

MARCOS GLEIDSON PEREIRA DOS SANTOS

**INOCULAÇÃO DO FEIJOEIRO COM RIZÓBIO E ENRIQUECIMENTO DA
SEMENTE COM COBALTO**

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
2016

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

S237i
2016

Santos, Marcos Gleidson Pereira dos, 1985-

Inoculação do feijoeiro com rizóbio e enriquecimento da
semente com cobalto / Marcos Gleidson Pereira dos Santos. –
Viçosa, MG, 2016.
ix, 43f. : il. ; 29 cm.

Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. *Phaseolus vulgaris*. 2. Feijão - Adubos e fertilizantes.
3. Nitrogênio. 4. Cobalto. 5. Molibdênio. 6. *Rhizobium tropici*.
7. Plantas e solo. 8. Produtividade agrícola. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de
Pós-graduação em Fitotecnia. II. Título.

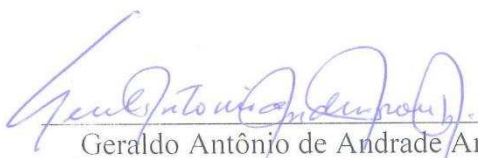
CDD 22. ed. 635.652

MARCOS GLEIDSON PEREIRA DOS SANTOS

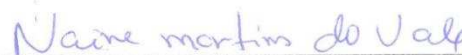
**INOCULAÇÃO DO FEIJOEIRO COM RIZÓBIO E ENRIQUECIMENTO DA
SEMENTE COM COBALTO**

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: 14 de março de 2016.


Geraldo Antônio de Andrade Araújo


Leonardus Vergutz


Naine Martins do Vale


Rogério Faria Vieira
(Coorientador)


José Eustáquio de Souza Carneiro
(Orientador)

Aos meus pais, José Pereira e Maria das Dores.

A minha irmã Patricia Santos.

Aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Em 2012 tive a oportunidade de iniciar o doutorado na Universidade Federal de Viçosa, na qual convivi com exemplos de qualidade profissional. Período ao qual tive a oportunidade de me qualificar, por isso agradeço aqueles que me ajudaram de alguma forma a vencer mais essa etapa.

Sou grato a Deus, por sempre me atender nos momentos mais difíceis.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade concedida para a realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor José Eustáquio de Souza Carneiro, pela orientação imprescindível na realização deste trabalho e pela disponibilidade.

Ao pesquisador e coorientador, Rogério Faria Vieira, pela amizade, pela orientação imprescindível, pelos ensinamentos e pela paciência.

Ao professor Leonardus Vergutz pela atenção e pelas considerações.

Ao professor e coorientador, Paulo Roberto Cecon, pelas sugestões.

Aos meus pais, José Pereira e Maria das Dores e a minha irmã Patricia Santos, os quais representam minha base de formação pessoal e fonte de incentivo para a formação profissional.

Aos colegas e amigos do Programa de Melhoramento Genético do Feijoeiro, pela contribuição neste trabalho.

Aos colegas e amigos do Departamento de Fitotecnia.

Aos funcionários e estagiários da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG-UREZM), pela ajuda e agradável convívio.

Aos funcionários da Estação Experimental em Coimbra-MG, Carlinhos, Jorge “Potoca”, José Pereira, Ademir, José Nilson, Gabriel, João Ambires, Douglas, Gilberto Pereira e Sebastião.

MUITO OBRIGADO!

BIOGRAFIA

MARCOS GLEIDSON PEREIRA DOS SANTOS, filho de José Pereira da Silva e Maria das Dores Santos Pereira, nasceu em 15 de junho de 1985, em Janaúba, estado de Minas Gerais.

Em julho de 2004 iniciou graduação no curso de agronomia pela Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), Janaúba, MG, colando grau em junho de 2009 e obteve o título de engenheiro agrônomo.

No mês de agosto de 2010 iniciou mestrado no curso de Produção Vegetal no Semiárido pela UNIMONTES, submetendo-se à defesa da dissertação em fevereiro de 2012.

Dando sequência à pós-graduação, iniciou, em fevereiro de 2012, o doutorado em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, submetendo-se a defesa de tese em março de 2016.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT	viii
INTRODUÇÃO GERAL	1
 CAPÍTULO 1	 4
 INOCULAÇÃO DO FEIJOEIRO COM <i>Rhizobium tropici</i> ASSOCIADA A ADUBAÇÃO MOLÍBDICA E NITROGENADA.....	 4
 RESUMO.....	 4
ABSTRACT	5
1. INTRODUÇÃO.....	7
2. MATERIAL E MÉTODOS	9
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
3.1. Cultivar Madrepérola.....	16
3.2. Cultivar Ouro Vermelho	19
4. CONCLUSÕES.....	22
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
 CAPÍTULO 2	 26
 EFEITO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE COBALTO NO CONTEÚDO DESSE ELEMENTO NAS SEMENTES DO FEIJOEIRO.....	 26
 RESUMO.....	 26
ABSTRACT	28
1. INTRODUÇÃO.....	29
2. MATERIAL E MÉTODOS	31
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4. CONCLUSÃO.....	39
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
 CONCLUSÕES GERAIS	 43

RESUMO

SANTOS, Marcos Gleidson Pereira dos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2016. **Inoculação do feijoeiro com rizóbio e enriquecimento da semente com cobalto.** Orientador: José Eustáquio de Souza Carneiro. Coorientadores: Rogério Faria Vieira e Paulo Roberto Cecon.

O feijoeiro pode se beneficiar da fixação biológica do nitrogênio (FBN). O molibdênio (Mo) e o cobalto (Co) são essenciais para os processos da FBN. O Mo é cofator de duas enzimas importantes à FBN, a nitrogenase e a nitrato redutase. O Co é componente da vitamina B12, importante na formação da coenzima cobalamina, indispensável ao processo de FBN por ser precursora da leghemoglobina. As sementes do feijoeiro, enriquecidas com Co, pode ser alternativa para suprir a demanda da planta por esse micronutriente. Os objetivos dos ensaios foram: a) avaliar os efeitos do uso do *Rhizobium tropici* em associação com Mo e nitrogênio (N) na Zona da Mata de Minas Gerais; b) verificar se o feijoeiro do tipo III com alto potencial produtivo é capaz de responder à inoculação das sementes com rizóbio; c) verificar a possibilidade de enriquecer as sementes do feijoeiro com Co e; d) se doses relativamente altas de Co reduzem a produtividade de grãos do feijão. Para avaliar os efeitos do uso do rizóbio em associação com adubo molíbdico e nitrogenado, foram conduzidos dois ensaios com a cultivar Madrepérola e dois com a cultivar Ouro Vermelho, em Coimbra, MG. Os tratamentos foram arrançados no esquema fatorial 2 x 2 x 2 x 2: inoculação (com ou sem), N em cobertura (0 ou 60 kg/ha), Mo foliar (0 ou 80 g/ha) e ambientes (abril/2013 ou fevereiro/2014). A parcela foi constituída por quatro linhas de 6 m, espaçadas de 0,5 m. As características avaliadas foram: clorofilômetro, massa de nódulos secos e produtividade de grãos. O ensaio de Co foi conduzido na safra de outono-inverno de 2014, em Oratórios, MG. Os feijoeiros foram pulverizados com as seguintes doses de Co, em g ha⁻¹: 0; 0,5; 1; 4; 8 ou 16. Foram avaliados os teores de Co, Mo, Fe, Zn e K nas folhas, coletadas no estágio R6 (plena floração), e nas sementes. Também foram avaliadas a produtividade e a massa de cem sementes. Na cultivar Madrepérola, na ausência de N em cobertura, a inoculação aumentou em 39% a massa de nódulos com a aplicação de Mo; sem aplicação de Mo, essa interação não foi significativa. Com aplicação de 60 kg/ha de N em cobertura, a massa de nódulos foi significativamente maior que as das parcelas inoculadas, independentemente da aplicação ou não de Mo. A adubação nitrogenada em cobertura aumentou

significativamente a produtividade em 4,5%. Em abril de 2013, não houve diferença significativa para produtividade de grãos das plantas inoculadas em relação às não inoculadas. No entanto, em fevereiro de 2014, a inoculação aumentou em 4,6% a produtividade. Para a cultivar Ouro Vermelho, na ausência de N em cobertura, a massa de nódulos das raízes foi 67% maior. Sem N em cobertura e sem Mo foliar, a massa de nódulos com a inoculação foi 22% maior, independentemente do ambiente. Com N em cobertura e com aplicação de Mo nas folhas, a inoculação aumentou a massa de nódulos em 24%. No entanto, com N em cobertura, mas sem aplicação de Mo, a diferença na massa dos nódulos, com e sem inoculação, não foi significativa. Independentemente dos níveis de Mo, a inoculação aumentou em 11% a produtividade na ausência da adubação em cobertura com N. Inferiu-se que a inoculação da semente de feijão do tipo III com *R. tropici* pode beneficiar feijão que aparentemente não apresenta sintomas de deficiência de N e apresentam alto potencial produtivo. As doses de Co aumentaram linearmente o conteúdo de Co nas sementes. Para cada acréscimo de 1 g na dose de Co aplicada, houve acréscimo de 0,004 μg de Co na semente. As doses crescentes de Co causaram resposta quadrática no conteúdo de Mo e de Fe nas sementes. A dose de 6,53 g ha^{-1} de Co elevou o conteúdo de Mo para 0,41 g ha^{-1} . No entanto, a dose de 11 g ha^{-1} de Co reduziu o conteúdo de Fe para 7,8 $\mu\text{g semente}^{-1}$. Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que o acúmulo de Co nas sementes de feijão aumenta com a aplicação de doses crescentes de Co de até 16 g ha^{-1} , sem efeito tóxico nos feijoeiros.

ABSTRACT

SANTOS, Marcos Gleidson Pereira dos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2016. **Bean inoculation with rhizobia and seed enriched with cobalt.** Adviser: José Eustáquio de Souza Carneiro. Co-advisers: Rogério Faria Vieira and Paulo Roberto Cecon.

