

Produtividade de soja em resposta à adubação foliar, tratamento das sementes com molibdênio e inoculação com *Bradyrhizobium japonicum*

Antonio Carlos dos Santos Pessoa*, Eduardo Bernardi Luchese, Luis Ermindo Cavallet e Eloir Paulo Gris

Departamento de Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Pernambuco, 1777, 85960-000, Marechal Cândido Rondon-Paraná, Brazil. *Author for correspondence. E-mail: pessoa@unioeste.br

RESUMO. A soja em simbiose com *Bradyrhizobium japonicum* é capaz de ter a sua exigência de nitrogênio (N) satisfeita com a fixação biológica de nitrogênio (NBF). Entretanto, a NBF é afetada pela deficiência de molibdênio (Mo), pois esse nutriente faz parte da enzima nitrogenase responsável pelo processo. Conduziram-se dois experimentos em condições de campo, em Latossolo Vermelho eutroférrego, no município de Palotina, PR. Os objetivos foram estudar o tratamento de sementes com Mo, reinoculação de *B. japonicum* e adubação foliar de Mo na produtividade da soja. No primeiro experimento, os tratamentos foram constituídos de quatro doses de Mo (0, 40, 80 e 160g/ha) aplicadas em adubação foliar. No segundo, foram avaliadas três formas de aplicação de Mo (sem Mo, tratamento de sementes com Mo e aplicação foliar de 80g/ha de Mo), combinados, com e sem inoculação, com *B. japonicum*. Não foram observados efeitos significativos do tratamento de sementes com Mo, inoculação com *B. japonicum* e adubação foliar de Mo na produtividade.

Palavras-chave: soja, molibdênio, adubação foliar, tratamento de sementes.

ABSTRACT. **Soybean yield in response to foliar fertilization, seed treatment with molybdenum and *Bradyrhizobium japonicum* inoculation.** Soybean in symbiosis with *Bradyrhizobium japonicum* is capable to have its nitrogen (N) demand satisfied with nitrogen biological fixation (NBF). However, NBF can be affected by molybdenum deficiency because molybdenum is part of the nitrogenase enzyme responsible for the process. Two experiments under field conditions (Latossolo Vermelho eutroférrego, in Palotina-PR, Brazil) were carried out. The objectives were to study the treatment of seeds with Mo and inoculation of *B. japonicum* as well as foliar fertilization with Mo in the productivity of soybean. In the first experiment, four doses of Mo (0, 40, 80 and 160 g/ha) were applied as foliar fertilization. In the second experiment, treatments were composed of three forms of Mo application (without Mo, treatment of seeds with Mo and foliar application of 80 g/ha of Mo) all combined with and without *B. japonicum* inoculation. No significant effects in soybean productivity were observed in the treatment of seeds with Mo, inoculation with *B. japonicum* and foliar fertilization with Mo.

Key words: soybean, molybdenum, foliar fertilization, treatment of seeds.

A soja, por pertencer à família das leguminosas, quando em simbiose com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, é capaz de apresentar a sua exigência de nitrogênio totalmente satisfeita com o processo de fixação biológica de nitrogênio (Mengel e Kirkby, 1987). Entretanto, a fixação biológica é seriamente afetada pela deficiência de molibdênio, já que esse nutriente faz parte da enzima nitrogenase, que é responsável pelo processo de fixação (Marschner, 1986).

Altas produtividades de soja são verificadas com a ocorrência do processo de fixação biológica de nitrogênio, em solos com condições ótimas de fertilidade. Nesse contexto, é marcante a influência do molibdênio, que, além de fazer parte da enzima nitrogenase, atua também na redutase do nitrato, responsável pela redução do NO_3^- , para ser assimilado pela planta. Assim, a deficiência de molibdênio poderia ser uma das causas da redução

da produtividade observada em algumas áreas no oeste do Estado do Paraná.

Apesar de não serem totalmente conhecidas, a extensão e a importância pela qual a deficiência de molibdênio afeta a produtividade da soja, existem amplas evidências de que o problema existe (Sfredo et al., 1997) e que tenderá a se agravar à medida que se intensificar o cultivo de soja, pelo uso de variedades altamente produtivas, de técnicas de manejo voltadas para alta produtividade e quando os solos com restrições químicas começarem a serem intensamente explorados. Esses efeitos podem representar pequenas reduções na produtividade e passarem despercebidos pelos técnicos e agricultores.

