

## RELAÇÕES ENTRE DOSES DE CALCÁRIO E MANGANÊS NA NUTRIÇÃO MINERAL DA SOJA NA REGIÃO DE RIO VERDE-GO<sup>1</sup>

David Vieira Lima<sup>2</sup>, Huberto José Kliemann<sup>3</sup>,  
Milton Ferreira de Moraes<sup>4</sup> e Wilson Mozena Leandro<sup>3</sup>

### ABSTRACT

EFFECT OF LIMING AND MANGANESE RATES  
ON SOYBEAN MINERAL NUTRITION  
IN THE REGION OF RIO VERDE-GO, BRAZIL

This study aimed to assess the effects of liming and manganese rates on mineral nutrition of soybean on two representative soils from Rio Verde-GO, Brazil. A greenhouse experiment was undertaken at the School of Agronomy (Federal University of Goiás, Brazil), using an Oxisol (Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico fase Cerrado) and an Ultipsamment (Neossolo Quartzarênico Distrófico fase Cerrado). A completely randomized experimental design was used, in a 5x5 factorial treatment design (liming and manganese rates), with three replications. The studied soils showed serious nutritional shortcomings, due to their high acidity levels and excess of exchangeable manganese. Treatments without liming provoked widespread Ca and Mg deficiencies and manganese toxicity, with visual symptoms in soybean leaves. Close relations among Ca, Mg, and Mn accumulated in soybean leaves as functions of applied liming and manganese rates have been found. One may conclude that liming is essential both as a soil acidity neutralizer, as a nutritional source of Ca and, as well to prevent accumulation of manganese in plants at toxic levels. Application of Mn on both studied soils is unnecessary for the soybean crop.

KEY WORDS: Cerrados, Oxisols, Ultipsamment, soybeans, liming, manganese.

### INTRODUÇÃO

A soja é o principal produto do complexo agroindustrial brasileiro, atingido a produção de quase 43 milhões de toneladas na safra 2001/2002. Isso gerou uma receita de 6,4 bilhões de dólares, com exportações de US\$ 2,9 bilhões e reflexos sobre toda a cadeia dos agronegócios, incluindo a geração de trabalho e renda para o país.

O Estado de Goiás destaca-se no contexto produtivo como o terceiro estado produtor de soja no

### RESUMO

Com o objetivo de avaliar os efeitos das relações entre doses de calcário e de manganês na nutrição mineral da soja, em solos representativos da região de Rio Verde-GO, conduziu-se um experimento de estufa, utilizando solos classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo e Areia Quartzosa, ambos ácidos e distróficos, fase cerrado. Empregou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5x5, com cinco doses de calcário e cinco de manganês, e três repetições. Verificou-se que os solos estudados apresentam sérias limitações nutricionais, tanto pela acidez quanto pelo excesso de manganês trocável. Comparando-se os tratamentos com e sem calagem, constatou-se que, nos últimos, além da menor produção de massa seca, ocorreram deficiências de Ca e Mg e toxidez de Mn. Foram encontradas relações significativas das acumulações foliares de Ca, Mg e Mn em função das doses de calagem e de manganês. Concluiu-se que a calagem é essencial nos dois solos estudados como corretivo da acidez do solo e fonte nutricional de cálcio e magnésio, bem como para prevenir a acumulação foliar de manganês em níveis tóxicos na soja. A aplicação de manganês, para a cultura da soja, é desnecessária, senão prejudicial em ambos os solos estudados.

PALAVRAS-CHAVE: Cerrados, Latossolos, Areias Quartzosas, soja, calagem, manganês.

Brasil, especialmente pelo crescimento de mais de 30% em relação à safra anterior (2000/01). Houve aumento de 1,54 milhões para 1,89 milhões de hectares plantados, atingindo a cifra de 5,25 milhões de toneladas de grãos, conforme dados divulgados pelo IBGE (Lima 2002). A região Sudoeste do estado destaca-se neste cenário, pois somente o município de Rio Verde produz cerca de 1% da produção nacional de grãos. No entanto, faltam informações mais específicas sobre os solos da região, com predominância de Latossolos, de mineralogia oxídico-

1. Parte da tese de doutorado do primeiro autor, apresentada à Universidade Federal de Goiás.

Trabalho recebido em jul./2002 e aceito para publicação em out./2003 (registro nº 504).

2. Centro Federal de Educação Tecnológica de Rio Verde-GO. [www.professordavidlima.hpg.com.br](http://www.professordavidlima.hpg.com.br)

3. Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, C.Postal 131, CEP 74001-970. Goiânia, GO.

4. Pós-graduando na área de Solos e Recursos Ambientais. Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, SP.

gibbsítica, caulínítica e oxídico-hematítica, apresentando limitações típicas dessas classes de solos. Isso produz forte impacto sobre o processo produtivo, sobretudo no manejo da fertilidade dos solos.

A soja é considerada uma cultura de altas exigências nutricionais, principalmente de Ca e Mg e é sensível à acidez dos solos. O cálcio é um dos nutrientes mais limitantes à produção nos Latossolos de cerrado e, deste modo, a calagem torna-se uma prática indispensável, cuja deficiência reduz em 90% ou mais a produção de massa seca (Lima *et al.* 2000). De acordo com Fageria & Stone (1999), a calagem é a prática mais efetiva e barata para a correção da acidez desses solos, além de ser fundamental para o fornecimento de Ca e Mg, que são o terceiro e o quarto nutrientes mais exigidos pela soja. A sua absorção acompanha a cinética de crescimento das plantas, sendo maior no período que vai do florescimento ao início do enchimento de grãos, quando atinge um consumo diário máximo de 0,86 kg ha<sup>-1</sup> e 0,39 kg ha<sup>-1</sup> de Ca e de Mg, respectivamente (Rosolem 1980). Soma-se a isto a necessidade de se neutralizar outras formas de acidificação dos solos cultivados (Fageria & Stone 1999, Quaggio 2000).

