

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

**APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA E DE MOLIBDÊNIO  
NA CULTURA DA SOJA**

**EVANDRO GELAIN**

**DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2009**

**APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA E DE MOLIBDÊNIO NA CULTURA  
DA SOJA**

EVANDRO GELAIN  
Engenheiro agrônomo

Orientador: PROF. DR. EDGARD JARDIM ROSA JUNIOR

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2009

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central - UFGD

631.81 G314a	<p>Gelain, Evandro</p> <p>Aplicação de gesso agrícola e de molibdênio na cultura da soja. / Evandro Gelain. – Dourados, MS : UFGD, 2009. 42f.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Edgard Jardim Rosa Junior Monografia (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados.</p> <p>1. Nutrição de plantas. 2. Fertilizantes - Gesso. 3. Solo – Adubação 4. Micronutrientes (Agricultura). 5. Soja. I. Título.</p>
-----------------	--

**APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA E DE MOLIBDÊNIO NA CULTURA DA  
SOJA**

por

Evandro Gelain

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de  
MESTRE EM AGRONOMIA

Aprovada em: 25/02/2009

---

**Prof. Dr. Edgard Jardim Rosa Junior**  
Orientador – UFGD/FCA

---

**Prof. Dr. Fábio Martins Mercante**  
Co-Orientador - EMBRAPA/CPAO

---

**Prof<sup>ª</sup>.Dr<sup>a</sup>. Yara B. Chaim Jardim Rosa**  
Co-Orientadora - UFGD/FCA

---

**Prof. Dr. Marcos Antonio Camacho da  
Silva**  
UEMS

*“A provação vem, não só para testar nosso valor, mas para aumentá-lo; o carvalho não é apenas testado, mas enrijecido pelas tempestades.”*

*(Lettie Cowman)*

*Aos meus pais Iracildo Gelain e Natália Fronza Gelain, ao meu irmão Fabio Gelain e a minha namorada Fernanda Jorge Guimarães.*

***DEDICO.***

*Ao meu orientador Edgard Jardim Rosa Junior e ao meu co-orientador Fábio Martins Mercante.*

***OFEREÇO.***

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Professor Dr. Edgard Jardim Rosa Junior, pela sua orientação, confiança e amizade.

Ao meu co-orientador Pesquisador Dr. Fábio Martins Mercante, pelo companheirismo, sugestões e contribuições.

À coordenação do Programa de Pós-graduação em Agronomia pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

À Fundação – MS, e principalmente ao Pesquisador M. Sc Sidnei Kuster Ranno, pelo apoio e parceria na realização das atividades de campo.

Aos Professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia da FCA/UFGD, pelos conhecimentos transmitidos.

Aos meus novos amigos constituídos na Pós-graduação: Anderson Cristian Bergamin, Anísio da Silva Nunes, Luciano dos Reis Venturoso, Raquel Bonacina Vitorino, Paulo César Cardoso, Marichel Canazza de Macedo , Leandro de Souza Carvalho, Jean Lima da Silva , Fábio Fernando Stefanello, Fábio Régis de Souza, Elmo Pontes de Melo, Elissandra Pacito Torales, Danilo Gomes Fortes, Carmen Regina Pezarico, Camila Kissmann, André Luis Faleiros Lourenção, Lenita Aparecida Conus.

Ao colega e amigo Danilo Gomes Fortes, pelo auxílio, companheirismo e sugestões.

À secretária do Programa de Pós-graduação em Agronomia Lucia e a Laboratorista Nilda pela ajuda.

Aos funcionários da FCA/UFGD Jesus, Milton, Moacir e Nilton (Niltinho), Dona Eva e Deuzelino.

Por fim aos colegas e amigos Anderson Cristian Bergamin, Fábio Régis de Souza, Renato Suekane, Romulo Ueno, Fábio de Souza e Rafael Bonifácio Sabino Doreto pelo auxílio na condução do experimento.

## SUMÁRIO

	PÁGINA
RESUMO GERAL . . . . .	viii
OVERVIEW . . . . .	ix
1 INTRODUÇÃO GERAL . . . . .	1
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS . . . . .	3
3 CAPÍTULO 1: FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO E TEORES DE NUTRIENTES FOLIARES NA SOJA EM FUNÇÃO DE DOSES DE MOLIBDÊNIO E GESSO AGRÍCOLA . . . . .	4
3.1 Resumo. . . . .	4
3.2 Introdução . . . . .	5
3.3 Material e métodos. . . . .	7
3.4 Resultados e discussão. . . . .	11
3.5 Conclusões . . . . .	19
3.6 Referências bibliográficas . . . . .	20
4 CAPÍTULO 2: ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS NO SOLO E RESPOSTA DA SOJA EM FUNÇÃO DE DOSES DE GESSO AGRÍCOLA . . . . .	24
4.1 Resumo. . . . .	24
4.2 Introdução . . . . .	25
4.3 Material e métodos. . . . .	27
4.4 Resultados e discussão . . . . .	30
4.5 Conclusões. . . . .	37
4.6 Referências bibliográficas . . . . .	38
5 CONCLUSÕES GERAIS . . . . .	42

# APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA E DE MOLIBDÊNIO NA CULTURA DA SOJA

## 1. RESUMO GERAL

Além do Brasil ser atualmente o segundo maior produtor de soja do mundo, a produtividade média é alta. Dentro desse contexto, a correção e adubação dos solos, principalmente dos cerrados, onde atualmente se concentra as maiores áreas de cultivo desta leguminosa, assume um papel de relevância, pois nesta região é freqüente a ocorrência de altos teores de Al e baixos teores de Ca. Outro fator que permite a esta cultura ser competitiva economicamente é a fixação biológica do nitrogênio, realizada de forma eficiente pelas bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, já que esta leguminosa necessita de grandes quantidades de nitrogênio para obtenção de altas produtividades. O trabalho foi conduzido a campo, sob sistema plantio direto, em condição de sequeiro, no Município de Maracaju-MS, com o objetivo de avaliar a nodulação, a fixação biológica do nitrogênio, os teores foliares de nutrientes e a produtividade de grãos da soja submetida a diferentes doses de gesso agrícola e molibdênio, e também as alterações dos atributos químicos do solo em função da utilização do gesso agrícola. Foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso, com cinco repetições, arranjado no esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas representadas por quatro doses de gesso agrícola (0, 1.000, 2.000 e 3.000 kg ha<sup>-1</sup>) e as subparcelas, por quatro doses de molibdênio (0, 20, 40 e 60 g ha<sup>-1</sup>). A cultivar de soja utilizada para o experimento foi a BRS Charrua RR. O solo foi coletado seis meses após a aplicação dos tratamentos. Não houve efeitos da interação gesso x Mo na produtividade de grãos da cultura da soja. O Mo aumenta a eficiência da fixação biológica do nitrogênio, refletindo em aumentos no teor foliar de N, na massa seca da parte aérea, na massa de cem grãos, na produtividade e no teor de proteínas dos grãos. O gesso promoveu aumento nos teores de cálcio no solo até os 60 cm de profundidade, reduziu o teor de potássio na profundidade de 0 a 20 cm, reduziu os teores de alumínio nas profundidades de 40 a 80 cm e não influenciou na produtividade de grãos da cultura da soja.

Palavras-chave: gessagem, micronutriente, inoculação.



## APPLICATION OF GYPSUM AND MOLYBDENUM ON SOYBEAN CROP

### OVERVIEW

Besides being currently the second largest soybean producer in the world, Brazilian average productivity is high, thus, the correction and fertilization of soils, mainly in tropical savannas, which currently concentrates the largest areas of this legume cultivation, has great relevance, once there is frequent occurrence of high levels of Al and low Ca in this area. As this legume requires large amounts of nitrogen, another factor, which allows the crop to be economically competitive, is the biological nitrogen fixation, efficiently carried out by the bacteria of the genus *Bradyrhizobium*, once this legume requires great amount of nitrogen to obtain high productivity. The work was conducted under field conditions, no-tillage in rainfed conditions in the city of Maracaju-MS, this work aims evaluate the nodulation, biological nitrogen fixation, the nutrient content, grain yield of soybean under different doses of gypsum and molybdenum, and also the changes in chemical soil properties because of the use of gypsum. It has been used a randomized block design with five replications, arranged in a split plot, and the plots were four rates of gypsum (0, 1,000, 2,000 and 3,000 kg ha<sup>-1</sup>) and the split, four doses of molybdenum (0, 20, 40 and 60 g ha<sup>-1</sup>). The cultivar used for the experiment was the BRS Charrua RR. Soil samples were collected six months after treatment. There were no interaction effects on gypsum x Mo in grain yield of soybean. Mo increases the efficiency of biological nitrogen fixation, reflected in increases in foliar N, the dry mass of aerial part of the plant, mass of one hundred grains, grain yield and protein content of grains. The gypsum has promoted increased levels of calcium in the soil up to 60 cm depth, reduced the potassium content in the 0 to 20 cm, reduced levels of aluminum in depths of 40 to 80 cm and had no effect on grain yield soybean.

Key words: gypsum, micronutrient, inoculation.

## 2. INTRODUÇÃO GERAL

A soja cultivada atualmente é muito diferente dos seus ancestrais da costa oeste da Ásia, dos quais se originou. Apesar de ser intensamente conhecida e explorada no Oriente há mais de cinco mil anos, no Ocidente o seu cultivo só se iniciou na segunda década do século vinte, quando os norte-americanos iniciaram a sua exploração comercial (EMBRAPA, 2004).

A soja foi introduzida no Brasil em 1882 na Bahia, no entanto, somente a partir da década de 70 a cultura se consolidou como grande importância econômica no cenário nacional, mas o cultivo ainda estava concentrado na região centro-sul do país onde a latitude é maior. O avanço das pesquisas de melhoramento genético a partir dos anos 80 possibilitou o cultivo da soja na região dos cerrados vindo a culminar no panorama atual, onde o Brasil é o segundo maior produtor mundial desta oleaginosa, com uma estimativa de produção de mais de 57 milhões de toneladas na safra 2008/2009 (CONAB, 2009).

Entre os fatores que contribuíram grandemente para a viabilidade e o sucesso da soja no Brasil, se destacam a sua capacidade de se associar com a bactéria do gênero *Bradyrhizobium* e fixar o nitrogênio atmosférico ( $N_2$ ) para sua nutrição, e a adubação e correção dos solos de cerrado, área onde atualmente se concentram os maiores cultivos da cultura.

Fatores como a acidez do solo, deficiência de magnésio (Mg) e molibdênio (Mo) podem afetar a fixação biológica de  $N_2$  na soja, pois a simbiose é mais sensível a esses fatores do que a própria planta em si. O Mo é, dos micronutrientes, um dos menos exigidos pelas plantas, e também um dos menos abundantes nos solos e, aparece no solo na forma aniônica ( $HMoO_4^-$  e  $MoO_4^{2-}$ ) podendo ser adsorvido ao solo de maneira similar à que acontece com o sulfato e fosfato.

O Mo faz parte da molécula da nitrogenase, que catalisa a redução do N atmosférico à forma de amônia. A nitrogenase consiste de uma ferro-proteína (Fe-proteína) e de uma molibdênio-ferro-proteína (MoFe-proteína). A Fe-proteína funciona como doadora de elétrons para a MoFe-proteína, em um processo dependente de hidrólise de MgATP (TEIXEIRA et al., 1998).

Em solos de Cerrado o problema de acidez não ocorre somente na superfície do solo (0 a 20 cm de profundidade), mas também podem apresentar problemas de acidez subsuperficial, e a incorporação profunda de calcário para corrigir essa acidez

nem sempre é viável (Sousa e Lobato, 2002). Nessas condições o gesso agrícola tem apresentado bom resultados como melhorador do ambiente radicular em profundidade, destacando-se as respostas das culturas de milho, trigo e soja (SOUSA et al., 1992).

O gesso agrícola é um subproduto da indústria de fertilizantes fosfatados, de baixo custo para o agricultor. Sua composição química é sulfato de cálcio di-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), mas também ocorrem pequenas concentrações de P e F como impurezas. O sulfato de cálcio é um sal de caráter praticamente neutro e, dessa maneira, não tem efeito prático na mudança da acidez do solo, apesar de ter sido recomendado e aplicado com tal finalidade ao final dos anos 70 e início dos 80 (RAIJ, 2008). Somente no Brasil, cerca de 3,3 milhões de toneladas são produzidos anualmente (FREITAS, 1992).

O gesso agrícola mostra-se mais efetivo na redução da toxidez de Al do que o sulfato de cálcio puro por causa da presença de  $\text{F}^-$ , um ânion que forma complexos mais estáveis com Al do que o  $\text{SO}_4^{2-}$  (CAMERON et al., 1986). Além de o gesso atuar nas características químicas dos solos, este insumo é uma ótima fonte de S para as culturas (RAIJ, 2008).

O S além de ser constituinte dos aminoácidos cisteína e metionina, desempenha várias funções na planta como a manutenção de tiois, inclusive da cisteína e da ferredoxina na forma reduzida. As ferredoxinas participam de vários processos de transferência eletrônica na fotossíntese, na fixação biológica de  $\text{N}_2$  e outros (MALAVOLTA, 2006).

