

EFEITOS DE MICRONUTRIENTES NA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO NITROGÊNIO E PRODUTIVIDADE DA SOJA¹

RUBENS JOSÉ CAMPO² e AUREO FRANCISCO LANTMANN³

RESUMO - Foram estudados, em dois experimentos, os efeitos de micronutrientes sobre a fixação biológica do nitrogênio (FBN) e a produtividade da soja. Os efeitos do Zn, Co, B e Mo foram testados em três solos (LRe, LEa e LRd) onde a soja foi cultivada por mais de oito anos. No outro experimento, os efeitos do Mo foram testados em dois solos ácidos (LBd e LRa) de primeiro ano com cultivo de soja, e em doses de calcário. Os micronutrientes foram aplicados sobre as sementes, antes da inoculação de *Bradyrhizobium elkanii*, nas quantidades de: 15 g de Zn; 0,75 g de Co; 4,5 e 9,0 g de Mo; e 3,0 g de B por 80 kg de sementes. Em solos com anterior cultivo de soja, o Zn, o Co e o B não exerceram efeitos sobre os parâmetros avaliados, mas o Mo aumentou a FBN e a produtividade da soja em dois desses solos. Nas condições de solo ácido de primeiro ano de cultivo com soja (LBd), o Mo não afetou a FBN e a produtividade; no outro solo ácido (LRa), o Mo aumentou a FBN e a produtividade da soja apenas quando não houve adição do calcário.

Termos para indexação: calagem, *Bradyrhizobium*, molibdênio, cobalto, boro, zinco.

EFFECTS OF MICRONUTRIENTS ON BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION AND SOYABEAN PRODUCTIVITY

ABSTRACT - The effects of micronutrients on biological nitrogen fixation (BNF) and on soyabean yield were studied in two sets of field experiments. The effects of Zn, Co, B and Mo were tested at three sites (soils LRe, LEa and LRd) where soyabean had been cultivated for more than eight years. In the other set, the effects of Mo (9.0 g) were tested at two sites of acid soils (LBd and LRa), in a first-year soyabean crop production, at different levels of lime. The micronutrients were applied on the seeds, just before inoculation with *Bradyrhizobium elkanii*, using 80 kg of seeds by hectare: 15 g of Zn, 0.75 g of Co, 4.5 and 9.0 g of Mo and 3.0 g of B. In soils already cultivated with soyabean, Zn, Co and B did not increase BNF and soyabean yield, but Mo increased BNF and soyabean yield in two of these soils. Mo did not increase BNF and soyabean yield in LBd soil. In the other soil (LRa soil), Mo increased BNF and soyabean yield, but only without lime.

Index terms: lime, *Bradyrhizobium*, molybdenum, cobalt, boron, zinc.

¹ Aceito para publicação em 6 de novembro de 1997.

Trabalho apresentado no XIII Congresso Latino Americano de Ciência do Solo, Águas de Lindóia, SP, 4 a 8 de agosto de 1996.

² Eng. Agr., Ph.D., Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Soja (CNPSo), Caixa Postal 231, CEP 86001-970 Londrina, PR. E-mail: rjcampo@cnpso.embrapa.br

³ Eng. Agr., M.Sc., Embrapa-CNPSo.

INTRODUÇÃO

Solos de alta fertilidade normalmente possuem a capacidade de fornecer os micronutrientes necessários para a cultura da soja. Entretanto, a remoção de micronutrientes por cultivos sucessivos, os processos de erosão, a redução da matéria orgânica e a presença de acidez podem levar à ocorrência de deficiências de alguns micronutrientes essenciais (Martens & Westermann, 1991). Em soja, por exemplo, a necessidade de alguns micronutrientes pode ser ainda mais importante, pois eles são essenciais para a fixação biológica do N₂ (Parker & Harris, 1977).

O molibdênio (Mo) exerce, nas plantas, importante papel nas reações de transferência de elétrons. Participa como cofator das enzimas nitrogenase, redutase do nitrato e oxidase do sulfato e na formação da proteína Mo-Fe-S (Martens & Westermann, 1991). Os mesmos autores citam, ainda, que o Zn exerce funções importantes no metabolismo de carboidratos, proteínas e auxinas e afeta a integridade da membrana. O cobalto (Co) é essencial na fixação biológica do N, e o boro (B) é essencial na divisão e desenvolvimento das células.

No Brasil, são poucos os estudos sobre os efeitos dos micronutrientes na fixação de N₂ e na produtividade de soja. Além disso, tais estudos têm-se concentrado mais em *Phaseolus vulgaris* e especialmente com o Mo.

