



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbcs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo  
Brasil

CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M.  
ALTERAÇÕES QUÍMICAS DO SOLO E RESPOSTA DO MILHO À CALAGEM E APLICAÇÃO DE  
GESSO

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 28, núm. 1, enero-febrero, 2004, pp. 125-136

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214031013>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# ALTERAÇÕES QUÍMICAS DO SOLO E RESPOSTA DO MILHO À CALAGEM E APLICAÇÃO DE GESSO<sup>(1)</sup>

E. F. CAIRES<sup>(2)</sup>, M. T. KUSMAN<sup>(3)</sup>, G. BARTH<sup>(4)</sup>,  
F. J. GARBUIO<sup>(4)</sup> & J. M. PADILHA<sup>(4)</sup>

## RESUMO

A calagem e a aplicação de gesso levam a modificações químicas no solo que podem influenciar o crescimento radicular e a produção de culturas anuais. Com o objetivo de avaliar as alterações químicas do solo e a resposta do milho ao calcário e gesso aplicados no sistema plantio direto, foi realizado um experimento em um Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa, em Ponta Grossa (PR). Os tratamentos, dispostos em blocos completos ao acaso em parcelas subdivididas com três repetições, constaram da aplicação de calcário dolomítico (sem calcário e 4,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário na superfície, em dose total e 1/3 da dose por ano, durante três anos, e incorporado), nas parcelas, e doses de gesso (0, 3, 6 e 9 t ha<sup>-1</sup>), nas subparcelas. Os tratamentos com calcário foram aplicados em julho e as doses de gesso em outubro de 1998. A cultura do milho foi avaliada no ano agrícola de 2001/02. A correção da acidez pela calagem na superfície, com ou sem parcelamento, foi mais acentuada na camada superficial do solo (0-0,05 m) e houve maior reação nas profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, quando o calcário foi incorporado. O gesso melhorou o subsolo, aumentando os teores de Ca e S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, aumentou a concentração de N, K e Ca no tecido foliar do milho e causou redução do Mg no solo e nas folhas. O crescimento radicular do milho não foi influenciado pelos tratamentos de calcário e gesso. A calagem na superfície, com ou sem parcelamento, ou com incorporação e a aplicação de gesso aumentaram a produção de milho, em decorrência do aumento da saturação por Ca nas camadas superficiais do solo. A aplicação de gesso agrícola, associada à calagem, foi uma estratégia eficiente para maximizar a produção de milho.

**Termos de indexação:** *Zea mays* L., acidez, subsolo, crescimento radicular, cálcio, nutrição mineral.

---

<sup>(1)</sup> Trabalho realizado com auxílio financeiro do CNPq. Recebido para publicação em fevereiro de 2003 e aprovado em outubro de 2003.

<sup>(2)</sup> Professor do Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG. Av. Gal. Carlos Cavalcanti 4748, CEP 84030-900 Ponta Grossa (PR). Bolsista do CNPq. E-mail: efcaires@uepg.br

<sup>(3)</sup> Aluno do curso de Agronomia, UEPG. Bolsista do PIBIC/CNPq.

<sup>(4)</sup> Aluno do curso de Agronomia, UEPG. Bolsista do PIC/UEPG.

## SUMMARY: CHANGES IN SOIL CHEMICAL PROPERTIES AND CORN RESPONSE TO LIME AND GYPSUM APPLICATIONS

*Root growth and crop yield can be affected by chemical modifications of the soil profile owing to lime and gypsum applications. A field trial was carried out on a dystrophic Clay Rhodic Hapludox in Ponta Grossa, Paraná State, Brazil, aiming to evaluate the changes in the chemical soil properties and corn response to lime and gypsum applications at the installation of a no-tillage system. A randomized complete block design was used, with three replications, in a split-plot experiment. The main plots received dolomitic limestone treatments (no lime; 4.5 t ha<sup>-1</sup> of lime applied on the surface supplying the total demand; 1/3 of the total demand applied on the surface during three years; total demand incorporated into the soil) and the subplots received gypsum rates (0, 3, 6, and 9 t ha<sup>-1</sup>). The treatments with lime were applied in July 1998 and the rates of gypsum in October 1998. Corn was evaluated in the agricultural year of 2001/02. The applied surface liming, at full or split rates, provided a more accentuated soil acidity correction in the superficial layer (0-0.05 m), and there was a stronger reaction in the 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m layers, when lime was incorporated into the soil. Gypsum improved the subsoil, increasing the concentrations of Ca and S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, raised N, K, and Ca concentrations in the corn leaves, while it reduced the Mg concentration in soil and corn leaves. Liming and gypsum treatments did not affect the corn root growth. Liming (whether surface applied, at full or split rates, or incorporated into the soil) and gypsum increased the corn yield, due to an increase in the Ca soil saturation of the superficial layers. The application of gypsum associated to liming was an effective strategy to maximize grain yields.*

*Index terms: Zea mays L., acidity, subsoil, root growth, calcium, mineral nutrition.*

## INTRODUÇÃO

A acidez do solo limita a produção agrícola em consideráveis áreas no mundo, em decorrência da toxidez causada por Al e Mn e baixa saturação por bases (Coleman & Thomas, 1967). As raízes das plantas não se desenvolvem bem em solos ácidos, sobretudo por causa da toxidez de Al (Pavan et al., 1982) e da deficiência de Ca (Ritchey et al., 1982). A calagem é a prática mais eficiente para elevar o pH, teores de Ca e saturação por bases e reduzir Al e Mn trocáveis no solo. A reação do calcário, entretanto, é geralmente limitada ao local de sua aplicação no solo. A calagem não tem um efeito rápido na redução da acidez do subsolo, que depende da lixiviação de sais através do perfil do solo.

Na região sul do Brasil, tem aumentado o interesse pela busca de alternativas para a introdução de culturas no sistema plantio direto, sem proporcionar revolvimento do solo. As vantagens desse procedimento estão relacionadas com a manutenção de atributos químicos e estruturais do solo, com o maior controle da erosão e com a economia com as operações de incorporação de calcário e preparo do solo. No entanto, caso a acidez do solo não seja adequadamente corrigida, o crescimento radicular e a nutrição das plantas podem ser comprometidos.

A correção da acidez do solo é muito importante ao adequado desenvolvimento do milho, embora

existam materiais genéticos mais tolerantes às condições de acidez (Cantarella, 1993). O aumento do pH do solo altera a disponibilidade de nutrientes, causando aumentos na absorção de N (Goodroad & Jellum, 1988), P, K, Ca e Mg (Lutz Jr. et al., 1972) pelo milho. São vários os trabalhos que demonstram aumentos consideráveis na produção de milho com a aplicação de calcário incorporado ao solo em sistema de preparo convencional (Gonzales-Erico et al., 1979; Camargo et al., 1982; Rajj et al., 1983; Ernani et al., 1998). Mesmo os genótipos de milho com tolerância ao Al e que conseguem aprofundar seu sistema radicular em solos ácidos também, normalmente, apresentam respostas positivas à calagem (Rajj et al., 1998). Por outro lado, trabalhos recentes têm demonstrado respostas pouco expressivas do milho à aplicação superficial de calcário e altas produtividades da cultura (Pöttker & Ben, 1998; Caires et al., 1999; Rheinheimer et al., 2000) em solos ácidos manejados em sistema plantio direto.