A aplicação de micronutrientes, visando a correção de deficiências nutricionais, pode ser feita de três modos: diretamente no solo junto com a adubação convencional (Cheng, 1985), em aplicação foliar (Pessoa, 1998) e via tratamento de sementes (Cheng, 1985; Parducci et al., 1989). Como as quantidades de molibdênio requeridas pelas plantas são bastante reduzidas (Pessoa, 1998), sua aplicação, juntamente com o tratamento de sementes com fungicidas, constitui a forma mais prática, eficiente e econômica de correção de deficiência (Cheng, 1985; Vidor e Peres, 1988). Além disso, não tem sido verificada toxicidade ao *B. japonicum*, quando o molibdênio é aplicado junto às sementes na forma de molibdato de amônio, imediatamente antes da semeadura da soja (Vidor e Peres, 1988).

A calagem, de uma maneira geral, aumenta a disponibilidade de molibdênio (Malavolta et al., 1997). A maior disponibilidade ocorre em pH superior a 7 (Gupta e Lipset, 1981; Horowitz, 1978). A probabilidade de ocorrer deficiência de molibdênio é maior em solos de baixa fertilidade e com pH ácido (menor que 5,0). A calagem poderá corrigir essa deficiência, desde que o solo tenha níveis adequados desse micronutriente (Malavolta et al., 1997). Segundo Lindsay (1979), a atividade do molibdato aumenta cem vezes para cada unidade de aumento de pH.

O molibdênio, assim como o fósforo, é fortemente retido pelos óxidos de ferro e alumínio (Santos, 1991), podendo ocorrer deficiências de molibdênio em solos muito intemperizados e ricos em óxidos de ferro e alumínio (Pessoa, 1998).

As respostas à adubação com molibdênio via foliar e tratamento de sementes têm sido bastante variáveis (Santos, 1991). Apesar de a análise de solo para avaliar a disponibilidade de molibdênio ser ainda pouco usada no Brasil, as respostas à aplicação desse micronutriente são muito acentuadas, principalmente, para as culturas do feijão (Coelho,

1997; Amane, 1997; Pessoa, 1998), milho (Pereira, 1997; Coelho, 1997) e soja (Vitti et al., 1984; Lantmann, et al., 1989; Sfredo et al., 1997). Deve ser frisado que a Embrapa-soja não recomenda aplicação foliar de molibdênio, visando a sanar eventuais deficiências para solos de média a alta fertilidade, como estes do oeste do Paraná.

Conforme Lopes e Carvalho (1988), programas bem estruturados de análise de solo e acompanhamento técnico de plantio em regiões que praticam agricultura intensiva são essenciais, quando se almeja estimar limitações impostas por problemas de deficiência de micronutrientes no rendimento das culturas, obtendo informações que permitam adotar medidas preventivas e, ou, corretivas, evitando queda nas produções e insucesso na exploração comercial.

A partir dessas considerações, conduziu-se o presente trabalho, em condições de campo, com o objetivo de avaliar a produtividade da soja, em condições de plantio direto estabelecido, usando aplicação de molibdênio via tratamento de sementes e adubação foliar com doses crescentes de molibdênio, bem como reinoculação das sementes com inoculante comercial de *Bradyrhizobium japonicum*.

Material e métodos

Foram conduzidos dois experimentos em Latossolo Vermelho eutroférrego argiloso, no município de Palotina, PR, em condições de sistema de plantio direto na palha. Para tanto, foram instalados experimentos em lavoura comercial cultivada em sistema de plantio direto, durante cinco anos, sempre com plantio de soja na safra de verão.

No primeiro experimento, os tratamentos foram distribuídos em fatorial (4x2), ou seja, quatro doses de molibdênio (0, 40, 80 e 160g/ha) e com ou sem reinoculação das sementes com inoculante comercial de *B. japonicum* (turfoso), na dosagem recomendada pelo fabricante de 200g por 50kg de sementes. A aplicação dos tratamentos com molibdênio foi realizada aos 25 dias após a emergência das plantas, usando adubação foliar com molibdato de amônio.