Estudos desenvolvidos por Franco & Day (1980), com aplicações de Mo na presença ou na ausência de calagem em feijão, demonstram que sem calagem (pH 5,0) as plantas fixaram pouco N₂ e não respondem às aplicações de Mo. Aplicação de calagem em dose apenas suficiente para elevar o pH para 5,3 foi suficiente para que houvesse resposta significativa às aplicações de Mo, aumentando, por conseguinte, a fixação do N₂ e o crescimento das plantas. Por outro lado, estudos desenvolvidos por Jacob Neto & Franco (1989) demonstram que mesmo na ausência de calagem (pH 4,9) os efeitos positivos do Mo foram verificados.

Estudos de efeitos de doses e épocas de aplicação de Mo, relativos à cultura do feijão, têm sido frequentes. Inicialmente, em feijão, a maioria das aplicações de Mo foram efetuadas na semente. Atualmente, tem-se constatado que pulverizações foliares têm proporcionado melhores resultados. Berger et al. (1995) constataram que o rendimento máximo de grãos em duas localidades foi obtido com a aplicação de 78 e 90 g/ha de Mo, e que a melhor época de aplicação de Mo, via pulverização foliar, foi em torno dos 20 dias após a emergência. Diniz et al. (1995), ao compararem adubações nitrogenadas, semeadura e cobertura com doses de Mo por pulverizações foliares, em feijão, constataram que 40 kg de N na semeadura ou 30 kg de N em cobertura foram iguais a 40 g de Mo, e que estes tratamentos aumentaram a produtividade de feijão em até 200%.

Em soja, os estudos com micronutrientes são poucos, e, assim como em feijão, se concentram mais em Mo. Esses estudos têm indicado que o feijão é mais exigente em Mo do que a soja (Jacob Neto & Franco, 1995). Outro aspecto diferenciador entre as culturas é que em soja, as aplicações de Mo têm sido feitas, comumente, por meio das sementes. Estudos desenvolvidos na Nigéria por Aghatise & Tayo (1994) para determinar as quantidades de Mo a adicionar nas adubações da soja, mostram que 200 e 400 g de Mo/ha aplicados ao solo proporcionaram melhor desenvolvimento das plantas. Os autores sugerem que os efeitos positivos do Mo devem-se à sua influência na fixação de N₂ e na redução do nitrato. Lantman et al. (1989), em trabalhos com doses de Mo e calcário, concluem que o Mo aumenta a produtividade da soja e a proteína nos grãos, em condições de baixo pH. Por outro lado, Sfredo et al. (1995) encontraram resposta à aplicação de Mo em estudos com micronutrientes (Mo, Co, Fe e Zn), em aplicações via foliar ou na semente, mesmo em condições de solos não-ácidos.

O objetivo destes estudos foi o de verificar: 1. o efeito da aplicação de Mo, Co, Zn e B na fixação de N₂ e na produtividade da soja, em solos não-ácidos e há longo tempo cultivados com a soja; e 2. o efeito da aplicação de Mo na fixação do N₂ e na produtividade da soja, em condições de solos ácidos de primeiro cultivo de soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento, sob condições onde a soja tinha sido cultivada por mais de oito anos, foi conduzido no Estado do Paraná, nas localidades de Londrina, solo LRe, Ponta Grossa, solo LEa e Campo Mourão, solo LRd (Tabela 1). Nesses locais foram estudados os efeitos do Zn, Co, Mo e B. As sementes foram umedecidas com uma solução aquosa a 25% de açúcar, e os micronutrientes foram aplicados às sementes nas doses de 15 g de Zn (ZnSO₄), 0,75 g de Co (CoCl₂.6H₂O), 4,5 e 9,0 g de Mo (Na₂Mo₄.2H₂O) e 3,0 g de B (H₃BO₃) por ha (80 kg de sementes). A inoculação nas sementes foi feita logo após a aplicação do micronutriente, com um inoculante comercial turfoso (250 g por 50 kg semente) para soja, constituído das estirpes SEMIA 587 e SEMIA 5019, população mínima de 10⁷ células por g de inoculante. Para este experimento, utilizou-se o delineamento experimental de blocos completos casualizados, com cinco repetições. O outro experimento, resposta do Mo em solos ácidos de primeiro cultivo, foi instalado nas localidades de Guarapuava, PR, solo LBd, e Campo Mourão, PR, solo LRa (Tabela 1). Em Guarapuava, as doses de calcário utilizadas foram de: 0, 3, 6, 9, 12 e 15 t/ha. Em Campo Mourão, as doses de calcário foram: 0, 2, 4, 6, 8 e 10 t/ha. Em ambos os locais a fonte de calcário foi o dolomítico, que, após aplicado, foi incorporado 120 dias antes do plantio. A aplicação do Mo (9 g por 80 kg semente) e a inoculação nas sementes foram efetuadas como no experimento anterior. Nestas localidades, o experimento foi em delineamento experimental de blocos completos casualizados, com parcelas subdivididas em quatro repetições. Nas parcelas foram aplicadas as doses de calcário, e nas subparcelas, os tratamentos com e sem Mo.