Com relação ao manganês, a literatura têm mostrado resultados controversos. Em geral, os solos ácidos, altamente intemperizados e com mineralogia oxídica, predominantes nos cerrados, tendem a apresentar altos teores de Mn trocável, atingindo, em alguns casos, níveis tóxicos (Borkert *et al.* 1994, Lima *et al.* 2000). Entretanto, com a introdução do sistema de plantio direto nos solos dessas regiões e a conseqüente aplicação superficial de calcário, vem sendo observado casos de deficiência de manganês na cultura da soja (Sanzonowicz 1995). Com a elevação do pH na camada superficial do solo, ocorre redução na disponibilidade desse micronutriente, o que requer um balanceamento ainda mais criterioso da calagem.

Dados relatando as doses adequadas e os níveis críticos e tóxicos de manganês em soja nos solos de cerrado são escassos, sobretudo porque esse elemento, depois do ferro, é o nutriente com maior amplitude de teores considerados adequados. Estudos de Fageria (2001) mostraram que o Mn é tóxico para a soja a partir de 92 mg kg<sup>-1</sup> no solo (extrator Mehlich-1), e de 720 mg kg<sup>-1</sup> de massa seca nas folhas. Há divergência quanto ao nível crítico de manganês, pois, enquanto que a maioria dos autores aponta para 20 mg kg<sup>-1</sup> de massa seca de folhas, Rosolem *et al.* (1992) encontraram 90 mg kg<sup>-1</sup> e Fageria (2001) encontrou 67 mg kg<sup>-1</sup> de massa seca de soja. Há que se

considerar, ainda, que a soja apresenta grandes diferenças entre cultivares e linhagens, tanto termos de exigência nutricional, quanto de tolerância ao excesso de manganês (Mascarenhas *et al.* 1994).

A cultura da soja absorve, para cada tonelada de grãos produzidos, 300 g de manganês, dos quais, 56% são encontrados nas raízes, 29% na parte aérea da planta e 15% são exportados pelos grãos (Rosolem *et al.* 2001). A extração de manganês é menor, da ordem de 130 g t<sup>-1</sup> de grãos, sendo 30 g t<sup>-1</sup> exportados na colheita dos grãos. Apesar dessa variação nos dados, esses valores indicam baixo esgotamento do solo em manganês (Embrapa 2000).

A escassez de dados para os solos de cerrado e a divergência dos valores encontrados e a possibilidade de ocorrência, tanto de deficiência quanto de toxidez de Mn na soja cultivada nos solos da região, apontam para a necessidade de se efetuar pesquisas básicas, sob condições controladas, que possam embasar futuras pesquisas em condições de campo. Assim, objetivou-se no presente trabalho, através de experimentos sob condições de casa de vegetação, avaliar os efeitos das relações entre doses de calcário e de manganês na nutrição mineral da soja (*Glycine max* L. Merrill), bem como o efeito residual em dois cultivos sucessivos, em solos representativos da região sudoeste de Goiás.

## MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos em estufa, na Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás, com dois tipos de solo da região de Rio Verde, GO, coletados na profundidade de 0 a 20 cm: um Latossolo Vermelho-Amarelo epiálico, distrófico, argiloso (LVd) e uma Areia Quartzosa distrófica (AQd), ambos fase cerrado. Em cada solo foram conduzidos dois cultivos sucessivos de soja, com a cultivar Emgopa-316.

Foram realizadas análises físicas e químicas, conforme preconizado pela Embrapa (1997). As análises químicas mostraram, respectivamente, para o solo argiloso (LVd) e para o arenoso (AQd): 4,9 e 5,0 de pH em água; 4,0 e 4,0 mg dm<sup>-3</sup> de Ca; 1,0 e 2,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg; 10,0 e 4,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Al (os últimos três extraídos pelo KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); 1,7 e 1,6 mg dm<sup>-3</sup> de P; 49 e 58 mg dm<sup>-3</sup> de K; 0,3 e 0,2 mg dm<sup>-3</sup> de Cu; 99,3 e 143,9 mg dm<sup>-3</sup> de Fe; 16,1 e 23,0 mg dm<sup>-3</sup> de Mn; 0,5 e 0,3 mg dm<sup>-3</sup> de Zn (ambos extraídos pelo método Mehlich-1); 1,05 e 4,5 mg dm<sup>-3</sup> de B (água quente); 93 e 47 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de H + Al; 6,2 e 13,8% de saturação por bases; 53 e 8 g dm<sup>-3</sup> de

massa orgânica; 220 e 810 g kg<sup>-1</sup> de areia; 120 e 60 g kg<sup>-1</sup> de silte; 660 e 130 g kg<sup>-1</sup> de argila.

As unidades experimentais constaram-se de vasos plásticos com 4 kg de solo seco ao ar. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com três repetições por tratamento. O delineamento de tratamentos foi um fatorial completo 5x5: cinco doses de calcário (0; 0,5; 1; 1,5; e 2,0 vezes as quantidades recomendadas pela saturação por bases) e cinco doses de manganês (0, 5, 10, 15 e 20 mg kg<sup>-1</sup> de solo).

A necessidade de calagem foi quantificada pelo método da saturação por bases (Quaggio 2000), considerando-se 50% de saturação por bases (V%), a densidade global dos solos e uma camada de 20 cm de solo superficial. As doses necessárias para atender essas especificações foram de 4,14 t ha<sup>-1</sup> (equivalente a 2,05 g kg<sup>-1</sup> de solo) para o solo argiloso (LVd) e de 1,89 t ha<sup>-1</sup> (equivalente a 0,68g kg<sup>-1</sup> de solo) para o solo arenoso (AQd). Esses valores foram empregados como referenciais para as doses aplicadas nos tratamentos que receberam a calagem. Como corretivo, empregou-se uma mistura de CaCO<sub>3</sub> + MgCO<sub>3</sub> *p.a.*, na proporção de 3:1 (PRNT de 104,75%), deixando-se o solo sob incubação aeróbica por trinta dias. Após essa incubação, ambos os solos foram submetidos a uma adubação básica, com os seguintes nutrientes (sempre como fontes puras *p.a.*) e quantidades (mg kg<sup>-1</sup> de solo): N - 80; K - 150; P - 200; S - 50; Mo - 0,1; B - 1,5; Cu - 1,5 e Zn - 5. Para eliminar o efeito de tratamentos e condições experimentais sobre a simbiose, o nitrogênio foi fornecido no plantio e em duas coberturas (de acordo com o desenvolvimento das plantas), para cada cultivo, na forma mineral.