No segundo experimento, foram utilizadas três formas de manejo de aplicação de molibdênio (sem molibdênio, tratamento de sementes com 40g/ha de molibdênio e aplicação foliar de 80g/ha de molibdênio aos 25 dias após a emergência) combinadas com dois manejos de inoculação das sementes (sem e com reinoculação de *B. japonicum* em dosagem recomendada pelo fabricante de 200g por 50kg de sementes).

Em ambos os experimentos, todas as parcelas receberam adubação prévia de 160kg/ha da formulação comercial 0-30-10 (N-P₂O₅-K₂O) no sulco de semeadura, seguindo a recomendação determinada pela análise do solo (Tabela 1). O cultivar de soja utilizado foi o BR-16 com densidade de semeadura de 18 sementes por metro linear. As parcelas foram constituídas de quatro linhas com seis metros de comprimento e com espaçamento entre linhas de 0,5m. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições.

Tabela 1. Caracterização química da camada arável (0-20cm) do Latossolo Vermelho eutroférico, sob plantio direto, antes da instalação dos experimentos

Características	Valor	Interpretação
Matéria orgânica (g/dm ³)	25,0	Médio
pH em água (1:2,5)	5,3	Acidez média
P – Resina (mg/dm ³)	32,0	Médio
P – Mehlich (mg/dm ³)	15,0	Alto
K (cmol./dm ³)	0,31	Alto
Al ³⁺ (cmol./dm ³)	0,20	Baixo
Ca ²⁺ (cmol./dm ³)	3,10	Médio
Mg ²⁺ (cmol./dm ³)	1,40	Alto
H ⁺ + Al ³⁺ (cmol./dm ³)	3,80	Médio
T (cmol./dm ³)	4,81	Médio
CTC total (cmol./dm ³)	8,61	Médio
S (mg/dm ³)	2,2	Médio
B (mg/dm ³)	0,1	Médio
Fe (mg/dm ³)	83,5	Alto
Mn (mg/dm ³)	41,8	Alto
Cu (mg/dm ³)	2,9	Médio
Zn (mg/dm ³)	1,1	Alto
V (%)	56	Médio

Ca, Mg e Al extraídos por KCl 1 mol/L; Fe, Mn, Cu e Zn extraídos por HCl 0,1 mol/L; Boro extraído por água quente; H + Al extraídos por acetato de cálcio 0,5 mol/L a pH 7

Os experimentos foram implantados dentro de uma lavoura comercial, na safra agrícola de 1997, em sistema de plantio direto sob palhada de aveia preta. Os tratos culturais foram os mesmos utilizados na condução da lavoura comercial que estava cercando o experimento, sendo realizada uma aplicação de inseticida para controle de percevejo e uma capina manual para controle de plantas daninhas.

Na floração plena, foi coletada, ao acaso, a primeira folha trifoliolada completamente desenvolvida, a partir do ápice de 10 plantas, para análise dos nutrientes.

Para a estimativa da produtividade, foram colhidas as duas linhas centrais, descontando-se 0,5m de cada extremidade.

Os dados de rendimento de grãos foram avaliados por meio de análise de variância e regressão, adotando o nível de 5% de probabilidade.

Resultados e discussão

Primeiro experimento. Pelos resultados obtidos (Tabela 2), não foi verificada resposta significativa ($P>0,05$) da aplicação foliar de molibdênio no

aumento da produtividade da soja. No entanto, a dose de 80g/ha de molibdênio proporcionou ligeiro incremento no rendimento, embora não tenha diferido estatisticamente das demais doses testadas, não sendo possível o ajuste de equação de regressão com coeficientes significativos para explicar os resultados de produtividade (Figura 1).