The common bean can benefit of biological nitrogen fixation (BNF). Molybdenum (Mo) and cobalt (Co) are essential to the process of BNF. Mo is cofactor of two important enzymes to FBN, nitrogenase and nitrate reductase. The Co component of vitamin B12, important in the formation of coenzyme cobalamin, is essential for the BNF process to be precursor of leghaemoglobin. The bean seeds, enriched with Co, can be an alternative to supply the plant demand for this micronutrient. The objectives of the tests were: a) to evaluate the effects of using *Rhizobium tropici* in combination with Mo and nitrogen (N) in the Zona da Mata of Minas Gerais; b) verify that the bean type III with high productive potential is able to respond to the inoculation of seeds with rhizobia; c) verify the possibility to enrich the bean seeds and Co; d) Relatively high doses of Co reduces yield bean grains. To assess the effects of the use of rhizobia in association with molybdcic and nitrogen fertilizer were conducted two trials with cultivar Madrepérula and two with the cultivar Ouro Vermelho, in Coimbra, MG. The treatments were arranged in a factorial 2 x 2 x 2 x 2: inoculation (with or without), N topdressing (0 to 60 kg/ha), Mo leaf (0 or 80 g/ha) and environments (april/2013 or february/2014). The plot consisted of four rows of 6 m, spaced 0,5 m. The characteristics evaluated were: chlorophyll, nodule dry weight and grain yield. The Co test was conducted in the autumn-winter season of 2014 in Oratórios, MG. The bean plants were sprayed with the following doses of Co g ha⁻¹: 0; 0.5; 1; 4; 8 or 16. We evaluated the Co content, Mo, Fe, Zn and K in the leaves, collected in the R6 stage (full bloom), and seeds. Was evaluated the yield and the mass of seeds hundred. In Madrepérula, in the absence of N in the inoculation increased by 39% the mass of nodules with the application of Mo; without application of Mo, this interaction was not significant. With application of 60 kg/ha of nitrogen in the mass of nodules was significantly higher than the inoculated plots, regardless of whether or not to Mo. The nitrogen fertilization significantly increased yield by 4,5%. In april 2013, there was no significant difference in grain yield of plants inoculated with respect to non-inoculated. However, in february 2014, inoculation increased by 4,6% yield. To cultivate

Madrepérola, in the absence of N in the mass of root nodules was 67% higher. Without N and without Mo leaf, the dough lumps with the inoculation was 22% higher, regardless of the environment. With N in coverage and application of Mo in leaves, inoculation increased the mass of nodules in 24%. However, with N in but without the application of Mo, the difference in mass of the nodules, with and without inoculation was not significant. Regardless of Mo levels, inoculation increased by 11% yield in the absence of topdressing with N. inferred that the inoculation of the type III bean seed with *R. tropici* can benefit the crop of common bean apparently no symptoms of deficiency N and have a high productive potential. The Co doses increased linearly the Co content in the seeds. For each increase of 1 g in Co dose applied, there was an increase of 0,004 ug of Co in the seed. Increasing doses of Co caused quadratic response to the contents of Mo and Fe in seeds. A dose of 6,53 g ha⁻¹ Mo Co content increased to 0,41 g ha⁻¹. However, the dose of 11 g ha⁻¹ Fe Co content reduced to 7,8 ug seed⁻¹. It was concluded that the Co accumulation in bean seeds increases with the application of increasing doses of Co up to 16 g ha⁻¹ without toxic effect on bean plants.

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o maior produtor e consumidor de feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) do mundo com produtividade média de 1100 kg ha⁻¹ (CONAB, 2016). O feijão-comum é muito cultivado por pequenos, médios e grandes produtores em diferentes sistemas de produção e em praticamente todas as regiões brasileiras. Essa cultura tem grande importância socioeconômica por estar presente diariamente na dieta do brasileiro, e é fonte importante de proteína para as classes mais carentes da população.

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes que mais limita a produção do feijoeiro (Barbosa et al., 2010). É o elemento mais absorvido e exportado pela planta e o seu uso tem influência significativa na produtividade (Hungria e Vargas, 2000). Em virtude do alto custo dos fertilizantes nitrogenados, e das perdas desse nutriente no solo por lixiviação (Sangoi et al., 2003), volatilização e desnitrificação (Fageria e Baligar, 2005), que contribuem para a poluição ambiental, torna-se de grande interesse a busca de técnicas que possam maximizar a eficiência do uso do N pelas plantas.

O feijoeiro apresenta a capacidade de fixação biológica do nitrogênio (FBN) atmosférico por intermédio da sua associação com a bactéria do gênero *Rhizobium*, que converte o N₂ atmosférico em amônia, que é aproveitada pela planta. A FBN é capaz de suprir parte do N necessário para o desenvolvimento do feijoeiro, e reduz o uso de fertilizantes nitrogenados (Berton Junior et al., 2008; Valadão et al., 2009). Entretanto, para o pleno funcionamento dessa simbiose da planta com o *Rhizobium*, o solo deve ter boa fertilidade, sobretudo em relação a pH, fósforo, molibdênio (Mo) e cobalto (Co). Estes dois últimos elementos são importantes no crescimento da planta e da bactéria, como também na eficiência da simbiose (Marschner, 1995). Porém, a resposta do feijão comum à inoculação não é tão eficiente e a quantidade de N fixado é considerado relativamente baixo. Em média, o feijão-comum pode fixar 40 kg/ha de N atmosférico, enquanto a soja geralmente pode fixar até 136 kg ha⁻¹ de N atmosférico (Peoples et al., 2009).

O Mo é micronutriente indispensável ao metabolismo do N, pois esse é cofator de duas enzimas relacionadas a nutrição nitrogenada das plantas: nitrogenase e nitrato redutase. A nitrogenase é requerida para o processo de FBN, no qual o Mo é constituinte do complexo FeMo, que é cofator da redução do N₂ em amônia (NH₃), que é aproveitado pela planta (Mendel, 2011). A nitrato redutase atua na assimilação

do nitrato absorvido do solo pelo feijoeiro, responsável pela redução do nitrato (NO_3^-) a nitrito (NO_2^-) no citoplasma das células.

O Co também é essencial para a FBN. Ele é componente da vitamina B12, importante na formação da coenzima cobalamina, que é precursora da leghemoglobina (Somasegaran e Hoben, 1994; Mengel e Kirkby, 2001). A deficiência de Co inibe a síntese da leghemoglobina e, por consequência, a FBN (Mengel e Kirkby, 2001). A absorção do Co pela planta é feita por fluxo de massa, principalmente na forma de Co^{2+} , e a sua translocação na planta ocorre após formação de quelados com ácidos orgânicos (Malavolta et al., 1997). O Co é considerado um elemento móvel no floema, no entanto, quando aplicado via foliar, é pouco móvel (Marschner, 1995; Sfredo, 2004).

Na Zona da Mata de Minas Gerais, a aplicação foliar de Mo tem sido usada com sucesso no feijoeiro em solos com estirpes nativas de *Rhizobium*, ou seja, com a pulverização dos feijoeiros com Mo, pode-se dispensar a adubação nitrogenada de cobertura (Vieira et al., 1998a; Vieira et al., 2005; Araújo, et al., 2009). Dessa forma, a FBN e o aproveitamento do N absorvido do solo pelo feijoeiro são melhorados (Pessoa et al., 2001; Vieira et al., 1998a, 1998b). Foi verificado que a aplicação de Mo via foliar no feijoeiro aumentou em até 200 % a produtividade em comparação à produtividade obtida pelo feijoeiro sem a adubação nitrogenada de cobertura e sem a aplicação de Mo (Vieira et al., 1992; Pessoa et al., 2000). Contudo, faltam estudos que envolvam as interações entre a inoculação, aplicação de Mo e adubação nitrogenada.

Apenas em dois estudos, o Co foi testado em aplicações isoladas nos feijoeiros. Num deles, conduzido em campo, o tratamento de sementes com $0,25 \text{ g ha}^{-1}$ de Co dobrou a produtividade de grãos em Paula Cândido e não influenciou a produtividade em Viçosa (Jungueira Netto, et. al., 1977). No outro, conduzido em casa de vegetação, as doses de 0,2 e 0,4 g ha^{-1} de Co não influenciaram a produção de grãos em solos de Paula Cândido e Viçosa (Santos et al., 1979). Em alguns estudos, Co e Mo foram aplicados simultaneamente em tratamento de sementes de feijão, o que impede isolar o efeito do Co (Corrêa et al., 1990; Lana et al., 2008; Almeida et al., 2014). Dessa forma, faltam estudos que isolem o efeito do Co e demonstrem a possibilidade de se enriquecer as sementes de feijoeiro com esse nutriente.

Em razão da quantidade de Co necessária para o processo de FBN, a semente do feijoeiro poderia suprir essa demanda pela aplicação de Co nas plantas das quais foram colhidas. Com Mo, cuja demanda da planta e do rizóbio é bem superior à do Co,

estudos mostram que é possível fornecê-lo via semente enriquecida (Vieira et al., 2005; Vieira et al., 2011a; Vieira et al., 2011b).

O objetivo foi verificar: 1) os efeitos do uso do inoculante em associação com adubo molíbdico no feijoeiro; 2) a possibilidade de enriquecer as sementes com Co e, 3) se altas doses de Co reduzem a produtividade de grãos.

CAPÍTULO 1

INOCULAÇÃO DO FEIJOEIRO COM *Rhizobium tropici* ASSOCIADA A ADUBAÇÃO MOLÍBDICA E NITROGENADA

RESUMO

O feijoeiro pode se beneficiar da fixação biológica do nitrogênio (FBN). Contudo, não há estudos que avaliem a associação entre a inoculação com *Rhizobium tropici* e as adubações molíbdica e nitrogenada, na Zona da Mata de MG. O objetivo foi verificar os efeitos do uso do *R. tropici*, em associação com molibdênio (Mo) e nitrogênio (N), em feijoeiros do tipo III. Os tratamentos foram arranjos no esquema fatorial 2 x 2 x 2 x 2: inoculação (com ou sem), N (0 ou 60 kg/ha), Mo (0 ou 60 g/ha) e ambientes (abril/2013 ou fevereiro/2014). Em Coimbra, MG, foram conduzidos ensaios nos dois ambientes com a cultivar Madrepérola e ensaios nesses ambientes com a cultivar Ouro Vermelho. Em abril de 2014, quando não se aplicou N em cobertura na cultivar Madrepérola, a inoculação aumentou em 39% a massa de nódulos quando se aplicou Mo; sem aplicação de Mo, essa interação não foi significativa. Com aplicação de 60 kg/ha de N em cobertura, a massa de nódulos foi significativamente maior que a verificada nas parcelas inoculadas. A adubação nitrogenada em cobertura aumentou significativamente a produtividade em 4,5%. Em abril de 2013 a inoculação com rizóbio não incrementou significativamente a produtividade das plantas. No entanto, em fevereiro de 2014, a inoculação aumentou em 4,6% a produtividade ($p = 0,009$). Na cultivar Ouro Vermelho, a massa de nódulos das raízes foi 67% maior quando não se usou N em cobertura em relação ao uso de N. Sem N em cobertura e sem Mo foliar,

a massa de nódulos com a inoculação foi 22% maior, independentemente do ambiente. Com N em cobertura e com aplicação de Mo nas folhas, a inoculação aumentou a massa de nódulos em 24%. No entanto, com N em cobertura, mas sem aplicação de Mo, a diferença na massa dos nódulos com e sem inoculação não foi significativa. Independentemente dos níveis de Mo, a inoculação aumentou em 11% a produtividade na ausência da adubação em cobertura com N. Conclui-se que a inoculação de sementes de feijão do tipo III com *R. tropici* pode beneficiar feijão de alto potencial produtivo e que não apresenta sintomas de deficiência de N, sobretudo quando não se faz adubação nitrogenada em cobertura.

Palavras-chave: Fixação biológica do nitrogênio. Molibdênio. Nutrição. Capacidade de nodulação. *Phaseolus vulgaris* L.

ABSTRACT

The common bean can benefit of biological nitrogen fixation (BNF). However, there are no studies evaluating the association between inoculation with *Rhizobium tropici* and molybdenum and nitrogen fertilizers, in Zona of Mata, Minas Gerais, Brazil. The aim was to evaluate the effects of using *R. tropici* in association with molybdenum (Mo) and nitrogen (N), in type III bean plants. The treatments were arranged in a factorial 2 x 2 x 2 x 2: inoculation (with or without), N (0 to 60 kg/ha), Mo (0 or 60 g/ha) and environments (april/2013 and february/2014). In Coimbra, MG, were conducted trials in both environments to cultivate Madrepérola and testing in these environments with the cultivar Ouro Vermelho. In april 2014, when no N was applied to cover the cultivar Madrepérola, inoculation increased by 39% the mass of nodules

when applied Mo; without application of Mo, this interaction was not significant. With application of 60 kg/ha of nitrogen in the mass of nodules was significantly higher than that observed in the inoculated portions. The nitrogen fertilization significantly increased yield by 4,5%. In april/2013 the inoculation with rhizobia not significantly increased the yield of plants. However, in february/2014, inoculation increased by 4,6% yield ($p = 0.009$). In Ouro Vermelho, the mass of root nodules was 67% higher when not used N coverage regarding the use of N. No N coverage and without foliar Mo, the mass of nodules with inoculation was 22% higher, regardless of the environment. With N in coverage and application of Mo in leaves, inoculation increased the mass of nodules in 24%. However, with nitrogen in but without the application of Mo, the difference in mass of nodes with and without inoculation was not significant. Regardless of Mo levels, inoculation increased by 11% yield in the absence of topdressing with N. Concluded that, seed inoculation with *R. tropici* in common bean type III can benefit of the crop of common bean that high yield potential and not presents N deficiency symptoms, especially when do not do nitrogen topdressing.