Este trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos de adição de gesso agrícola e de molibdênio, na fixação biológica de  $\text{N}_2$ , nos teores de nutrientes foliares da soja, assim como nas alterações químicas provocadas no solo em função da adição de gesso agrícola.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMERON, R. S.; RITCHIE, G. S. P.; ROBSON, A. D. Relative toxicities of inorganic aluminum complexes to barley. **Soil Science Society of America Journal**, v.50, p.1231-1236, 1986.

**CONAB. 2009.** Acompanhamento da safra Brasileira: grãos. Décimo segundo levantamento, setembro 2009, Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília, CONAB, 39p.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil – 2005.** Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste: Fundação Meridional, 2004. 239p.

FREITAS, B. J. A disposição do fosfogesso e seus impactos ambientais. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., Uberaba, 1992. Anais. Uberaba, IBRAFOS, 1992. p.325-339.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.

RAIJ, B van. **Gesso na agricultura.** Campinas, Instituto Agronômico, 233p. 2008.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; RITCHEY, K. D.; REIN, T. A. Resposta de culturas anuais e leucena a gesso no Cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2, 1992, Uberaba. São Paulo: IBRAFOS, 1992. p. 277-306.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In: Cerrado: Correção do solo e adubação. Planaltina, Distrito Federal: Embrapa Cerrados. 2002. 416 p.

TEIXEIRA, K. R. S.; MARIN, V. A.; BALDANI, J. I. **Nitrogenase: bioquímica do processo de FBN.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1998. 25p. (Documentos, 84)

### 3. CAPÍTULO 1

## FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO E TEORES FOLIARES DE NUTRIENTES NA SOJA EM FUNÇÃO DE DOSES DE MOLIBDÊNIO E GESSO AGRÍCOLA

### 3.1. RESUMO

A competitividade econômica da soja brasileira no mercado mundial se deve, em grande parte, aos benefícios da fixação biológica do nitrogênio na cultura. O trabalho foi conduzido a campo, sob sistema plantio direto, em condição de sequeiro, no Município de Maracaju-MS, com o objetivo de avaliar a nodulação, o crescimento, nutrição mineral e produtividade de grãos da soja submetida a diferentes doses de gesso agrícola e molibdênio. Foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso, com cinco repetições e esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas representadas por quatro doses de gesso agrícola (0, 1.000, 2.000 e 3.000 kg ha<sup>-1</sup>) e as subparcelas, por quatro doses de molibdênio (0, 20, 40 e 60 g ha<sup>-1</sup>). Não houve efeito da interação gesso x Mo sobre a produtividade da soja. O gesso agrícola não influencia no teor foliar de N e na produtividade. O Mo proporciona incrementos na produtividade e no teor de proteínas dos grãos.

Palavras-chave: *Glycine max*, *Bradyrhizobium japonicum*, nutrição de planta.

### **Biological nitrogen fixation and leaf nutrient concentration on soybean as a function of molybdenum and gypsum levels**

**Abstract** – The economic competitiveness of Brazilian soybeans on the world market occurs, in large part, due to the benefits of biological nitrogen fixation in this crop. The field experiment was carried out in Maracaju, Mato Grosso do Sul State, Brazil, under no-tillage system, in rainfed condition. The aim was to evaluate nodulation, growth, mineral nutrition and grain yield of soybeans supplied to different doses of gypsum and molybdenum. The experimental design used was a randomized block with five replications and arranged in a split-plot scheme, being the plot represented by four doses of gypsum (0, 1,000, 2,000 and 3,000 kg ha<sup>-1</sup>) and the subplots by four doses of molybdenum (0, 20, 40 and 60 g ha<sup>-1</sup>). There were no interaction effects of Mo x gypsum for grain yield on soybean. Gypsum has no influence in the N leaf content and grain yield. Mo increases grain yield and protein levels in the grain.

Key words: *Glycine max*, *Bradyrhizobium japonicum*, plant nutrition.

### 3.2. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) requer grandes quantidades de nitrogênio, dado ao elevado teor de proteína nos seus grãos. Em cultivares altamente produtivos, já se observou que a fixação biológica de nitrogênio (FBN) forneceu até 94% do N requerido pela cultura (HUNGRIA et al., 2006), sendo que, na ausência da simbiose, os custos com adubação nitrogenada se elevam, resultando em perda de competitividade da soja (HUNGRIA et al., 2007). Contudo, fatores edáficos como a acidez do solo, deficiência de molibdênio (Mo), cobalto (Co) e fósforo (P), além de outros nutrientes, podem afetar a FBN na soja (VARGAS e HUNGRIA, 1997).

O Mo no solo tem a forma aniônica ( $\text{HMoO}_4^-$  e  $\text{MoO}_4^{2-}$ ), podendo ser adsorvido de maneira similar à que acontece com o sulfato e fosfato. A absorção desse nutriente pode ser estimulada pelo ânion fosfato, no entanto, o sulfato a inibe, por competição (MALAVOLTA et al., 1997). O Mo faz parte da molécula da nitrogenase, que catalisa a redução do  $\text{N}_2$  à forma de amônia. A nitrogenase consiste de uma ferro-proteína (Fe-proteína) e de uma molibdênio-ferro-proteína (MoFe-proteína); a primeira funciona como doadora de elétrons para a segunda, em um processo dependente de hidrólise de MgATP (TEIXEIRA et al., 1998). O Mo também faz parte da enzima redutase de nitrato, que catalisa a redução de nitrato a nitrito (MALAVOLTA, 2006). As quantidades de Mo requeridas pelas plantas são pequenas e sua aplicação via semente constitui-se em uma das formas mais práticas e eficazes de adubação molíbdica (CAMPO e LANTMANN, 1998). As principais fontes de Mo são o molibdato de sódio e de amônio, o ácido molíbdico e o trióxido de molibdênio (ALBINO e CAMPO, 2001). Efeitos de toxicidade das fontes de Mo na sobrevivência de estirpes de *Bradyrhizobium* sp. são conhecidos e comentados (ALBINO e CAMPO, 2001; CAMPO et al., 2009), e são atribuídos ao efeito osmótico negativo dos sais usados como fontes de Mo (CAMPO et al., 2009). O tratamento de sementes (TS) com Mo tem proporcionado incrementos de produtividade (ALBINO e CAMPO, 2001), mas as respostas da soja à adubação com Mo, têm sido variáveis, ocorrendo incrementos significativos na produtividade de grãos (SFREDO et al., 1997) ou ausência de resposta (PESSOA et al., 1999). Contudo, tem sido observado que mesmo sem ocorrência de deficiência de Mo, o cultivo intensivo, sem aplicação do nutriente, leva ao empobrecimento do solo e, conseqüentemente, a resposta à sua utilização (HUNGRIA et al., 2007).

Outro fator limitante da produtividade de grãos da soja é a elevada acidez dos solos, como ocorre, de modo geral, nos cerrados, em superfície e em subsuperfície. A incorporação profunda de calcário para corrigir essa acidez nem sempre é viável, já que este corretivo apresenta baixa mobilidade no solo (SOUSA e LOBATO, 2002). Nessas condições, o gesso agrícola tem apresentado resultados satisfatórios como melhorador do ambiente radicular em profundidade, proporcionado pelo aumento dos teores de Ca e diminuição dos teores de Al em subsuperfície (CAIRES et al., 2003). Em geral, solos sob exploração há muitos anos, com uso de fertilizantes desprovidos de enxofre (S), podem apresentar baixa disponibilidade desse nutriente. Isso pode resultar em sintomas de deficiência nas culturas, acarretando queda de produtividade, principalmente em solos pobres em S e com baixos teores de matéria orgânica. Considerando que a soja é uma das culturas que mais exporta S, com 5 kg por tonelada de grãos (CORREÇÃO..., 2008), resultando em uma exportação total em torno de 170 mil toneladas de S por safra. O gesso agrícola pode, portanto, aumentar a produtividade de culturas como a soja, pelo fornecimento de S (MASCARENHAS et al., 1986).

Em solos onde se utiliza o gesso como corretivo de subsuperfície, há fornecimento de quantidades elevadas de S na forma de sulfato, podendo ocorrer algum efeito negativo na disponibilidade de Mo e, dessa forma, causar prejuízos à FBN, tornando-se necessária a utilização de maiores doses desse micronutriente.

Este trabalho teve por objetivo estudar os efeitos da adição de gesso agrícola e do molibdênio na nodulação, no crescimento, nutrição mineral, teor foliar de nutrientes e produtividade de grãos da cultura da soja.

### 3.3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Fazenda Salgador, Município de Maracaju - MS, localizada nas coordenadas geográficas de 21° 38' 03'' S e 55° 05' 55'' W, à uma altitude de 372 m, entre novembro de 2007 e abril de 2008. O clima da região é tropical úmido, com chuvas no verão e com seca no inverno, classificado como Aw, segundo a classificação de Köppen (SEPLAN, 1990), com precipitação média anual de 1500 a 1700 mm.

O estudo foi desenvolvido em sistema de semeadura direta, em condições de sequeiro, após 30 anos de exploração com pastagem (*Brachiaria brizantha*), em Latossolo Vermelho Distroférico, de textura argilosa (330 g kg<sup>-1</sup> de areia; 130 g kg<sup>-1</sup> de silte; 540 g kg<sup>-1</sup> de argila). Os atributos químicos do solo empregado são apresentados no quadro 1.

**QUADRO 1.** Atributos químicos do solo antes da instalação do experimento, determinados em duas profundidades

Prof.	pH*	P	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	V	m
		--mg dm <sup>-3</sup> --		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						---%---	
0-20 cm	4,6	4,6	7,6	0,30	2,58	1,54	0,48	6,60	11,2	40	9
20-40 cm	4,4	0,8	5,3	0,09	1,44	0,58	1,41	9,44	11,5	18	40

\* pH em CaCl<sub>2</sub>; P – extrator Mehlich I; S – extrator Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>

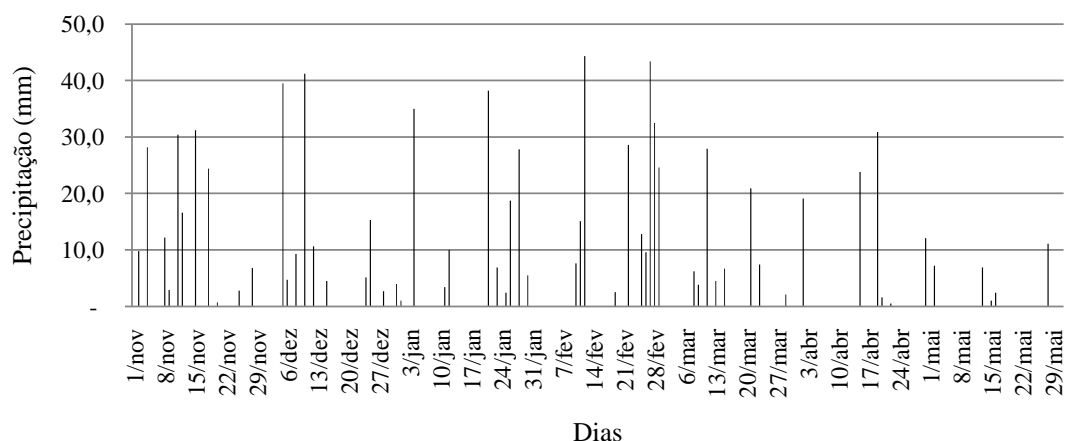
A cultivar de soja utilizada foi a BRS Charrua RR, semeada com uma densidade de 25 sementes por metro linear, com espaçamento de 0,45 m entre linhas. Aos 10 dias após a emergência da cultura foi realizado o desbaste deixando-se 15 plantas por metro linear. O delineamento estatístico foi blocos casualizados, esquema experimental parcelas subdivididas, com cinco repetições. Nas parcelas, foram aplicadas quatro doses de gesso agrícola em superfície (0, 1.000, 2.000 e 3.000 kg ha<sup>-1</sup>) e nas subparcelas, quatro doses de Mo (0, 20, 40 e 60 g ha<sup>-1</sup> de Mo via tratamento de sementes – TS), utilizando-se como fonte o sal molibdato de sódio (39% de Mo). As áreas totais das parcelas e subparcelas foram, respectivamente, de 120 e 30 m<sup>2</sup>, e as áreas úteis de 99 e 16,5 m<sup>2</sup>, respectivamente. Inicialmente, realizou-se a dessecação da área, utilizando o herbicida à base de glifosato, na dosagem de 1.440 g ha<sup>-1</sup> do equivalente ácido.



O gesso agrícola foi aplicado manualmente, em 17 de novembro de 2007, sem incorporação ao solo; além disso, realizou-se uma correção na área total do ensaio com: 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato triplo), 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio), 4 kg ha<sup>-1</sup> de Zn (granulado a base de óxido de zinco moído) e 1,5 kg ha<sup>-1</sup> de B (granulado à base de ulexita moída).

As sementes utilizadas no experimento foram tratadas manualmente, no dia da semeadura, com as doses de Mo e com 2,16 g ha<sup>-1</sup> de cobalto, fonte sulfato de cobalto. Logo após o tratamento das sementes com os micronutrientes (Mo + Co), foi realizada a inoculação das sementes com produto comercial turfoso, com concentração de 5 x 10<sup>9</sup> células de bactérias viáveis por grama de inoculante, contendo as estirpes SEMIA 5079 (CPAC 15) e SEMIA 5080 (CPAC 7) de *Bradyrhizobium japonicum*, na dosagem de 300 g para 50 kg de sementes, o que equivale, aproximadamente, a 4.050.000 de células de bactéria por semente de soja.