Tabela 2. Resumo da análise de variância do experimento de produtividade de soja, em resposta à adubação foliar com molibdênio (Mo) e inoculação das sementes com inoculante comercial (INOC), para a variável rendimento de grãos, em nível de 5% de probabilidade

Fonte de Variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	SIG. (%)
BLOCO	3	821105,1	273701,7	2,55	ns
Mo	3	629237,9	209746,0	1,95	ns
INOC	1	421419,4	421419,4	3,92	ns
Mo*INOC	3	282760,6	94253,5	0,88	ns
RESIDUO	21	2258261,0	107536,2		
TOTAL	31	4412784,0			

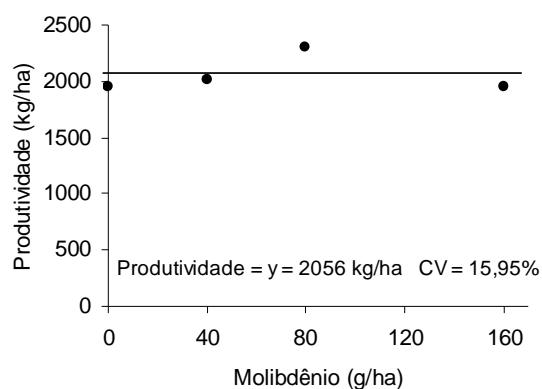


Figura 1. Produtividade de soja em resposta à adubação foliar com molibdênio. Resultados médios de oito unidades experimentais, sendo quatro repetições sem e quatro repetições com inoculação das sementes com inoculante comercial de *Bradyrhizobium*

Possivelmente, o solo tenha molibdênio suficiente para suprir a exigência das plantas de soja. Deve-se frisar que o solo usado apresentou alta fertilidade, além de ter a acidez corrigida com a aplicação de calcário, uma vez que, antes da instalação do experimento, apresentava pH 5,3, bem como vinha sendo cultivado em sistema de plantio direto na palha. Portanto, é pouco provável que nessas condições de pH e nessa classe de solo oriundo de basalto, ou seja, material rico em micronutrientes, apareçam sintomas de deficiência visíveis e diminuição da produção em virtude da deficiência de molibdênio.

Em consonância com os resultados apresentados anteriormente, não houve diferença significativa ($P>0,05$) entre os tratamentos de reinoculação de sementes no aumento do rendimento de grãos

(Tabela 2). Pode ser que o solo já tenha população estabelecida de *Bradyrhizobium* adaptada à condição local, que proporcionou boa nodulação e fixação biológica de nitrogênio na soja, visto que esse solo vem sendo cultivado com esse mesmo produto nos últimos anos, tendo sido feita inoculação das sementes em anos anteriores. Nos resultados de pesquisa da soja, realizadas no Paraná, tem sido verificado que as respostas à reinoculação das sementes são menos acentuadas que em áreas de uso recente com a cultura soja.

Segundo experimento. Não foram observados efeitos significativos ($P>0,05$) dos tratamentos de aplicação de molibdênio e reinoculação das sementes com *Bradyrhizobium* e aplicação foliar de molibdênio, bem como da interação de primeiro grau na produtividade de soja (Tabela 3). É possível que este fato tenha ocorrido em virtude de o solo utilizado apresentar boa disponibilidade de molibdênio e uma população de rizóbio estabelecida e adaptada às condições locais, que proporcionou boa nodulação e adequada fixação biológica de nitrogênio, como já verificado no primeiro experimento. Deve-se frisar que o solo utilizado apresentou fertilidade satisfatória, acidez corrigida e vem sendo cultivado em sistema de plantio direto nos últimos anos. Além disso, em anos anteriores, foi realizada inoculação das sementes com inoculante comercial, o que deve ter contribuído para a não ocorrência de respostas significativas no rendimento de grãos (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3. Resumo da análise de variância do experimento de produtividade de soja em resposta à adubação com molibdênio (Mo) e inoculação das sementes com inoculante comercial de *B. japonicum* (INOC) para a variável rendimento de grãos, em nível de 5% de probabilidade

Fonte de Variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	SIG. (%)
BLOCO	3	499419,3	166473,1	0,99	ns
Mo	2	459857,1	229928,5	1,37	ns
INOC	1	623070,4	623070,4	3,70	ns
Mo*INOC	2	127107,9	63553,94	0,38	ns
RESIDUO	15	2524476,0	168298,4		
TOTAL	23	4233931			

Tabela 4. Produtividade de soja em resposta ao manejo de adubação com molibdênio. Resultados médios de oito unidades experimentais, sendo quatro repetições sem e quatro com inoculação das sementes com inoculante comercial de *B. japonicum*