O gesso agrícola, um subproduto da indústria de ácido fosfórico que contém principalmente sulfato de cálcio e pequenas concentrações de P e F, é largamente disponível em muitas partes do mundo. Somente no Brasil, cerca de 4,5 milhões de toneladas são produzidas anualmente (Vitti, 2000). A eficiência do gesso na melhoria dos efeitos da acidez no subsolo tem sido demonstrada em vários trabalhos (Oates & Caldwell, 1985; Marsh & Grove, 1992; Carvalho & Rajj, 1997). A aplicação de gesso

na superfície seguida por lixiviação para subsolos ácidos resulta em melhor desenvolvimento radicular e maior absorção de água e nutrientes pelas raízes das plantas (Sumner et al., 1986; Carvalho & Raij, 1997), em decorrência do aumento da concentração de Ca, da formação de espécies menos tóxicas de Al ( $\text{AlSO}_4^+$ ) e da precipitação de  $\text{Al}^{3+}$  (Shainberg et al., 1989). Em casos de solos com concentração muito baixa de Al, mas com baixa concentração de Ca, o suprimento de Ca é o principal fator responsável pelo melhor desenvolvimento do sistema radicular (Ritchey et al., 1982). Ainda há dúvidas, no entanto, sobre as condições em que se podem esperar efeitos favoráveis do gesso nas produções das culturas e quanto ao método de recomendação do produto.

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar as alterações químicas do solo, o crescimento de raízes de milho, a nutrição da planta e seus reflexos sobre a produção de grãos, de acordo com a calagem, com ou sem incorporação, parcelada ou não e aplicação de doses de gesso no sistema plantio direto.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no município de Ponta Grossa (PR), Fazenda Regina, em um Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa, até então utilizado para pastagem. Análises químicas (Pavan et al., 1992) e granulométricas (EMBRAPA, 1997) do solo, da camada de 0-0,20 m, realizadas antes da instalação do experimento, revelaram os seguintes resultados: pH em  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol  $\text{L}^{-1}$  4,6; 78 mmol $_c$   $\text{dm}^{-3}$  de H + Al; 3 mmol $_c$   $\text{dm}^{-3}$  de  $\text{Al}^{3+}$ ; 25 mmol $_c$   $\text{dm}^{-3}$  de  $\text{Ca}^{2+}$ ; 20 mmol $_c$   $\text{dm}^{-3}$  de  $\text{Mg}^{2+}$ ; 3,6 mmol $_c$   $\text{dm}^{-3}$  de  $\text{K}^+$ ; 0,3 mg  $\text{dm}^{-3}$  de P (Mehlich-1); 31 g  $\text{dm}^{-3}$  de C-orgânico e 38 % de saturação por bases e teores de argila, silte e areia, respectivamente, de 580, 130 e 290 g  $\text{kg}^{-1}$ . O solo apresentava, ainda, 6 mmol $_c$   $\text{dm}^{-3}$  de  $\text{Ca}^{2+}$ , 8 mmol $_c$   $\text{dm}^{-3}$  de  $\text{Al}^{3+}$  e 620 g  $\text{kg}^{-1}$  de argila no subsolo (0,40-0,60 m).

O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas, com três repetições. Nas parcelas, aplicaram-se quatro tratamentos de calcário dolomítico, com 89 % de poder relativo de neutralização total (PRNT): testemunha (sem calcário); calcário parcelado na superfície (três aplicações anuais de 1,5 t  $\text{ha}^{-1}$ ); calcário na superfície (4,5 t  $\text{ha}^{-1}$ ) e calcário incorporado (4,5 t  $\text{ha}^{-1}$ ). A dose de calcário utilizada foi definida de acordo com o método da elevação da saturação por bases para 70 %, em amostra de solo coletada na profundidade de 0-0,20 m. Nas subparcelas, aplicaram-se, em superfície, quatro doses de gesso agrícola: 0, 3, 6 e 9 t  $\text{ha}^{-1}$ .

As aplicações de calcário dolomítico e de gesso foram realizadas, respectivamente, em julho e em

outubro de 1998. O calcário, no tratamento com incorporação, foi aplicado em duas etapas. A primeira etapa constou de aplicação manual de metade da dose antes da aração com arado de discos, a 0,20 m de profundidade. Na segunda etapa, aplicou-se o restante do calcário, manualmente, após a aração e pouco antes da gradagem, com grade niveladora. A mobilização do solo, no tratamento com incorporação de calcário, ocorreu somente na instalação do experimento. No tratamento com parcelamento anual de calcário na superfície, a segunda aplicação foi efetuada em maio de 1999 e a terceira em maio de 2000. As áreas de cada parcela e subparcela foram, respectivamente, de 224 e 56  $\text{m}^2$ . Na rotação, foram utilizados: soja (1998/1999), cevada (inverno/1999), soja (1999/2000), trigo (inverno/2000) e soja (2000/2001). No inverno de 2001, a área experimental foi mantida em pousio.

O milho, híbrido Dekalb 215, foi semeado em 17 de outubro de 2001, na densidade de cinco sementes por metro e espaçamento de 0,80 m entre as linhas. A adubação básica utilizada na semeadura foi de 413 kg  $\text{ha}^{-1}$  da fórmula 8-30-20 e, em cobertura, foram aplicados 124 kg  $\text{ha}^{-1}$  da fórmula 36-00-12, logo após a emissão da quarta folha. A temperatura média do ar e a precipitação pluvial durante o ciclo da cultura foram, respectivamente, de 21,9 °C e 715 mm.

No início do florescimento da cultura, 105 dias após a semeadura, coletaram-se amostras de folhas em 30 plantas de cada subparcela, retirando-se a folha imediatamente abaixo e oposta à espiga, para análise química dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S (Malavolta et al., 1997). Após 112 dias da semeadura, foram coletadas amostras de raízes, por meio de trado cilíndrico, em quatro profundidades (0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m), retirando-se seis subamostras, sendo três na linha de semeadura e três nas entrelinhas, equidistantes 0,10 m da planta, para constituir uma amostra composta. As amostras, com 3,5 cm de diâmetro, foram tomadas ao acaso, em apenas cinco tratamentos de calcário e gesso: testemunha (sem calcário e sem gesso), calcário na superfície (dose total em uma única aplicação), gesso (9 t  $\text{ha}^{-1}$ ), calcário na superfície (dose total em uma única aplicação) + gesso (9 t  $\text{ha}^{-1}$ ) e calcário incorporado. As raízes foram separadas do solo por dispersão em água, em peneira de 0,5 mm. O comprimento de raízes foi estimado pelo método de Tennant (1975) e o raio médio e a superfície radicular, segundo Schenk & Barber (1979).

