



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro Nacional de Pesquisa de Solos  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1678-0892

Dezembro, 2009

## ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 197***

### **Distribuição do $Mg^{2+}$ , $Ca^{2+}$ e $Al^{3+}$ em solos adicionados de óxido de magnésio em condições de laboratório**

*Talita Santtana Matos*

*André Oliveira Cirqueira*

*Amanda Araújo de França*

*Luís Felipe Mesquita*

*Lorena Abdalla de Oliveira Prata Guimarães*

*Guilherme Kangussú Donagemma*

*José Carlos Polidoro*

*Fabiano de Carvalho Balieiro*

*Vinícius de Melo Benites*

*Cláudio Couto Andrade*

Rio de Janeiro, RJ

2009

**Embrapa Solos**

Rua Jardim Botânico, 1.024 Jardim Botânico. Rio de Janeiro, RJ

Fone: (21) 2179-4500

Fax: (21) 2274.5291

Home page: [www.cnps.embrapa.br](http://www.cnps.embrapa.br)

E-mail (sac): [sac@cnps.embrapa.br](mailto:sac@cnps.embrapa.br)

**Comitê Local de Publicações**

**Presidente:** *Daniel Vidal Pérez*

**Secretário-Executivo:** *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

**Membros:** *Ademar Barros da Silva, Cláudia Regina Delaia, Humberto Gonçalves dos Santos, Elaine Cristina Cardoso Fidalgo, Joyce Maria Guimarães Monteiro, Ana Paula Dias Tureta, Fabiano de Carvalho Balieiro e Pedro de Sá Rodrigues da Silva.*

**Supervisor editorial:** *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

**Revisor de Português:** *André Luiz da Silva Lopes*

**Normalização bibliográfica:** *Ricardo Arcanjo de Lima*

**Editoração eletrônica:** *Felipe Ferreira Lisboa Luz*

**1ª edição**

1ª impressão (2009): online

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

---

M425d Matos, Talita Santtana.

Distribuição do  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Al^3$  em solos adicionados de óxido de magnésio em condições de laboratório / Talita Santtana Matos ... [et al.]. -- Dados eletrônicos. -- Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2009.

35 p. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Solos, ISSN 1678-0892 ; 197).

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: < <http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes> >.

Título da página da Web (acesso em 21 dez. 2009).

1. Movimentação de nutrientes. 2. Corretivo de solo. 3. Coluna de solo. I. Cirqueira, André Oliveira. II. França, Amanda Araújo de. III. Mesquita, Luis Felipe. IV. Guimarães, Lorena Abdalla de Oliveira Prata. V. Donagemma, Guilherme Kangussú. VI. Polidoro, José Carlos. VII. Balieiro, Fabiano de Carvalho. VIII. Benites, Vinícius de Melo. IX. Andrade, Cláudio Couto. X. Título. XI. Série.

CDD (21.ed.) 631.41

---

© Embrapa 2009

## Sumário

<b>Resumo</b> .....	<b>5</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>7</b>
<b>Introdução</b> .....	<b>9</b>
<b>Material e Métodos</b> .....	<b>11</b>
<b>Resultados e Discussão</b> .....	<b>14</b>
Distribuição dos nutrientes ao longo da coluna .....	14
Perdas de magnésio, cálcio e alumínio no lixiviado .....	25
<b>Considerações Finais</b> .....	<b>33</b>
<b>Referências</b> .....	<b>33</b>
<b>Agradecimentos</b> .....	<b>35</b>

# Distribuição do $Mg^{2+}$ , $Ca^{2+}$ e $Al^{3+}$ em solos adicionados de óxido de magnésio em condições de laboratório

---

*Talita Santtana Matos<sup>1</sup>*

*André Oliveira Cirqueira<sup>2</sup>*

*Amanda Araújo de França<sup>3</sup>*

*Luís Felipe Mesquita<sup>4</sup>*

*Lorena Abdalla de Oliveira Prata Guimarães<sup>5</sup>*

*Guilherme Kangussú Donagemma<sup>6</sup>*

*José Carlos Polidoro<sup>6</sup>*

*Fabiano de Carvalho Balieiro<sup>6</sup>*

*Vinícius de Melo Benites<sup>6</sup>*

*Cláudio Couto Andrade<sup>7</sup>*

## Resumo

O estudo da movimentação de nutrientes no solo é fundamental para nortear a correção do solo, objetivando favorecer maiores produtividades das culturas. Ressalta-se que não é interessante se ter somente uma correção superficial do solo, mas também haver o condicionamento do perfil até a profundidade que alcançam as raízes absorventes de nutrientes. Por outro lado, se a movimentação de nutrientes for muito elevada, os nutrientes podem avançar além da profundidade das raízes e serem perdidos por lixiviação. Diante do exposto, o presente trabalho objetivou avaliar a distribuição de cálcio, magnésio e alumínio em colunas de solo em resposta a aplicação de calcário e a combinação de gesso e óxido de magnésio. O experimento foi conduzido em condições de laboratório na Embrapa Solos (Centro Nacional de Pesquisa

---

<sup>1</sup> Eng. Agrônoma, Bolsista Embrapa Solos. E-mail: sac@cnps.embrapa.br

<sup>2</sup> Mestrando, UFRRJ, BR 465, km 7, Seropédica-Rio. E-mail: sac@cnps.embrapa.br