Os dados da precipitação pluviométrica do período do experimento estão demonstrados na Figura 1.



**FIGURA 1.** Precipitação pluviométrica, diária, ocorrida no local do experimento, entre os meses de novembro de 2007 a abril de 2008

Aos 26 dias após a aplicação das doses de gesso, foi efetuada a semeadura mecânica da soja, utilizando uma adubação de semeadura com 352 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 00-25-25 (N-P-K) + 0,45% Zn + 0,10% B. O controle de plantas daninhas (folhas largas e estreitas) foi realizado por meio de três aplicações do herbicida à base de glifosato, utilizando a dose de 540 g ha<sup>-1</sup> do equivalente ácido, em pós-emergência da cultura e das plantas daninhas. Para o controle de lagartas, foram necessárias três aplicações de inseticidas, sendo utilizada, na primeira e na terceira, a mistura de

profenofós + lufenurom nas doses de 150 e 15 g ha<sup>-1</sup>, respectivamente; na segunda aplicação, foi utilizada a mistura de endossulfan + diflubenzurom, nas doses de 175 e de 12 g ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para o controle de percevejos, foram realizadas duas aplicações de produto com princípio ativo metamidofós, na dose de 480 g ha<sup>-1</sup>. Para o controle da ferrugem asiática e do complexo de doenças, foram utilizadas duas aplicações de ciproconazol + azoxistrobina, nas doses de 24 e 60 g ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Aos 40 dias após a emergência da soja, foram retiradas de 5 a 10 plantas de cada subparcela seguindo a metodologia preconizada pelo Protocolo... (2007). Essas amostras foram separadas em parte aérea e raízes. As raízes foram lavadas em água corrente e, depois da remoção do solo nelas aderido, os nódulos foram destacados das raízes e contados. Os nódulos e a parte aérea das plantas foram colocados para secar em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 60 ± 5 °C, até atingir massa constante.

Por ocasião do florescimento pleno (estádio R2), foram coletados 20 trifólios, recém maduros, sem pecíolo, por parcela. As folhas foram lavadas com água destilada e colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar, a uma temperatura de 60 ± 5 °C, até atingir massa constante. A determinação do teor de nutrientes foliares foi realizada seguindo a metodologia proposta por Malavolta et al. (1997).

No estágio R5.5, foi realizada a leitura indireta do teor de clorofila das folhas de soja, utilizando-se o índice SPAD, obtido com clorofilômetro Minolta SPAD-502. A leitura foi realizada na última folha da soja, no folíolo central, sendo efetuadas dez leituras por subparcela. Os dados da leitura foram transformados em teor de clorofila (mg dm<sup>-2</sup>), utilizando a equação:  $y = -0,152 + 0,0996x$ , proposta por Barnes et al. (1992).

A produtividade de grãos de soja foi avaliada pela colheita em três linhas, com quatro metros de comprimento, totalizando 5,4 m<sup>2</sup> de área colhida por subparcela. O produto colhido foi trilhado mecanicamente, sendo determinadas a massa absoluta de grãos e a massa de cem grãos, e posteriormente corrigido o conteúdo de umidade para 13%. O teor N nos grãos foi determinado pelo método de Kjeldahl para quantificação de nitrogênio total (MALAVOLTA et al., 1997). Para o cálculo da conversão de nitrogênio em proteína, foi utilizado o fator 6,25.

Os dados obtidos para cada característica avaliada foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade, e quando houve diferenças significativas, foram ajustadas equações de regressão, para se estudar os efeitos da aplicação do gesso e do Mo. Para os procedimentos estatísticos, utilizou-se o aplicativo computacional SAEG 9.1.

### 3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios obtidos no estudo são apresentados nas tabelas 2 e 3.

**QUADRO 2.** Efeito das doses de gesso e Mo no índice SPAD de clorofila (SPAD), massa seca da parte aérea (MSPA), número de nódulos por planta (NN), massa seca de nódulos por planta (MSN), produtividade da soja (PROD), massa de cem grãos (MS100) e teor de proteínas dos grãos (PROT). Maracaju (MS). UFGD, 2009

Tratamento	SPAD	MSPA	NN	MSN	PROD	MS100	PROT
<b>Mo (g ha<sup>-1</sup>)</b>							
<b>0</b>	3,54	3,1	42,9	209,3	1589	11,0	33,3
<b>20</b>	4,10	3,9	41,3	220,7	2590	13,4	38,8
<b>40</b>	4,11	3,9	36,0	190,4	2478	13,2	38,9
<b>60</b>	4,08	3,8	35,3	200,2	2555	13,2	39,7
<b>Efeito</b>	Q**	RQ*	L**	ns	RQ**	RQ**	RQ**
<b>CV (%)</b>	3,4	21,9	21,8	22,7	10,7	3,3	5,1
<b>Gesso (t ha<sup>-1</sup>)</b>							
<b>0</b>	4,05	3,7	38,5	203,4	2317	13,0	38,0
<b>1</b>	3,94	3,5	39,7	208,9	2266	12,5	38,0
<b>2</b>	3,92	4,2	43,1	220,6	2375	12,6	37,5
<b>3</b>	3,91	3,5	36,4	198,2	2286	12,7	37,0
<b>Efeito</b>	L*	ns	Q*	ns	ns	RQ*	ns
<b>CV (%)</b>	3,1	16,4	18,0	29,4	14,4	2,3	4,4
<b>Médias</b>	3,95	3,7	39,2	206,5	2307	12,7	37,6

L, Q, RQ: efeito linear, quadrático e raiz quadrada por regressão polinomial, respectivamente. \*, \*\* e ns: significativos a  $p < 0,05$  e  $p < 0,01$  e não-significativo, respectivamente.

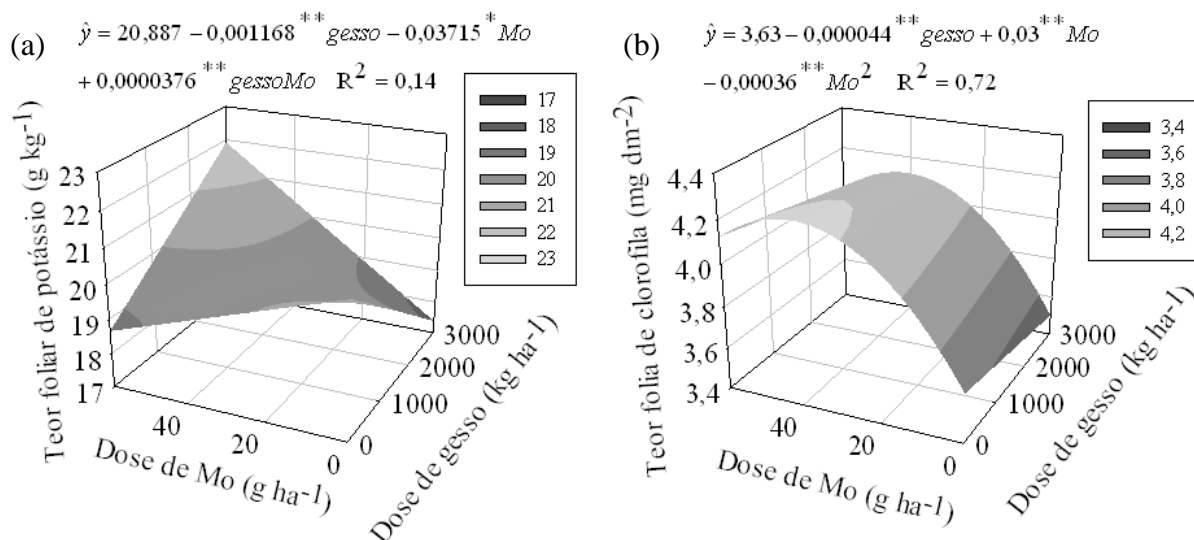
Houve significância das doses de gesso x doses de Mo sobre os teores de K e de clorofila nas folhas da soja ( $p < 0,05$ ); no restante das variáveis avaliadas, ocorreu somente efeito isolado dos tratamentos principais. A superfície de resposta do teor foliar de K indica que ele foi mais elevado ( $21,9 \text{ g kg}^{-1}$ ) quando se utilizou  $3.000 \text{ kg ha}^{-1}$  de gesso e  $60 \text{ g ha}^{-1}$  de Mo. O teor foliar de K foi mais baixo ( $17,4 \text{ g kg}^{-1}$ ) com  $3.000 \text{ kg ha}^{-1}$  de gesso, sem a utilização do Mo (Figura 2a). Observou-se interação entre o gesso e o Mo, verificando-se que o aumento da dose de gesso, sem a aplicação de Mo, resultou na diminuição do teor foliar de K; no entanto, com o aumento da dose de gesso na presença da maior dose de Mo ( $60 \text{ g ha}^{-1}$ ), o teor foliar de K também foi aumentado.

**QUADRO 3.** Efeito das doses de gesso e Mo nos teores de nutrientes em folhas coletadas no estádio R2. Maracaju (MS). UFGD, 2009

<b>Tratamento</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>
<b>Mo (g ha<sup>-1</sup>)</b>										
<b>0</b>	37,6	3,6	19,1	7,9	3,4	3,0	52,9	194	232	9,3
<b>20</b>	39,9	3,5	19,4	6,7	2,9	3,2	45,8	162	206	9,8
<b>40</b>	39,8	3,5	20,3	7,4	3,0	3,0	42,6	203	188	9,6
<b>60</b>	39,8	3,4	20,1	6,8	2,9	2,8	46,5	196	195	10,
<b>Efeito</b>	RQ**	ns	L*	RQ	RQ*	Q*	Q**	ns	Q*	L*
<b>CV (%)</b>	4,9	16,3	10,7	14,	12,2	10,6	11,3	28,5	14,7	8,0
<b>Gesso (t ha<sup>-1</sup>)</b>										
<b>0</b>	39,5	3,6	19,6	6,9	3,2	2,9	46,3	191	204	9,7
<b>1</b>	38,6	3,5	20,1	7,6	3,2	3,0	47,7	188	195	9,6
<b>2</b>	39,7	3,4	19,4	7,1	2,9	3,1	47,1	181	216	9,9
<b>3</b>	39,3	3,3	19,7	7,3	2,9	3,0	46,7	195	205	9,4
<b>Efeito</b>	ns	ns	ns	ns	L*	Q**	ns	ns	ns	ns
<b>CV (%)</b>	5,9	18,6	9,4	15,	12,5	7,0	11,2	28,8	17,8	11,
<b>Médias</b>	39,3	3,47	19,7	7,2	3,1	3,0	47,0	189	205	9,6

L, Q, RQ: efeito linear, quadrático e raiz quadrada por regressão polinomial, respectivamente. \*, \*\* e ns: significativos a  $p < 0,05$  e  $p < 0,01$  e não-significativo, respectivamente.

Na superfície de resposta ajustada para o índice SPAD verifica-se que o maior teor de clorofila ( $4,25 \text{ mg dm}^{-2}$ ) foi alcançado com a dose de  $41 \text{ g ha}^{-1}$  de Mo sem a utilização de gesso, e o menor teor de clorofila ( $3,50 \text{ mg dm}^{-2}$ ) foi alcançado sem a utilização de Mo e com a maior dose de gesso ( $3000 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Observou-se que a utilização de maior quantidade de gesso acarreta maior necessidade de Mo para se manter o mesmo teor de clorofila foliar (Figura 2b). Furlani Junior et al. (1996) concluíram que em feijoeiro, houve excelentes correlações entre a leitura indireta do teor de clorofila e os teores de N nas folhas. Partindo-se desse pressuposto, pode-se concluir que os teores de N nas folhas, neste estádio mais avançado da cultura, também seriam influenciados pela interação gesso x Mo. Como o potencial produtivo da soja foi afetado pela ocorrência de veranicos no decorrer do ciclo da cultura (Figura 1), os efeitos da interação gesso x Mo não ocorreram na produtividade, uma vez que esta foi nivelada em patamares abaixo da média da região; entretanto nas subparcelas onde não se utilizou o Mo era perceptível um gradiente de maior amarelecimento nas folhas, conforme se aumentava as doses de gesso. Pode-se então sugerir que, quando se utiliza o gesso agrícola, seria indispensável a utilização do Mo.