Após a maturação, o milho foi colhido e trilhado, determinando-se, então, a produção de grãos a 13 % de umidade. Colheram-se as quatro linhas centrais por 3 m de comprimento em cada subparcela, compreendendo uma área útil de 12,8  $\text{m}^2$ .

Coletaram-se amostras de solo logo após a colheita do milho, retirando-se, por meio de trado,

12 subamostras por subparcela para constituir uma amostra composta, para as camadas de 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, e cinco subamostras, para as camadas de 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m de profundidade. Determinaram-se o pH e os teores de H + Al,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , segundo Pavan et al. (1992). Realizaram-se, também, análises de  $\text{S-SO}_4^{2-}$ , nas diferentes profundidades do solo, mediante extração pelo acetato de amônio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  em ácido acético  $0,25 \text{ mol L}^{-1}$  e posterior determinação pelo método turbidimétrico (Vitti & Suzuki, 1978).

Os resultados foram submetidos às análises de variância e de regressão. Na ausência de interação significativa entre os tratamentos de calcário e as doses de gesso sobre as variáveis estudadas, compararam-se os efeitos da calagem pelo teste de Tukey a 5 % e do gesso por análises de regressão, utilizando-se as médias das observações. Adotou-se, como critério para escolha do modelo, a magnitude dos coeficientes de determinação significativos a 5 %.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A calagem, após 46 meses, proporcionou aumento significativo no pH em  $\text{CaCl}_2$  e nos teores de Ca e Mg trocáveis, bem como redução significativa nos teores de H + Al do solo, na camada de 0-0,05 m, principalmente quando o calcário foi aplicado na superfície, em dose total ou parcelada (Quadro 1). Nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, maior reação do calcário foi obtida com a sua incorporação no solo, apesar de a calagem na superfície, em dose total ou parcelada, também ter apresentado, em menor magnitude, efeitos benéficos na correção da acidez na profundidade de 0,05-0,10 m. A calagem somente apresentou efeito significativo no aumento do pH em  $\text{CaCl}_2$  e na redução dos teores de H + Al de camadas do subsolo (0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m) quando o calcário foi incorporado. Mesmo assim, tais efeitos da calagem nem sempre foram acompanhados por alterações significativas nos teores de Ca e Mg trocáveis no subsolo, em razão da maior variabilidade desses atributos, revelada pelos maiores valores de coeficiente de variação.

Os resultados relativos à eficiência da calagem na neutralização da acidez de subsolos são aparentemente discordantes na literatura. Alguns trabalhos mostram que o calcário não se movimenta para camadas mais profundas do solo (Ritchey et al., 1980; Pavan et al., 1984), enquanto outros revelam consideráveis aumentos no pH abaixo da região de aplicação do calcário, em áreas de cultivos anuais, preparadas convencionalmente (Quaggio et al., 1993; Oliveira et al., 1997) ou manejadas no sistema plantio direto (Oliveira & Pavan, 1996; Caires et al., 2000) e de cultivos perenes estabelecidos (Chaves et al., 1984; Pavan, 1994). A

ação do calcário na neutralização da acidez de subsolos é dificultada pelo aumento da retenção de cátions decorrente da geração de cargas elétricas variáveis negativas com a elevação do pH do solo. Além disso, os ânions resultantes de sua dissolução, responsáveis pela correção da acidez, são também consumidos nas reações com outros cátions ácidos ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{2+}$ ) na camada de deposição do calcário.

No entanto, o aumento do pH na superfície do solo pode acelerar a velocidade com que o  $\text{HCO}_3^-$ , acompanhado por Ca e Mg, se movimenta para o subsolo para reagir com a acidez (Costa, 2000). Os efeitos da calagem em profundidade somente devem ocorrer quando o pH (em água), na zona de dissolução do calcário, atingir valores da ordem de 5,6 (Helyar, 1991). De qualquer forma, os resultados mostraram claramente que a calagem na superfície, com ou sem parcelamento, apresentou maior eficiência na correção da acidez da camada superficial do solo (0-0,05 m), enquanto o calcário incorporado proporcionou maior reação nas profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, em comparação com a calagem superficial. Os efeitos benéficos da calagem na correção da acidez do subsolo foram pouco pronunciados e mais evidentes com a incorporação do calcário no solo.

A aplicação de doses de gesso, após 43 meses, não exerceu influência sobre a acidez do solo (Quadro 2), tendo ocasionado apenas aumento significativo no pH em  $\text{CaCl}_2$  na camada mais profunda (0,60-0,80 m). Aumento do pH no subsolo, por meio da aplicação de gesso, tem sido verificado em outros trabalhos (Carvalho & Raji, 1997; Caires et al., 1999), graças à reação de troca de ligantes na superfície das partículas de solo, envolvendo óxidos hidratados de ferro e alumínio, com o  $\text{SO}_4^{2-}$  deslocando  $\text{OH}^-$  e, assim, promovendo neutralização parcial da acidez (Reeve & Sumner, 1972). Houve aumento linear nos teores de Ca trocável, conforme as doses de gesso aplicadas, nas seis profundidades estudadas. Além da movimentação de Ca, o gesso também proporcionou lixiviação de Mg trocável até à profundidade de 0,20 m. A lixiviação de Mg trocável tem sido uma resposta freqüente nos estudos com aplicação de gesso em solos (Syed-Omar & Sumner, 1991; Oliveira & Pavan, 1996; Caires et al., 1999). Assim, quando o gesso é aplicado em doses elevadas no solo, devem ser desenvolvidas estratégias para minimizar as perdas de Mg trocável. Por essa razão, o uso de gesso não tem sido recomendado de forma isolada, mas, sim, em combinação com o calcário dolomítico. Os teores de K trocável no solo não foram influenciados significativamente pela aplicação de doses de gesso. Embora a lixiviação de K trocável pelo uso de gesso possa ocorrer de acordo com o tipo de solo (Sousa & Ritchey, 1986; Sumner, 1995), em sistema plantio direto, as perdas de  $\text{K}^+$  por lixiviação proporcionadas com a aplicação de gesso têm sido muito pequenas (Caires et al., 1998; 2002).