A análise dos solos usados para instalação dos experimentos seguiu o método descrito por Vettori (1969). As adubações básicas com P e K foram efetuadas com adubos formulados e nas quantidades necessárias de acordo com a recomendação de adubação para soja do Estado do Paraná, levando-se em consideração as características químicas de cada solo.

A avaliação dos experimentos foi realizada pela contagem e pesagem dos nódulos, em dez plantas por parcela, por ocasião da floração, pela análise dos teores de N no tecido (floração) e nos grãos, determinados pelo método de Kjeldahl, e pelo rendimento de grãos.

TABELA 1. Propriedades químicas dos solos de Londrina (Latossolo Roxo, eutrófico - LRe), Ponta Grossa (Latossolo Vermelho-Escuro, álico - LEa) e Campo Mourão (Latossolo Roxo, distrófico - LRd) cultivados com soja por mais de 8 anos e dos solos de Guarapuava (Latossolo Bruno, distrófico - LBd) e Campo Mourão (Latossolo Roxo, álico - LRa), em primeiro cultivo de soja.

Solos	pH	Element				C (g/dm ³)	P (mg/dm ³)
		Al	K	Ca	Mg		
Solos cultivados por mais de 8 anos com soja							
LRe	6,2	0,0	0,5	10,4	2,6	1,8	25,0
LEa	5,4	0,3	0,3	3,1	0,7	2,0	9,0
LRd	5,5	0,1	0,2	3,4	1,3	2,3	18,4
Solos com primeiro cultivo de soja							
LBd	4,6	1,6	0,1	1,1	0,2	3,6	8,6
LRa	4,8	1,3	1,3	0,2	0,3	2,3	9,2

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Solos cultivados por vários anos com soja

Os solos utilizados nestes estudos (Tabela 1) apresentaram valores de pH em água sempre superiores a 5,4, não possuíam problemas de excesso de Al trocável e nem de deficiência de Ca, Mg, K e P. Além disso, adubações complementares de P e K foram realizadas para suprir possíveis deficiências desses nutrientes nos diferentes tipos de solos. Assim, o esperado era que as diferenças obtidas em relação às testemunhas sem micronutrientes fossem causadas pela adição destes nutrientes, uma vez que nunca se haviam utilizado adubações com micronutrientes nestes solos em anos anteriores.

Os resultados obtidos no solo LRe de Londrina (Tabela 2) mostram que a presença do Mo (4,5 g), em dois dos tratamentos, aumentou a concentração de N (%) nos grãos. Por conseqüência, maior quantidade de N foi armazenada nos grãos, e maior produtividade da soja foi obtida nos tratamentos com Mo. Estes resultados confirmam, assim, a importância do Mo para o processo de fixação biológica do N₂. Por outro lado, a adição dos outros micronutrientes (Zn, B e Co) não apresentou efeitos sobre os parâmetros estudados. Isto significa que este solo, após mais de oito cultivos de soja, ainda possuía teores destes elementos em concentrações suficientes para a cultura da soja. Observa-se, ainda, nestes resultados, que nenhum destes micronutrientes afetou a nodulação da soja, o que confirma, assim, os resultados obtidos por Nery et al. (1976) de que o Mo não afeta a nodulação da soja mas afeta o processo de fixação biológica do N₂ (Parker & Harris, 1977; Martens & Westermann, 1991).

Resultados similares foram observados no solo LEa de Ponta Grossa (Tabela 3). Assim como no local anterior, novamente a presença do Mo parece ter afetado o funcionamento dos nódulos, proporcionando maiores quantidades de N nos grãos e maior produtividade. Os dados mostram que em todos os tratamentos onde o Mo se fez presente foram obtidos os maiores acúmulos de N nos grãos e as maiores produtividades de soja. Similarmente ao solo anterior, Zn, B e Co não apresentaram efeito sobre os parâmetros estudados, o que indica que este solo apresentava teores adequados para esta cultura.

TABELA 2. Número de nódulos por planta, massa de nódulos secos (mg/pl), N nas folhas (%), N nos grãos (%), N total nos grãos (kg/ha) e produtividade (kg/ha) obtidos após aplicações de micronutrientes, em solo LRe, em Londrina, PR¹.