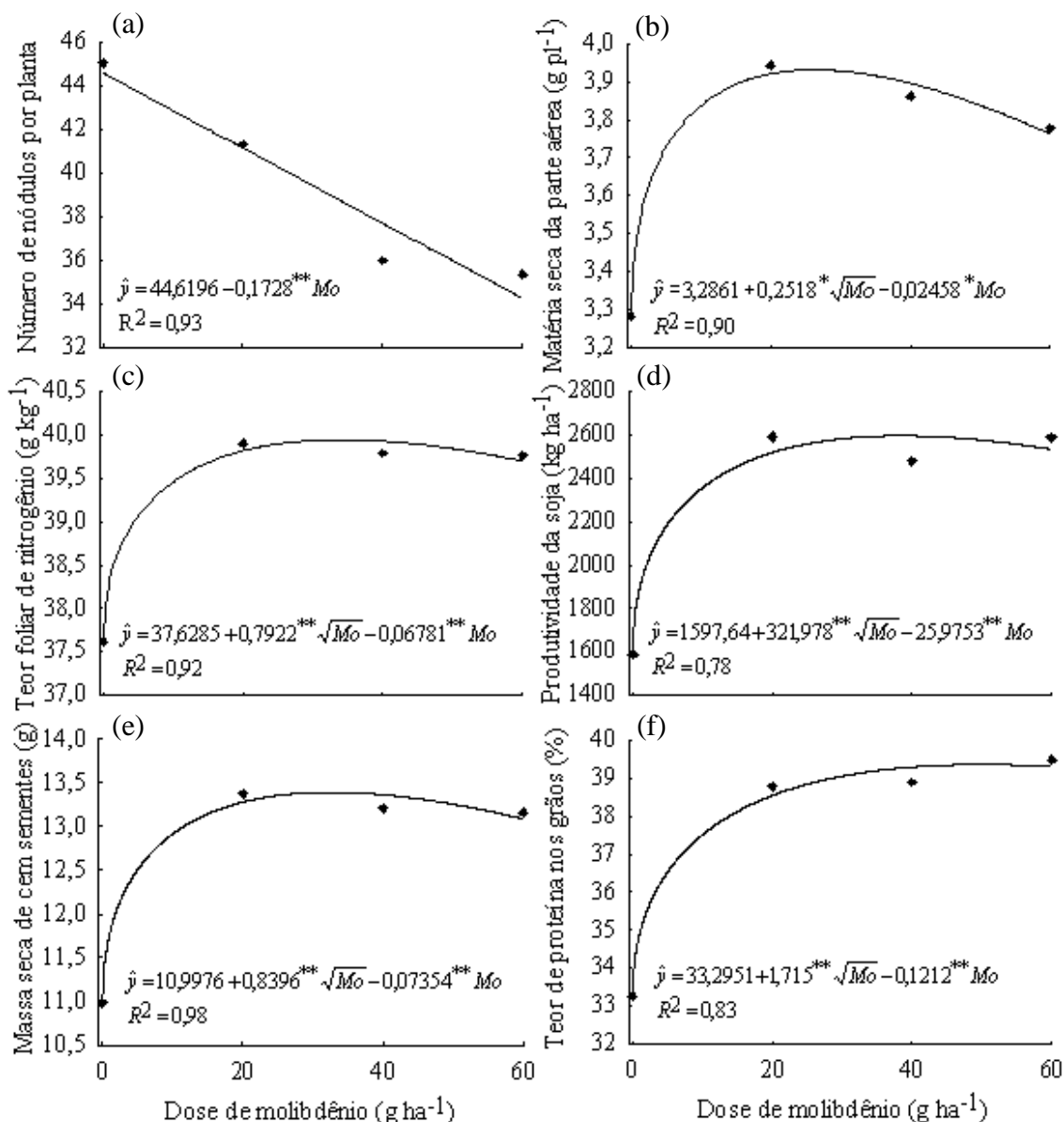


**FIGURA 2.** Superfície de resposta para os teores de potássio (a) e de clorofila (b) em folhas de soja em função de doses de gesso agrícola e de Mo. Maracaju (MS). UFGD, 2009

A aplicação de Mo interferiu ( $p < 0,05$ ) no número de nódulos por planta, na matéria seca de parte aérea, na massa de cem grãos, no teor de proteínas, na produtividade de grãos e nos teores foliares de N, S, Ca, Mg, Cu, Mn e Zn (Figuras 3 e 4).

O número de nódulos das plantas de soja foi diminuído em 23 % quando se utilizou  $60\ g\ ha^{-1}$  de Mo (Figura 3a). Dados semelhantes foram obtidos por Albino e Campo (2001), ao avaliarem diferentes fontes de Mo, na dose de  $20\ g\ ha^{-1}$  via TS; observaram que o molibdato de sódio promoveu redução de 40% do número de nódulos radiculares. A redução do número de nódulos tem sido atribuída à composição salina dos produtos que fornecem o Mo (CAMPO et al., 2009). Apesar da adição de Mo ter promovido uma redução no número de nódulos das plantas no presente estudo, o menor número obtido (34 nódulos por planta) ainda foi superior aos valores indicativos de uma boa nodulação para a cultura, que varia de 15 a 30 nódulos, segundo Hungria et al. (2007).

Com relação à matéria seca da parte aérea da soja, foi observado que a utilização de Mo proporcionou aumentos de até 20% com a adição de  $26\ g\ ha^{-1}$  deste micronutriente (Figura 3b). O aumento da matéria seca ocorreu, provavelmente, devido à maior eficiência da FBN, que teria proporcionado mais oferta de N fixado e, conseqüentemente maior crescimento vegetativo das plantas (MALAVOLTA, 2006).



**FIGURA 3.** Efeito das doses de molibdênio no número de nódulos por planta (a), na matéria seca de parte aérea (b), no teor foliar de nitrogênio (c), na produtividade da soja (d), na massa de cem grãos (e) e no teor de proteínas nos grãos (f). Maracaju (MS). UFGD, 2009

A aplicação de Mo (dose de 34 g ha<sup>-1</sup>) aumentou o teor de N foliar em 6% em relação ao tratamento sem aplicação de Mo (Figura 3c). Esse resultado corrobora com as observações de Campo e Lantmann (1998), em cinco diferentes solos do Estado do Paraná, onde os autores verificaram que, em três solos, ocorreram ganhos na nutrição de N na cultura da soja, quando se utilizou Mo. Tanaka et al. (1993) por sua vez, destacaram em seus estudos que, apesar da utilização de 20 g ha<sup>-1</sup> de Mo não ter alterado os teores foliares de N, ele evidenciou, via maior produtividade de grãos, que o

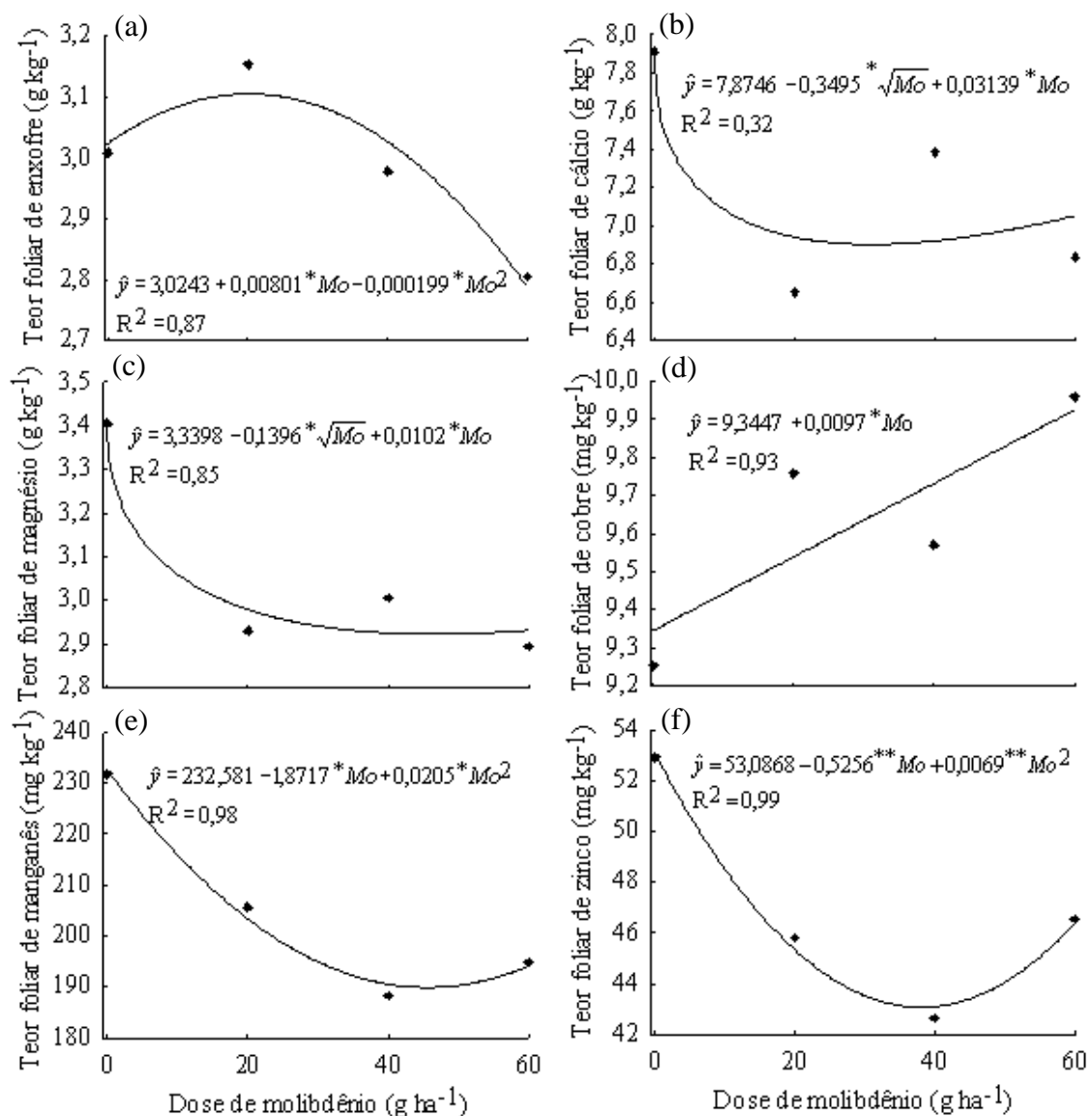
N total absorvido foi maior do que onde não se utilizou o Mo; verificou-se ainda que o Mo adicionado na semente melhorou a eficiência da FBN e aumentou a absorção de N pela soja, já que não ocorreu diferença na massa seca de nódulos. Em estudos recentes Campo et al. (2009) demonstraram que a utilização de sementes enriquecidas com Mo também pode suprir totalmente a demanda desse micronutriente, para se obter uma elevada eficiência da FBN.

A produtividade da cultura, a massa de cem grãos e o teor de proteína nos grãos de soja foram aumentadas em 62, 22 e 18%, pela adição de 38, 33 e 50 g ha<sup>-1</sup> de Mo nas sementes, respectivamente (Figuras 3d, 3e e 3f). Meschede et al. (2004), avaliando o TS e adubação foliar com Co e Mo, observaram que houve um acréscimo de 7% e 20% na produtividade, respectivamente, em relação a testemunha sem aplicação de Co e Mo. Campo e Lantmann (1998) observaram incrementos na produtividade e no teor de proteínas dos grãos da soja com aplicação de até 100 g ha<sup>-1</sup> de Mo via TS. Santos e Estefanel (1986) avaliaram a utilização de micronutrientes aplicados nas sementes de soja e concluíram que a aplicação de Mo aumentou o rendimento de grãos em condições de maior acidez no solo. Meshede et al. (2004) também encontraram um aumento (média de 4 %) no teor de proteínas nos grãos com o uso do Mo via TS.

O teor foliar de S sofreu pequeno incremento (2%) com a dose de 20 g ha<sup>-1</sup> de Mo; a partir desta dose, observou-se que os teores foliares de S diminuiriam abaixo dos valores atingidos sem a aplicação de Mo (Figura 4a). Contudo, os teores encontrados estão compreendidos na faixa considerada ideal para a soja (CORREÇÃO..., 2008). Os teores foliares de Ca, Mg, Mn e Zn foram diminuídos em até 12, 14, 18 e 19%, respectivamente, com a aplicação de 31, 47, 46 e 38 g ha<sup>-1</sup> de Mo (Figura 4). Quaggio et al. (1998) avaliaram doses de Mo de até 100 g ha<sup>-1</sup> aplicadas nas sementes de soja e observaram que os teores de Ca e Mg diminuiriam significativamente; no entanto, os autores consideraram as variações pouco expressivas. A diminuição dos teores dos respectivos nutrientes pode ser um efeito de diluição dos mesmos no tecido, já que ocorreu um incremento de até 20% na matéria seca da parte aérea das plantas com a utilização do Mo. Porém, salienta-se que a diminuição dos teores destes nutrientes não foi prejudicial para a cultura, já que apresentaram-se dentro dos limites considerados como ideais para a cultura, com exceção do Zn, que se apresentou como teor alto para a cultura (CORREÇÃO..., 2008). O teor foliar de Cu foi aumentado linearmente em até 7% quando se adicionou Mo nas sementes; no entanto,