Por último, adicionou-se o manganês, como solução de cloreto de manganês tetraidratado *p.a.*, nas doses especificadas para cada tratamento. O material de solo de cada vaso foi novamente homogeneizado, incubado por um período de trinta dias e submetido à análise química de rotina. Foram, então, plantadas oito sementes de soja por vaso e, uma semana após a germinação, realizou-se o desbaste para quatro plantas por vaso. Durante todo o período experimental, realizou-se o rodízio semanal aleatório dos vasos.

A irrigação foi controlada pela perda de peso dos vasos, mantendo-se a umidade aproximadamente 80% da capacidade de campo.

Conduziram-se dois cultivos sucessivos, por 50 e 54 dias, até a fase de pré-florescimento da soja (estádio R2), cortando-se a parte aérea das plantas rente ao solo. As terceiras folhas com pecíolo, a contar

do ápice, foram coletadas e secadas separadamente para as análises foliares, seguindo os procedimentos descritos por Malavolta *et al.* (1997).

O material vegetal da parte aérea e das raízes foi seco em estufa com circulação de ar, a 70°C até peso constante, e pesado para a determinação da massa seca. As variáveis avaliadas foram: os teores foliares de cálcio, magnésio e manganês e as suas respectivas quantidades absorvidas (acumuladas) pela parte aérea das plantas.

As quantidades de nutrientes acumuladas nos tecidos da parte aérea foram calculadas com base em seus teores no tecido e na produção de massa seca (Tabela 1). A quantidade total acumulada pelas plantas foi obtida a partir soma das quantidades acumuladas nos dois cultivos.

Os dados das variáveis avaliadas foram submetidos às análises de variância e de regressão, segundo Colwell (1994). Empregou-se o modelo polinomial quadrático e o sistema computacional Statistical Analysis System (SAS Institute, 2000).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos afetaram significativamente a concentração e a quantidade total acumulada dos nutrientes na parte aérea da soja, em ambos os solos e cultivos, à exceção do magnésio, em alguns casos. Nos tratamentos sem calagem, as análises foliares confirmaram as observações visuais de deficiência de Ca e Mg e toxidez de Mn.

### Cálcio

A produção de massa, os teores e as quantidades absorvidas de cálcio sofreram pronunciada influência da calagem (Tabela 1, Figuras 1 e 2). Os coeficientes das equações de regressão mostraram relações curvilineares ( $p < 0,001$ ) dos teores e quantidades absorvidas de cálcio com a calagem, e relações lineares ( $p < 0,001$ ) com o manganês aplicados. Encontrou-se estreita correlação ( $r > 0,60$ ) entre teores e acumulação foliar de Ca com a calagem.

Os menores teores de Ca foram registrados nos tratamentos sem calagem (Tabela 1), os quais estiveram sempre abaixo do nível crítico de 10,0 g kg<sup>-1</sup> de massa seca (Trani *et al.* 1983) e da faixa de suficiência de 3,6 a 20,0 g kg<sup>-1</sup> de massa seca (Embrapa 2000). Isso comprova que o Ca é um dos nutrientes mais limitantes nos solos estudados, devido à sua baixa fertilidade. Além disso, observa-se que no primeiro cultivo os teores de Ca se apresentaram mais baixos

Tabela 1. Massa seca e teores de cálcio, magnésio e manganês na parte aérea da soja em dois tipos de solo, Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVd) e Areia Quartzosa distrófica (AQd), e em dois cultivos (1°C e 2°C)