Micronutrientes por 80 kg de semente	Nodulação		Nitro			Produtividade
	Número	Massa	Folhas	Grãos (%)	Grãos (kg/ha)	
Sem micronutriente	13	60	4,1	6,1bc	166,5b	2.720b
Zn - 15 g	11	56	4,0	6,1bc	179,4b	2.930b
Co - 0,75 g	15	65	4,0	6,0c	184,5b	3.053b
Mo - 4,5 g	14	57	4,1	6,4a	236,3a	3.717a
B - 3,0 g	14	66	4,0	6,2b	187,2b	3.006b
(Zn+Co+Mo+B)	12	60	4,1	6,4a	204,3ab	3.204ab
C.V. (%)	12,8 ns	29,6 ns	6,5 ns	1,5	14,5	14,2

¹ Médias (cinco repetições) seguidas de uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan ($P \leq 0,05$).
ns = não-significativo a 5% de probabilidade.

TABELA 3. Número de nódulos por planta, massa de nódulos secos (mg/pl), N nas folhas (%), N nos grãos (%), N total dos grãos (kg/ha) e produtividade (kg/ha) obtidos após aplicações de micronutrientes, em solo LEa, em Ponta Grossa, PR¹.

Micronutriente por 80 kg de semente	Nodulação por		Nitrogênio			Produtividade
	Número	Massa	Folhas	Grãos (%)	Grãos (kg/ha)	
Sem micronutriente	6,4	9	5,1	5,7	87,5b	1.534c
Zn - 15 g	8,0	8	5,1	5,7	85,4b	1.496c
Co - 0,75 g	7,8	6	4,8	6,0	91,5b	1.516c
Mo - 4,5 g	8,8	13	5,1	6,3	132,9a	2.107a
Mo - 9,0 g	8,6	15	5,0	6,4	121,5a	1.900b
B - 3,0 g	7,2	10	5,1	5,9	97,0b	1.631c
(Zn+Co+ Mo +B)	7,0	13	5,1	6,5	127,0a	1.953ab
C.V.(%)	20,2 ns	46,6 ns	7,5 ns	3,9 ns	9,3	8,0

¹ Médias (cinco repetições) seguidas de uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan ($P \leq 0,05$).
ns = não-significativo a 5% de probabilidade.

Contrastando com os resultados obtidos nos dois locais anteriores, o solo LRd de Campo Mourão (Tabela 4) não apresentou efeito positivo de nenhum dos tratamentos em relação à testemunha, em relação aos parâmetros estudados. Em trabalhos anteriores, Karimian & Cox (1978) observaram correlação positiva entre teores de matéria orgânica e a adsorção de Mo. Como este solo possui maior teor de matéria orgânica do que os demais (Tabela 1), estes resultados sugerem que este solo teve maior capacidade de adsorção de Mo, e, por consequência, maior capacidade de fornecer os micronutrientes Zn, B, Co e especialmente Mo para uma boa fixação biológica do N₂ e uma boa produtividade da soja. Tem sido sugerido, por alguns autores, que a quantidade de micronutrientes, em especial o Mo, que as plantas exigem é tão pequena, que as sementes com altos teores de Mo dispõem de quantidades suficientes para suprir as exigências da planta (Meagher et al., 1952). Neste caso, isto não se aplica porque a semente utilizada possuía baixo teor de Mo, uma vez que, em dois dos três locais houve resposta à adição de Mo.

TABELA 4. Número de nódulos por planta, massa seca de nódulos (mg/pl), N nas folhas (%), N nos grãos (%), N total dos grãos (kg/ha) e produtividade (kg/ha) obtidos após aplicações de micronutrientes, em solo LRd, em Campo Mourão, PR¹.

Micronutriente por 80 kg de semente	Nodulação por		Nit			Produtividade
	Número	Massa	Folhas	Grãos (%)	Grãos (kg/ha)	
Sem micronutriente	20,4	68	4,9	6,8	233,4	3440
Zn - 15 g	19,7	64	4,9	6,8	217,6	3226
Co - 0,75 g	18,2	65	4,8	6,7	200,9	2980
Mo - 4,5 g	22,8	77	4,9	6,9	244,1	3543
Mo - 9,0 g	18,8	74	5,0	6,8	216,2	3163
B - 3,0 g	20,5	67	4,9	6,7	216,3	3321
(Zn+Co+Mo +B)	20,6	77	4,8	6,9	233,4	3401
C.V. (%)	13,1 ns	21,1 ns	6,1 ns	1,7 ns	11,9 ns	11,4 ns

¹ Médias (cinco repetições) seguidas de uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan ($P \leq 0,05$).
ns = não-significativo a 5% de probabilidade.