**Quadro 1. Alterações nos atributos químicos, para diferentes profundidades do solo, 46 meses após a aplicação de tratamentos de calagem**

Profundidade	Tratamento	pH CaCl <sub>2</sub>	H + Al	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>
m				mmolc dm <sup>-3</sup>		
0-0,05	Sem calcário	4,8	82,0	47	19	3,4
	Calcário na superfície <sup>(1)</sup>	6,0	41,1	73	37	3,0
	Calcário na superfície <sup>(2)</sup>	5,9	43,9	71	35	3,4
	Calcário incorporado	5,6	50,8	57	24	3,1
	DMS (P = 0,05)	0,4	12,8	10	9	1,1
	C.V. (%)	4,9	16,6	11,7	23,1	23,4
0,05-0,10	Sem calcário	4,6	94,1	31	16	2,3
	Calcário na superfície <sup>(1)</sup>	5,0	72,5	40	23	2,0
	Calcário na superfície <sup>(2)</sup>	5,1	71,0	42	22	2,1
	Calcário incorporado	5,5	55,0	51	23	2,1
	DMS (P = 0,05)	0,3	10,4	10	10	0,6
	C.V. (%)	4,6	10,1	18,1	34,6	20,9
0,10-0,20	Sem calcário	4,6	94,3	21	15	1,7
	Calcário na superfície <sup>(1)</sup>	4,8	85,5	24	19	1,6
	Calcário na superfície <sup>(2)</sup>	4,7	87,5	24	19	1,7
	Calcário incorporado	5,2	65,0	32	18	1,6
	DMS (P = 0,05)	0,2	11,3	7	7	0,6
	C.V. (%)	3,3	9,6	20,1	29,6	27,2
0,20-0,40	Sem calcário	4,5	90,8	16	18	1,7
	Calcário na superfície <sup>(1)</sup>	4,7	85,1	20	17	1,4
	Calcário na superfície <sup>(2)</sup>	4,7	83,4	22	16	1,5
	Calcário incorporado	4,9	73,3	25	16	1,5
	DMS (P = 0,05)	0,3	9,7	5	4	0,4
	C.V. (%)	3,9	8,2	15,8	18,9	21,1
0,40-0,60	Sem calcário	4,6	88,2	15	14	1,4
	Calcário na superfície <sup>(1)</sup>	4,7	77,6	19	15	1,1
	Calcário na superfície <sup>(2)</sup>	4,7	77,3	19	15	1,3
	Calcário incorporado	4,8	73,7	18	13	1,1
	DMS (P = 0,05)	0,1	9,6	5	8	0,4
	C.V. (%)	2,3	8,5	21,9	38,7	23,2
0,60-0,80	Sem calcário	4,7	77,9	13	15	1,1
	Calcário na superfície <sup>(1)</sup>	4,8	70,7	15	13	0,8
	Calcário na superfície <sup>(2)</sup>	4,8	69,3	13	16	1,0
	Calcário incorporado	4,9	67,5	14	14	0,8
	DMS (P = 0,05)	0,1	8,2	4	5	0,4
	C.V. (%)	2,1	8,2	19,8	25,2	33,4

<sup>(1)</sup> 1/3 da dose de calcário aplicada anualmente na superfície por três anos. <sup>(2)</sup> Dose total de calcário na superfície em uma única aplicação.

Os tratamentos de calagem não causaram alterações significativas nos teores de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> no solo, obtendo-se, até à profundidade de 0,80 m, concentrações médias de 5,9 (0-0,05 m), 5,8 (0,05-0,10 m), 9,3 (0,10-0,20 m), 13,1 (0,20-0,40 m), 13,0 (0,40-0,60 m) e 8,9 (0,60-0,80 m) mg dm<sup>-3</sup>.

A aplicação de doses de gesso aumentou os teores de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> no solo, nas seis profundidades estudadas (Figura 1). Observou-se movimentação de sulfato no solo proporcional às doses de gesso aplicadas. O sulfato é mais fortemente retido em solos mais ácidos e com menor carga elétrica negativa (Raij & Peech, 1972).



**Quadro 2. Alterações nos atributos químicos, para diferentes profundidades do solo, 43 meses após a aplicação de doses de gesso**

Profundidade	Gesso	pH CaCl <sub>2</sub>	H + Al	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>
m	t ha <sup>-1</sup>			mmolc dm <sup>-3</sup>		
0-0,05	0	5,6	56,0	53	36	3,3
	3	5,6	51,7	60	29	3,3
	6	5,5	54,1	64	26	3,3
	9	5,5	56,0	70	23	3,1
	Efeito	ns	ns	L**	L**	ns
	C.V. (%)	2,2	9,8	8,2	14,7	14,3
0,05-0,10	0	5,1	72,0	36	26	2,3
	3	5,1	72,0	40	22	2,1
	6	5,0	74,8	42	17	2,0
	9	5,0	73,9	46	17	2,1
	Efeito	ns	ns	L**	L**	ns
	C.V. (%)	3,0	7,5	12,6	20,8	18,1
0,10-0,20	0	4,8	81,3	22	21	1,7
	3	4,8	81,8	26	19	1,7
	6	4,8	86,2	25	16	1,6
	9	4,8	83,0	28	16	1,6
	Efeito	ns	ns	L**	L**	ns
	C.V. (%)	3,5	8,4	14,8	22,4	14,4
0,20-0,40	0	4,7	81,1	19	17	1,6
	3	4,7	84,7	18	16	1,6
	6	4,7	82,1	23	15	1,6
	9	4,7	84,6	24	15	1,4
	Efeito	ns	ns	L**	ns	ns
	C.V. (%)	3,0	8,8	20,8	23,8	21,5
0,40-0,60	0	4,7	78,4	13	14	1,2
	3	4,7	80,0	16	16	1,2
	6	4,8	78,2	20	14	1,3
	9	4,7	80,2	21	13	1,2
	Efeito	ns	ns	L**	ns	ns
	C.V. (%)	2,7	8,8	22,0	22,1	20,0
0,60-0,80	0	4,7	71,2	10	14	1,0
	3	4,7	71,8	10	15	0,9
	6	4,9	71,9	17	15	1,1
	9	4,9	70,5	19	14	0,9
	Efeito	L**	ns	L**	ns	ns
	C.V. (%)	2,2	8,3	20,2	20,6	24,5

L = efeito linear por regressão polinomial. \*, \*\* e ns: significativos a  $P < 0,05$  e  $P < 0,01$  e não-significativo, respectivamente.

Isso e a repulsão do sulfato por fosfato explicam os teores mais baixos de  $S-SO_4^{2-}$  na superfície do solo. Nas camadas mais profundas (0,40-0,60 e 0,60-0,80 m), o acúmulo de sulfato foi mais acentuado, indicando que o efeito pode ter-se estendido também em profundidades ainda maiores no solo. Destaca-se que essa avaliação foi realizada 43 meses após a aplicação de gesso na superfície. Esses resultados concordam

com as observações de Raij et al. (1998), ficando evidente que o íon  $S-SO_4^{2-}$  é fortemente adsorvido no subsolo, aí permanecendo por muitos anos, informação importante para a diagnose da disponibilidade de S em solos. Deve-se considerar, no entanto, que a velocidade com que o sulfato se movimenta é variável em diferentes solos (Quaggio et al., 1993; Caires et al., 1998), devendo ser mais lenta em solos com maior teor de argila.