| Tratamentos <sup>1</sup>           | Massa seca                       |                  |                  |                  | Teores de nutrientes por solo e por cultivo |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |  |                  |                  |                  |
|------------------------------------|----------------------------------|------------------|------------------|------------------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--|------------------|------------------|------------------|
|                                    | por solo e por cultivo           |                  |                  |                  | Cálcio                                      |                  |                  |                  | Magnésio         |                  |                  |                  | Manganês                                   |                  |                  |                  |
|                                    | LVd                              |                  | AQd              |                  | LVd   |                  | AQd              |                  | LVd              |                  | AQd              |                  | LVd  |                  | AQd              |                  |
|                                    | 1 <sup>o</sup> C                 | 2 <sup>o</sup> C | 1 <sup>o</sup> C | 2 <sup>o</sup> C | 1 <sup>o</sup> C                            | 2 <sup>o</sup> C | 1 <sup>o</sup> C | 2 <sup>o</sup> C | 1 <sup>o</sup> C | 2 <sup>o</sup> C | 1 <sup>o</sup> C | 2 <sup>o</sup> C | 1 <sup>o</sup> C                           | 2 <sup>o</sup> C | 1 <sup>o</sup> C | 2 <sup>o</sup> C |
|                                    | ----- g vaso <sup>-1</sup> ----- |                  |                  |                  | ----- g kg <sup>-1</sup> massa seca -----   |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  | ----- mg kg <sup>-1</sup> massa seca ----- |                  |                  |                  |
| C <sub>0</sub> Mn <sub>0</sub>     | 7,13                             | 3,62             | 13,66            | 5,47             | 2,17  | 4,57             | 2,17             | 4,60             | 1,10             | 4,63             | 0,87             | 2,93             | 554  | 523              | 841              | 1.437            |
| C <sub>0</sub> Mn <sub>0,5</sub>   | 9,12                             | 2,94             | 10,91            | 5,51             | 1,90  | 4,37             | 2,20             | 4,20             | 1,00             | 3,80             | 0,90             | 2,80             | 671  | 627              | 902              | 920              |
| C <sub>0</sub> Mn <sub>1</sub>     | 7,33                             | 2,64             | 12,23            | 5,78             | 2,17  | 4,93             | 1,73             | 4,03             | 1,00             | 4,60             | 0,57             | 3,63             | 994  | 947              | 1.224            | 1.310            |
| C <sub>0</sub> Mn <sub>1,5</sub>   | 10,53                            | 2,83             | 14,29            | 5,70             | 2,13  | 4,17             | 1,30             | 2,93             | 1,00             | 3,80             | 0,33             | 2,43             | 1080                                       | 1057             | 1.413            | 1.690            |
| C <sub>0</sub> Mn <sub>2</sub>     | 10,27                            | 2,85             | 7,86             | 5,59             | 1,77  | 2,33             | 1,17             | 5,23             | 1,00             | 2,27             | 0,40             | 4,23             | 1210                                       | 1253             | 1.494            | 2.100            |
| C <sub>0,5</sub> Mn <sub>0</sub>   | 12,80                            | 12,58            | 21,36            | 11,06            | 6,03  | 10,40            | 2,73             | 7,73             | 1,17             | 6,10             | 0,60             | 2,50             | 256  | 343              | 829              | 1.270            |
| C <sub>0,5</sub> Mn <sub>0,5</sub> | 18,02                            | 9,29             | 19,47            | 10,19            | 7,03  | 12,13            | 2,77             | 9,20             | 1,00             | 5,63             | 0,67             | 3,93             | 299  | 333              | 965              | 1.480            |
| C <sub>0,5</sub> Mn <sub>1</sub>   | 19,59                            | 12,34            | 21,93            | 8,63             | 6,03  | 11,07            | 3,47             | 10,43            | 1,20             | 7,17             | 0,63             | 5,30             | 435  | 460              | 1.364            | 1.750            |
| C <sub>0,5</sub> Mn <sub>1,5</sub> | 18,48                            | 10,44            | 23,49            | 8,55             | 6,57  | 7,43             | 2,77             | 5,20             | 0,93             | 4,33             | 0,60             | 3,43             | 489  | 517              | 1.424            | 1.747            |
| C <sub>0,5</sub> Mn <sub>2</sub>   | 16,61                            | 9,84             | 23,33            | 8,42             | 7,33  | 6,97             | 2,67             | 8,50             | 0,83             | 4,10             | 0,50             | 4,80             | 644  | 670              | 1.715            | 1.937            |
| C <sub>1</sub> Mn <sub>0</sub>     | 15,90                            | 13,33            | 21,03            | 11,76            | 11,40                                       | 12,80            | 4,73             | 12,37            | 1,10             | 5,87             | 0,80             | 3,43             | 222  | 193              | 694              | 1.150            |
| C <sub>1</sub> Mn <sub>0,5</sub>   | 19,82                            | 13,08            | 22,29            | 13,91            | 7,63  | 11,73            | 4,27             | 9,13             | 1,30             | 5,20             | 0,70             | 4,23             | 334  | 310              | 794              | 1.490            |
| C <sub>1</sub> Mn <sub>1</sub>     | 18,81                            | 12,63            | 25,47            | 12,48            | 5,60  | 11,33            | 4,23             | 14,23            | 0,97             | 7,60             | 0,63             | 7,00             | 325  | 297              | 1.329            | 1.873            |
| C <sub>1</sub> Mn <sub>1,5</sub>   | 17,84                            | 11,91            | 24,05            | 12,46            | 7,43  | 10,17            | 4,57             | 7,47             | 1,20             | 5,83             | 0,70             | 3,57             | 324  | 387              | 1.613            | 1.823            |
| C <sub>1</sub> Mn <sub>2</sub>     | 17,65                            | 11,88            | 22,68            | 11,75            | 7,93  | 8,03             | 4,73             | 10,40            | 1,27             | 4,93             | 0,80             | 5,27             | 438  | 327              | 1.844            | 1.927            |
| C <sub>1,5</sub> Mn <sub>0</sub>   | 17,26                            | 14,36            | 20,76            | 15,51            | 7,17  | 14,53            | 6,27             | 14,57            | 1,00             | 5,33             | 0,87             | 3,80             | 185  | 177              | 540              | 1.053            |
| C <sub>1,5</sub> Mn <sub>0,5</sub> | 18,43                            | 12,83            | 21,74            | 15,43            | 6,40  | 19,60            | 5,70             | 11,93            | 1,13             | 6,20             | 0,83             | 4,63             | 226  | 170              | 575              | 1.363            |
| C <sub>1,5</sub> Mn <sub>1</sub>   | 17,54                            | 12,47            | 23,03            | 13,70            | 6,93  | 11,17            | 6,00             | 11,67            | 1,23             | 7,27             | 0,87             | 5,33             | 272  | 333              | 696              | 1.697            |
| C <sub>1,5</sub> Mn <sub>1,5</sub> | 17,35                            | 11,09            | 22,60            | 13,46            | 7,03  | 10,33            | 6,23             | 8,20             | 1,13             | 6,27             | 1,03             | 4,10             | 381  | 307              | 1.041            | 1.493            |
| C <sub>1,5</sub> Mn <sub>2</sub>   | 17,24                            | 10,93            | 22,49            | 12,72            | 7,07  | 15,40            | 5,93             | 11,27            | 1,23             | 7,27             | 0,67             | 6,43             | 401  | 227              | 1.164            | 1.630            |
| C <sub>2</sub> Mn <sub>0</sub>     | 13,87                            | 14,16            | 20,30            | 15,75            | 7,03  | 16,40            | 7,23             | 16,17            | 1,13             | 7,40             | 1,07             | 4,67             | 139  | 127              | 337              | 630              |
| C <sub>2</sub> Mn <sub>0,5</sub>   | 16,10                            | 16,82            | 22,51            | 16,06            | 6,87  | 15,60            | 7,03             | 13,50            | 1,10             | 6,97             | 0,93             | 9,10             | 176  | 117              | 518              | 1.040            |
| C <sub>2</sub> Mn <sub>1</sub>     | 16,14                            | 17,19            | 22,25            | 15,50            | 7,93  | 10,50            | 7,80             | 15,13            | 1,13             | 6,63             | 1,13             | 7,13             | 208  | 133              | 518              | 1.270            |
| C <sub>2</sub> Mn <sub>1,5</sub>   | 18,39                            | 14,94            | 20,28            | 15,07            | 6,63  | 9,63             | 7,40             | 11,97            | 0,97             | 5,80             | 0,87             | 5,93             | 229  | 110              | 571              | 1.430            |
| C <sub>2</sub> Mn <sub>2</sub>     | 17,36                            | 14,23            | 23,58            | 14,53            | 7,10  | 20,63            | 9,13             | 16,07            | 1,07             | 6,73             | 1,03             | 9,67             | 243  | 160              | 869              | 1.527            |
| CV (%)                             | 13,00                            | 18,20            | 11,60            | 8,20             | 22,30                                       | 26,20            | 11,00            | 22,10            | 11,4             | 16,2             | 16,6             | 26,0             | 19,70                                      | 19,70            | 16,60            | 26,00            |