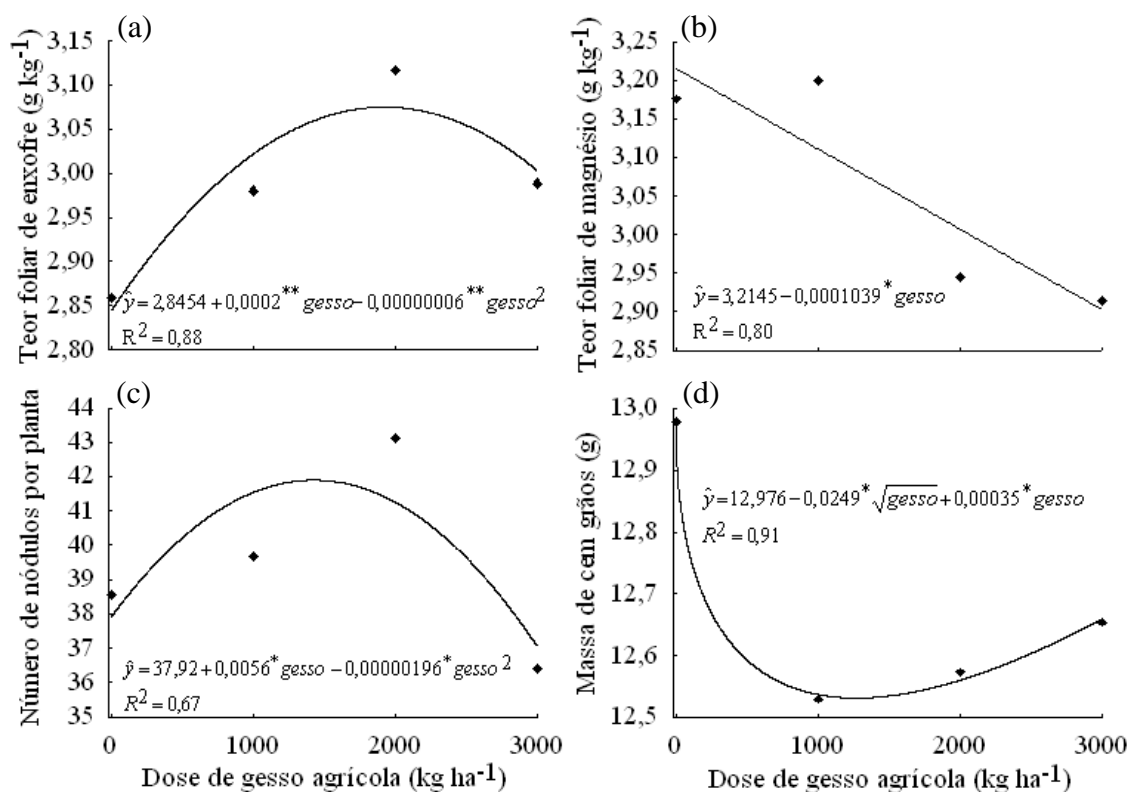
em todos os tratamentos, os teores de Cu se mantiveram em níveis considerados adequados para a cultura da soja (Figura 4d). Esse resultado contraria resultados observados em outros estudos, citados por Olsen (1972), onde a adição de Mo provocou redução no teor foliar de Cu.



**FIGURA 4.** Efeito das doses de molibdênio nos teores foliares de enxofre (a), cálcio (b), magnésio (c), cobre (d), manganês (e) e zinco (f). Maracaju (MS). UFGD, 2009

A adição de gesso ao solo promoveu alterações significativas ( $p < 0,05$ ) no teor foliar de S e Mg, no número de nódulos das plantas e na massa de cem grãos (Figura 5). Na dose de 1.920 kg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola, observou-se um aumento de 8% nos teores foliares de S (Figura 5a); esse comportamento era esperado, visto que o gesso

é fonte de S para as culturas (CAIRES et al., 1998; RAIJ, 2008; SORATTO e CRUSCIOL, 2008). Entretanto, o acréscimo no teor foliar de S não foi linear, provavelmente porque não existe consumo de luxo deste nutriente nas plantas (MALAVOLTA, 2006). Mesmo onde não se utilizou o gesso agrícola, os teores foliares de S se mantiveram dentro dos valores considerados adequados para a cultura da soja. O teor foliar de Mg foi reduzido de forma linear em 10%, com a utilização da dose de 3.000 kg ha<sup>-1</sup> de gesso (Figura 5b). Resultados semelhantes foram obtidos por Caires et al. (2003), que observaram reduções dos teores foliares de Mg com aplicação de doses de até 9.000 kg ha<sup>-1</sup> de gesso. No entanto, os teores foliares de Mg foram considerados adequados para a cultura (CORREÇÃO..., 2008). A diminuição dos teores de Mg nas folhas, pode ter ocorrido pela provável lixiviação de Mg no solo devido a utilização do gesso.



**FIGURA 5.** Efeito das doses de gesso agrícola no teor foliar de enxofre (a), magnésio (b), no número de nódulos por planta (c) e na massa de cem grãos (d). Maracaju (MS). UFGD, 2009

O número de nódulos da soja foi aumentado em 10%, na dose estimada de 1.425 kg ha<sup>-1</sup> de gesso (Figura 5c). Por outro lado, o gesso exerceu uma influência negativa, embora pouco expressiva, na massa de cem grãos ( $p < 0,01$ ). Neste caso, foi

observada uma redução de 3% nesta variável, na dose estimada de 1.270 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 5d). Entretanto, não foi verificado efeito negativo na produtividade grãos pela utilização do gesso, pois pode ter ocorrido aumento do número de vagens por planta (atributo não avaliado), nas parcelas em que se utilizou o gesso.

A matéria seca de nódulos das plantas de soja e os teores de P e Fe não foram influenciados significativamente ( $p > 0,05$ ), em função das diferentes doses de Mo aplicadas via TS e da utilização de gesso agrícola. A massa de nódulos da soja foi de 207 mg pl<sup>-1</sup> em média. Os valores médios de P e Fe encontrados foram de 3,5 g kg<sup>-1</sup> e 188 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, sendo considerados adequados para a cultura da soja (CORREÇÃO..., 2008). Nogueira e Melo (2003) também não observaram alterações nos teores foliar de P no primeiro ano de cultivo de soja após a aplicação do gesso agrícola. Em outras condições, Caires et al. (2003) observaram aumentos no teor foliar de P, onde se utilizou gesso, em três safras de soja consecutivas. Estes autores atribuíram esse aumento ao fornecimento de P como impureza contida no gesso, uma vez que o mesmo foi utilizado em altas doses (até 9 t ha<sup>-1</sup>); entretanto, no presente estudo, foram utilizadas doses de até 3 t ha<sup>-1</sup>. Quaggio et al. (1998), trabalhando com doses de até 100 g ha<sup>-1</sup> de Mo nas sementes de soja, também não observaram influência do Mo sobre os teores de Fe foliar. No entanto, Olsen (1972) e Marcondes e Caires (2005) enfatizam a ocorrência de efeito antagônico entre o conteúdo foliar de Fe e adição de Mo.

### 3.5. CONCLUSÕES

1. Não houve efeito da interação entre as doses de gesso agrícola e de molibdênio sobre a produtividade e a maioria das características avaliadas na soja.

2. Quando o teor de S é suficiente para suprir a demanda da cultura, como no solo em estudo, a aplicação de gesso agrícola não demonstra influência no teor foliar de nitrogênio e na produtividade da soja.

3. O Mo proporciona incrementos na produtividade e no teor de proteínas dos grãos de soja.

### 3.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBINO, U. B.; CAMPO, R. J. Efeito de fontes e doses de molibdênio na sobrevivência do *Bradyrhizobium* e na fixação biológica de nitrogênio em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.3, p.527-534, 2001.

BARNES, J. D.; BALAGUER, L.; MANRIQUE, E.; ELVIRA, S.; DAVISON, A. W. A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophylls a and b in lichens and higher plants. **Environmental and Experimental Botany**, v.32, p.85-100, 1992.

CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.27-34, 1998.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. G.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.275-286, 2003.

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

CAMPO, R. J.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Molybdenum-enriched soybean seeds enhance N accumulation, seed yield, and seed protein content in Brazil. **Field Crops Research**, v.110, p.219-224, 2009.

CORREÇÃO e manutenção da fertilidade do solo. In: **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil – 2009 e 2010**. Londrina, Embrapa Soja, Embrapa Cerrados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 262 p. (Sistemas de Produção 13).

FURLANI JUNIOR, E.; NAKAGAWA, J.; BULHÕES, L. J.; MOREIRA, J. A. A.; GRASSI FILHO, H. Correlação entre leituras de clorofila e níveis de nitrogênio aplicados em feijoeiro. **Bragantia**, p. 171-175, 1996.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C.; GRAHAM, P. H. Contribution of biological nitrogen fixation to the N nutrition of grain crops in the tropics: the success of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) in South America. In: SINGH, R. P.; SHANKAR, N.; JAIWAL, P. K. (Ed.). **Nitrogen nutrition and sustainable plant productivity**. Houston: Studium Press, LLC, 2006. p.43-93.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, Embrapa Cerrados, 2007. 80p. (Documentos 283).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.

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

MASCARENHAS, H. A. A.; BRAGA, N. R.; MIRANDA, M. A. C.; TISSELLI-FILHO, O.; MIYASAKA, S. Calagem e adubação da soja. 3.ed. In: A soja no Brasil Central. Campinas, Fundação Cargill, 1986. CD-ROM

MESCHEDE, D. K.; BRACCINI, A. de L.; BRACCINI, M. do C. L.; SCAPIM, C. A.; SCHUAB, S. R. P. Rendimento, teor de proteínas nas sementes e características agronômicas das plantas de soja em resposta à adubação foliar e ao tratamento de sementes com molibdênio e cobalto. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 26, n. 2, p.139-145, 2004.

NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.655-663, 2003.

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

PESSOA, A. C. dos S.; LUCHESE, E. B.; CAVALLET, L. E.; GRIS, E. P. Produtividade de soja em resposta à adubação foliar, tratamento das sementes com molibdenio e inoculação com *Bradyrhizobium japonicum*. **Acta Scientiarum**. v.21, n. 3, p.531-535, 1999.

PROTOCOLO para análise da qualidade e da eficiência agrônômica de inoculantes, estirpes e outras tecnologias relacionados ao processo de fixação biológica do nitrogênio em leguminosas. In: REUNIÃO DA REDE DE LABORATÓRIOS PARA RECOMENDAÇÃO, PADRONIZAÇÃO E DIFUSÃO DE TECNOLOGIA DE INOCULANTES MICROBIANOS DE INTERESSE AGRÍCOLA (RELARE), 13., 2006, Londrina. **Anais**. Londrina, Embrapa Soja, 2007. p. 89-124. (Embrapa Soja. Documentos, 290).

QUAGGIO, J. A.; GALLO, P. B.; FURLANI, A. M. C.; MASCARENHAS, H. A. A. Isoquantas de produtividade de soja e sorgo para níveis de calagem e molibdênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.337-344, 1998.

RAIJ, B. van. **Gesso na agricultura**. Campinas, Instituto Agronômico, 233p. 2008.

SANTOS, O. S. dos; ESTEFANEL, V. Efeito de micronutrientes e do enxofre aplicados nas sementes de soja. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, v.16, n.1, p.5-17, 1986.

SAEG Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes – UFV – Viçosa, 2007.

SEPLAN – Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral. Atlas multireferencial: Mato Grosso do Sul. Campo Grande: SEPLAN/IBGE, 1990. 27 p.

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

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.675-688, 2008.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: Correção do solo e adubação**. Planaltina, Distrito Federal: Embrapa Cerrados, 2002. p.81-96.

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; BULISANI, E. A.; CAMPIDELLI, C.; OTAVIO, S. D. Resposta da soja ao molibdênio aplicado em solo arenoso de cerrado de baixa fertilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, n.2, p.253-256, 1993.

TEIXEIRA, K. R. S.; MARIN, V. A.; BALDANI, J. I. **Nitrogenase**: bioquímica do processo de FBN. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1998. 25p. (Documentos, 84)

VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja. In: VARGAS, M.A. T.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1997. p.295-360.



## 4. CAPÍTULO 2

### ALTERAÇÕES DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E RESPOSTA DA SOJA EM FUNÇÃO DE DOSES DE GESSO AGRÍCOLA

#### 4.1. RESUMO

Nos solos sob cerrados é freqüente a ocorrência de altos teores de Al aliado a baixos teores de Ca, principalmente nas camadas mais profundas do solo. Dentro desse contexto, a correção desses solos assume um papel importante, contudo nem sempre a calagem representa um meio eficiente de se corrigir essa acidez em maiores profundidades. O trabalho foi conduzido a campo, sob sistema plantio direto, em condição de sequeiro, na Fazenda Salgador, município de Maracaju-MS, localizado nas coordenadas geográficas de 21° 38' 03" S e 55° 05' 55" W a 372 m de altitude, sendo o clima caracterizado como tropical úmido segundo a classificação de Köppen, com chuvas no verão e seca no inverno. O objetivo do trabalho foi estudar os efeitos do gesso agrícola nas alterações dos atributos químicos do solo, e na produtividade da soja. O experimento foi conduzido no delineamento experimental de blocos ao acaso com cinco repetições, sendo as parcelas representadas por quatro doses de gesso agrícola (0, 1.000, 2.000 e 3.000 kg ha<sup>-1</sup>). A cultivar de soja utilizada para o experimento foi a BRS Charrua RR. O solo foi coletado seis meses após a aplicação dos tratamentos. O gesso promoveu aumento nos teores de cálcio no solo até os 60 cm de profundidade, reduziu o teor de potássio na profundidade de 0 a 20 cm, reduziu os teores de alumínio nas profundidades de 40 a 80 cm e não influenciou na produtividade de grãos da cultura da soja.

Palavras-chave: *Glycine max*, subsolo, cálcio, enxofre.