Tratamentos de molibdênio	Produtividade (kg/ha)	Aumento de produção (%)	Aumento de produção (kg/ha)
Testemunha - 0 g/ha	1955 a	-	-
Semente - 40 g/ha	2126 a	08,7	171
Mo foliar - 80 g/ha	2296 a	17,4	341
Média	2126		
CV (%)	19,30		

Médias seguidas pela mesma letra não diferem a 5% pelo teste Tukey

No entanto, mesmo não ocorrendo efeitos significativos ($P>0,05$) com a aplicação de molibdênio (Tabela 3), observa-se que a produtividade da soja aumentou de 1.955kg/ha, no tratamento testemunha, para 2.126kg/ha com a aplicação de molibdênio via peletização das sementes, e para 2.296kg/ha com a adubação foliar de 80g/ha de molibdênio, com acréscimos de 8,7% e 17,4%, respectivamente. Aumentando, portanto, em 340kg/ha, a produção de grãos (Tabela 4), quando foi realizada adubação foliar de 80g/ha de molibdênio, aos 25 dias após a emergência das plantas de soja. Deve-se frisar que essas respostas não foram estatisticamente significativas.

Considerando o custo reduzido de aquisição e aplicação foliar de molibdênio (Santos, 1991), visto que as doses empregadas são muito pequenas e a aplicação podendo ser realizada junto com outros tratos culturais (Santos, 1991), como aplicação de herbicidas, inseticidas e fungicidas, deverá ser melhor estudada a viabilidade técnica e econômica da recomendação de molibdênio nessas condições de solo. Lantmann et al. (1989) e Sfredo et al. (1997) corroboram com esses resultados.

A deficiência hídrica que ocorreu durante o período de enchimento de grãos possivelmente pode ter nivelado a produtividade em patamares baixos. Nessas condições, a resposta da cultura à aplicação de molibdênio, via foliar e, ou via tratamento de sementes, foi prejudicada, uma vez que as respostas a micronutrientes são mais evidentes quando os níveis de produtividade são mais altos (Marschner, 1986).

Respostas significativas do molibdênio sobre aumento na produtividade de soja já foram relatados por vários pesquisadores (Santos, 1991). Neste contexto, Buzetti et al. (1981), em Latossolo Vermelho-escuro, obtiveram aumentos com a aplicação de 156g/ha de molibdênio em via foliar. Vitti et al. (1984) obtiveram aumentos de até 32,7% com a utilização de doses crescentes de 0, 100, 200, 300 e 400g/ha de produto comercial com 10% de molibdênio e 1% de cobalto em aplicação foliar. Lantmann et al. (1989) verificaram que a resposta da soja à aplicação de molibdênio via tratamento de sementes na dose de 30g/ha está relacionada com o pH do solo, sendo as maiores respostas obtidas com pH em CaCl_2 menor que 4,3, para o Latossolo Roxo álico, e menor que 4,8, para o Latossolo Vermelho-escuro álico. Esses mesmos autores verificaram aumentos na produtividade de até 23% e até 9% no teor de proteína nos grãos. Sfredo et al. (1997) encontraram respostas significativas na produtividade de soja, com aumento de 480kg/ha, com a aplicação de molibdênio via tratamento de

sementes e aumentos do teor de proteínas nos grãos equivalentes a 300kg/ha, em comparação com a produtividade e teor de proteínas do tratamento que não recebeu molibdênio.

Portanto, a resposta à aplicação de molibdênio, via tratamento de sementes e, ou adubação foliar, mesmo não apresentando efeitos significativos no rendimento de grãos, é possível ocorrer em solos altamente intemperizados (Pessoa, 1998), ricos em óxidos de ferro e alumínio e com baixo valor de pH (Lantmann *et al.*, 1989; Santos, 1991) e, principalmente, oriundos de material de origem pobre em molibdênio (Santos, 1991; Amane, 1997; Coelho, 1997; Pessoa, 1998). Nesses solos, possivelmente, os cultivos sucessivos ocasionam extração e exportação de molibdênio via grão colhido (Pessoa, 1998) e, sem a devida reposição nesse nutriente, levam, progressivamente, ao empobrecimento do solo. Esse processo pode estar sendo acelerado com o uso de variedades com alto potencial produtivo e adubações pesadas de fórmulas concentradas (Malavolta *et al.*, 1997).