<sup>1</sup> - Tratamentos: C<sub>0</sub> até C<sub>2</sub> – doses de calcário (0; 0,5; 1, 1,5 e 2 vezes a dose necessária para alcançar 50% da saturação por bases nos solos);Mn<sub>0</sub> até Mn<sub>2</sub> – doses de Mn (0, 5, 10, 15 e 20 mg kg<sup>-1</sup> de solo).

$$Ca_{acum} = 76,07 + 79,76Cal - 5,80Mn - 5,59Cal^2 + 0,18Mn^2 + Cal.Mn$$

$$R^2 = 0,84 \quad (n=75) \quad CV = 21,3\%$$

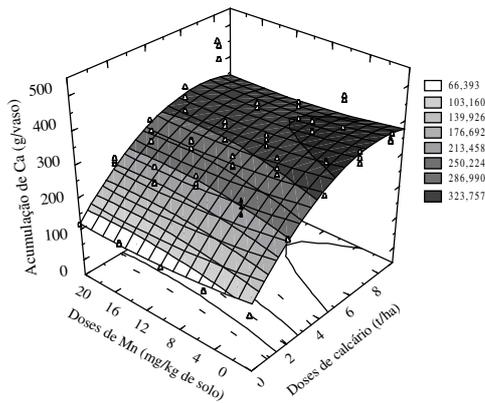


Figura 1. Acumulação total de cálcio ( $Ca_{acum}$ ) na parte aérea da soja, em função das doses de calcário (Cal) e de manganês (Mn), em solo argiloso (Latossolo Vermelho-Amarelo).

$$Ca_{acum} = 66,20 + 101,28Cal - 3,85Mn - 3,01Cal^2 + 0,12Mn^2 + 0,05Cal.Mn$$

$$R^2 = 0,94 \quad (n=75) \quad CV = 14,9\%$$

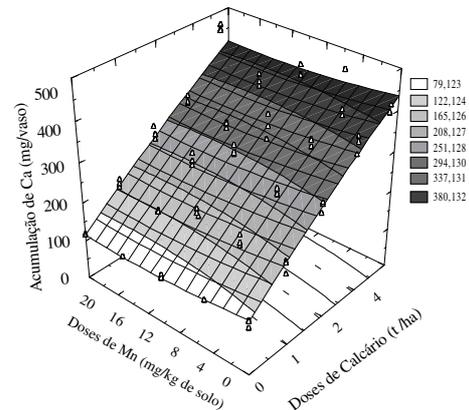


Figura 2. Acumulação total de cálcio ( $Ca_{acum}$ ) na parte aérea da soja, em função das doses de calcário (Cal) e de manganês (Mn), em solo arenoso (Areia Quartzosa distrófica).

do que no segundo (Tabela 1). Entretanto, a produção de massa seca no segundo cultivo foi significativamente inferior à do primeiro, o que pode ser explicado pela menor concentração do nutriente nas plantas, em consequência da elevada taxa de crescimento da maioria das plantas em ambiente de casa de vegetação. Caracteriza-se, assim, o chamado efeito de diluição, também conhecido por "efeito Steenbjerg", sob o qual o crescimento é proporcionalmente maior do que a própria absorção do elemento, não permitindo o aumento de sua concentração no tecido das plantas (Malavolta *et al.* 1997).

Sintomas característicos de deficiência de Ca foram constatados em folhas de plantas submetidas aos tratamentos sem calagem, em ambos os solos, o que afetou a produção de massa seca. Faquin *et al.* (2000) detectaram deficiência de Ca na soja cultivada em dois Latossolos, com teores foliares variáveis de 2,9 a 7,0 g kg<sup>-1</sup> de massa seca, o que é compatível com os resultados obtidos no presente estudo.

Como a acumulação nas plantas é resultante dos teores do nutriente em seus tecidos e de sua produção de massa seca, observaram-se maiores acumulações totais provenientes dos tratamentos com maior produção de massa seca (Figuras 1 e 2, Tabela 1), que foram os tratamentos submetidos à calagem adequada, em que também se encontraram os maiores teores de Ca. Inversamente, as menores quantidades acumuladas pelas plantas foram observadas nos tratamentos sem calagem. Caires *et al.* (2001) mostraram aumento linear dos teores foliares e acumulação de Ca pela soja, em função da calagem

(0, 2, 4 e 6 t ha<sup>-1</sup>), em Latossolo Vermelho distrófico do Estado do Paraná, sob plantio direto.

É interessante observar que o efeito das doses de calcário na absorção de Ca foi mais pronunciado no segundo cultivo. Neste, a diferença de absorção das maiores doses se fez mais evidente, mostrando claramente a importância de se efetuar a calagem para elevar a saturação por bases a níveis suficientes. Entretanto, como se trata de experimento em condições de estufa, há que se conduzir experimentos de campo para estabelecer os níveis de Ca e Mg nos dois tipos de solo e/ou no tecido foliar, capazes de maximizar e sustentar a produtividade por períodos mais longos.

#### Magnésio

A produção de massa seca, os teores e a acumulação de Mg na parte aérea da soja foram sistematicamente mais altos na presença de calagem (Tabela 1, Figuras 3 e 4). No primeiro cultivo, registraram-se baixos teores em todos os tratamentos, porém, alta produção de massa seca com a calagem, o que se atribui ao efeito Steenbjerg (efeito de diluição/concentração), já explicado anteriormente. No entanto, as quantidades acumuladas de Mg refletiram claramente os efeitos da calagem, com aumentos da ordem de 540% no solo argiloso e de 350% no solo arenoso, em relação à ausência da calagem.

