARAÚJO, G.A. de A. Adubação nitrogenada e molíbdica na cultura do feijão. *Rev. Agric.*, v.67, p.117-124, 1992.
- VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. Testes de vigor em sementes. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 164p.

- VIEIRA, R.F.; CARDOSO, E.J.B.N.; VIEIRA, C.; CASSINI, S.T.A. Foliar application of molybdenum in common bean. I. Nitrogenase and nitrate reductase activities in a soil of high fertility. *Journal of Plant Nutrition*, v.21, n.1, p.169-180, 1998a.
- VIEIRA, R.F.; CARDOSO, E.J.B.N.; VIEIRA, C.; CASSINI, S.T.A. Foliar application of molybdenum in common bean. I. Nitrogenase and nitrate reductase activities in a soil of low fertility. *Journal of Plant Nutrition*, v.21, n.10, p.2141-2151, 1998b.
- VIEIRA, R.F.; FONTES, R.A.; CARVALHO, J.R.P. Desempenho de sementes de feijão colhidas de plantas não adubadas, adubadas com macronutrientes + micronutrientes. *Revista Ceres*, v.34, n.192, p.162-179, 1987.
- VIEIRA, R.F.; SALGADO, L.T.; VIEIRA, C. Rizóbio, molibdênio e cobalto na cultura do feijão no alto Paranaíba e Noroeste de Minas Gerais. *Revista Ceres*, v.41, p.688-694, 1994.
- VIEIRA, R.F. Aplicação foliar de molibdênio e seu efeito nas atividades da nitrogenase e redutase do nitrato no feijoeiro em campo. Piracicaba, SP: ESALQ, 1994. 188f. Tese (Doutorado em Solos) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- WHITE, J.W.; IZQUIERDO, J. Physiology of yield potential and stress tolerance. In: SCHOONHOVEN, A. van & VOYSEST, CIAT, 1991. p.287-382.
- ZIMMER, W.; MENDEL, R. Molybdenum metabolism in plants. *Plant Biology*, v.1, p.160-168, 1999.
- WANG, Z.Y.; TANG, Y.L.; ZHANG, F.S. Effect of molybdenum on growth and nitrate reductase activity of winter wheat seedling as influenced by temperature and nitrogen treatments. *Journal of Plant Nutrition*. v.22, n.2, p.387–395, 1999.

ANEXOS

ANEXO 1

Tabela 7. 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, em resposta a doses crescentes de Mo aplicadas via foliar

Cultivar	Característica			
	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.

ANEXO 2

Tabela 8. Equações ajustadas, com seus respectivos coeficientes de variação ajustados, aos dados de qualidade de semente de feijão, cvs. Novo Jalo e Meia Noite

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	$Y = 2384,68 [1 - 10^{-0,012(Dose + 21,37)}] * [10^{-0,000000002(Dose + 21,37)^2}]$	0,96**

1 = Modelo exponencial de Mitscherlich (primeira equação).

2 = Modelo exponencial de Mitscherlich (segunda equação).

ANEXO 3

Tabela 9. Médias dos teores de Mo na folha (MoF) e na semente (MoS), do conteúdo de Mo na semente (CMoS) e do teor de N-total na folha e na semente dos cultivares de feijão Novo Jalo e Meia Noite, em resposta a doses crescentes de Mo, aplicadas via foliar

Cultivar	MoF		MoS	CMoS	N-total (dag kg ⁻¹)		SPAD					
	mg kg ⁻¹			µg kg ⁻¹	Folha	Semente						
Novo Jalo	26,659	b	6,312	a	2,7981	a	3,510	a	3,018	b	39,38	b
Meia Noite	33,629	a	5,853	a	1,1619	b	3,085	b	3,234	a	40,25	a

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

ANEXO 4

Tabela 10. Equações ajustadas, com seus respectivos coeficientes de variação ajustados, aos dados de qualidade de semente de feijão, cvs. Novo Jalo e Meia Noite

Variável	Equação	R ² aj.
MoF NJalo	$Y = 1,765 + \frac{83,071}{1 + \exp\left(-\frac{Dose - 939,03}{189,39}\right)}$	0,999**
MoF MNoite	$Y = 0,968 + \frac{86,427}{1 + \left(\frac{Dose}{580,75}\right)^{-2,35}}$	0,932**
MoS	$Y = 0,45 + \frac{23,979}{1 + \left(\frac{Dose}{1331,06}\right)^{-1,43}}$	0,999**
CmoS NJalo	$Y = \frac{9,679}{1 + \left(\frac{Dose}{988,66}\right)^{-1,295}}$	0,995**
CMoS MNoite	$Y = 0,095 + \frac{6,011}{1 + \left(\frac{Dose}{2040,95}\right)^{-1,295}}$	1,000**
NTotal na folha	$Y = 3,48 * [1 - 10^{-0,06 * (Dose + 8,35)}] * [10^{-0,000008 * (Dose + 8,35)}]$	0,715*
SPAD NJalo	$Y = 40,67 * [1 - 10^{-0,008 * (Dose + 104,99)}] * [10^{-0,000002 * (Dose + 104,99)}]$	0,918**
SPAD MNoite	$Y = 41,87 * [1 - 10^{-0,013 * (Dose + 45,82)}]$	0,963**

ANEXO 5

Tabela 11. Equações ajustadas, com seus respectivos coeficientes de variação ajustados, aos dados de qualidade de semente de feijão, cvs. Novo Jalo e Meia Noite

Variável	Equação	R ² aj.
----- Novo Jalo -----		
TPG	$1,3287/(1+\exp(-(\text{Conteúdo} - 1,291)/0,503))$	0,90**
Primeira contagem	$0,76+0,42/(1+((\text{Conteúdo} - 0,91)/(1,59^2)))$	0,94**
Env. Acelerado	$1,38[1-10^{-0,36(\text{Conteúdo}+1,61)}]*[10^{-0,0005(\text{Conteúdo}+1,61)}]$	0,78**
Cond. elétrica	$48,51 + 0,94\text{Conteúdo} + 1,4/\text{Conteúdo}$	0,94**
----- Meia Noite -----		
TPG	$1,5387/(1+\exp(-(\text{Conteúdo} - 0,716)/0,3317))$	0,92**
Primeira contagem	$1,377+0,165(1 - \exp(-1,812\text{Conteúdo}))$	0,55**
Env. Acelerado	$1,42/(1+ \exp(-(\text{Conteúdo} + 0,134)/0,153))$	0,91**
Cond. elétrica	$48,27 + 6,53\text{Conteúdo} + 4,5/\text{Conteúdo}$	0,81**

ANEXO 6

Tabela 12. Análise de variância do stand, produção de grãos e seus componentes dos cv. Novo Jalo e Meia Noite, em resposta a diferentes conteúdos de Mo na semente e diferentes conteúdos de Mo na semente

Tratamentos	Característica				
	"Stand"	VA	SV	M100s	RGrãos
----- Novo Jalo -----					
Sem adubação/Mo	358.125	180,1	3,1 b	54,0 b	2.941 b
80 g ha ⁻¹ de Mo	377.708	187,6	3,4 a	55,5 a	3.248 a
----- Meia Noite -----					
Sem adubação/Mo	330.000	284,5	4,6	20,9	2.570
80 g ha ⁻¹ de Mo	342.083	292,8	4,5	21,2	2.600

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

ANEXO 7