Solos com primeiro cultivo de soja

Nestes estudos, as análises de variância significativas foram analisadas por regressão, fazendo-se comparações entre doses de calagem, na presença, ou não, do Mo. Como o objetivo do trabalho era estudar o efeito da aplicação do Mo em condições de solos ácidos, e não, estudar os efeitos de doses de calcário, optou-se por fazer comparações de médias (teste T) somente entre a dose zero e a dose mais próxima da dose recomendada, em relação a cada solo. Os parâmetros avaliados, no que tange a estes solos, foram nodulação (número e massa), teores de N nas folhas e nos grãos, N total absorvido, e produtividade de soja.

Latossolo Bruno distrófico de Guarapuava

A análise de variância dos resultados de nodulação (massa e número de nódulos) mostrou que não houve interação significativa entre calagem e doses de Mo, bem como não se verificou o efeito de doses de Mo sobre os resultados de nodulação (massa e número). Verificou-se apenas efeito positivo de doses de calcário sobre a nodulação, onde todas as doses de calcário diferentes de zero apresentaram a mesma nodulação, sendo, no entanto, todas superiores a dose zero de calcário. Como o objetivo do trabalho foi o de estudar o efeito do Mo, na fixação biológica do N_2 e não o efeito da calagem, optou-se por apresentar somente os resultados dos efeitos do Mo na dose zero e na dose de calcário mais próxima (9 t) à dose recomendada (8,3 t) para este solo (Tabela 5).

Os resultados de massa de nódulos (Tabela 5) mostram que não houve efeito da adição do Mo na nodulação; somente houve efeito da calagem. Estes resultados de nodulação confirmam, desta forma, os resultados discutidos anteriormente, de que o Mo não afeta a nodulação. Efetuou-se, ainda, uma análise de regressão para doses de calcário com e sem Mo, não se constatando efeitos significativos, a 5% de probabilidade, para este parâmetro.

Resultados dos teores de N nas folhas, para doses de calcário, mostraram que sem adição de Mo os teores de N foram maiores na dose zero de calcário do que nas demais doses de calcário. Na dose zero de calcário sem adição de Mo, as plantas ficaram menores, e, por conseqüência, houve maior concentração do elemento, causada pela menor diluição do elemento na planta. Em contraste, na dose zero de calcário na presença de Mo, o Mo favoreceu o desenvolvimento das plantas, não ocorrendo o efeito de diluição do elemento na planta, o que demonstra que, mesmo em condições de alta acidez, a adição do Mo pode exercer efeito benéfico à fixação biológica do N_2 .

Os resultados de teores de N nos grãos não mostraram efeito significativo do Mo dentro de doses de calcário ($P \geq 0,05$). Não houve diferenças entre os tratamentos com e sem Mo nas diferentes doses de

calcário. Entretanto, ficou claro a importância da calagem para o processo de fixação biológica do N₂, pois doses crescentes de calcário aumentaram os teores de N nos grãos, o que, por consequência, resultou em maior acúmulo de N nos grãos.

TABELA 5. Massa de nódulos (g), nitrogênio nos grãos (kg/ha) e produtividade de soja (kg/ha), obtidos para solo ácido LbD de Guarapuava, PR, em função de doses de calcário, com e sem aplicação de molibdênio¹.

Calcário (t/ha)	Massa de nódulos		N grãos		Produtividade	
	Com Mo	Sem Mo	Com Mo	Sem Mo	Com Mo	Sem Mo
0	0,29bA	0,20bA	94bA	104bA	1526bA	1691bA
9	0,73aA	0,66aA	198aA	181aA	2871aA	2658aA
Média	0,42A	0,51A	146A	143A	2198A	2174A
C.V. (%)	Calagem = 26,0	Mo = 17,5	Calagem = 10,7	Mo = 9,0	Calagem = 9,0	Mo = 7,8

¹ Médias (quatro repetições) seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna e médias seguidas de uma mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste T ($P \leq 0,05$).

A análise de regressão dos dados de N nos grãos mostrou um efeito quadrático significativo ($P \leq 0,05$) da calagem, com e sem Mo, sendo $R^2 = 94,6\%$ sem Mo, e $R^2 = 91,5\%$ com Mo (Fig. 1). Na presença do Mo ocorre a inclinação da curva com 9 t de calcário, enquanto que sem Mo esta inclinação só ocorre com 12 t de calcário. Por outro lado, não se constataram diferenças significativas entre os tratamentos com e sem Mo dentro das doses zero e 9 toneladas de calcário (Tabela 5). Observa-se, ainda, que, embora não estatisticamente significativa, a adição do Mo na dose de 9 t de calcário apresentou média de N absorvido proveniente da fixação simbiótica ou do solo, de 198 kg/ha, ao passo que sem a adição de Mo o N absorvido foi de 181 kg/ha (Tabela 5). Resultados similares foram observados quanto à produtividade. A análise de regressão de produtividade de soja mostrou uma associação significativa ($P \leq 0,05$) com as doses de calcário, com e sem Mo. Os dados de produtividade permitiram o ajuste de dois modelos de regressão quadráticos, sendo,

$$Y = 1824,14 + 160,39 X - 5,60 X^2, R^2 = 0,906 \text{ (sem Mo), e}$$

$$Y = 1710,89 + 281,66 X - 14,65 X^2, R^2 = 0,865 \text{ (com Mo).}$$

Similarmente aos dados mostrados em relação a N nos grãos, não foram observadas diferenças significativas no tocante à produtividade de grãos entre os dados com e sem Mo, nas doses de zero e 9 t de calcário; somente houve diferenças no tocante a doses de calcário (Tabela 5).