Os teores e a acumulação de Mg pela soja sofreram maior influência da calagem do que do Mn, como mostram as Figuras 3 e 4 (Solos LVd e AQd). Verifica-se tendência de aumento decrescente da acumulação de Mg em função das doses de calcário,

$$Mg_{\text{acum}} = 29,15 + 22,07\text{Cal} + 1,2\text{Mn} - 1,26\text{Cal}^2 - 0,10\text{Mn}^2 + 0,03\text{Cal.Mn}$$

$$R^2 = 0,83 \quad (n=75) \quad \text{CV} = 19,4\%$$

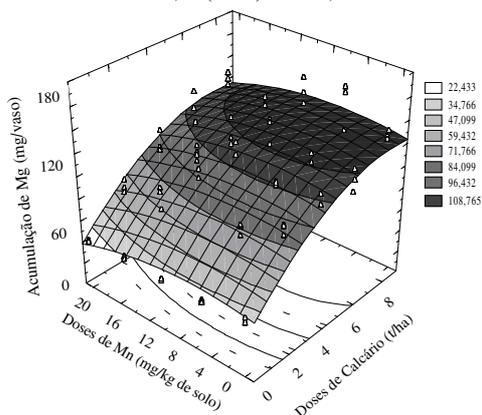


Figura 3. Acumulação total de magnésio ( $Mg_{\text{acum}}$ ) na parte aérea da soja, em função das doses de calcário (Cal) e de manganês (Mn), em solo argiloso (Latossolo Vermelho-Amarelo).

$$Mg_{\text{acum}} = 26,25 + 13,30\text{Cal} + 1,21\text{Mn} + 2,53\text{Cal}^2 - 0,01\text{Mn}^2 + 0,40\text{Cal.Mn}$$

$$R^2 = 0,82 \quad (n=75) \quad \text{CV} = 24,2\%$$

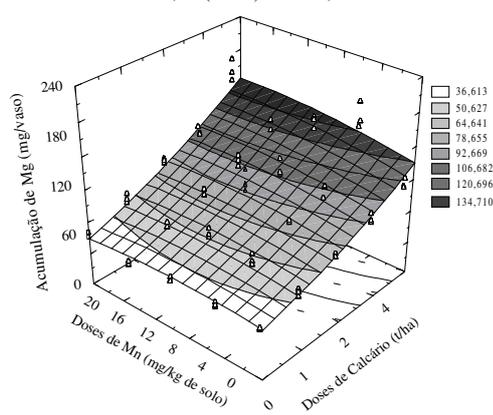


Figura 4. Acumulação total de magnésio ( $Mg_{\text{acum}}$ ) na parte aérea da soja, em função das doses de calcário (Cal) e de manganês (Mn), em solo arenoso (Areia Quartzosa distrófica).

confirmando a eficiência da calagem como fornecedor de magnésio. Em contraposição, Caires *et al.* (2001), avaliando a resposta da soja à calagem sob plantio direto, e quatro doses de calcário dolomítico (entre 0 e 6 t ha<sup>-1</sup>), mostraram que na ausência da calagem, a acumulação de Mg pela cultura (16 kg ha<sup>-1</sup>) foi insuficiente. Os autores registraram, ainda, um aumento linear na acumulação de Mg pelas plantas em função da adição de Mg pela calagem e correlação direta ( $r = 0,67$ ) com a produção de grãos.

Há, ainda, tendência de aumento da acumulação crescente de magnésio em função das doses de manganês aplicadas, como se constata nas Figuras 3 e 4 (solos LVd e AQd), apesar de o reconhecido antagonismo entre esses dois cátions.

Na ausência da calagem, sintomas típicos de deficiência de Mg foram observados em ambos os solos, no presente trabalho, em que os teores foliares de Mg encontrados estiveram, em média, abaixo do nível crítico de 4,0 g kg<sup>-1</sup> de massa seca (Trani *et al.* 1983). Também estiveram aquém da faixa de suficiência definida pela Embrapa (2000), que vai de 2,6 a 10,0 g kg<sup>-1</sup> de massa seca, e dos níveis adequados encontrados por Faquin *et al.* (2000), que se situam entre 2,7 e 15,0 g kg<sup>-1</sup> de massa seca. Abaixo desses níveis, os autores registraram queda de produção de massa seca da parte aérea e das raízes da soja, devido à deficiência de Mg.

Considerando-se que nesse trabalho a produção total de massa seca e a acumulação de magnésio na soja foi também limitada pela deficiência do magnésio e que os solos, em função da baixa disponibilidade natural, não tiveram capacidade de supri-lo

adequadamente às plantas, sugere-se que seja utilizado, preferencialmente, o calcário dolomítico.

### Manganês

Diferentemente do que foi discutido para o Ca e o Mg, o efeito do Mn deu-se mais em função do seu excesso do que de sua deficiência, descrita pelo modelo polinomial quadrático (Figuras 5 e 6). No solo LVd (Figura 5) a acumulação de Mn no tecido foliar mostrou comportamento curvilíneo decrescente em função das doses de calagem, e comportamento aproximadamente linear decrescente em função das doses de manganês. Já no solo AQd (Figura 6), constata-se que a acumulação de manganês, em função das doses de calagem, dá-se de forma crescente até atingir um valor máximo, mas em função das doses de manganês, a acumulação do elemento é similar à encontrada no solo LVd. Os maiores valores absolutos de acumulação foliar de manganês no solo AQd, quando comparados aos no solo LVd, pode ser atribuído à sua menor CTC e ao seu menor poder tampão. Dessa forma, a calagem excessiva pode induzir à deficiência de manganês até em solos bem supridos do nutriente.