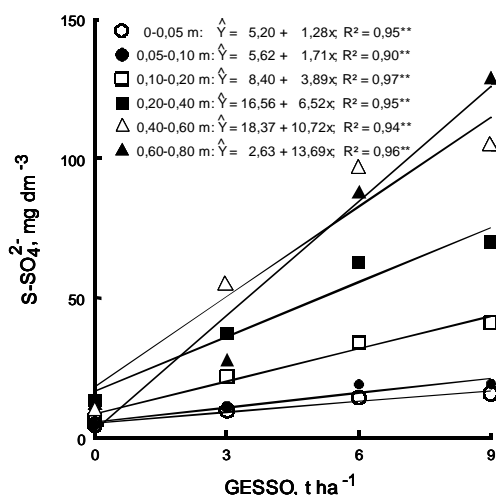


Figura 1. Efeito de doses de gesso, após 43 meses, sobre o teor de  $S-SO_4^{2-}$  do solo, extraído pelo acetato de amônio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  em ácido acético  $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ , em diferentes profundidades. \*\*: significativo  $P < 0,01$ .

A densidade de comprimento, superfície e raio médio de raízes de milho não foram alterados significativamente pelos tratamentos de calagem e aplicação de gesso, nas quatro profundidades estudadas (Quadro 3). A calagem realizada na superfície proporcionou maior concentração do sistema radicular na camada superficial do solo (0-0,10 m) em relação ao tratamento que não recebeu aplicação de calcário e gesso. Dessa forma, a aplicação de calcário na superfície, ao proporcionar maior correção da acidez nas camadas superficiais do solo (Quadro 1), aumenta a concentração de raízes de milho nessas camadas. Destaca-se que tal efeito não foi observado quando a calagem na superfície foi acompanhada da aplicação de gesso. Em estudo realizado na cultura da cevada, verificou-se que a aplicação de gesso contribuiu para melhorar a distribuição relativa de raízes em profundidade, principalmente quando se realizou a calagem na superfície (Caires et al., 2001).

A ausência de resposta do sistema radicular do milho ao aumento do Ca trocável nas camadas do subsolo deve estar relacionada com os baixos valores

Quadro 3. Atributos de crescimento de raízes de milho, para diferentes profundidades do solo, após a aplicação de tratamentos de calcário e gesso

Profundidade	Tratamento	Densidade da raiz	Superfície radicular	Raio médio	Comprimento relativo
m		$\text{cm cm}^{-2}$	$\text{cm}^2 \text{ cm}^{-3}$	mm	%
0-0,10	Testemunha	5,87	0,816	0,22	41,5
	Calcário na superfície <sup>(1)</sup>	6,09	0,728	0,19	48,3
	Gesso <sup>(2)</sup>	5,09	0,645	0,20	43,8
	Calcário na superfície <sup>(1)</sup> + gesso <sup>(2)</sup>	5,67	0,739	0,21	42,5
	Calcário incorporado	6,67	0,884	0,21	44,0
	DMS ( $P = 0,05$ )	2,51	0,468	0,05	6,3
	C.V. (%)	15,2	21,8	9,3	5,0
0,10-0,20	Testemunha	3,69	0,478	0,20	25,6
	Calcário na superfície <sup>(1)</sup>	2,98	0,378	0,20	23,6
	Gesso <sup>(2)</sup>	2,28	0,246	0,17	19,5
	Calcário na superfície <sup>(1)</sup> + gesso <sup>(2)</sup>	3,16	0,410	0,21	23,9
	Calcário incorporado	3,56	0,371	0,17	23,3
	DMS ( $P = 0,05$ )	2,06	0,324	0,06	8,4
	C.V. (%)	23,3	30,5	11,7	12,9
0,20-0,40	Testemunha	1,64	0,165	0,16	23,0
	Calcário na superfície <sup>(1)</sup>	1,29	0,132	0,16	20,5
	Gesso <sup>(2)</sup>	1,48	0,133	0,14	25,6
	Calcário na superfície <sup>(1)</sup> + gesso <sup>(2)</sup>	1,54	0,153	0,15	23,2
	Calcário incorporado	1,84	0,163	0,14	23,6
	DMS ( $P = 0,05$ )	1,02	0,091	0,04	8,6
	C.V. (%)	23,3	21,7	8,9	13,1
0,40-0,60	Testemunha	0,72	0,064	0,14	9,9
	Calcário na superfície <sup>(1)</sup>	0,47	0,049	0,16	7,6
	Gesso <sup>(2)</sup>	0,65	0,059	0,14	11,1
	Calcário na superfície <sup>(1)</sup> + gesso <sup>(2)</sup>	0,70	0,061	0,14	10,4
	Calcário incorporado	0,69	0,062	0,14	9,1
	DMS ( $P = 0,05$ )	0,47	0,043	0,03	4,6
	C.V. (%)	25,8	26,0	7,8	17,0

<sup>(1)</sup> Dose total de calcário na superfície em uma única aplicação. <sup>(2)</sup> 9 t  $\text{ha}^{-1}$  de gesso na superfície.



de limite crítico do nutriente para o crescimento de raízes (Ritchey et al., 1982). Além disso, foram encontrados baixos teores de Al trocável nas camadas do subsolo (3 a 5 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), embora os resultados de análise, antes da instalação do experimento, tenham revelado a presença de Al<sup>3+</sup> em concentração tóxica (8 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). É possível que essa redução do Al trocável no subsolo tenha ocorrido naturalmente pela presença de resíduos vegetais que foram mantidos na superfície do solo. Trabalhos têm demonstrado complexação orgânica do alumínio por compostos solúveis presentes nos restos das plantas (Miyazawa et al., 1996; Franchini et al., 1999).

A calagem não alterou os teores foliares de N, P, K, Ca e S, mas proporcionou acréscimos significativos na concentração de Mg nas folhas de milho, principalmente quando o calcário foi aplicado de forma parcelada na superfície ou incorporado no solo (Quadro 4). Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira et al. (1997) com a incorporação de calcário dolomítico em sistema convencional de preparo do solo.