Keywords: Biological nitrogen fixation. Molybdenum. Common bean nutrition. Ability of nodulation. *Phaseolus vulgaris* L.

1. INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes que mais limita a produção do feijoeiro (Barbosa et al., 2010). É o elemento mais absorvido e exportado pela planta e o seu uso tem influência significativa na produtividade (Hungria e Vargas, 2000). Em virtude do alto custo dos fertilizantes nitrogenados, e das perdas desse nutriente no solo por lixiviação (Sangoi et al., 2003), volatilização e desnitrificação (Fageria e Baligar, 2005), que contribui para a poluição ambiental, é importante maximizar sua eficiência de absorção pelas plantas.

O feijoeiro se beneficia da associação simbiótica com *Rhizobium*. Essas bactérias, uma vez em contato com as raízes do feijoeiro, induzem a formação de nódulos, os quais são bacterióides responsáveis pela fixação biológica do N (FBN) (Taiz e Zeiger, 2009). No entanto, a FBN mais eficiente no feijoeiro, associada com melhor uso do N mineralizado da matéria orgânica do solo pode reduzir o uso da adubação nitrogenada no feijoeiro. Porém, quantidade de N fixado pelo feijoeiro é considerada relativamente baixa. Em média, o feijão-comum pode fixar 40 kg/ha de N atmosférico, enquanto a soja geralmente pode fixar até 136 kg/ha de N atmosférico (Peoples et al., 2009). Entretanto, diferentemente da soja, a adubação nitrogenada é recomendada para o feijoeiro. Em Minas Gerais, a recomendação é de 40 kg/ha de N na semeadura + 60 kg/ha de N em cobertura quando o objetivo é atingir 2500 kg/ha ou mais; molibdênio (Mo) via foliar (60 g/ha) também é recomendado (Barbosa e Gonzaga, 2012). Geralmente, a adubação nitrogenada aumenta a produtividade do feijão-comum, mas a FBN é prejudicada pela alta concentração de N nos solos (Vitousek et al., 2013). Portanto, alta concentração de nitrato no solo atrasa tanto a

formação dos nódulos radiculares quanto o início do processo de FBN (Peoples et al., 2009).

O molibdênio (Mo) é um micronutriente indispensável ao metabolismo do N, pois esse elemento é co-fator de duas enzimas relacionadas a nutrição nitrogenada das plantas: nitrogenase e nitrato redutase. A nitrogenase é requerida para o processo de FBN, no qual o Mo é constituinte do complexo FeMo, que é cofator da redução do N₂ em amônia (NH₃), possibilitando a assimilação pela planta (Mendel, 2011). A nitrato redutase atua na assimilação do nitrato absorvido do solo pelo feijoeiro, responsável pela redução do nitrato (NO³⁻) absorvido pelo sistema radicular a nitrito (NO²⁻) no citoplasma das células.

Na Zona da Mata de Minas Gerais, a aplicação foliar de Mo tem sido usada com sucesso no feijoeiro em solos com estirpes nativas de *Rhizobium*, (Vieira et al., 1998a; Vieira et al., 2005; Araújo, et al., 2009). Dessa forma, a FBN e o aproveitamento do N absorvido do solo pelo feijoeiro são melhorados (Pessoa et al., 2001; Vieira et al., 1998a, 1998b). A produtividade obtida pelo feijoeiro fertilizado com N (20-25 kg/ha), K, e P na semeadura, mais a aplicação foliar de Mo, pode ser 200% maior em comparação com a produtividade obtida por plantas sem a adubação nitrogenada de cobertura e sem a aplicação de Mo (Vieira et al., 1992; Pessoa et al., 2000). Contudo, não há estudos que tenham testado o *R. tropici* em associação com a aplicação de Mo e de N na Zona da Mata de Minas Gerais.

O objetivo foi verificar os efeitos do uso de *R. tropici* em associação com adubo molíbdico e/ou nitrogenado na nodulação e na produtividade do feijoeiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram conduzidos em Coimbra (720 m de altitude; 20°49'45"S, 42°45'47" W) na região da Zona da Mata, Minas Gerais. Os ensaios foram instalados em abril de 2013 e fevereiro de 2014. Cada data de instalação em Coimbra foi considerada um ambiente. Foi conduzido um ensaio com a cultivar Madrepérola e outro com o Ouro Vermelho em cada ambiente. Ambas as cultivares são recomendadas para uso em Minas Gerais e são de hábito de crescimento indeterminado (tipo III).

Os solos dessas duas áreas são classificados como Argissolo Vermelho-Amarelo (Embrapa, 2006) com uma inclinação de 1 a 3%. Antes da semeadura, as propriedades físicas e químicas do solo foram analisadas a uma profundidade de 0-20 cm (Tabela 1): 560 g kg⁻¹ de argila, 190 g kg⁻¹ de silte e 250 g kg⁻¹ de areia. Aproximadamente três semanas antes da semeadura foi aplicado glifosato, na dose de 2 L ha⁻¹, sobre as plantas daninhas presentes na área. Entre dois e cinco dias antes da semeadura, preparou-se o solo com arado e grade niveladora.

Tabela 1. Características do solo nas camadas de 0-20 cm nas datas de instalação dos ensaios.

Propriedade dos solos ⁽¹⁾	Abril/2013	Fevereiro/2014
pH (H ₂ O) (1:2,5)	5,2	5,0
P, mg dm ⁻³	16,0	19,0
K, mg dm ⁻³	117,0	118,0
Al, cmolc dm ⁻³	0,0	0,0
Ca, cmolc dm ⁻³	1,8	1,8
Mg, cmolc dm ⁻³	0,6	1,0
Saturação de bases, %	40,0	36,0
H + Al, cmolc dm ⁻³	4,1	5,5
CTC (T), cmolc dm ⁻³	6,8	8,6
Matéria orgânica, dag kg ⁻¹	2,2	3,6

⁽¹⁾ P e K- Extrator extraídos por solução de Mehlich 1. Al, Mg e Ca extraídos por KCl 1 mol/L. Saturação de bases = [(K + Ca + Mg)/T] x 100, em que T = K + Ca + Mg + (H+Al); H+Al extraídos por solução de acetato de cálcio 0,5 mol/L, pH 7.0.

Os tratamentos foram arranjados no esquema fatorial 2 x 2 x 2 x 2: inoculação (com ou sem), N (0 ou 60 kg ha⁻¹), Mo (0 ou 60 g ha⁻¹) e ambiente (abril de 2013 ou fevereiro de 2014). Na inoculação, foi usado o inoculante turfoso de *R. tropici* com a estirpe SEMIA 4080. Esse inoculante, comercializado com o nome Totalnitro, é produzido pela Total Biotecnologia (Curitiba, PR). A inoculação foi realizada três horas antes da semeadura para preservar a viabilidade do inoculante (aproximadamente 3 x 10⁶ células bacterianas/ grama de turfa). Foi usada a proporção de 5 g do inoculante por kg de semente. Antes da mistura, a semente foi encoberta com uma solução açucarada (10% de açúcar cristal) para melhorar a aderência da turfa ao tegumento. A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada entre os 20 a 25 DAE (dias após a emergência, estágio V4, terceira folha trifoliolada). A fonte de N foi uréia (40% N), distribuída 10 cm ao lado na linha de semeadura. O molibdato de sódio (39% de Mo) foi aplicado via foliar no estágio V4 dos feijoeiros. Durante a aplicação da solução de Mo, uma lona plástica foi estendida entre as parcelas vizinhas às tratadas, para evitar deriva da solução de Mo.

O delineamento foi em blocos casualizados, com quatro repetições. A parcela experimental foi constituída por quatro linhas de 6 m, espaçadas de 0,5 m. A área útil, consistiu das duas fileiras centrais, descontados 1 m de uma das fileiras de onde foram retiradas plantas para a avaliação da nodulação. Portanto, a área útil foi de 5,5 m².

Com base nos resultados das análises dos solos foram usados, na adubação de plantio, 250 kg ha⁻¹ do formulado 8-28-16 (N-P₂O₅-K₂O), ou seja, 20 kg ha⁻¹ de N, 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 40 kg ha⁻¹ de K₂O. No estágio V4 foi realizado o controle de plantas daninhas com uma mistura comercial de fomesafen (0,25 kg ha⁻¹) e fluazifop-p-butil (0,20 kg ha⁻¹). O controle de pragas, principalmente o da cigarrinha-verde (*Empoasca kraemeri*) e da vaquinha (*Diabrotica speciosa*), foi realizado com deltametrina (Decis 50 SC), na dose de 0,08 kg ha⁻¹, ou com metamidofós (Tamaron SL), na dose de 0,4 kg ha⁻¹. Em V4 e R6 (floração), as plantas foram pulverizadas com o fungicida azoxistrobina (Amistar 500 WG) na dose de 0,08 kg ha⁻¹, para o controle da antracnose, causada por *Colletotrichum lindemuthianum*, e da mancha-angular, causada por *Pseudocercospora griseola*. Em R6, foi aplicado o fungicida fluazinam (Fronwicide 500 SC), na dose de 1 L ha⁻¹, para o controle do mofo-branco, causado por *Sclerotinia sclerotiorum*. Os ensaios foram irrigados semanalmente por aspersão convencional.

Foram avaliadas leituras com o clorofilômetro, massa de nódulos secos e produtividade. As leituras com o clorofilômetro (Minolta SPAD-502) foram realizadas no estágio R6. Em cada parcela, foram feitas leituras em 10 plantas. Em cada planta, a leitura foi realizada em cada folíolo de folha trifoliolada jovem e expandida entre 9 e 10 horas da manhã. Portanto, em cada parcela anotou-se a média da leitura de 30 folíolos.

Na cultivar Madrepérola, a massa de nódulos secos foi avaliada num ensaio (fevereiro/2014), enquanto na cultivar Ouro Vermelho essa variável foi avaliada em ambos os ensaios. Para obter a massa de nódulos secos, foram coletadas, na fase de florescimento (R6), cinco plantas de 1 m de uma das linhas da área útil. As raízes das plantas foram retiradas do solo com o auxílio de enxadão. Com esta ferramenta, o solo foi escavado até 25 cm de profundidade e a 30 cm de diâmetro a partir do caule. As raízes com o solo aderido foram acondicionadas em saco plástico. No laboratório, as raízes foram colocadas em peneiras de 20 mesh e lavadas com água corrente e detergente neutro. Os nódulos limpos foram destacados das raízes e levados à estufa com circulação de ar a 65° c até massa constante.