Adicionalmente, verifica-se que o efeito da calagem é mais depressivo sobre a acumulação de manganês no solo LVd do que no solo AQd. Esse comportamento pode ser explicado pelo conhecido antagonismo no processo de absorção foliar, existente entre os cátions Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Mn<sup>2+</sup>, e pelo efeito do pH do solo na disponibilidade dos micronutrientes catiônicos, em que se inclui o Mn (Lima 1995). Esses resultados concordam com os obtidos por Rosolem

$$Mn_{acum} = 5,52 + 0,85Cal + 0,66Mn - 0,13Cal^2 - 0,01Mn^2 - 0,05Cal.Mn$$

$$R^2 = 0,88 \quad (n=75) \quad CV = 14,2\%$$

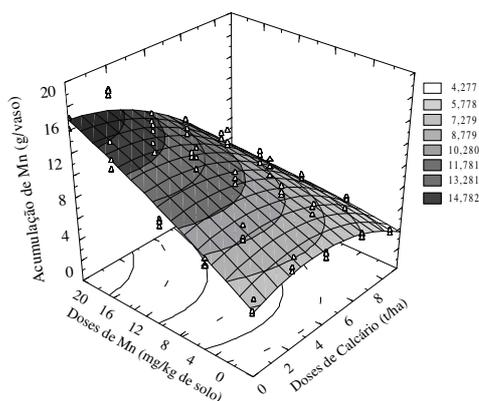


Figura 5. Acumulação total de manganês ( $Mn_{acum}$ ) na parte aérea da soja, em função das doses de calcário (Cal) e de manganês (Mn), em solo argiloso (Latossolo Verme-lho-Amarelo).

$$Mn_{acum} = 12,72 + 23,30Cal + 1,43Mn - 6,11Cal^2 - 0,02Mn^2 + 0,11Cal.Mn$$

$$R^2 = 0,84 \quad (n=75) \quad CV = 15,3\%$$

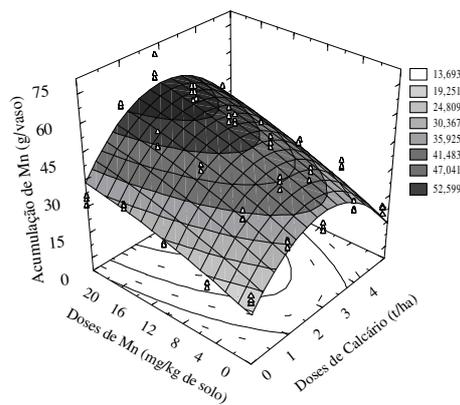


Figura 6. Acumulação total de manganês ( $Mn_{acum}$ ) na parte aérea da soja, em função das doses de calcário (Cal) e de manganês (Mn), em solo arenoso (Areia Quartzosa distrófica).

*et al.* (1992), que observaram uma tendência geral de a soja extrair mais Mn com o aumento das doses aplicadas, porém não encontraram correlação significativa com os teores de manganês na planta e com a produção de massa seca. Resultados semelhantes foram encontrados por Moreira *et al.* (1997).

De forma generalizada, os teores de Mn se encontraram acima da faixa adequada de 20 a 100 mg kg<sup>-1</sup> (Borkert *et al.* 1994, Embrapa 2000) e do nível crítico de 20 mg kg<sup>-1</sup> (Trani *et al.* 1983). Porém, sintomas de toxidez de Mn só foram visualmente diagnosticados na ausência da calagem e as maiores produções de massa seca estiveram muito mais associadas à calagem, incluindo-se o fornecimento de Ca e Mg, do que à adição do Mn.

Não se encontraram, no escopo desse estudo, explicações conclusivas sobre a alta tolerância ao Mn revelada pela cultivar Emgopa 316, dada a ausência de sintomas de toxidez sob teores tão elevados, mesmo na ausência de calagem. Cabe ressaltar alguns pontos que podem conjuntamente explicar os resultados encontrados. O primeiro é que, depois do ferro, o manganês é o nutriente com a maior amplitude de teores considerados adequados para a soja (Embrapa 2000). Fageria (2001) concluiu que o Mn só se mostrou tóxico à soja quando os teores foliares foram superiores a 720 mg kg<sup>-1</sup> de massa seca. Isso é mais compatível com os resultados aqui obtidos do que o nível tóxico tradicionalmente referenciado na literatura, que seria de 250 mg kg<sup>-1</sup> de massa seca (Peck 1979). Em relação ao próprio nível crítico do Mn, enquanto a maioria dos autores referencia 20 mg kg<sup>-1</sup>, Rosolem *et al.*

(1992) encontraram 90 mg kg<sup>-1</sup>, e Fageria (2001) encontrou 67 mg kg<sup>-1</sup> de massa seca de soja. Mesmo considerando que os dois últimos trabalhos referem-se a trabalhos em casa de vegetação, há uma grande discrepância entre os níveis críticos obtidos.

O segundo ponto é que a soja tem sido submetida a intensivos programas de melhoramento genético, gerando cultivares e linhagens que diferem grandemente entre si com relação à tolerância ao Mn (Mascarenhas *et al.* 1994). Nesse trabalho, a cultivar aqui empregada (Emgopa 316) destacou-se entre as mais tolerantes.

De um modo geral, pode-se dizer que os maiores teores foliares de manganês estiveram sempre associados à ausência da calagem e, dentro de cada dose de calcário, à elevação dos níveis do nutriente. Rosolem *et al.* (1992) registraram teores foliares decrescentes de Mn, variando de 709 mg kg<sup>-1</sup>, na ausência de calagem, até 68 mg kg<sup>-1</sup>, na dose máxima de calcário. Adicionalmente, os autores constataram aumento significativo do teor foliar de Mn em função das doses aplicadas (0 a 120 mg Mn kg<sup>-1</sup> de solo), porém sem correlação com a produção de massa seca da parte aérea, sob saturação por bases de 70%. Esses resultados concordam parcialmente com os obtidos no presente trabalho, em que altas variações no teor foliar do nutriente não deprimiram a produção sob calagem adequada.