Latossolo Roxo álico de Campo Mourão

Para este local, as análises de nodulação e teores de N nas folhas não foram realizadas. A coleta das plantas, por ocasião da floração, não foi realizada pelo excesso de chuvas. Assim, somente os parâmetros teores de N nos grãos, N total nos grãos e produtividade da soja, foram avaliados. Similarmente ao solo anterior, foram realizadas análises de regressão referentes a N total nos grãos e produtividade da soja, e efetuou-se teste de médias somente para a dose zero e a de 6 toneladas, dose esta mais próxima da dose de calcário recomendada para este solo, que foi de 6,3 toneladas.

A análise de regressão dos dados de N nos grãos mostrou associação significativa ($P \leq 0,01$) com a calagem, com e sem Mo, sendo possível ajustar uma regressão quadrática para doses de calcário, com $R^2 = 96,5\%$ sem Mo, e $R^2 = 97,5\%$ com Mo (Fig. 2). As curvas ajustadas, referentes a estes dados mostraram que o Mo favoreceu a fixação biológica do N₂ nas doses menores de calcário. A partir de 4 t de calcário por ha não houve mais diferenças entre os tratamentos com e sem Mo, embora a dose ideal de calagem para estes solos fosse de 6,3 t/ha. Estes resultados mostraram que, em condições de solos ácidos com pH inferior a 5,3, a necessidade de Mo foi maior do que nas doses maiores de calcário. Estes resultados confirmam resultados anteriores, em que a adição de calcário elimina a necessidade de Mo (Rolt, 1967). Esta maior disponibilidade do Mo para a planta, em condições de solos corrigidos, deve-se à maior concentração de Mo na forma MoO₄, forma dissociada do ácido molibídico (Tiffin, 1972), que é a forma de Mo mais absorvida pelas plantas (Gupta & Lipsett, 1981). A comparação entre médias, no tocante às doses zero e 6 t de calcário, na presença, ou não,

do Mo (Tabela 6), mostrou que o Mo favoreceu a fixação de N₂ na dose zero de calcário, mas não na dose 6 t de calcário. Observa-se, ainda, que o valor médio de N nos grãos, obtido com doses de calcário mais Mo (210 kg/ha), foi superior ao valor médio (184 kg/ha) obtido em relação a doses de calcário sem Mo. Novamente, estes resultados mostram a importância da calagem sobre os teores de N nos grãos, e que a adição de Mo substituiu, em parte, a necessidade de calagem. Provavelmente, isto ocorreu porque a adição de calcário aumenta a atividade dos microorganismos do solo, com o conseqüente aumento da disponibilidade de Mo nas plantas. Assim, uma vez mais, verifica-se que o Mo apresentou efeito positivo na fixação biológica do N₂, e aumentou o N absorvido pelas plantas. Estes resultados confirmam os resultados obtidos por Vieira et al. (1995a; 1995b), de acordo com os quais os efeitos positivos do Mo ocorreram pelo fato de ele aumentar a atividade específica da nitrogenase e estender a nitrato-redutase.

Resultados similares foram observados quanto à produtividade; a análise de regressão mostrou associação significativa ($P \leq 0,01$) com doses de calcário, com e sem Mo. Os dados permitiram o ajuste de dois modelos de regressão quadráticos, sendo,

$$Y = 2233,86 + 235,64 X - 12,39 X^2, R^2 = 0,973 \text{ (sem Mo), e}$$

$$Y = 2689,21 + 145,03 X - 8,24 X^2, R^2 = 0,981 \text{ (com Mo).}$$

Observou-se, ainda, pelo teste de comparação de médias, que na dose zero de calcário a adição de Mo favoreceu a produtividade de grãos. Comparando-se os efeitos da calagem, verificou-se que a soja, neste solo, só respondeu à adição de Mo na ausência do calcário, e que a adição de Mo apresentou rendimento igual ao da adição de 6 t de calcário (Tabela 6).