Após a colheita, a trilha e o beneficiamento dos grãos, a produtividade foi determinada pela pesagem dos grãos produzidos pelas plantas colhidas em 5,5 m². A produtividade foi corrigida para 13% de água nos grãos.

Para cada cultivar, os dados foram submetidos à análise de variância individual e conjunta. Interações de maior grau com $p \leq 0,05$ foram desdobradas. Quando a interação foi significativa ($p \leq 0,05$), o teste F foi usado para comparar os níveis dos fatores. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SISVAR.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As leituras do clorofilômetro no tratamento controle (sem inoculação e sem adubação com N e Mo) variaram de 39,1 a 42,3 (dados não apresentados). Esses resultados indicam que os solos das áreas empregadas tinham N suficiente para nutrir os feijoeiros. A massa dos nódulos foi maior na cultivar Madrepérola que na Ouro

Vermelho. Em ambas as cultivares, as produtividades foram mais altas em fevereiro de 2014 (>4500 kg/ha) que em abril de 2013 (>2900 kg/ha) (Tabela 2 e 3). Não se encontrou na literatura estudo que avaliasse o efeito da inoculação em feijão com produtividade acima de 4000 kg/ha.

Tabela 2. Médias de leituras do clorofilômetro, massa de nódulos secos, produtividade de grãos e valores de P em função de inoculação, adubação com molibdênio, adubação com nitrogênio e ambiente com a cultivar Madrepérola.

Fator	Leitura com clorofilômetro ⁽¹⁾	Massa de nódulos seco ⁽¹⁾ (g)s	Produtividade (kg/ha)
Ambiente (A)			
abril/2013	39,1	-	2992
fevereiro/2014	42,5	23,0	4542
Inoculação (I)			
Sem	40,7	24,0	3735
Com	40,8	22,0	3799
Nitrogênio (N)			
0	40,6	28,0	3681
60	40,9	18,0	3853
Molibdênio (Mo)			
0	40,6	22,5	3732
80	41,0	23,5	3802
Fontes de variação	Valor de P ⁽²⁾		
A	<0,001	-	<0,001
I	0,810	0,096	0,261
N	0,633	<0,001	0,004
Mo	0,446	0,455	0,214
A x I	0,507	-	0,010
A x N	0,847	-	0,209
A x Mo	0,887	-	0,555
I x N	0,886	<0,001	0,156
I x Mo	0,297	0,009	0,185
N x Mo	0,886	0,865	0,477
A x I x N	0,308	-	0,060
A x I x Mo	0,351	-	0,210
A x N x Mo	0,886	-	0,797
I x N X Mo	0,125	0,016	0,827
A x I x N x Mo	0,194	-	0,494
Média	40,76	22,84	3767
CV (%)	4,91	18,92	5,93

⁽¹⁾Avaliado em plena floração (R6).

⁽²⁾ Em negrito, valor de P ≤ 0,05 a ser desdobrado.

Tabela 3. Médias de leituras do clorofilômetro, massa de nódulos secos, produtividade de grãos e valores de P em função de inoculação, adubação com molibdênio, adubação com nitrogênio e ambiente com a cultivar Ouro Vermelho.

Fator	Leitura com clorofilômetro ⁽¹⁾	Massa de nódulos secos ⁽¹⁾ (g)	Produtividade (kg/ha)
Ambiente (A)			
abril/2013	39,7	-	2923
fevereiro/2014	42,4	20,2	4614
Inoculação (I)			
Sem	40,7	18,7	3690
Com	41,4	21,6	3847
Nitrogênio (N)			
0	41,3	25,2	3636
60	40,9	15,1	3901
Molibdênio (Mo)			
0	41,1	18,7	3794
80	41,1	21,6	3742
Fontes de variação	Valor de P ⁽²⁾		
A	<0,001	-	<0,001
I	0,111	0,005	0,034
N	0,402	<0,001	0,001
Mo	0,947	0,006	0,468
A x I	0,687	-	0,352
A x N	0,443	-	0,207
A x Mo	0,809	-	0,060
I x N	0,105	0,705	0,030
I x Mo	0,913	0,685	0,512
N x Mo	0,114	0,034	0,874
A x I x N	0,832	-	0,937
A x I x Mo	0,291	-	0,280
A x N x Mo	0,402	-	0,773
I x N X Mo	0,645	0,034	0,338
A x I x N x Mo	0,385	-	0,799
Média	41,06	20,15	3768
CV (%)	4,13	12,80	7,62

⁽¹⁾Avaliado em plena floração (R6).

⁽²⁾Em negrito, valor de $P \leq 0,05$ que será desdobrado.

3.1. Cultivar Madrepérola

Houve interação significativa entre inoculação, nitrogênio e molibdênio na massa de nódulos secos. A produtividade foi 52% mais alta em fevereiro de 2014 que em abril de 2013. O efeito do N sobre a produtividade foi significativa, e houve interação significativa entre ambiente e inoculação na produtividade (Tabela 2).

Na média dos dois ambientes, e quando não se usou N em cobertura, a inoculação aumentou em 39% a massa de nódulos quando se aplicou Mo; sem aplicação de Mo, a diferença entre a massa de nódulos das parcelas inoculadas e a das não inoculadas não foi significativa (Figura 1). Com a aplicação de 60 kg/ha de N em cobertura, as plantas das parcelas não inoculadas apresentaram massa de nódulos significativamente maior que a das parcelas inoculadas. Esse aumento foi de 44% na ausência de aplicação de Mo e 48% quando se aplicou 80 g/ha de Mo.

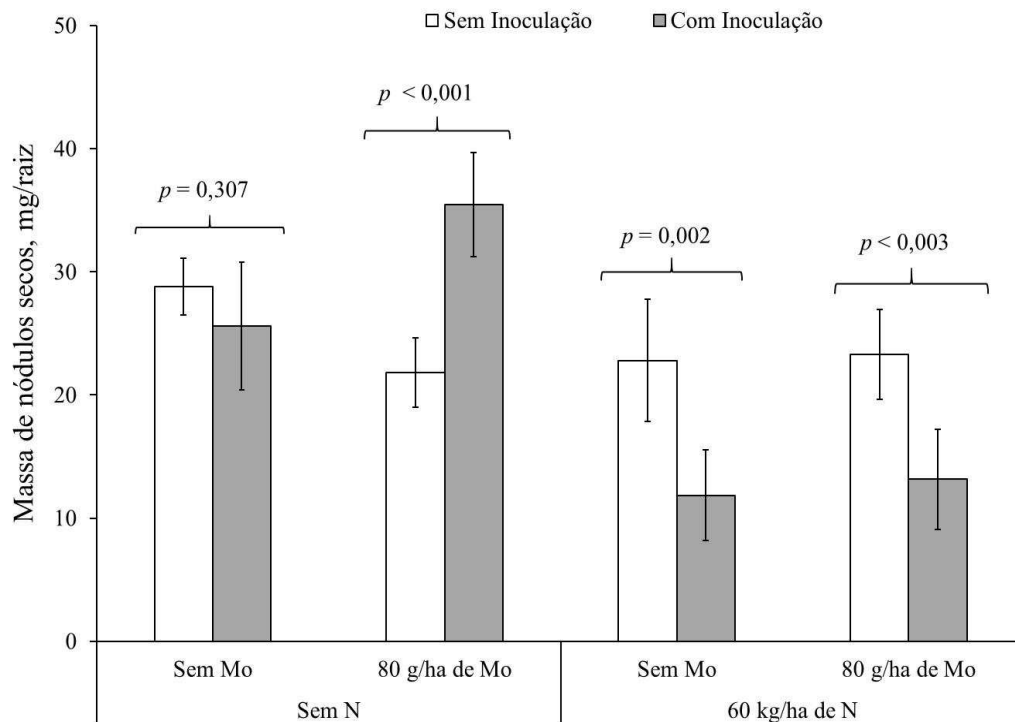


Figura 1. Massa de nódulos secos por raiz em função da inoculação das sementes com *Rhizobium tropici* (com ou sem), aplicação foliar de Mo (0 ou 80 g/ha), adubação nitrogenada de cobertura (0 ou 60 kg/ha) na cultivar Madrepérola. As médias envolvem os dois ambientes. Média $\pm$ desvio padrão, $n = 8$.

Na média dos dois ambientes, a adubação nitrogenada em cobertura aumentou significativamente a produtividade em 4,5% (dados não apresentados). Apesar de significativo, esse aumento de produtividade da cultivar Madrepérola com a aplicação do N em cobertura foi pequeno. A aplicação de 60 kg/ha de N em cobertura não aumentou mais a produtividade em razão de as plantas apresentarem-se bem nutridas em N, conforme indicou a leitura do clorofilômetro. O clorofilômetro é eficiente para indicar a necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro (Silveira et al., 2003).

Em abril de 2013, quando a leitura média do clorofilômetro foi de 39,1 (Tabela 2), não houve diferença significativa entre as médias de produtividade das plantas inoculadas e as das plantas não inoculadas, independentemente dos fatores N e Mo (Figura 2). No entanto, em fevereiro de 2014, quando a leitura média do

clorofilômetro foi 42,5 (Tabela 2), as plantas nas parcelas plantadas com sementes inoculadas renderam 4,6% mais ($p = 0,009$) que as plantas nas parcelas provenientes de sementes não inoculadas. Esse aumento de 214 kg/ha na produtividade com o uso do inoculante sugere que essa tecnologia, de baixo custo, pode trazer benefícios para o agricultor mesmo em feijão bem nutrido em N, sobretudo no de alta produtividade. Como 1000 kg de grãos de feijão exportam 33 kg de N (Adelson et al., 2013), um feijão que produza 4000 kg/ha de grãos tem uma demanda de no mínimo 132 kg/ha de N. Quando há essa alta demanda por N, mesmo em solo sem deficiência de N, a inoculação parece beneficiar o feijão, direta (fornecendo N) ou indiretamente. Como a massa média dos nódulos das plantas inoculadas e não inoculadas foram semelhantes (Tabela 2), infere-se que a estirpe SEMIA 4080 em associação com as estirpes nativas do solo pode beneficiar mais o feijão que as estirpes nativas isoladamente.

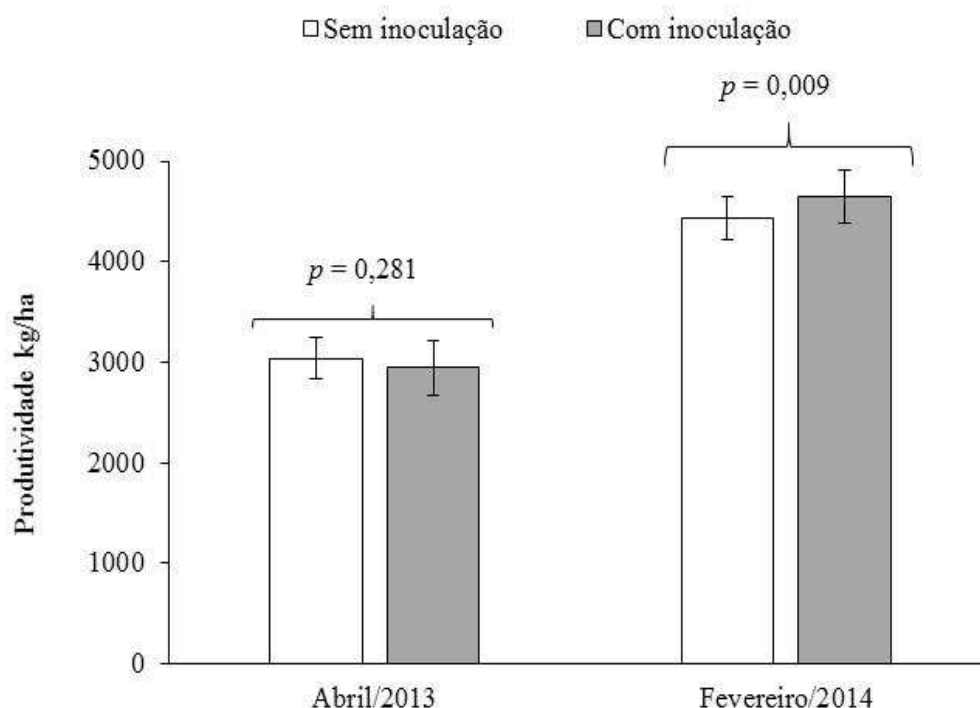


Figura 2. Produtividade de grãos da cultivar Madrepérola em função de ambiente (abril/2013 ou fevereiro/2014) e inoculação. As médias envolvem os fatores nitrogênio e molibdênio. Média $\pm$ desvio padrão, n = 16.