#### Chemical changes in soil and response of soybean according to the rates of gypsum

**Abstract** - In soils under tropical savannas, the occurrence of high levels of Al together with low levels of Ca is frequent, especially in the deepest layers of soil. thus, the correction of these soils frequently plays an important role, however not always the setting represents an efficient way to correct this acidity at greater depths. The work was conducted under field conditions, under no-tillage in rainfed conditions, in the Farm Salgador, in the city of Maracaju-MS, located in the geographical coordinates of 21° 38' 03" S and 55° 05' 55" W to 372 m altitude, the climate is characterized as tropical wet according to the Köppen classification, with rains in summer and drought in winter. This work aims the study of the effects of gypsum on the chemical attributes of soil, and soybean yield. The experiment was carried out in a randomized block design with five replications and the plots were four rates of gypsum (0, 1,000, 2,000 and 3,000 kg ha<sup>-1</sup>). The cultivar used for the experiment was the BRS Charrua RR. Soil samples were collected six months after treatment. The gypsum has promoted increase in the levels of calcium in the soil up to 60 cm depth, reduced the potassium content in the 0 to 20 cm, reduced levels of aluminum in depths of 40 to 80 cm and had no effect on grain yield of soybean.

Key words: *Glycine max*, underground, calcium, sulfur.

## 4.2. INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja, apresentando uma estimativa de produtividade para esta última safra (2008/2009) de mais de 57 milhões de toneladas (CONAB, 2009). Essa posição mundial de destaque na produção desta leguminosa só foi conquistada após o avanço da cultura para a região dos cerrados. A conquista do cerrado se deve ao melhoramento genético e também as práticas de correção do solo, pois 70% e 86% da área de agrícola dos cerrados apresenta saturação por alumínio (Al) acima de 10% e teores de Cálcio (Ca) abaixo de  $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente. (COCHRANE e AZEVEDO, 1988).

A correção da acidez do solo e sua melhoria química ocorrem por meio de reações complexas, principalmente em sistema de semeadura direta (CAIRES et al., 1998). A acidez do solo aliada a deficiência de cálcio (Ca) e toxicidade de alumínio (Al) são considerados os principais fatores limitantes à produtividade das culturas cultivadas no Brasil, principalmente na região dos cerrados (RITCHEY et al., 1980; FARINA e CHANNON, 1988), sendo o calcário um importante corretor de acidez do solo. No entanto, seu efeito fica restrito à camada superficial do solo, com exceção quando se efetua a sua incorporação a grandes profundidades (RAIJ, 2008). Contudo, a incorporação profunda do calcário depende de implementos específicos e também de grande consumo de energia, o que nem sempre é viável (SOUSA e LOBATO, 2002).

Por outro lado diversos estudos têm relatado a atividade em profundidade do gesso agrícola aplicado em superfície. Ritchey et al. (1980) observaram, a atividade em profundidade do gesso agrícola, na correção da acidez subsuperficial, principalmente pelo aumento dos teores de cálcio e diminuição dos teores de alumínio tóxico, permitindo uma maior eficiência na absorção de água e nutrientes pelas plantas.

O gesso agrícola é um subproduto da indústria de ácido fosfórico que contém principalmente sulfato de cálcio e pequenas concentrações de fósforo (P) e flúor (F). A presença de F no gesso agrícola confere a este insumo maior eficiência na redução da toxidez do Al, quando comparado ao sulfato de cálcio puro, pois o F é um ânion que forma complexos mais estáveis com o Al do que o sulfato (Cameron et al., 1986). Somente no Brasil, cerca de 4,8 milhões de toneladas são produzidas atualmente (Lyra Sobrinho et al., 2002).

Em geral, solos há muitos anos explorados sem a adição de enxofre (S), podem apresentar baixa disponibilidade desse nutriente, resultando em sintomas de

deficiência nas culturas, acarretando queda de produtividade, principalmente em solos pobres nesse nutriente e com baixos teores de matéria orgânica. Nesse cenário, a soja é uma das culturas que mais exporta S, com cerca de 5 kg por tonelada de grão produzida (CORREÇÃO..., 2008). O gesso agrícola pode, portanto aumentar a produtividade de culturas como a soja, pelo fornecimento de S (MASCARENHAS et al., 1986; RAIJ, 2008). Vitti e Malavolta (1985) notaram efeitos positivos da utilização de 15 a 50 kg ha<sup>-1</sup> de S, na forma de gesso agrícola, em várias culturas. Para a correção da acidez subsuperficial, dependendo do teor de argila do solo, utilizam-se doses de gesso que vão de 700 a 3.200 kg ha<sup>-1</sup>, conforme o teor de argila do solo a ser corrigido (SOUSA et al., 1995).

O S além de ser constituinte dos aminoácidos cisteína e metionina, desempenha várias funções na planta como a manutenção de tiois, inclusive da cisteína e da ferredoxina na forma reduzida. As ferredoxinas participam de vários processos de transferência eletrônica na fotossíntese, na fixação biológica de N<sub>2</sub> e outros (MALAVOLTA, 2006).

Visto a importância do gesso agrícola como fonte de S e também como importante insumo para melhoria do ambiente radicular, este trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos de doses de gesso agrícola, nas alterações dos atributos químicos do solo, e na produtividade da cultura da soja.

### 4.3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na fazenda Salgador, Município de Maracaju - MS, localizada nas coordenadas geográficas de 21° 38' 03'' S e 55° 05' 55'' W, com altitude de 372 m, entre novembro de 2007 a maio de 2008. O clima local é o tropical úmido, com chuvas de verão e com seca no inverno, classificado como do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen (SEPLAN, 1990), com precipitação anual entre 1500 e 1700 mm.

O estudo foi conduzido em sistema de semeadura direta, em condições de sequeiro, em área anteriormente submetida a 30 anos de exploração com pastagem (*Brachiaria brizantha*), em Latossolo Vermelho Distroférico de textura argilosa (330 g kg<sup>-1</sup> de areia; 130 g kg<sup>-1</sup> de silte; 540 g kg<sup>-1</sup> de argila), com os atributos químicos demonstrados no Quadro 1.

**QUADRO 1.** Resultados da análise dos atributos químicos do solo antes da instalação do experimento

Prof.	pH*	P**	S***	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	V	m
		-- mg dm <sup>-3</sup> --			-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					---%---	
0-20 cm	4,6	4,6	7,6	0,30	2,58	1,54	0,48	6,60	11,22	40	9
20-40 cm	4,4	0,8	5,3	0,09	1,44	0,58	1,41	9,44	11,55	18	40
40-60 cm	4,3	0,7	4,4	0,07	0,72	0,26	1,94	9,84	10,89	10	65
60-80 cm	4,3	0,6	2,8	0,06	0,56	0,14	1,94	10,30	11,09	7	72

\* pH em CaCl<sub>2</sub>;

\*\* P – extrator Mehlich I;

\*\*\* S – extrator Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>

A cultivar de soja utilizada foi a BRS Charrua RR, sendo utilizada uma densidade de 25 sementes por metro linear e espaçamento entre linhas de 0,45 m. Para a semeadura do experimento foi utilizado uma semeadora Planti Center com 5 linhas.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados completos, com os tratamentos arranjados em parcelas divididas, com cinco repetições. Nas parcelas foram aplicadas as quatro doses de gesso agrícola em superfície: 0, 1.000, 2.000 e 3.000 kg ha<sup>-1</sup>. As áreas totais e úteis das parcelas foram, respectivamente de, 120 e 99 m<sup>2</sup>. Inicialmente, realizou-se a dessecação da área, utilizando o herbicida a base de glyphosate, na dosagem de 1.440 g ha<sup>-1</sup> do equivalente ácido.

Em 17 de novembro de 2007, aplicou-se manualmente e sem incorporação ao solo, as doses de gesso agrícola, e a correção em área total do ensaio com 180 kg ha<sup>-1</sup>

de  $P_2O_5$  (superfosfato triplo),  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$  (cloreto de potássio),  $4 \text{ kg ha}^{-1}$  de Zn (granulado a base de óxido de zinco moído) e  $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de B (granulado à base de ulexita moída).

As sementes utilizadas no experimento foram tratadas manualmente no mesmo dia da semeadura com molibdênio e cobalto  $20$  e  $2,16 \text{ g ha}^{-1}$ , respectivamente, utilizando como fonte para os nutrientes os sais molibdato de sódio e sulfato de cobalto. Logo após o tratamento das sementes com os micronutrientes (Mo + Co), foi realizada a inoculação das sementes com produto comercial turfoso, com concentração segundo o fabricante de  $5 \times 10^9$  células de bactérias viáveis por grama de inoculante, contendo as estirpes SEMIA 5079 (CPAC 15) e SEMIA 5080 (CPAC 7) de *Bradyrhizobium japonicum*, na dosagem de  $300 \text{ g}$  de inoculante para  $50 \text{ kg}$  de sementes.

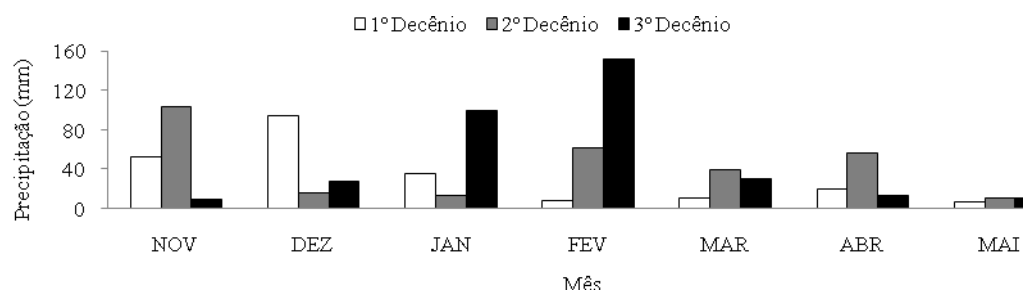
Aos 26 dias após a aplicação das doses de gesso, foi efetuada a semeadura da soja mecanicamente, utilizando uma adubação de semeadura com  $352 \text{ kg ha}^{-1}$  da formulação 00-25-25 (N-P-K) + 0,45% Zn + 0,10% B. O controle de plantas daninhas (folhas largas e estreitas) foi realizado por meio de três aplicações do herbicida a base de glyphosate, utilizando a dose de  $540 \text{ g ha}^{-1}$  do equivalente ácido, em pós-emergência da cultura e das plantas daninhas. Para o controle de lagartas foram necessárias três aplicações de inseticidas, sendo na primeira e na terceira utilizado a mistura de profenofós + lufenurum nas doses de  $150$  e  $15 \text{ g ha}^{-1}$ , respectivamente, na segunda aplicação foi utilizada a mistura de endossulfan + diflubenzurom, nas doses de  $175$  e de  $12 \text{ g ha}^{-1}$ , respectivamente. Para o controle de percevejos, foram realizadas duas aplicações do princípio ativo metamidofós na dose de  $480 \text{ g ha}^{-1}$ . Para o controle da ferrugem asiática e do complexo de doenças foram utilizadas duas aplicações de ciproconazole + azoxystrobin nas doses de  $60$  e  $24 \text{ g ha}^{-1}$ , respectivamente.

A determinação da produtividade da soja foi realizada em 3 linhas, com  $4 \text{ m}$  de comprimento, totalizando  $5,4 \text{ m}^2$  de área colhida, por parcela. O produto colhido foi trilhado mecanicamente, sendo determinada a massa absoluta de grãos, e posteriormente corrigido o conteúdo de umidade para 13%.

O solo foi analisado seis meses após a aplicação do gesso até a profundidade de  $0,80 \text{ m}$ , em camadas de  $0,20$  em  $0,20 \text{ m}$ , sendo coletadas 6 sub-amostras por parcela. Dessas sub-amostras, uma foi coletada na linha de semeadura e outras 5 na entrelinha. Os atributos químicos avaliados foram: pH em água, em  $CaCl_2$  ( $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ) e em KCl  $1,0N$ ; potássio ( $K^+$ ), alumínio ( $Al^{+3}$ ), cálcio ( $Ca^{+2}$ ) e magnésio ( $Mg^{+2}$ ) trocáveis determinados de acordo com Claessen (1997); os valores de  $\Delta pH = pH \text{ em KCl} - pH \text{ em}$

água; soma de bases (SB), dada pelo somatório das bases trocáveis no solo; saturação por bases (V), calculada pela expressão:  $V = 100 \times SB/T$ . Os teores de  $S-SO_4^{-2}$  do solo foram determinados mediante a extração do sulfato por íons fosfato dissolvidos em ácido acético 2,0M e posterior quantificação do S disponível pela medição em espectrofotômetro (VITTI, 1989).

Os dados da precipitação pluviométrica do período do experimento estão demonstrados na figura 1.



**FIGURA 1.** Precipitação pluviométrica, por decênio, ocorridas no local do experimento, entre os meses de novembro de 2007 a abril de 2008

Os dados obtidos, para cada característica avaliada foram submetidos à análise de variância pelo teste F, a 5% de probabilidade, sendo ajustadas equações de regressão para se estudar os efeitos da aplicação do gesso. Os procedimentos estatísticos foram realizados com o aplicativo computacional SAEG 9.1.