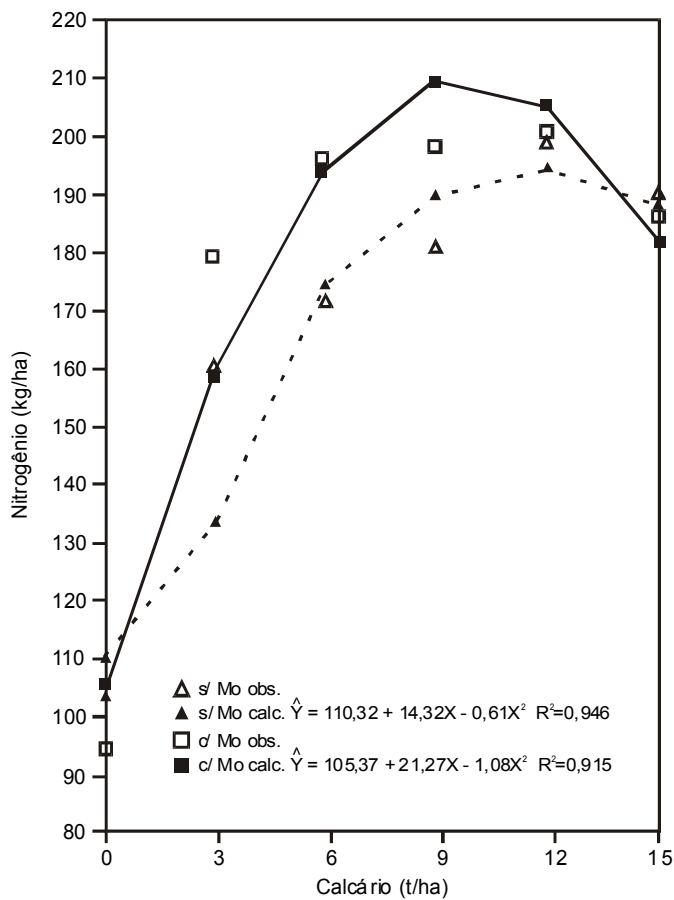


FIG. 1. Nitrogênio nos grãos de soja, cultivada no solo ácido LbD de Guarapuava, PR, em função de doses de calcário com e sem aplicação de molibdênio.

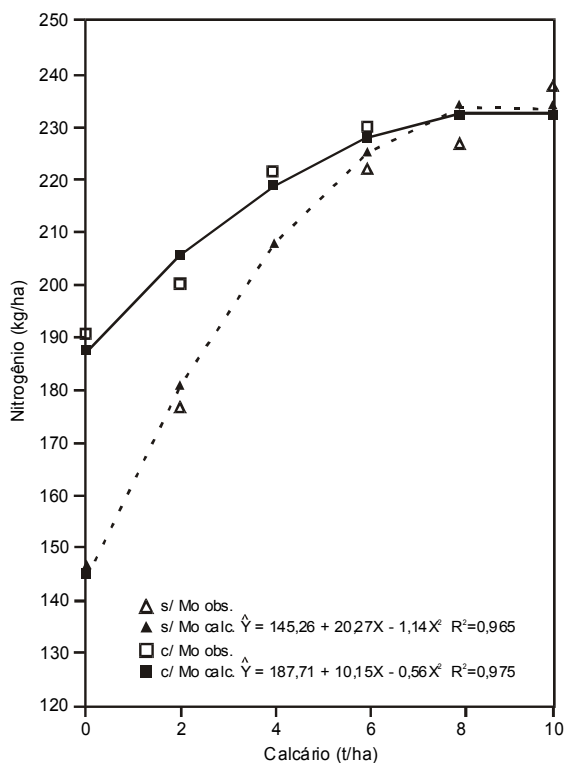


FIG. 2. Nitrogênio nos grãos de soja, cultivada no solo ácido LRa de Campo Mourão, PR, em função de doses de calcário com e sem aplicação de molibdênio.

TABELA 6. Nitrogênio nos grãos (kg/ha) e produtividade de soja (kg/ha), obtidos para o solo ácido LRa de Campo Mourão, PR, em função de doses de calcário, com e sem aplicação de molibdênio¹.

Calcário (t/ha)	N grãos		Produtividade	
	Com Mo	Sem Mo	Com Mo	Sem Mo
0	190bA	145bB	2710aA	2236bB
6	230aA	223aA	3031aA	3184aA
Média	210A	184B	2870A	2710A
C.V. (%)	Calagem 5,0	Mo 4,7	Calagem 4,3	Mo 4,1

¹ Médias (quatro repetições) seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna e médias seguidas de uma mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste T (P≤0,05).