3.2. Cultivar Ouro Vermelho

Houve interação significativa entre inoculação, nitrogênio e molibdênio em relação à massa de nódulos secos (Tabela 3). A produtividade foi 58% mais alta em fevereiro de 2014 em relação a abril de 2013. Também houve interação significativa entre inoculação e nitrogênio em relação à produtividade. Esse resultado é diferente do obtido com a cultivar Madrepérola, em que essa interação não foi significativa, mas, com a cultivar Madrepérola, a interação entre ambiente e inoculação foi significativa.

Em fevereiro de 2014, a massa de nódulos das raízes foi 67% maior quando não se usou N em cobertura em relação ao uso de 60 kg/ha de N em cobertura (Tabela 3). Esse efeito negativo da adubação nitrogenada em cobertura sobre a produção de nódulos foi verificada em outros estudos (Valadão et al., 2009; Vieira et al., 1998b;

Vieira et al., 1998c; Tsai et al., 1993). Sem N em cobertura e sem Mo foliar, a massa de nódulos das plantas cujas sementes foram inoculadas com *R. tropici* foi 22% maior que a das plantas provenientes de sementes não inoculadas (Figura 3). Essa diferença não foi significativa quando se aplicou Mo nas plantas. Com N em cobertura e com aplicação de Mo nas folhas, a inoculação aumentou a massa de nódulos das raízes em 24% em relação aos nódulos produzidos nas raízes das plantas provenientes de sementes não inoculadas. No entanto, com N em cobertura, mas sem aplicação de Mo nas folhas, a diferença na massa dos nódulos entre plantas provenientes de sementes inoculadas e não inoculadas não foi significativa.

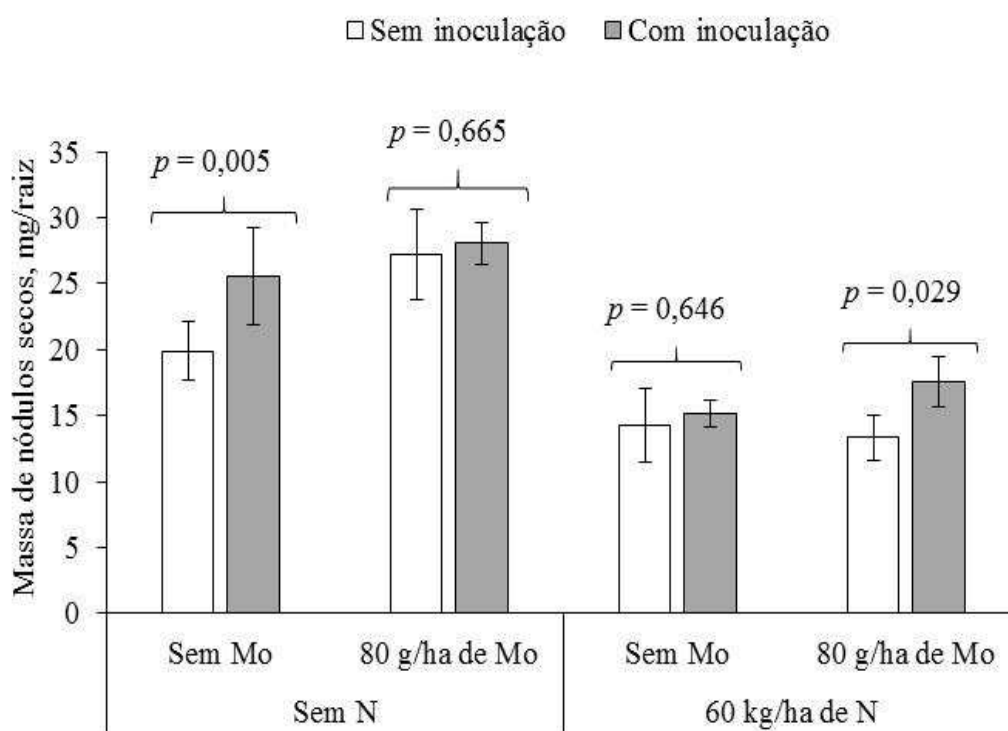


Figura 3. Massa de nódulos secos por raiz da cultivar Ouro Vermelho em função de inoculação das sementes com *Rhizobium tropici* (com ou sem), aplicação foliar de Mo (0 ou 80 g ha⁻¹) e adubação nitrogenada de cobertura (0 ou 60 kg ha⁻¹) em fevereiro/2014. Média ± desvio-padrão, n = 4.

Os efeitos da inoculação, do nitrogênio e do molibdênio (interação tríplice) sobre a massa de nódulos não refletiram fielmente na produtividade, pois, independentemente dos níveis de Mo, a inoculação aumentou em 11% a produtividade na ausência da adubação com N em cobertura (Figura 4).

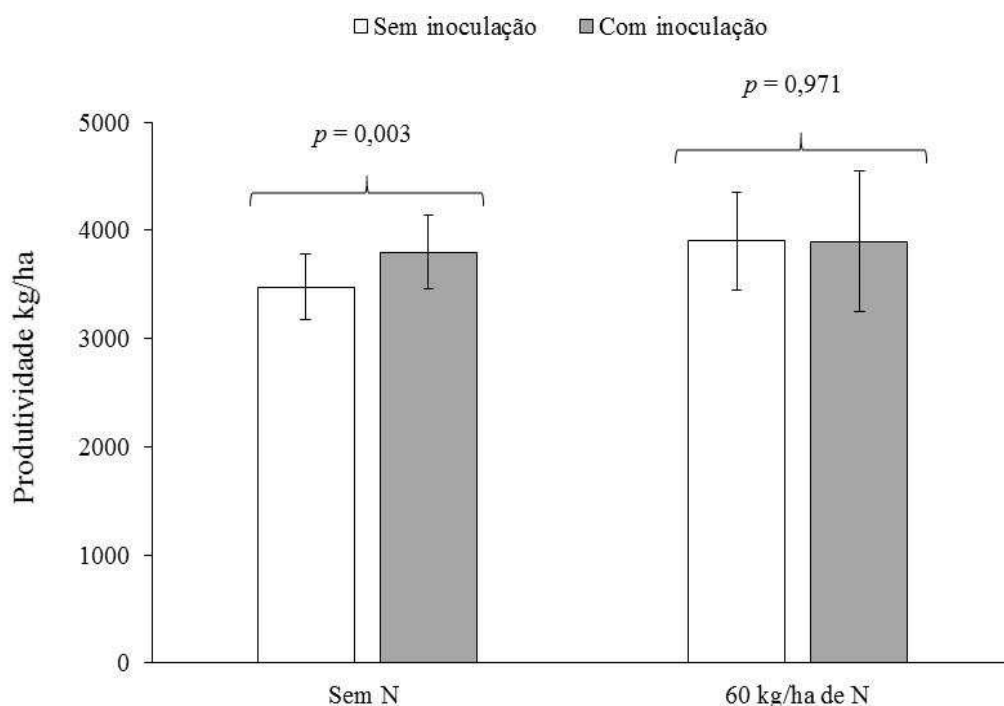


Figura 4. Produtividade de grãos da cultivar Ouro Vermelho em função da adubação nitrogenada em cobertura (0 ou 60 kg ha⁻¹) e da inoculação das sementes com *Rhizobium tropici* (com ou sem). As médias envolvem os fatores ambiente e Mo. Média $\pm$ desvio-padrão, n=16.

Com base nos resultados obtidos com as duas cultivares, pode-se inferir que a inoculação das sementes do feijão com o *R. tropici* SEMIA 4080 pode aumentar a produtividade de lavouras de alta produtividade, sobretudo quando não se usa N em cobertura. Segundo Vieira et al. (2015), as estirpes nativas do solo são eficientes na fixação biológica do N, se o Mo for adequadamente suprido. Os resultados do presente estudo sugerem que a estirpe SEMIA 4080 de *R. tropici* pode ser mais eficiente que as estirpes nativas dos solos da Zona da Mata, independentemente do uso ou não do

Mo. Essa estirpe de *R. tropici* trouxe benefício adicional aos feijoeiros bem nutridos em N e chegou a elevar a produtividade da cultivar Ouro Vermelho em 11% quando não se usou N em cobertura.

4. CONCLUSÕES

A inoculação de sementes de feijão do tipo III com *R. tropici* pode aumentar a produtividade de feijão que aparenta alta capacidade produtiva e ausência de sintomas de deficiência de N, sobretudo quando não se faz adubação nitrogenada em cobertura.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, P.R.A.; ARAÚJO, G.A.A.; ROCHA, P.R.R.; CARNEIRO, J.E.S. Combinações de doses de molibdênio e nitrogênio na adubação da cultura do feijoeiro-comum. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31 p. 227-234, 2009.
- BARBOSA, G.F.; Arf, O.; Nascimento, M.S.; Buzetti, S. Freddi, O.S.; Nitrogênio em cobertura e molibdênio foliar no feijoeiro de inverno. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 01, p. 117-123, 2010.
- BARBOSA, F.R. e GONZAGA, A.C.O., eds. Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2012. 247p. (Série Documentos, 272)
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, v. 88, n. 05, p. 97-185, 2005.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. **Field Crops Research**, v.25 p, 151-164. 2000.

JUNQUEIRA NETTO, A.; SANTOS, O.S.; AIDAR, H.; VIERA, C. Ensaios preliminares sobre a aplicação de molibdênio e de cobalto na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, v. 24, p. 628-633, 1977.

MENDEL, R.R. Cell biology of molybdenum in plants. **Plant Cell Reports**, v. 30, p. 1787-1797, 2011.

PEOPLES, M.B., J. BROCKWELL, D.F. HERRIDGE, I.J. ROCHESTER, B.J.R. ALVES, S. URQUIAGA, R.M. BODDEY, F.D. DAKORA, S. BHATTARAI, S.L. MASKEY, C. SAMPET, B. RERKASEM, D.F. KHAN, H. HAUGGAARD-NIELSEN, e E.S. JENSEN. The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. **Symbiosis**, v. 48, p, 1–17, 2009.

PEREZ, A.A.G.; SORATTO, R.P.; MANZATTO, N.P.; SOUZA, E.F.C. Extração e exportação de nutrientes pelo feijoeiro adubado com nitrogênio, em diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, V. 37, p. 1276-1287, 2013.