#### 4.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A gessagem diminuiu significativamente os valores do pH em água (Quadro 2) na profundidade de 0-20 cm ( $p < 0,01$ ) e aumentou na camada de 60-80 cm ( $p < 0,05$ ). Rajj (2008) comenta que a diminuição do pH em água, pode ser influenciada pela quantidade de sais presentes na solução do solo, onde teores de sais mais elevados, podem resultar em valores mais baixos de pH em água, levando a conclusão de que o gesso acidificou o solo. Na realidade este é um resultado falso, sendo conhecido pela Ciência do Solo como “efeito de sal no pH”. Já o aumento do pH em água na camada mais profunda analisada (60-80 cm), pode ter ocorrido pela reação de troca de ligantes entre os óxidos hidratados de Fe e Al com o sulfato fornecido pela gessagem, resultando em liberação de hidroxilas que promovem uma neutralização parcial da acidez do solo (RAJAN, 1979). O aumento do pH em camadas mais profundas do solo já foram observadas por Caires et al., 2003, contudo esse aumento ocorreu no pH em  $\text{CaCl}_2$ , o que não ocorreu neste trabalho pois, com relação ao pH em  $\text{CaCl}_2$  e KCl, não foi observada nenhuma alteração ( $p > 0,05$ ), concordando com os resultados obtidos por Caires et al. (1998). No entanto, Caires et al. (2003), trabalhando com calcário incorporado e gesso em superfície, na implantação do plantio direto, verificaram aumento do pH do solo em  $\text{CaCl}_2$ , nas profundidades de 20-40 e 40-60 cm aos oito meses após a aplicação do gesso. A não alteração do pH do solo, concorda com a característica do gesso agrícola, que é um sal neutro, onde o ânion sulfato não atua como “receptor de prótons”, não neutralizando desta forma os íons hidrogênio (RAIJ, 2008).

O gesso agrícola promoveu diferença significativa nos valores de  $\Delta\text{pH}$  (Quadro 2), aumentando-o linearmente em até 32% na profundidade de 0 a 20 cm ( $p < 0,01$ ) e diminuindo em até 6% na profundidade de 60 a 80 cm ( $p < 0,05$ ). O aumento do  $\Delta\text{pH}$  com o aumento das doses de gesso agrícola é confirmado por Rosa Junior et al. (1994, 2006). Esse fato ocorre em função dos íons  $\text{Ca}^{+2}$  ocuparem parte das cargas negativas do solo, tendendo para o ponto de carga zero (PCZ). O ampliamiento do  $\Delta\text{pH}$  ocorreu na camada de 60-80 cm, o que é normalmente observado onde ocorre a reação do calcário no solo, visto que nos Latossolos existe uma grande capacidade de troca de cátions dependentes do pH, e o aumento do mesmo com a calagem, resulte em um aumento da quantidade de cargas negativas do solo, diminuindo o  $\Delta\text{pH}$  (BUTIERRES, 1980). No presente estudo, isto pode ter ocorrido devido a neutralização parcial da

acidez do solo proporcionada pela troca de ligantes na superfície das partículas de solo, envolvendo óxidos hidratados de ferro e alumínio, com o  $\text{SO}_4^{-2}$ , deslocando  $\text{OH}^-$ , descrito por Rajan (1978), que provoca a liberação de hidroxilas aumentando o pH do solo. Vale ressaltar que esta reação não foi suficiente para promover aumento significativo no pH em água, mas sim somente na diminuição dos valores de  $\Delta\text{pH}$ .

**QUADRO 2.** Equações de regressão polinomial e coeficientes de determinação para pH em água, pH em  $\text{CaCl}_2$ , pH em KCl e  $\Delta\text{pH}$  em função das doses de gesso agrícola. Maracaju (MS). UFGD, 2009

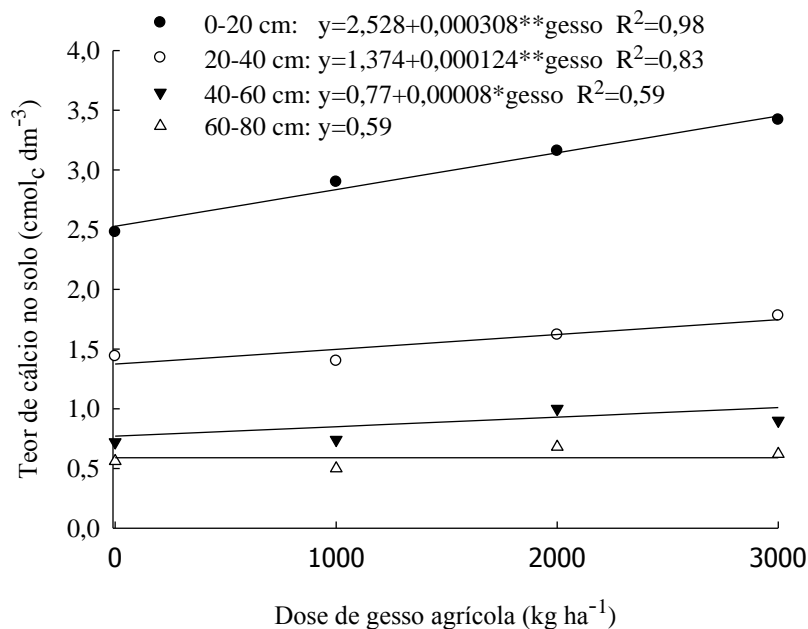
Variáveis	Profundidade	Equação	R <sup>2</sup>
pH em água	0-20 cm	$\hat{y} = 5,21 - 0,00009^{**}$ gesso	0,96
	20-40 cm	$\hat{y} = 4,82$	-
	40-60 cm	$\hat{y} = 4,68$	-
	60-80 cm	$\hat{y} = 4,88 + 0,000024^{**}$ gesso	0,72
pH em $\text{CaCl}_2$	0-20 cm	$\hat{y} = 4,70$	-
	20-40 cm	$\hat{y} = 4,40$	-
	40-60 cm	$\hat{y} = 4,31$	-
	60-80 cm	$\hat{y} = 4,30$	-
pH em KCl	0-20 cm	$\hat{y} = 4,30$	-
	20-40 cm	$\hat{y} = 4,14$	-
	40-60 cm	$\hat{y} = 4,15$	-
	60-80 cm	$\hat{y} = 4,15$	-
$\Delta\text{pH}$	0-20 cm	$\hat{y} = -0,9306 + 0,0001014^{**}$ gesso	0,93
	20-40 cm	$\hat{y} = -0,6222 - 0,0000342^*$ gesso	0,33
	40-60 cm	$\hat{y} = -0,52$	-
	60-80 cm	$\hat{y} = -0,6988 - 0,0000218^*$ gesso	0,51

\*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; \*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

A aplicação de gesso aumentou os teores de Ca nas profundidades avaliadas, exceto na profundidade de 60 a 80 cm (Figura 2). Os teores de Ca foram aumentados em 36, 27 e 31% nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, respectivamente. Rajj (2008) comenta que é esperado um aumento ao longo do perfil do solo dos teores de Ca. Pavan et al. (1984) trabalhando com colunas de solo submetidas a lixiviação, observaram que ocorreu aumento na concentração de Ca no extrato de saturação até os 120 cm de profundidade. Aumentos nos teores de Ca no perfil do solo também foram confirmados por Morelli et al. (1992), trabalhando com doses crescentes de gesso e calcário em Latossolo Vermelho Álico, verificaram que onde foi aplicado gesso ocorreram grandes aumentos nos teores de Ca até a profundidade de 125 cm. Trabalhando com gesso e calcário na implantação do sistema plantio direto, em

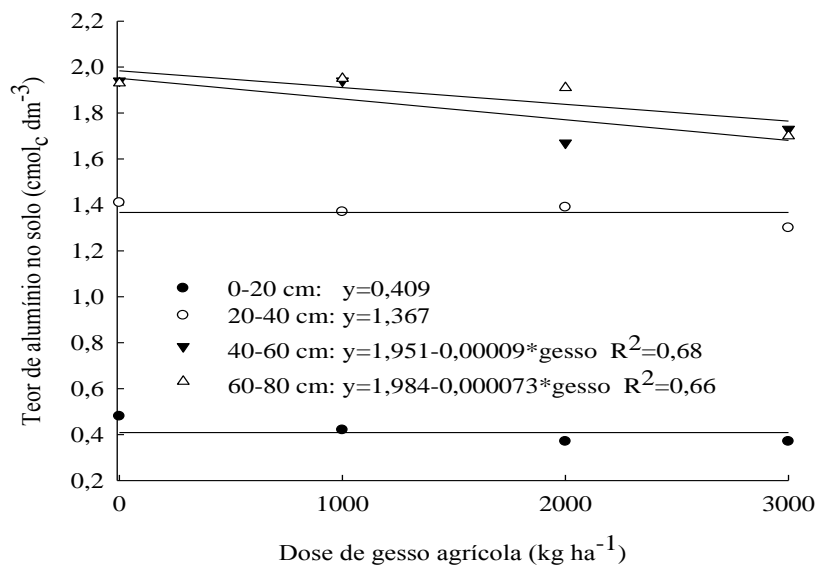


Latossolo Vermelho Distrófico textura argilosa, Caires et al. (2003) observaram aumento nos teores de Ca trocável do solo nas cinco profundidades avaliadas, e o aumento mais pronunciado ocorreu aos oito meses após a aplicação do gesso.



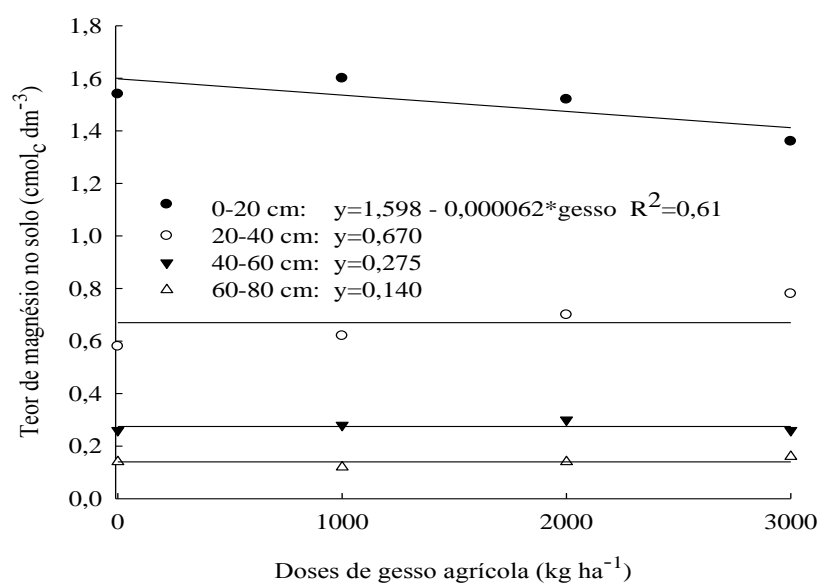
**FIGURA 2.** Efeito das doses de gesso agrícola no teor de cálcio no solo, seis meses após a aplicação. Maracaju (MS). UFGD, 2009

Com a aplicação das doses de gesso se observou diminuição nos teores de Al na ordem de 14 e 11%, nas profundidades de 40-60 e 60-80 cm, respectivamente (Figura 3). Normalmente não se espera que a gessagem reduza os teores solúveis de Al no solo, mas sim a saturação do Al (%), no entanto, em alguns casos admite-se que o sulfato penetra na estrutura da superfície da partícula mineral (óxidos hidratados de ferro e alumínio), onde este atue formando uma ponte entre dois átomos do metal (RAJAN, 1978). Um dos pontos importantes desta reação de superfície, é a liberação do OH<sup>-</sup>, que poderia neutralizar o alumínio, possibilitando que o íon Ca tome seu lugar. Essa reação não pode, entretanto, ser considerada como de neutralização, já que é uma reação reversível.



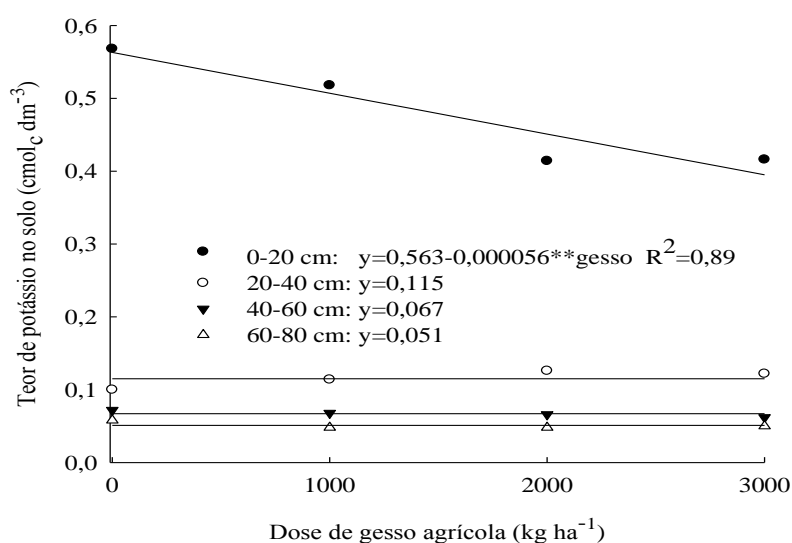
**FIGURA 3.** Efeito das doses de gesso agrícola no teor de alumínio no solo seis meses após a aplicação. Maracaju (MS). UFGD, 2009

A aplicação de gesso agrícola provocou diminuição de 11% no teor de Mg na camada de 0-20 cm ( $p < 0,05$ ) (Figura 4). A lixiviação indesejada do Mg para as camadas mais profundas do solo, tem sido uma resposta freqüente dos trabalhos com utilização de gesso. Caires et al. (1998, 2003), trabalhando com doses de até 9.000 kg ha<sup>-1</sup>, comentaram que houve lixiviação de Mg, logo nos oito primeiros meses após a gessagem. Silva et al. (1997) estudando o efeito da calagem e gessagem combinadas nas características químicas de um Latossolo Vermelho distrófico, observaram lixiviação de Mg da camada superficial do solo.