Desde o primeiro cultivo, nos tratamentos em que não se fez calagem, ocorreu toxidez generalizada de Mn na soja, limitando o crescimento das plantas e a produção de massa seca. Lima *et al.* (2000) associaram a baixa produção de massa seca pela soja

à toxidez de Mn, ocorrida no plantio sem calagem em Latossolos ácidos, mesmo sem a adição de Mn. Nessas condições registraram-se teores foliares de Mn variando entre 302 e 3175 mg kg<sup>-1</sup>, enquanto que os teores nas plantas normais, na presença de calagem e maior produção de massa seca, ficaram entre 58 e 120 mg kg<sup>-1</sup>. Caires *et al.* (2001) encontraram efeito linear do teor de Mn nas folhas de soja em função da calagem, em cuja ausência ocorreu toxidez de Mn nas plantas, inversamente relacionada com a produção de grãos (r = -0,63).

Os menores teores e as menores acumulações de Mn, de acordo com Rosolem *et al.* (1992), Moreira *et al.* (1997) e Faquin *et al.* (2000), foram observadas nos tratamentos com calagem e sem manganês. As produções mais elevadas obtidas por esses autores mostram que a calagem e a adubação balanceadas são muito mais importantes para se obter uma nutrição adequada e o máximo rendimento da cultura do que a aplicação de Mn, uma vez que não se verificou a sua deficiência em nenhum tratamento.

## CONCLUSÕES

1. Os solos estudados (LVd e AQd), em condições naturais, apresentam baixa fertilidade e acentuados problemas de acidez, com teores de cálcio e magnésio inferiores ao nível crítico para a cultura da soja, e teores de manganês em níveis tóxicos.
2. A calagem, além do seu reconhecido papel como fonte de cálcio e magnésio para as plantas e como corretivo da acidez, mostra-se essencial para reduzir o teor de manganês nas plantas e, conseqüentemente, prevenir a sua acumulação foliar em níveis tóxicos na soja, em ambos os tipos de solo.
3. A aplicação de manganês nesses solos é desnecessária, senão prejudicial à cultura da soja.

## REFERÊNCIAS

- Borkert, C. M., J. T. Yorinori, B. S. Corrêa-Ferreira, A. M. R. Almeida, L. P. Ferreira & G. J. Sfredo. 1994. Seja o doutor da sua soja. Informações agronômicas, Piracicaba, n. 66:1-16.
- Caires, E. F., A. F. da Fonseca, I. C. Feldhaus & J. Blum. 2001. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no Sistema Plantio Direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. Rev. Bras. Ci. Solo, 25 (4): 1029-1040.
- Colwell, J. D. 1994. Estimating fertilizer requirements - a quantitative approach. CAB International, Wallingford. 262 p.
- Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1997. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Embrapa-CNPS, Rio de Janeiro. 212 p.
- Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2000. Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil 2000/01. Embrapa Soja/Fundação MT, Londrina. 245 p. (Documentos 146).
- Fageria, N. K. 2001. Adequate and toxic levels of copper and manganese in upland rice, common bean, corn, soybean and wheat grown on an Oxisol. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 32 (9&10): 1659-1576.
- Fageria, N. K. & L. F. Stone. 1999. Manejo da acidez dos solos de cerrado e de várzea do Brasil. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás. 42 p. (Documentos 92)
- Faquin, V., D. V. Lima, A. E. Furtini Neto, N. Curi, N. T. Higa & A. R. Moraes. 2000. Nutrição mineral do braquiário e da soja cultivados em Latossolos sob cerrado da região de Cuiabá-MT. Ciência e Agrotecnologia, 29 (1): 110-117.
- Lima, D. V. 1995. Limitações nutricionais para a cultura da soja (*Glycine max*) e para o braquiário (*Brachiaria brizantha*) em Latossolos da região de Cuiabá-MT. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 102 p.
- Lima, D. V., V. Faquin, A. E. Furtini Neto, A. R. de Moraes, N. Curi & N. T. Higa. 2000. Macro e micronutrientes no crescimento do braquiário e da soja em Latossolos sob cerrado da região de Cuiabá-MT. Ciência e Agrotecnologia, 29 (1): 96-104.
- Lima, E. de S. 2002. Safra goiana deve somar 8,1 milhões de toneladas. O popular, Goiânia, 2 de fevereiro de 2002. Economia, p. 6.
- Malavolta, E., G. C. Vitti & S. A. de Oliveira. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed., rev. e atual. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, Piracicaba. 319 p.
- Mascarenhas, H. A. A., R. T. Tanaka, M. A. C. de Miranda, Q. A. de C. Carmello & F. A. de Oliveira. 1994. Linhagem de soja tolerante a alto teor de manganês. Bragantia, 54 (2): 267-271.
- Moreira, S. G., J. de C. Kiehl, L. I. Prochnow & V. Pauletti. 1997. Disponibilidade de manganês em sistema de semeadura direta. In Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26. Viçosa, MG. Anais eletrônicos.

- Peck, T. R. 1979. Plant analysis for production agriculture. p. 1 - 45. In Soil Plant Analysis Workshop, 7. Bridgetown. Proceedings.
- Quaggio, J.A. 2000. Acidez e calagem em solos tropicais. IAC, Campinas, SP. 111 p.
- Rosolem, C.A. 1980. Nutrição Mineral e Adubação da Soja. Instituto da Potassa e Fosfato (EUA) e Instituto Internacional da Potassa (Suíça), Piracicaba. 80 p. (Boletim Técnico 6).
- Rosolem, C. A., M. A. Bessa, P.G. do Amaral & H. F. M. Pereira. 1992. Manganês no solo, sua avaliação e toxidez de manganês em soja. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 27(2): 277-285.
- Rosolem, C. A., J. A. Quaggio & N. M. da Silva. 2001. Algodão, amendoim e soja. p. 319 - 354. In M.E. Ferreira, M. C. P. da Cruz, B. van Raij & C. A. de Abreu. (Ed.). Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. CNPq/FAPESP/Potafós, Jaboticabal.
- Sanzonowicz, C. 1995. Deficiência de manganês em solos dos cerrados. Informações Agronômicas. Potafós, Piracicaba. p. 7 (Boletim 71).
- SAS Institute Inc. 2000. SAS System for Windows. Release 8.1. Cary, N.C., USA.
- Trani, P. E., R. Hiroce & O. C. Bataglia. 1983. Análise foliar: amostragem e interpretação. Fundação Cargill, Campinas. 18 p.