PESSOA, A. C. S.; RIBEIRO, A. C.; CHAGAS, J. M. e CASSINI, S. T. A.. Concentração foliar de molibdênio e exportação de nutrientes pelo feijoeiro "Ouro Negro" em resposta à adubação foliar com molibdênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.1, p. 75-84, 2000.

PESSOA, A.C.S.; RIBEIRO, A.C.; CHAGAS, J.M.; CASSINI, S.T.A. Atividades de nitrogenase e redutase de nitrato e produtividade do feijoeiro "Ouro Negro" em resposta à adubação foliar com molibdênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 217-224, 2001.

- SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. **Ciência Rural**, v. 33, n. 01, p. 65-70, 2003.
- SILVEIRA, P.M.; BRAZ, A.J.B.P.; DIDONET, A.D. Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1083-1087, 2003.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 848 p. 2009.
- TSAI, S.M.; BONETTI, R.; AGBALA, S.M.; ROSSETTO, R. Minimizing the effect of mineral nitrogen on biological nitrogen fixation in common bean by increasing nutriente levels. **Plant Soil**, v. 152, p. 131-138, 1993.
- VALADÃO, F.C.A.; JAKELAITIS, A.; CONUS, L.A.; BORCHARTT, L. OLIVEIRA, A.A.; VALADÃO Jr, D.D. Inoculação das sementes e adubações nitrogenadas e molíbdica do feijoeiro-comum, em Rolim de Moura, RO. **Acta Amazônica**, v.39, p. 741-748. 2009.
- VIEIRA, R.F.; SALGADO, L.T.; FERREIRA, A.C.B. Performance of common bean using seeds harvested from plants fertilized with high rates of molybdenum. **Journal of Plant Nutrition**, v. 28, p. 393-377, 2005.
- VIEIRA, R.F.; CARDOSO, E.J.B.N.; VIEIRA, C.; CASSINI, S.T.A. Foliar application of molybdenum in common beans. I. Nitrogenase and reductase activities in a soil of high fertility. **Journal of Plant Nutrition**, v. 21, p. 169-180, 1998a.
- VIEIRA, R.F.; CARDOSO, E.J.B.N.; VIEIRA, C.; CASSINI, S.T.A. Foliar application of molybdenum in common beans. II. Nitrogenase and reductase activities in a soil of low fertility. **Journal of Plant Nutrition**, v. 21, p. 2141-2151, 1998b.

VIEIRA, R.F.; CARDOSO, E.J.B.N.; VIEIRA, C.; CASSINI, S.T.A. Foliar application of molybdenum in common beans. III. Effect on nodulation. **Journal of Plant Nutrition**, v. 21, p. 2153-2161, 1998c.

VIEIRA, R.F.; LIMA, M.S.; NEVES, J.C.L.; ANDRADE, M.J.B.. **Adubação**. In.: CARNEIRO, J.E.S.; PAULA JUNIOR, T.J.; BORÉM, A. (ed.). Viçosa. Editora UFV, 384p., 2015.

VITOUSEK, P.M.; MENGE, D.N.L.; REED, S.C.; CLEVELAND, C.C.. Biological nitrogen fixation: rates, patterns and ecological controls in terrestrial ecosystems. **Philosophical Transactions**, v. 368, 2013.

CAPÍTULO 2

EFEITO DA APLICAÇÃO DE DOSES DE COBALTO NO CONTEÚDO DESSE ELEMENTO NAS SEMENTES DO FEIJOEIRO

RESUMO

O cobalto (Co) é essencial para a fixação biológica do nitrogênio (FBN). Ele é componente da vitamina B12, importante na formação da coenzima cobalamina, que é indispensável ao processo de fixação biológica do nitrogênio por ser precursora da leghemoglobina. Os objetivos desse estudo foram verificar a possibilidade de enriquecer as sementes do feijoeiro com Co e verificar se altas doses desse micronutriente podem reduzir a produtividade de grãos. Para tanto, foi conduzido ensaio na Zona da Mata de Minas Gerais, na safra de outono-inverno de 2014. Os feijoeiros foram pulverizados com 0 g ha⁻¹, 0,5 g ha⁻¹, 1 g ha⁻¹, 4 g ha⁻¹, 8 g ha⁻¹ e 16 g ha⁻¹ de Co. As folhas coletadas no estágio R6 (plena floração) e as sementes foram avaliadas quanto aos teores de Co, Mo, Fe, Zn e K. A produtividade e a massa de cem sementes (MCS) foram avaliadas. Não houve resposta da aplicação de Co nos teores de Co, Mo, Fe, Zn e K nas folhas, nem nos teores de K nas sementes, MCS e produtividade. As doses de Co causaram aumento linear no conteúdo de Co nas sementes. Para cada acréscimo de 1 g na dose de Co, houve acréscimo de 0,004 µg Co semente⁻¹. As doses crescentes de Co causaram resposta quadrática no conteúdo de Mo e de Fe nas sementes. A dose de 6,53 g ha⁻¹ de Co elevou o conteúdo de Mo para 0,41 g ha⁻¹. No entanto, a dose de 11 g ha⁻¹ de Co reduziu o conteúdo de Fe para 7,8

$\mu\text{g semente}^{-1}$. Concluiu-se que o acúmulo de Co nas sementes de feijão aumenta com a aplicação de doses crescentes de Co de até 16 g ha^{-1} , sem efeito tóxico nos feijoeiros.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., nutrição do feijoeiro, enriquecimento de sementes de feijão, adubação com cobalto.

ABSTRACT

Cobalt (Co) is essential for biological nitrogen fixation (BNF). It is a component of vitamin B12, cobalamin important in the formation of coenzyme A, which is essential for the biological fixation process nitrogen to be precursor of leghaemoglobin. The aim were to assess the possibility of enriching the bean seeds with Co and verify that high doses of this micronutrient can reduce grain yield. To that end, he conducted testing in the Zona da Mata of Minas Gerais, in the autumn-winter season of 2014. The bean plants were sprayed with 0 g ha⁻¹, 0.5 g ha⁻¹, 1 g ha⁻¹, 4 g ha⁻¹, 8 g ha⁻¹ and 16 g ha⁻¹ Co. leaves collected in the R6 stage (full bloom) and the seeds were evaluated for Co content, Mo, Fe, Zn and K. yield grains and the mass of a hundred seeds (MHS) were evaluated. There was no application response Co contents in the Co, Mo, Fe, Zn and K in the leaves of K or the seeds, MHS and yield. The Co doses caused a linear increase in the Co content in the seeds, for each 1 g increase in Co dose, there was an increase of 0.004 ug Co seed⁻¹. The increasing doses of Co caused quadratic response to the contents of Mo and Fe in seeds. The amount of Co which achieved maximum efficiency technique was 6.53 g ha⁻¹ for Mo and 11 g ha⁻¹ for Fe, these doses were estimated content of 0.41 ug seed⁻¹ for Mo and 7.8 ug⁻¹ seed for Fe. the results demonstrate that the Co accumulated in the seeds increases with increasing Co amount of up to 16 g ha⁻¹ without toxic effect on the bean plants.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., nutrition, biological nitrogen fixation, enrichment of seeds.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e consumidor de feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) do mundo com produtividade média de 1100 kg ha⁻¹ (CONAB, 2016). O feijão-comum é muito cultivado por pequenos e grandes produtores em diferentes sistemas de produção e em praticamente todas as regiões brasileiras. Essa cultura tem grande importância socioeconômica por estar presente diariamente na dieta do brasileiro, e é fonte importante de proteína para as classes mais carentes da população.

O feijoeiro, como a maioria das plantas leguminosas, apresenta a capacidade de fixação biológica do N (FBN) atmosférico por intermédio da sua associação com a bactéria do gênero *Rhizobium*, que converte o N₂ em amônia, que é aproveitada pela planta. A FBN é capaz de suprir parte do N necessário para o desenvolvimento do feijoeiro, e reduz o uso de fertilizantes nitrogenados (Berton Junior et al., 2008; Valadão et al., 2009) em relação a cereais. Entretanto, para o pleno funcionamento da simbiose com o *Rhizobium*, o solo de ter boa fertilidade, sobretudo em relação a pH, fósforo, Mo e Co. Estes dois últimos elementos são importantes no crescimento da planta e da bactéria, como também na eficiência da simbiose (Marschner, 1995).

O Co é essencial para a FBN. Ele é componente da vitamina B12, importante na formação da coenzima cobalamina, que é indispensável ao processo de FBN por ser precursora da leghemoglobina (Somasegaran e Hoben, 1994; Mengel e Kirkby, 2001). A deficiência de Co inibe a síntese da leghemoglobina e, por consequência, a FBN (Mengel e Kirkby, 2001).

A absorção do Co pela planta é feita por fluxo de massa, principalmente na forma de Co²⁺, e a sua translocação na planta ocorre após formação de quelados com

ácidos orgânicos (Malavolta et al., 1997). Considerado móvel no floema, no entanto quando aplicado via foliar é pouco móvel (Marschner, 1995; Sfredo, 2004).

Apenas em dois estudos, o Co foi aplicado isoladamente nos feijoeiros. Num deles, conduzido em campo, o tratamento de sementes com $0,25 \text{ g ha}^{-1}$ de Co dobrou a produtividade de grãos em Paula Cândido e não influenciou a produtividade em Viçosa (Junqueira Netto, et. al., 1977). No outro, conduzido em casa de vegetação, as doses de $0,2$ e $0,4 \text{ g ha}^{-1}$ de Co não influenciaram a produção de grãos em solos de Paula Cândido e Viçosa (Santos et al., 1979). Em alguns estudos, Co e Mo foram aplicados simultaneamente em tratamento de sementes de feijão, o que impede isolar o efeito do Co (Corrêa et al., 1990; Lana et al., 2008; Almeida et al., 2014).

Na cultura da soja, o Co aplicado na semente reduziu linearmente a produtividade em Ponta Grossa, PR. O uso de 8 g ha^{-1} causou sintomas visuais de toxicidade nas plantas, caracterizados por clorose e necrose dos bordos das folhas primordiais (Marcondes, et. al., 2005). Em outros trabalhos não foram verificadas influência no rendimento de grãos de soja com a aplicação de Co no solo (Galvão, 1991) ou via semente (Sfredo et al., 1997; Campo e Lantmann, 1998). A aplicação de cobalto nas sementes de soja, de forma isolada ou junto com o molibdênio, não causou alteração no rendimento de grãos da cultura (Campo e Lantmann, 1998; Campo e Hungria, 2002).

Em razão da quantidade de Co necessária para o processo de FBN, a semente do feijão poderia suprir essa demanda pela aplicação de Co nas plantas das quais foram colhidas. Com Mo, cuja demanda da planta e do rizóbio é bem superior à do Co, estudos mostram que é possível fornecê-lo via semente enriquecida (Vieira et al., 2005; Vieira et al., 2011a; Vieira et al., 2011b)

A dose de Co ($0,25 \text{ g ha}^{-1}$) que aumentou a produtividade de feijão (Junqueira Netto et al., 1977) é menor que a do Mo ($80 \text{ a } 100 \text{ g ha}^{-1}$) recomendada para a Zona da Mata de Minas Gerais (Berger et al., 1996). Como há sucesso no fornecimento do Mo via enriquecimento de sementes (Vieira et al. 2005; Vieira et al., 2011a; Vieira et al., 2011b), acredita-se que o fornecimento do Co via enriquecimento da semente também seja viável. No entanto, devido à pouca mobilidade do Co na planta (Marschner, 1995; Sfredo, 2004), em relação ao Mo, é necessário testar doses bem mais altas que as usadas por Junqueira Netto et al. (1977) para que seja possível enriquecê-las.