As doses de gesso aumentaram as concentrações de N, de forma linear, K e Ca, de forma quadrática, e reduziram linearmente os teores de Mg nas folhas de milho (Quadro 4). Os teores de P e S no tecido foliar do milho não foram influenciados pelas doses de gesso aplicadas. Em outros trabalhos, observou-se efeito favorável do gesso na absorção de N pelas culturas de milho (Sousa & Ritchey, 1986), sorgo (Raij et al., 1988) e cevada (Caires et al., 2001), em razão dos benefícios dessa aplicação em estimular a

absorção do nutriente do subsolo. Maior absorção de K com a aplicação de gesso foi constatada por Raij et al. (1988), em sorgo, e por Caires et al. (2001), em cevada. É possível que esse efeito esteja relacionado com a liberação de K dos sítios de troca para a solução do solo, dependendo do aumento nos teores de Ca trocável no solo (Nogueira & Mozeto, 1990).

A aplicação de gesso proporciona aumento nos teores foliares de Ca em várias culturas (Quaggio et al., 1993; Caires et al., 1999; 2001; 2002). O efeito do gesso na redução da concentração de Mg nas folhas de milho (Quadro 4) mostra que a lixiviação de Mg trocável no solo proporcionada com a sua aplicação (Quadro 2) prejudicou a absorção do nutriente pelas plantas. Raij et al. (1998) também verificaram que a aplicação de gesso (8 t ha<sup>-1</sup>) afetou os teores de Mg no tecido foliar de milho, mas de maneira não-consistente. Em soja, a redução do teor foliar de Mg, por meio do uso de gesso, tem sido relatada em vários trabalhos (Oliveira & Pavan, 1996; Caires et al., 1998; 1999).

A ausência de efeito das doses de gesso na concentração de S nas folhas de milho (Quadro 4), apesar do aumento nos teores de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> do solo com a sua aplicação (Figura 1), é um indicativo de que também houve absorção do nutriente proveniente de camadas do subsolo, tendo em vista os teores relativamente baixos de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> presentes nas camadas superficiais do solo.

A produção de milho foi maior com a calagem (P < 0,05), independentemente do modo de aplicação

**Quadro 4. Concentração de nutrientes nas folhas de milho após a aplicação de tratamentos de calagem e de gesso**

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
g kg <sup>-1</sup>						
Calagem						
Sem calcário	34,0	3,3	26,2	2,3	1,3	2,1
Calcário na superfície <sup>(1)</sup>	33,4	3,4	28,0	3,2	2,1	2,1
Calcário na superfície <sup>(2)</sup>	33,8	3,4	27,6	3,1	1,9	1,9
Calcário incorporado	32,4	3,5	27,9	2,8	2,1	1,8
DMS (P = 0,05)	1,7	0,8	2,5	1,1	0,7	0,4
C.V. (%)	3,6	15,7	6,3	28,5	29,7	13,2
Gesso (t ha <sup>-1</sup> )						
0	32,8	3,4	25,8	1,9	2,0	2,0
3	32,9	3,2	29,3	2,9	1,9	1,8
6	34,1	3,4	28,1	3,4	1,8	1,9
9	33,8	3,5	26,5	3,2	1,6	2,0
Efeito	L*	ns	Q**	Q**	L**	ns
C.V. (%)	3,7	9,8	10,7	20,1	16,2	10,8

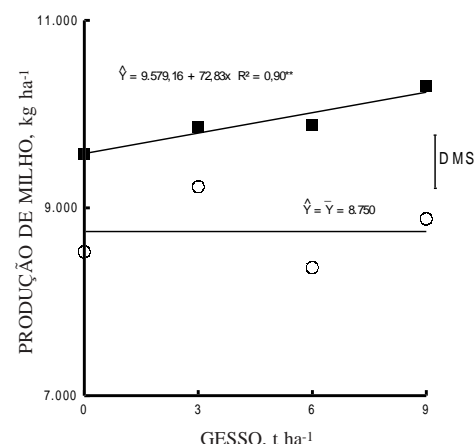
<sup>(1)</sup> 1/3 da dose de calcário aplicada anualmente na superfície por três anos. <sup>(2)</sup> Dose total de calcário na superfície em uma única aplicação. L = efeito linear por regressão polinomial; Q = efeito quadrático por regressão polinomial. \*, \*\* e ns: significativos a P < 0,05 e P < 0,01 e não-significativo, respectivamente.

do calcário, tendo sido obtidos rendimentos médios de 8.750, 10.165, 9.799 e 9.756 kg ha<sup>-1</sup> de grãos (DMS = 610 kg ha<sup>-1</sup>), respectivamente, para os tratamentos sem calcário, 1/3 da dose de calcário aplicada na superfície por três anos, dose total de calcário na superfície em uma única aplicação e calcário incorporado. O aumento médio na produção por meio da aplicação de calcário foi da ordem de 13 %. Ressalte-se que apesar da alta acidez o solo não apresentava teor tóxico de Al e tinha teores de Ca e Mg trocáveis suficientes, na profundidade de 0-0,20 m, para o desenvolvimento da cultura do milho. Esses resultados concordam com os de outros estudos que mostraram que o milho responde a doses de calcário maiores do que aquela necessária para neutralizar o Al trocável (Raij et al., 1983; Quaggio et al., 1985).

Houve aumento ( $P < 0,05$ ) na produção de milho ( $\hat{Y}$ , em kg ha<sup>-1</sup>), na média de tratamentos de calagem, de acordo com as doses de gesso ( $x$ , em t ha<sup>-1</sup>), sendo a resposta linear ( $\hat{Y} = 9.364,82 + 56,22x$ ,  $R^2 = 0,65$ ). De acordo com a equação ajustada, o aumento médio na produção, com a maior dose de gesso aplicada (9 t ha<sup>-1</sup>), foi aproximadamente de 5 %. Apesar de a interação entre os tratamentos de calcário e as doses de gesso sobre a produção de milho não ter sido significativa, o desdobramento dos efeitos das doses de gesso, na ausência e na presença de calcário (Figura 2), revelou aumento linear na produção de milho com as doses de gesso aplicadas, somente quando a calagem foi realizada; na ausência de calagem, as doses de gesso não influenciaram a produção. Considerando o rendimento médio obtido com as doses de gesso na ausência de calcário, o aumento na produção de milho com a maior dose de gesso aplicada (9 t ha<sup>-1</sup>) na presença de calagem foi da ordem de 17 %. Esses resultados mostram que a aplicação de gesso em doses elevadas, combinada com o uso de calcário dolomítico, pode causar incrementos importantes na produção de milho, mesmo na ausência de déficit hídrico.

Aumentos consideráveis na produção de milho com a aplicação de calcário incorporado ao solo em sistema de preparo convencional têm sido descritos na literatura (Gonzales-Erico et al., 1979; Camargo et al., 1982; Raij et al., 1983; Ernani et al., 1998), mesmo para genótipos com tolerância ao Al (Raij et al., 1998). Em solos ácidos manejados em plantio direto no sul do Brasil, trabalhos revelam respostas pouco expressivas do milho à aplicação superficial de calcário (Pöttker & Ben, 1998; Caires et al., 1999; Rheinheimer et al., 2000). Respostas positivas do milho à aplicação de gesso têm sido observadas em variadas condições de solo e clima (Carvalho et al., 1986; Farina & Channon, 1988; Raij et al., 1998; Caires et al., 1999).