**FIGURA 4.** Efeito das doses de gesso agrícola no teor de magnésio no solo, seis meses após a aplicação. Maracaju (MS). UFGD, 2009

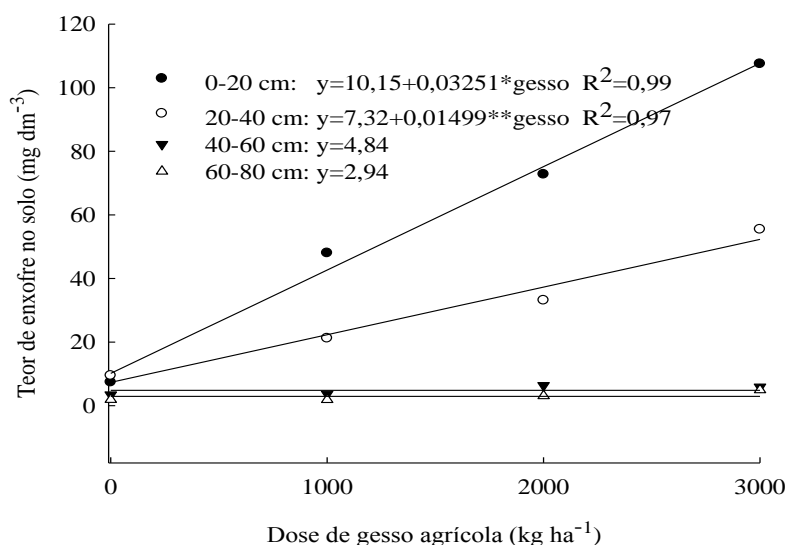
Os teores de K diminuíram em até 30% pela aplicação de gesso ( $p < 0,01$ ) na camada de 0-20 cm (Figura 5). Essa alteração pode ter ocorrido pelo deslocamento e troca do K pelo Ca nos colóides do solo, e posterior formação do par iônico  $K_2SO_4^0$ , que pode ser lixiviado no solo (RAIJ, 2008). No presente estudo, não se observou efeitos negativos da lixiviação de K da superfície do solo na produtividade da soja, devido as altas doses de K utilizadas na correção e adubação de semeadura do experimento, onde que, mesmo com a maior dose de gesso utilizada ( $3.000 \text{ kg ha}^{-1}$ ), a saturação de K na CTC do solo ainda se manteve acima dos 3%, valor que é considerado alto. Portanto, para a utilização de gesso agrícola para correção de subsuperfície devem se desenvolver estratégias para se evitar a deficiência de K.



**FIGURA 5.** Efeito das doses de gesso agrícola no teor de potássio no solo, seis meses após a aplicação. Maracaju (MS). UFGD, 2009

A gessagem proporcionou aumentos significativos nos teores de  $S-SO_4^{-2}$  ( $p < 0,01$ ), nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em 960% e 614% respectivamente (Figura 6). Nota-se que os teores de  $S-SO_4^{-2}$  decrescem com a profundidade, o que evidencia a ausência de adubações anteriores com esse nutriente, o que de fato, é muito comum em áreas de pastagens. Devido ao pouco tempo de aplicação do gesso, este talvez não tenha tido tempo suficiente para ser lixiviado em quantidades suficientes e alterar de forma significativa o teor de S em camadas mais profundas, pois Caires et al. (2003) trabalhando com até  $9.000 \text{ kg ha}^{-1}$ , observaram que mesmo tendo ocorrido alterações no teor de  $S-SO_4^{-2}$  em todas as profundidades estudadas, houve um acúmulo maior na camada superficial do solo, aos oito meses após a aplicação do gesso, e que a

intensa movimentação do S para as camadas mais profundas do solo, ocorreu aos 32 meses após a aplicação do corretivo.



**FIGURA 6.** Efeito das doses de gesso agrícola no teor de enxofre no solo, seis meses após a aplicação. Maracaju (MS). UFGD, 2009

Os teores de P no solo não sofreram alterações pela adição de gesso agrícola ( $p > 0,05$ ). Os teores médios de P no solo foram de 12,5, 1,8, 1,0, e 1,0 mg dm<sup>-3</sup> para as profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm, respectivamente. Alterações no teor de P no solo podem ser observadas, quando são utilizadas altas doses, pois, o gesso agrícola contém P como impureza. As alterações no teor de P no solo foram observadas em trabalhos com a utilização de até 9.000 kg ha<sup>-1</sup> de gesso (CAIRES et al., 1998, 2003).

A produtividade da soja não foi afetada pela adição do gesso agrícola ( $p > 0,05$ ), sendo a produtividade média do experimento de 2.590 kg ha<sup>-1</sup>. Esse resultado corrobora com os resultados de Quaggio et al. (1993), Caires et al. (2003) e Nogueira e Melo (2003). Quaggio et al. (1993) utilizando até 6.000 kg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola em Latossolo Vermelho também não encontraram incrementos de produtividade da soja em dois anos de cultivo. Caires et al. (2003) trabalharam com doses de até 9.000 kg ha<sup>-1</sup> de gesso em Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa, e observaram que mesmo ocorrendo melhorias do ambiente radicular do subsolo a soja não respondeu ao gesso. Nogueira e Melo (2003) trabalharam com até 1.067 kg ha<sup>-1</sup> de gesso em Latossolo Vermelho distrófico com textura média, concluíram que o gesso não interferiu na produtividade de grãos da soja. Em sua revisão Raij (2008) comenta que para a soja, a

necessidade de Ca é atendida por teores relativamente baixos deste nutriente no solo, portanto, é esperado um menor grau de resposta da soja a gessagem. No tocante ao fornecimento de  $S-SO_4^{-2}$ , se observou que mesmo com probabilidade de resposta a aplicação de  $S-SO_4^{-2}$  no solo, a soja não respondeu a aplicação de gesso agrícola, pois, segundo estudos de Sfredo et al. (2003), para a adubação de correção e manutenção, havia a necessidade de se utilizar  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $S-SO_4^{-2}$  visando uma produtividade de  $3.000 \text{ kg ha}^{-1}$  de grãos, conforme os teores de S encontrado nas camadas de 0-20 e 20-40 cm no momento da implantação do experimento (Quadro 1). Este resultado evidencia que a mineralização da matéria orgânica oriunda do grande volume de sistema radicular da pastagem, forneceu  $S-SO_4^{-2}$  em quantidades suficientes para os níveis de produtividade alcançados no experimento.

#### **4.5. CONCLUSÕES**

1. O gesso aumentou os teores de Ca nos primeiros 60 cm do solo, e diminuiu os teores de Al na camada de 40 a 80 cm após seis meses da sua aplicação;
2. A adição de gesso agrícola provoca lixiviação de Mg e K da camada superficial do solo;
3. A cultura da soja não respondeu a aplicação de gesso agrícola.

#### 4.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUTIERRES, M. de F. M. **Efeito do calcário e do fosfato de potássio no ponto zero de carga (PCZ) e grau de flocculação de três solos do Rio Grande do Sul.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 1980. 58p.

CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.27-34, 1998.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; CARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.27, p.275-286, 2003.

CAMERON, R. S.; RITCHIE, G. S. P.; ROBSON, A. D. Relative toxicities of inorganic aluminum complexes to barley. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.50, p.1231-1236, 1986.

CLAESSEN, M. E. C., org., **Manual de Métodos de análises de solo.** 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

COCHRANE, T. T.; AZEVEDO, L. G. **As savanas do trópico sul-americano: uma visão geral dos seus recursos de clima e solo para desenvolvimento agrotecnológico baseada no inventário computadorizado de sistemas de terra do CIAT/Embrapa.** In: SAVANAS: ALIMENTO E ENERGIA. SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 6, Brasília: EMBRAPA/CPAC. p. 773-801, 1988.

**CONAB. 2009.** Acompanhamento da safra Brasileira: grãos. Décimo segundo levantamento, setembro 2009, Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília, CONAB, 39p.

CORREÇÃO e manutenção da fertilidade do solo. In: **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil – 2009 e 2010**. Londrina, Embrapa Soja, Embrapa Cerrados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 262 p. (Sistemas de Produção 13).

FARINA, M. P. W.; CHANNON, P. Acid – subsoil amelioration. II Gypsun effects on growth and subsoil chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.52, p.175-180, 1988.

LYRA SOBRINHO, A. C. P.; AMARAL, A. J. R.; DANTAS, J. O. C.; DANTAS, J. R. A. Gipsita. In: **Balanco Mineral Brasileiro 2001**. Brasília: DNPM, p.7-23, 2002.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MASCARENHAS, H. A. A.; BRAGA, N. R.; MIRANDA, M. A. C.; TISSELLI-FILHO, O.; MIYASAKA, S. Calagem e adubação da soja. 3.ed. In: **A soja no Brasil Central**. Campinas, Fundação Cargill, 1986. CD-ROM

MORELLI, I. J.; DALBEN, A. E.; ALMEIDA, J. O. C.; DEMATÊ, J. L. I Calcário e gesso na produtividade da cana-de-açúcar e nas características químicas de um latossolo de textura média álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.16, p.187-194, 1992.

NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.655-663, 2003.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.48, p.33-38, 1984.



QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van; GALLO, P. B.; MASCARENHAS, H. A. A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, p.375-383, 1993.

RAIJ, B van. **Gesso na agricultura**. Campinas, Instituto Agrônômico, 233p. 2008.

RAJAN, S. S. S. Sulfate adsorbed on hydrous alumina, ligands displaced, and changes in surface charge. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v.42, p.39-44, 1978.

RITCHEY, K. D.; SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v.72, p.40-44, 1980.

ROSA JUNIOR, E. J.; VITORINO, A. C. T.; VITORINO, P. de F. P. G. Efeito da calagem, gessagem e adubação fosfatada sobre algumas características físicas de um Latossolo Roxo distrófico de Dourados-MS. **Revista Científica**, UFMS, Campo Grande-MS, v.1, p. 5-12, 1994.

ROSA JUNIOR, E. J.; MARTINS, R. M. G.; ROSA, Y. B. C. J.; CREMON, C. Calcário e gesso como condicionadores físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, n.1, p.37-44, 2006.

SAEG Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes – UFV – Viçosa, 2007.

SEPLAN – Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral. Atlas multireferencial: Mato Grosso do Sul. Campo Grande: SEPLAN/IBGE, 1990. 27 p.

SFREDO, G. J.; KLEPKER, D.; ORTIZ, F. R.; OLIVEIRA NETO, W. Enxofre: níveis críticos para a soja, nos solos do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2003. Ribeirão Preto. **Solo: alicerce dos sistemas de produção**. Botucatu: UNESP; SBCS, 2003. 1 CD-ROM.

SILVA, N. M. da; RAIJ, B. van; CARVALHO, L. H. de; BATAGLIA, O. C.; KONDO, J. I. Efeitos do calcário e do gesso nas características químicas do solo e na cultura do algodão. **Bragantia**, Campinas, v.56, n.2, p.389-401, 1997.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso do gesso agrícola nos solos dos Cerrados**. Planaltina, Distrito Federal: EMBRAPA-CPAC, 1995. 20 p. (Circular Técnica, 32).

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In: Cerrado: Correção do solo e adubação. Planaltina, Distrito Federal: Embrapa Cerrados. 2002. 416 p.

VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1997. p. 295-360.

VARGAS, M. A. T.; MENDES, I. C.; SUHET, A. R.; PERES, J. R. R Fixação biológica do nitrogênio. In: Cultura da soja nos cerrados. Piracicaba, São Paulo: Potafós. 1993. 535p.

VITTI, G. C.; MALAVOLTA, E. Fosfogesso: uso agrícola. In: MALAVOLTA, E., coord. **SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS**. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p.161-201.

VITTI, G. C. **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta**. Jaboticabal, FUNEP, 1989. 37p.

## 5. CONCLUSÕES GERAIS

1. O Mo não afeta a nodulação, melhora a eficiência da fixação biológica de  $N_2$  e aumenta os teores de N foliares.

2. A soja responde a aplicação de Mo, aumentando a produtividade, a massa de cem sementes e o teor de proteínas nas sementes.

3. Com o uso do Mo diminuiu-se os teores de Ca, Mg, Mn, S e Zn e aumentou-se os teores de Cu, e quando na presença da maior dose de gesso, o Mo aumenta os teores de K.

4. O gesso agrícola não influencia a nodulação e a fixação biológica de  $N_2$ . Na presença da maior dose de Mo, o gesso agrícola aumenta os teores de K foliares.

5. O gesso aumenta os teores de S foliares, no entanto, não houve resposta da soja a sua utilização.

6. Com o uso do gesso agrícola obteve-se aumento nos teores de Ca, diminuição nos teores de K em superfície, e diminuição nos teores de Al em profundidade.