CONCLUSÕES

1. A adição de Mo nos solos LRe e LEa cultivados com soja por mais de oito anos aumenta a eficiência de fixação biológica do N₂ e a produtividade da soja; o solo LRd não responde à adição desse nutriente.
2. A adição de Zn, Co e B nos solos LRe, LEa e LRd cultivados com soja por mais de oito anos não afeta a fixação biológica do N₂ e a produtividade da soja.
3. O solo LBD de primeiro cultivo com soja não responde à adição de Mo; o solo LRa de primeiro cultivo com soja responde à adição de Mo, apenas na ausência de calcário.

REFERÊNCIAS

- AGHATISE, V.O.; TAYO, T.O. Response of soyabean (*Glycine max*) to molybdenum application in Nigeria. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v.64, n.9, p.597-603, 1994.
- BERGER, P.G.; VIEIRA, C.; ARAÚJO, G.A. de A. Efeitos de doses e épocas de aplicação de molibdênio sobre a cultura do feijão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: UFV, 1995. v.3, p.1219-1221.
- DINIZ, A.R.; ANDRADE, M.J.B. de; BUENO, L.C. de S.; CARVALHO, J.G. de. Resposta da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) à aplicação de nitrogênio (semeadura e cobertura) e de molibdênio foliar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: UFV, 1995. v.3, p.1225-1227.
- FRANCO, A.A.; DAY, J.M. Effects of lime and molybdenum on nodulation and nitrogen fixation of *Phaseolus vulgaris* L. in acid soils of Brazil. **Turrialba**, Costa Rica, v.30, n.1, p.99-105, 1980
- GUPTA, V.C.; LIPSETT, J. Molybdenum in soils, plants and animals. **Advances in Agronomy**, New York, v.34, p.73-115, 1981.
- JACOB NETO, J.; FRANCO, A.A. Determinação do nível crítico de Mo nos nódulos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Turrialba**, Costa Rica, v.39, n.2, p.215-223. 1989.
- JACOB NETO, J.; FRANCO, A.A. Adubação de molibdênio em soja (*Glycine max* (L.) Merr.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: UFV, 1995. v.3, p.1213-1215.
- KARIMIAN, N.; COX, F.R. Absorption and extractability of molybdenum in reaction to some chemical properties of soil. **Soil Science Society of America. Journal**, Madison, v.42, p.757-761, 1978.
- LANTMANN, A.F.; SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; OLIVEIRA M.C.N. de. Resposta da soja a molibdênio em diferentes níveis de pH do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, p.45-49, 1989.
- MARTENS, D.C.; WESTERMANN, D.T. Fertilizers applications for correcting micronutrient deficiencies. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCH, R.M. (Eds.). **Fertilizers applications for correcting micronutrient deficiencies: micronutrients in agriculture**. 2.ed. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p.549-592.
- MEAGHER, W.R.; JOHNSON, C.M.; STOUT, P.R. Molybdenum requirements of leguminous plants supplied with fixed nitrogen. **Plant Physiology**, v.27, p.223-230, 1952.
- NERY, M.; PERES, J.R.R.; DOBEREINER, J. Efeito de micronutrientes na forma de FTE na produção de leguminosas forrageiras e na fixação de N₂. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., 1975, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p.157-162.
- PARKER, M.B.; HARRIS, H.B. Yield and leaf nitrogen of nodulating and non-nodulating soybeans as affected by nitrogen and molybdenum. **Agronomy Journal**, Madison, v.69, p.551-554, 1977.
- ROLT, W.F. Some effects of lime and molybdenum on the growth of white clover in Autea Clay. **Journal of Agricultural Research**, New York, v.11, p.193-205, 1967.
- SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; CASTRO, C. de. Efeito de micronutrientes sobre a produção de soja em três solos do estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: UFV, 1995. v.3. p.1216-1218.
- TIFFIN, L.O. Translocation of micronutrients in plants. In: MORTVEDET, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. (Eds.). **Micronutrients in agriculture: Zn, Fe, Mo, Cu, B, Mn**. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p.199-229.
- VETTORI, L. **Métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 24p. (Boletim técnico, 7).
- VIEIRA, R.F.; CARDOSO, E.J.B.N.; VIEIRA, F.; CASSINI, S.T.A. Foliar application of molybdenum in common beans. I. Nitrogenase and nitrate reductase activities in a soil of high fertility. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE AGRICULTURE FOR THE TROPICS - THE ROLE OF BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION, 1., 1995, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa-CNPAB, 1995a. p.189-190.

VIEIRA, R.F.; CARDOSO, E.J.B.N.; VIEIRA, F.; CASSINI, S.T.A. Foliar application of molybdenum in common beans. II. Nitrogenase and nitrate reductase activities in a soil of low fertility. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE AGRICULTURE FOR THE TROPICS - THE ROLE OF BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION, 1., 1995, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa-CNPAB, 1995b. p.191-192.