As alterações no solo proporcionadas por aplicações de calcário e gesso são complexas e seus efeitos sobre as plantas são difíceis de ser isolados. A produção de milho esteve relacionada de forma



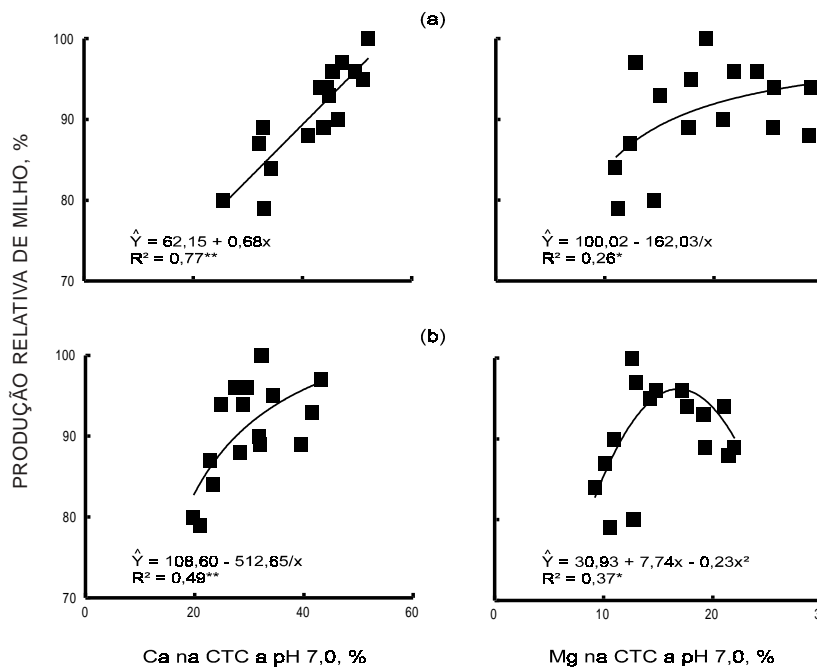
**Figura 2. Produção de milho de acordo com a aplicação de doses de gesso, na ausência (○) e na presença (■) de calcário (média de três modos de aplicação). \*\*: significativo  $P < 0,01$ . Barra vertical indica o DMS pelo teste de Tukey ( $P = 0,05$ ).**

significativa ( $P < 0,05$ ) com os teores de Ca ( $r = 0,54$ ) e de Mg ( $r = 0,61$ ) nas folhas.

As relações obtidas entre a produção relativa de milho e a saturação por Ca na CTC a pH 7,0 (Figura 3) mostram o efeito positivo do aumento da saturação por Ca nas camadas superficiais do solo (0-0,05 e 0,05-0,10 m), proporcionado pelos tratamentos de calcário e gesso, na produção de milho. A maior produção de grãos foi observada, quando a saturação por Ca na CTC a pH 7,0 foi de 56 % na camada de 0-0,05 m. A saturação por Mg nas camadas superficiais do solo (0-0,05 e 0,05-0,10 m) também influenciou, pelo menos em parte, a produção relativa (Figura 3), tendo ocorrido acréscimo no rendimento de milho com o aumento de Mg na CTC a pH 7,0, quando a saturação por Mg foi inferior a 16 %. Isso explica o aumento obtido na produção de milho com as doses de gesso, somente na presença de calagem (Figura 2), considerando que as doses de gesso, apesar de terem aumentado a concentração de Ca trocável, proporcionaram redução no teor de Mg trocável no solo (Quadro 2).

## CONCLUSÕES

1. A correção da acidez pela calagem na superfície, com ou sem parcelamento, foi mais acentuada na camada superficial do solo (0-0,05 m) e houve maior reação nas profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, quando o calcário foi incorporado. O gesso melhorou o subsolo, aumentando os teores de Ca e  $S-SO_4^{2-}$ , aumentou a concentração de N, K e Ca no tecido foliar do milho e causou redução do Mg no solo e nas folhas.



**Figura 3. Relações entre a produção relativa de milho e a saturação por Ca e por Mg na CTC a pH 7,0, em diferentes profundidades do solo: 0-0,05 m (a) e 0,05-0,10 m (b). \*, \*\*: significativo P < 0,05 e 0,01, respectivamente.**

2. A calagem na superfície, com ou sem parcelamento, ou com incorporação, ocasionou aumento na produção de milho da ordem de 13 %. A aplicação de doses de gesso aumentou a produção de milho, sendo o aumento médio de 5 % com a maior dose de gesso aplicada (9 t ha<sup>-1</sup>). O maior incremento na produção de milho com a calagem em comparação com o uso de gesso esteve relacionado com o efeito do gesso na lixiviação de Mg trocável no solo.

3. A aplicação de gesso agrícola em combinação com a calagem ocasionou acréscimos na produção de milho da ordem de 17 %, mostrando ser uma estratégia eficiente para maximizar a produção de grãos. O aumento na produção de milho com a aplicação de calcário e gesso não foi ocasionado por alterações no crescimento do sistema radicular e esteve relacionado com o aumento da saturação por Ca nas camadas superficiais do solo.

#### LITERATURA CITADA

- CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A. & FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:161-169, 2000.
- 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:27-34, 1998.
- CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.C. & BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. *Bragantia*, 60:213-223, 2001.
- CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.C.; BARTH, G. & GARBUIO, F.J. Lime and gypsum application on the wheat crop. *Sci. Agric.*, 59:357-364, 2002.
- CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.A. & MADRUGA, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:315-327, 1999.
- CAMARGO, A.P.; RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; ROCHA, T.R.; NAGAI, V. & MASCARENHAS, H.A.A. Efeito da calagem nas produções de cinco cultivos de milho, seguidos de algodão e soja. *Pesq. Agropec. Bras.*, 17:1007-1012, 1982.
- CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BÜLL, L.T. & CANTARELLA, H., eds. *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba, POTAFOS, 1993. p.147-196.
- CARVALHO, L.J.C.B.; GOMIDE, R.L.; RODRIGUES, G.C.; SOUSA, D.M.G. & FREITAS Jr., E. Resposta do milho à aplicação de gesso e déficit hídrico em solos de cerrado. In: *SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA*, 1., Brasília, 1986. *Anais*. Brasília, EMBRAPA-DDT, 1986. p.61-83.
- CARVALHO, M.C.S. & RAIJ, B. van. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. *Plant Soil*, 192:37-48, 1997.
- CHAVES, J.C.D.; PAVAN, M.A. & IGUE, K. Resposta do cafeeiro à calagem. *Pesq. Agropec. Bras.*, 19:573-582, 1984.