O objetivo do trabalho foi verificar a possibilidade de enriquecer as sementes do feijoeiro com Co e verificar se altas doses de Co podem reduzir a produtividade de grãos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido no outono-inverno de 2014, com semeadura em 5 de junho de 2014. O experimento foi instalado na fazenda experimental da EPAMIG no município de Oratórios (492 m de altitude; $20^{\circ}25'5''$ S de latitude; e $42^{\circ}47'28''$ W), localizados na Zona da Mata de Minas Gerais. O solo da área é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo com uma inclinação de 1 a 3%. Antes da semeadura as propriedades físicas e químicas do solo foram analisadas a uma profundidade de 0-20 cm (Tabela 1). O solo apresentou 24% de argila, 13% de silte e 63% de areia, classificado como de textura média. Aproximadamente três semanas antes da semeadura foi aplicado glifosato, na dose de 2 L ha^{-1} , sobre as plantas daninhas presentes na área. Entre dois e cinco dias antes da semeadura, preparou-se o solo com arado e grade niveladora.

Tabela 1. Características do solo nas camadas de 0-20 cm no em Oratórios, MG, 2014.

Características dos solos ⁽¹⁾	
pH (H ₂ O)	6,4
P, mg dm ⁻³	40,3
K, mg dm ⁻³	141
Al, cmolc dm ⁻³	0
Ca, cmolc dm ⁻³	2,3
Mg, cmolc dm ⁻³	1,2
Saturação de bases, %	70
H + Al, cmolc dm ⁻³	1,49
SB, cmolc dm ⁻³	3,86
CTC (t)	3,86
CTC (T), cmolc dm ⁻³	5,35
Matéria orgânica, dag kg ⁻¹	2,18
P-rem, mg L ⁻¹	40,1
Zn, mg dm ⁻³	5,4
Fe, mg dm ⁻³	51,6
Mn, mg dm ⁻³	77,3
Cu, mg dm ⁻³	1,3
B, mg dm ⁻³	0,2

⁽¹⁾ pH em água, KCl e CaCl₂, relação 1:2,5. P, K, Fe, Zn, Mn e Cu- extraídos por solução de Mehlich 1. Al, Mg e Ca extraídos por KCl 1 mol L⁻¹. Saturação de bases = [(K + Ca + Mg)/T] x 100, em que T = K + Ca + Mg + (H+Al). H+Al extraídos por solução de acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, pH 7.0. B, extraídos por água quente. S, extraído por fosfato monocálcico em ácido acético. SB, soma de bases trocáveis.

Foi usada a cultivar Madrepérola. Os tratamentos consistiram de seis doses de Co (0; 0,5; 1,0; 4,0; 8,0; 16 g ha⁻¹) aplicado nas folhas. As pulverizações com a solução de sulfato de cobalto (34% de Co) foram realizadas no estágio R6 (20 a 50% das plantas com pelo menos uma flor aberta) com pulverizador manual de 1,5 litros de capacidade. Uma placa de plástico de 1,5 m de largura foi estendida entre as parcelas vizinhas às tratadas, para evitar deriva. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com três repetições. A parcela experimental foi composta por quatro fileiras de 4 m, espaçadas de 0,5 m. A área útil constou das duas fileiras centrais da parcela.

A semeadura foi realizada manualmente. Na adubação de plantio, foram empregados 350 kg ha⁻¹ da formulação comercial 8-28-16 (N-P₂O₅-K₂O). Não foi

realizada adubação nitrogenada de cobertura nem inoculação com *Rhizobium*. Entretanto, sabe-se que esses solos possuem população nativa de *Rhizobium*. No estágio V4 (terceira folha trifoliolada) as plantas foram pulverizadas com solução de molibdato de sódio (39% de Mo) na dose de 90 g ha⁻¹ de Mo. Nesse estágio, as plantas daninhas também foram controladas com uma mistura comercial de fomesafen (0,25 kg ha⁻¹) e fluazifop-p-butil (0,20 kg ha⁻¹). O controle de pragas, especialmente o da cigarrinha-verde (*Empoasca kraemeri*), foi realizado com deltametrina (Decis 50 SC), na dose de 0,08 kg ha⁻¹, e/ou metamidofós (Tamaron SL), na dose de 0,4 kg ha⁻¹. Em V4 e R6 (floração), as plantas foram pulverizadas com o fungicida azoxistrobina (Amistar 500 WG) na dose de 0,08 kg ha⁻¹ para o controle da mancha-angular, causada por *Pseudocercospora griseola* e da antracnose, causada por *Colletotrichum lindemuthianum*. A área foi irrigada por aspersão, com aspersores posicionados a 1,5 m acima do nível do solo. A irrigação, com pequena lâmina de água, foi fornecida em intervalos de dois dias da semeadura até a emergência das plântulas. A irrigação foi realizada uma vez por semana, com pelo menos 40 mm de água, desde a emergência das plântulas até a colheita.

Foram avaliados os teores de potássio (K), ferro (Fe), zinco (Zn), Mo e Co nas folhas e nas sementes e a massa e produtividade de grãos. A avaliação de nutrientes nas folhas foi feita quando os feijoeiros estavam em plena floração (estádio R6). Nesse estágio, foram retiradas dez folhas trifolioladas por parcela. Esses trifólios vieram de folhas bem desenvolvidas, mas ainda jovens, coletadas no terço mediano da planta. As amostras foram colocadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada de ar. Em seguida, essas folhas foram moídas em moinho tipo Willey. No caso da avaliação desses nutrientes nas sementes, estas também foram secas e moídas.

A estimativa da massa de cem sementes (MCS) e da produtividade foi feita com grãos com 13% de água.

Para avaliar os teores dos nutrientes nas folhas e sementes foi colocada 1 g de massa seca em frascos de vidro de 50 ml. Numa capela de exaustão, foram adicionados nesses frascos 10 ml de solução nitroperclórica (4 partes de ácido nítrico para cada 1 parte de ácido perclórico), que foram levados à chapa aquecedora à 180°C (Tedesco et al., 1985). Após a digestão nitroperclórica, os frascos foram completados com água destilada para 10 ml de solução. A leitura foi feita em ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry), marca Perk Elmer, modelo Optima 7300 V. O conteúdo de Co, Mo e Fe de uma semente foi obtido pela multiplicação dos teores desses micronutrientes da semente pela massa de uma semente seca.

Os dados de produção e de acumulação dos nutrientes foram interpretados por meio de análise de variância e de regressão a 5%. A escolha do modelo selecionado para cada variável baseou-se na significância dos parâmetros e nos valores do R^2 (ALVAREZ e ALVAREZ, 2006). A dose de Co que proporcionou maior acúmulo de nutrientes nas plantas e sementes foi calculada ao igualar a zero a primeira derivada que estima a eficiência máxima.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve resposta da aplicação de Co nos teores de Co, Mo, Fe, Zn e K nas folhas (Tabela 2), nem nos teores de K nas sementes, MCS e produtividade, mas as doses de Co aumentaram linearmente o conteúdo de Co nas sementes. As doses crescentes de Co causaram resposta quadrática no conteúdo de Mo e de Fe nas sementes.

Tabela 2. Valores médios dos teores dos nutrientes molibdênio (Mo), cobalto (Co), ferro (Fe) e zinco (Zn), nas folhas em função de doses de Co. Oratórios, 2014.

Dose de Co (g ha ⁻¹)	Nutriente nas folhas ¹				
	Co	Mo	Fe	Zn	K
	mg kg ⁻¹				g kg ⁻¹
0	0,13	0,52	214	28,0	9,9
0,5	0,14	0,49	210	26,6	9,3
1	0,15	0,50	179	23,5	10,1
4	0,12	0,34	163	22,0	9,0
8	0,15	0,61	185	24,9	9,9
16	0,19	0,29	226	21,9	11,0
média	0,15	0,46	196	24,5	9,9
CV%	16,2	40,2	25,0	12,7	13,2
Valor de p	0,08	0,36	0,61	0,18	0,41

¹ Folhas coletadas em plena floração (estádio R6).

O aumento das doses de Co causaram aumento linear no teor (Tabela 3) e no conteúdo (Figura 1A) de Co nas sementes. Para cada 1 g ha⁻¹ de Co aplicado nas folhas, as sementes apresentaram aumento de 0,02 mg kg⁻¹ no teor de Co (Tabela 3), o que equivale a 0,004 µg semente⁻¹ (Figura 1A). Isso demonstra que, apesar de o Co apresentar pouca mobilidade na planta (Marschner, 1995; Sfredo, 2004), é possível enriquecer as sementes de feijão com a aplicação de doses superiores às recomendadas por Junqueira Netto et al. (1977) para a produção de grãos. Não há outros estudos que mostrem resultados quanto ao enriquecimento de sementes com Co, mesmo para as leguminosas mais estudadas como o feijão, a soja e o amendoim.

Tabela 3. Valores médios dos teores dos nutrientes molibdênio (Mo), cobalto (Co), ferro (Fe) e zinco (Zn), nas sementes e produtividade do feijoeiro em função de doses de Co. Oratórios, 2014.

Dose de Co g ha ⁻¹	Nutriente nas sementes					Massa cem sementes g	Produti vidade kg ha ⁻¹
	Co	Mo	Fe	Zn	K		
	mg kg ⁻¹				g kg ⁻¹		
0	0,31	1,22	306	31,1	8,3	23,17	1527
0,5	0,38	1,91	230	34,4	8,5	23,08	1128
1	0,30	1,43	241	35,3	8,5	23,23	1326
4	0,34	1,65	113	33,2	8,7	23,10	1093
8	0,40	1,78	82	31,6	7,8	23,07	1333
16	0,57	1,13	69	31,2	8,5	23,07	1393
Média	0,38	1,52	174	32,8	8,4	23,1	1300
CV%	6,5	9,3	18,8	10,6	7,8	1,1	16,4
Valor de p	0,01 ⁽¹⁾	0,01 ⁽²⁾	0,01 ⁽³⁾	0,58	0,66	0,74	0,21