Para conclusões mais seguras dos efeitos do molibdênio e para futuras recomendações de aplicação de molibdênio via foliar e, ou, tratamento de sementes, o experimento deve ser repetido em outras classes de solos do Oeste do Paraná e, principalmente, em solos que vêm sendo cultivados a vários anos sem a reposição dos nutrientes removidos pelos grãos colhidos.

Referências bibliográficas

Amâncio, M.I.V. *Adubação nitrogenada e molibídica da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) na Zona da Mata de Minas Gerais: efeitos de doses, calagem e rizóbio*. Viçosa, MG: UFV, 1997. 83p. Tese (Doctoral Thesis in Agronomy) - Universidade Federal de Viçosa.

Buzetti, S.; Mauro, A.O.; Vargas, J.T.D. *Efeito de vários micronutrientes na cultura de soja*. In: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Relatório técnico-científico. Ilha Solteira: Unesp, 1981. p.66-68.

Cheng, T. The effect of seed treatment with microelements upon the germination and early growth of wheat. *Scient. Sinica*, 44:129-135, 1985.

Coelho, F.C. *Efeitos do nitrogênio e do molibdênio sobre as culturas do milho e do feijão em monocultivo e em consórcio*. Viçosa, MG: UFV, 1997. 136p. (Doctoral Thesis in Agronomy) - Universidade Federal de Viçosa.

Gupta, U.C.; Lipsett, J. Molybdenum in soil, plants and animals. *Adv. Agron.*, 34(1):73-115, 1981.

Horowitz, A. Os íons do molibdênio no solo: um exemplo da aplicação dos diagramas EH-pH. *Rev. Brasil. Cienc. Solo*, 2(1):98-103, 1978.

Lantmann, A.F.; Sfredo, G.J.; Borkert, C.M.; Oliveira, N.C.N.. Resposta da soja a molibdênio em diferentes níveis de pH do solo. *Rev. Brasil. Cienc. Solo*, 13(1):45-49, 1989.

Lindsay, W.L. *Chemical equilibria in soils*. New York: John Wiley, 1979. 449p.

Lopes, A.S.; Carvalho, J.G. Micronutrientes: Critérios de diagnose para solo e planta, correção de deficiência e excessos. In: Borkert, C.M.; Lantmann, A.F. *Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira*. Londrina: EMBRAPA/CNPSO/SBCS, 1988. 315p. p.133-178.

Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: POTAFO, 1997. 319p.

Marschner, H. *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press, 1986. 674p.

Mengel, K.; Kirkby, E.A. *Principles of plant nutrition*. Bern: International Potash Institute, 1987. 667p.

Pereira, S.L. *Efeito da adubação nitrogenada e molibídica sobre a produtividade, teor de nitrogênio, atividade da redutase do nitrato e outras características da cultura do milho*. Viçosa, MG: UFV, 1997. 89p. (Doctoral Thesis in Agronomy) - Universidade Federal de Viçosa.

Pessoa, A.C.S. *Atividades de nitrogenase e redutase do nitrato e produtividade do feijoeiro em resposta à adubação com molibdênio e fósforo*. Viçosa, MG: UFV, 1998. 151p. (Doctoral Thesis in Soils and Mineral nutrition of Plants) - Universidade Federal de Viçosa.

Santos, O.S. Molibdênio. In: Ferreira, M.E.; Cruz, M.C.P. *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba: POTAFO/CNPq, 1991. p.191-217.

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. *Rev. Brasil. Cienc. Solo*, 21(1):41-45, 1997.

Vidor, C.; Peres, J.R.R. Nutrição das plantas com molibdênio e cobalto. In: Borkert, C.M.; Lantmann, A.F. (ed.). *Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira*. Londrina: Embrapa/CNPSO/SBCS, 1988. p.179-204.

Vitti, G.L.; Fornasier, D.; Pedroso, P.A.C.; Castro, R.S.A. Fertilizantes com molibdênio e cobalto na cultura da soja. *Rev. Brasil. Cienc. Solo*, 8(3):349-352, 1984.

Received on May 21, 1999.

Accepted on June 28, 1999.