- COLEMAN, N.T. & THOMAS, G.W. The basic chemistry of soil acidity. In: PEARSON, R.W. & ADAMS, F., eds. Soil acidity and liming. Madison, American Society of Agronomy, 1967. p.1-41.
- COSTA, A. Doses e modos de aplicação de calcário na implantação de sucessão soja-trigo em sistema plantio direto. Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 2000. 146p. (Tese de Doutorado)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- ERNANI, P.R.; NASCIMENTO, J.A.L. & OLIVEIRA, L.C. Increase of grain and green matter of corn by liming. R. Bras. Ci. Solo, 22:275-280, 1998.
- FARINA, M.P.W. & CHANNON, P. Acid-subsoil amelioration. II. Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties. Soil Sci. Soc. Am. J., 52:175-180, 1988.
- FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. R. Bras. Ci. Solo, 23:533-542, 1999.
- GONZALES-ERICO, E.; KAMPRATH, E.J.; NADERMANN, G.C. & SOARES, W.V. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an Oxisol of Central Brazil. Soil Sci. Soc. Am. J., 43:1155-1158, 1979.
- GOODROAD, L.L. & JELLUM, M.D. Effect of N fertilizer rate and soil pH on N efficiency in corn. Plant Soil, 106:85-89, 1988.
- HELYAR, K.R. The management of acid soils. In: WRIGHT, R.J.; BALIGAR, V.C. & MURRMAN, R.P., eds. Plant-soil interactions at low pH. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1991. p.365-382.
- LUTZ Jr., J.A.; GENTER, C.F. & HAWKINS, G.W. Effect of soil pH on element concentration and uptake by maize: I. P, K, Ca, Mg and Na. Agron. J., 64:581-583, 1972.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319p.
- MARSH, B.H. & GROVE, J.H. Surface and subsurface soil acidity: Soybean root response to sulfate-bearing spent lime. Soil Sci. Soc. Am. J., 56:1837-1842, 1992.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & SANTOS, J.C.F. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4., Belo Horizonte, 1996. Abstracts. Belo Horizonte, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/ EMBRAPA-CPAC, 1996. p.8.
- NOGUEIRA, A.R.A. & MOZETO, A.A. Interações químicas do sulfato e carbonato de cálcio em seis solos paulistas sob vegetação de cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 14:1-6, 1990.
- OATES, K.M. & CALDWELL, A.G. Use of by-product gypsum to alleviate soil acidity. Soil Sci. Soc. Am. J., 49:915-918, 1985.
- OLIVEIRA, E.L. & PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. Soil Till. Res., 38:47-57, 1996.
- OLIVEIRA, E.L.; PARRA, M.S. & COSTA, A. Resposta da cultura do milho, em um Latossolo Vermelho-Escuro álico, à calagem. R. Bras. Ci. Solo, 21:65-70, 1997.
- PAVAN, M.A. Movimentação de calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira. R. Bras. Frutic., 16:86-91, 1994.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. & PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime and gypsum applications to a Brazilian Oxisol. Soil Sci. Soc. Am. J., 48:33-38, 1984.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. & PRATT, P.F. Toxicity of aluminum to coffee in Ultisols and Oxisols amended with  $\text{CaCO}_3$  and  $\text{CaSO}_4$ . Soil Sci. Soc. Am. J., 46:1201-1207, 1982.
- PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M. & ZOCOLER, D.C. Manual de análise química do solo e controle de qualidade. Londrina, Instituto Agrônomo do Paraná, 1992. 38p. (Circular, 76)
- PÖTTKER, D. & BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema de plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 22:675-684, 1998.
- 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. Pesq. Agropec. Bras., 28:375-383, 1993.
- QUAGGIO, J.A.; RAMOS, V.J.; BATAGLIA, O.C.; RAIJ, B. van & SAKAI, M. Calagem para a sucessão batata-tritcale-milho usando calcário com diferentes teores de magnésio. Bragantia, 44:391-406, 1985.
- RAIJ, B. van & PEECH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 36:587-593, 1972.
- RAIJ, B. van; CAMARGO, A.P.; CANTARELLA, H. & SILVA, N.M. Alumínio trocável e saturação em bases como critérios para recomendação de calagem. Bragantia, 42:149-156, 1983.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. & FURLANI, P.R. Efeito, na reação do solo, da absorção de amônio e nitrato pelo sorgo, na presença e na ausência de gesso. R. Bras. Ci. Solo, 12:131-136, 1988.
- RAIJ, B. van; FURLANI, P.R.; QUAGGIO, J.A. & PETTINELLI JR., A. Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. R. Bras. Ci. Solo, 22:101-108, 1998.
- REEVE, N.G. & SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface applied amendments. Agrochimophysics, 4:1-6, 1972.
- RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; KAMINSKI, J. & XAVIER, F.M. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. Ci. Rural, 30:263-268, 2000.
- RITCHIEY, K.D.; SILVA, S.E. & COSTA, V.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savannah Oxisols. Soil Sci., 133:378-382, 1982.

- RITCHEY, K.D.; SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. & CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. *Agron. J.*, 72:40-44, 1980.
- SCHENK, M.K. & BARBER, S.A. Root characteristics of corn genotypes as related to P uptake. *Agron. J.*, 71:921-924, 1979.
- SHAINBERG, I.; SUMNER, M.E.; MILLER, W.P.; FARINA, M.P.W.; PAVAN, M.A. & FEY, M.V. Use of gypsum on soils: A review. *Adv. Soil Sci.*, 9:1-111, 1989.
- SOUSA, D.M.G. & RITCHEY, K.D. Uso de gesso no solo de cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1., Brasília, 1986. Anais. Brasília, EMBRAPA- DDT, 1986. p.119-144.
- SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance. In: JAYAWARDANE, N.S. & STEWART, B.A., eds. *Subsoil management techniques*. Athens, Lewis Publishers, 1995. p.147-185.
- SUMNER, M.E.; SHAHANDEH, H.; BOUTON, J. & HAMMEL, J. Amelioration of an acid soil prolife through deep liming an surface application of gypsum. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50:1254-1278, 1986.
- SYED-OMAR, S.R. & SUMNER, M.E. Effect of gypsum on soil potassium and magnesium status and growth of alfafa. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 22:2017-2028, 1991.
- TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *J. Ecol.*, 63:995-1001, 1975.
- VITTI, G.C. Uso eficiente do gesso agrícola na agropecuária. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2000. 30p.
- VITTI, G.C. & SUZUKI, J.A. A determinação do enxofre - sulfato pelo método turbidimétrico. Jaboticabal, Universidade Estadual de São Paulo, 1978. 13p.