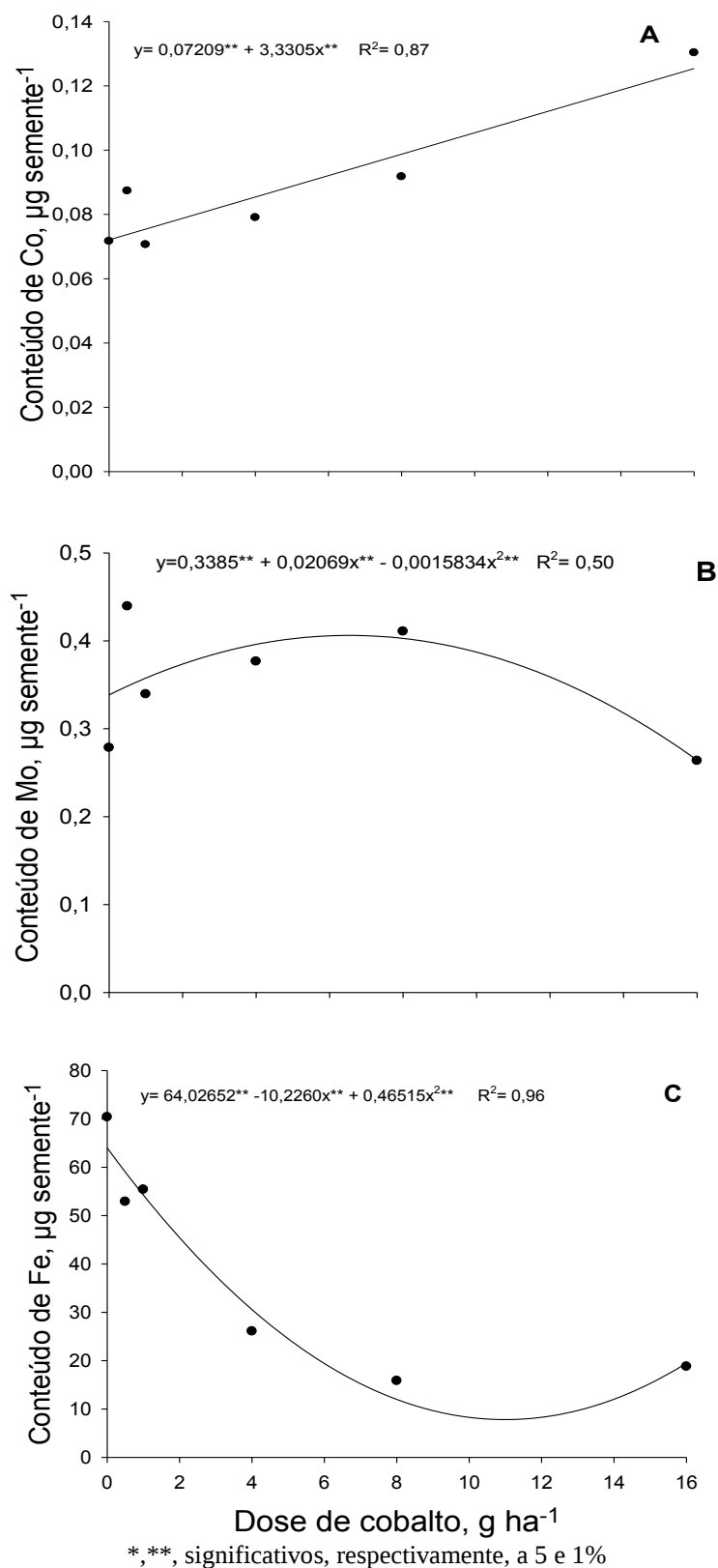


Figura 1. Conteúdos de cobalto (A), de molibdênio (B) e de ferro (C) nas sementes do feijoeiro cultivar Madrepérula cultivado na safra de outono-inverno de 2014, em função de doses de cobalto, em Oratórios, MG.

As doses crescentes de Co causaram resposta quadrática no conteúdo de Mo nas sementes (Figura 1B). A máxima dose estimada de Co que causou aumento no conteúdo de Mo nas sementes foi de $6,53 \text{ g ha}^{-1}$, nessa dose, o conteúdo de Mo acumulado na semente foi de $0,41 \text{ } \mu\text{g semente}^{-1}$, que equivale a $1,78 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tabela 3). Não há estudos que demonstrem influência de doses de Co no acúmulo de Mo nas sementes. Dessa forma, essa dose de Co pode ser usada para estudos posteriores com enriquecimento simultâneo com os dois micronutrientes, Co e Mo.

O acréscimo das doses de Co causaram resposta quadrática negativa na concentração de Fe nas sementes (Figura 1C). A dose de Co que causou a maior redução de Fe foi atingida com o uso de 11 g ha^{-1} de Co. Nessa dose o conteúdo de Fe estimado nas sementes foi de $7,8 \text{ } \mu\text{g semente}^{-1}$. Alguns autores verificaram que o aumento na concentração de Co, Mn e Zn causa deficiência de Fe nas plantas (Hunter e Vergnano, 1953; Terry, 1981; Li et al., 2004; Baxter et al., 2008). Distúrbios no metabolismo do ferro na planta, em decorrência de relação antagônica entre Co e Fe, têm sido descritos na literatura (OLSEN, 1972).

O aumento das doses de Co não influenciaram significativamente a produtividade (Tabela 3). O solo onde foi conduzido o experimento tinha pH pouco ácido (pH 6,4), (Tabela 1). Deficiência em Co comumente ocorre em solos ácidos e arenosos (ATSDR, 2004), demonstrando que pode ter havido Co prontamente disponível no solo para absorção pelas plantas. Os resultados evidenciam que não houve efeito tóxico do Co para as plantas mesmo quando usado dose alta de 16 g ha^{-1} , pois, a produtividade com essa dose não diferiu significativamente da obtida com a dose zero de Co. Esse resultado não corrobora com o obtido por Junqueira Netto, et. al. (1977), que verificou que $0,25 \text{ g de Co ha}^{-1}$ dobrou a produtividade de feijão em Paula Cândido, também na Zona da Mata de Minas Gerais. Entretanto corrobora com

os resultados verificados em casa de vegetação, com solos coletados em Viçosa e Paula Cândido, em que as doses de 0,2 e 0,4 g ha⁻¹ de Co não influenciaram a produção de grãos (Santos et al., 1979).

4. CONCLUSÃO

O aumento das doses de Co elevou o conteúdo de Co na semente. A dose de Co mais alta (16 g ha⁻¹) não foi tóxica aos feijoeiros.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J.L.; CARVALHO, M.A.C.; YAMASHITA, O.M.; SILVA, A.F.; TEIXEIRA, S.O. Adubação nitrogenada em cobertura e aplicação foliar de cobalto e molibdênio na cultura do feijão. **Revista de Ciências Agroambientais**. Alta Floresta, MT, v.12, n.2, p.125-132, 2014
- ALVAREZ V., V. H; ALVAREZ, G. A. M. Comparações de médias ou testes de hipóteses? Contrastes! **Boletim Informativo da SBCS**, v. 31, p. 24-34, 2006.
- ATSDR. Toxicological profile for cobalt. Agency for toxic substances and disease registry. Atlanta, GA: U.S. **Department of Health and Human Services, Public Health Service**, 2004.
- BAXTER, I.R.; VITEK, O.; LAHNER, B.; MUTHUKUMAR, B.; BORGHI, M.J.; GUERINOT, M.L.; SALT, D.E. The leaf ionome as a multivariable system to detect a plant's physiological status. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. USA, n. 105, p. 12081-12086, 2008.

BERGER, P. G.; VIEIRA, C.; ARAÚJO, G. A. A. Efeitos de doses e épocas de aplicação do molibdênio sobre a cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, n. 7, p. 473-490, 1996.

BERTON JUNIOR, J. F.; SANTOS, J.C.P.; COELHO, C.M.M.; KLAUBERG FILHO, O. Effect of inoculation associated to leaf sprayed Co + Mo on the yield and grain nutrients in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, n.6, p 1089-1096, 2008.

CAMPO, R.J.; HUNGRIA, M. Importância dos micronutrientes na fixação biológica do N₂. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.98, p.6-9, 2002.

CAMPO, R.J.; LANTMANN, A.F. Efeitos de micronutrientes na fixação biológica do nitrogênio e produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.8, p.1245- 1253, 1998.

Companhia Nacional de Abastecimento, 2016 Safra 2015/2016. http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_01_12_14_17_16_boletim_graos_janeiro_2016.pdf. Acesso em fevereiro de 2016.

CORRÊA, J.R.V.; JUNQUEIRA NETTO, A.; REZENDE, P.M.; ANDRADE, L.A.B. Efeitos de *Rhizobium*, molibdênio e cobalto sobre o feijoeiro comum cv. carioca. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 25, n. 4, p. 513-519, 1990.

GALRÃO, E.Z. Micronutrientes e cobalto no rendimento da soja em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p.117-120, 1991.

HUNTER, J.G., VEGNANO, O. Trace elements toxicities in oat plants. **Annals of Applied Biology**, v. 40, p. 761-777, 1953.

JUNQUEIRA NETTO, A.; SANTOS, O.S.; AIDAR, H.; VIERA, C. Ensaios preliminares sobre a aplicação de molibdênio e de cobalto na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, v. 24, p. 628-633, 1977.

LANA, R. M. Q.; PEREIRA, R. P.; LANA, A. M. Q.; FARIA, M. V. Utilização de micronutrientes na cultura do feijoeiro cultivado no sistema plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 4, p. 58-63, 2008.

LI, Z.; MCLAREN, R.G.; METHERELL, A.K. The availability of native and applied soil cobalt to ryegrass in relation to soil cobalto and manganese status and other soil properties. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 47, p. 33–43, 2004.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 319 p, 1997.

MARCONDES, J.A.P e CAIRES, E.F. Aplicação de molibdênio e cobalto na semente para cultivo da soja. **Bragantia [online]**, v.64, n.4, p. 687-694, 2005.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. **Academic Press**, New York, 1995.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 5 ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 849p. 2001.

OLSEN, S.R. Micronutrient interactions. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. (Ed.). **Micronutrients in Agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, p.243-264, 1972.

SANTOS, A.B.; VIEIRA, C.; LOURDES, E.G.; BRAGA, J.M.; THIEBAUT, J.T.L. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao molibdênio e ao cobalto em solos de Viçosa e Paula Cândido, Minas Gerais. **Revista Ceres**, v. 26, p. 92-101, 1979.

SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; NEPOMUCENO, A.L.; OLIVEIRA, M.C.N. Eficácia de produtos contendo micronutrientes, aplicados via semente, sobre produtividade e teores de proteína da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p. 41-45, 1997.

- SFREDO, G, J. Deficiências e toxicidades de nutrientes em plantas de soja / SFREDO, G, J, BORKERT, C, M. Londrina: **Embrapa Soja**, 44p., 2004.
- SOMASEGARAN, P.; HOBEN, H.J. **Handbook for Rhizobia: Methods in Legume-Rhizobium Technology**. New York: Springer-Verlag, 450p., 1994.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p., 1995. (Boletim Técnico, 5)
- Terry, N. Physiology of trace element toxicity and its relation to iron stress. **Journal Plant Nutrition**, v.3, p.561-578, 1981.
- VALADÃO, F.C.A.; JAKELAITIS, A.; CONUS, L.A.; BORCHARTT, L. OLIVEIRA, A.A.; VALADÃO Jr, D.D. Inoculação das sementes e adubações nitrogenadas e molíbdica do feijoeiro-comum, em Rolim de Moura, RO. **Acta Amazônica**, v.39, p. 741-748, 2009.
- VIEIRA, R.F.; SALGADO, L.T.; FERREIRA, A.C.B. Performance of common bean using seeds harvested from plants fertilized with high rates of molybdenum. **Journal of Plant Nutrition**, v. 28, p. 393-377, 2005.
- VIEIRA, R.F.; FERREIRA, A. C.B.; PRADO, A.L. Aplicação foliar de molibdênio em feijoeiro: conteúdo do nutriente na semente e desempenho das plantas originadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 41, n.2, p. 163-169, 2011a.
- VIEIRA, R.F.; PAULA Jr, T.J.; PIRES, A.A.; CARNEIRO, J.E.S.; ROCHA, G.S. Common bean seed complements molybdenum uptake by plants from soil. **Agronomy Journal**, v. 103, p. 1843-1848, 2011b.

CONCLUSÕES GERAIS

A inoculação de sementes de feijão do tipo III com *R. tropici* pode aumentar a produtividade de feijão que aparenta alta capacidade produtiva e ausência de sintomas de deficiência de N, sobretudo quando não se faz adubação nitrogenada em cobertura.

O aumento das doses de Co elevou o conteúdo de Co na semente. A dose de Co mais alta (16 g ha⁻¹) não foi tóxica aos feijoeiros.