<sup>3</sup> Eng. Agrônoma, bolsista DTI-III, CNPq. E-mail: sac@cnps.embrapa.br

<sup>4</sup> Graduando em Agronomia, UFES. E-mail: sac@cnps.embrapa.br

<sup>5</sup> Mestranda, UFV. E-mail: sac@cnps.embrapa.br

<sup>6</sup> Pesquisador, Embrapa Solos. E-mail: sac@cnps.embrapa.br

<sup>7</sup> Eng. Florestal, Magnesita –SA. E-mail: claudio.andrade@magnesita.com.br

em Solos - CNPS), utilizando colunas de solo, onde foram aplicadas doses de óxido de magnésio combinadas com gesso agrícola, segundo um delineamento de blocos casualizados e um arranjo fatorial  $4 \times 3 + 2 + 2$ , correspondendo a quatro níveis de combinações entre óxido de magnésio e gesso agrícola (1:1, 1:2, 1:4, 1:8), três doses dessas misturas (referente à soma de  $\text{Ca}^{2+}$  e de  $\text{Mg}^{2+}$  equivalente a 2,0; 4,0 e 8,0  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  de solo: 15, 30, 45 kg/ha de óxido de magnésio) e mais quatro tratamentos testemunha, (dois solos adicionados de calcário dolomítico 82,70% de Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT), elevando a saturação de bases para 60%) recomendada pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999), e duas amostras dos solos sem nenhuma aplicação de corretivos, com três repetições. O solo utilizado foi uma amostra de latossolo Vermelho argiloso de Rio Verde-GO, onde os tratamentos com gesso e óxido de magnésio foram incorporados a uma profundidade de 0-5 cm, simulando uma correção num manejo com plantio direto. As testemunhas com calcário possuem duas profundidades, 0-5 e 0-20 cm, simulando a correção no plantio direto e no convencional respectivamente. O solo recebeu aplicação de água para atingir 70% da capacidade de campo em seguida as colunas foram incubadas por um dia. Após atingir essa condição de umidade, iniciou-se uma simulação de chuva com volumes correspondentes ao mês de maior intensidade de precipitação da região de Rio Verde-GO. Observou-se que a combinação de óxido de magnésio com gesso na dose de 45 kg/ha de óxido de magnésio foi a que levou a melhor distribuição de cálcio e magnésio ao longo da coluna e que mais reduziu a concentração de alumínio e apresentou perdas de baixa magnitude para cálcio e magnésio, independente da proporção de óxido de magnésio:gesso. Assim, sugere-se que seja avaliada a resposta em produtividade de culturas no campo a esta combinação e dose de óxido de magnésio. A proporção de óxido de magnésio:gesso será aquela mais adequada para culturas verificada no campo.

**Palavras-chave:** movimentação de nutrientes, magnésio, cálcio, gesso, corretivo de solo, colunas de solo.

## Abstract

The study of nutrient movement in soil is important to direction for soil correction, and improves the productivity of plants. In addition, it is interesting to make corrections, not only on the surface, but in the profile. However, if nutrient movement passes the root zone, it can lead to leaching of nutrients. Thus, the objective of this work was to evaluate the movement of  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Al^{3+}$  in soil columns influenced by the addition of magnesium oxide associated with gypsum. The experiment was carried out in the laboratory of the Agriculture Agency Research of Brazil. For this, combinations of doses of magnesium oxide and gypsum were compared with lime. The treatments consisted of a  $4 \times 3 + 2 + 2$  factorial, using a Red Latosol of Rio Verde-GO, four control (in two samples applying lime to increase the base saturation to 60%, and two samples without application of corrective), four proportions of Mg:Ca (1:1, 1:2, 1:4, 1:8), three doses of magnesium (referring to  $Mg^{2+} + Ca^{2+}$ , equivalent to 2,0; 4,0 and 8,0  $cmol_c/dm^3$  in soil: 15, 30 and 45 kg/ha of oxide magnesium). The applications simulated a no-till system, then applying magnesium oxide plus gypsum in 0-5 cm profile, and for control with lime, applying in 0-20 cm and 0-5 cm. The soil received water in 70% of water capacity. After this application, a simulated application volume of water corresponding to the month with the highest volume of rain was observed. It was observed that the dose of 45 kg/ha of magnesium oxide gave a better result in the distribution of nutrients in soil columns. Thus, it is recommended that this dose will be tested in the field, and the proportion will be better for plants in the field too.

**Index terms:** movement of nutrient, magnesium, calcium, gypsum, corrective of soil, columns.

## Introdução

Os solos ácidos predominam em quase todas as regiões do Brasil, ocupando menores proporções nas regiões do semiárido localizadas no Nordeste do país (OLMOS; CAMARGO, 1976). Em condições de elevada acidez e elevados teores de alumínio, a correção do solo se faz necessária, visto que a maioria das culturas comerciais não toleram essas condições. Portanto, o uso de corretivos passou a ser rotina em várias regiões agrícolas, tornando-se talvez a prática mais importante para alcançar elevadas produtividades (PRADO, 2003). Em sistemas convencionais onde se utilizam grades aradoras para a incorporação do calcário em camadas de 0-10 cm, tem-se notado uma série de problemas, pois nessas condições o calcário recomendado fica depositado numa camada superior, com isso a camada de 0-10 cm recebe o dobro de calcário daquele que é recomendado para os 20 cm (WEIRICH, 2005).

Já nos sistemas onde é adotada a prática do plantio direto, onde a incorporação não pode ser efetuada, a calagem também é recomendada para a camada de 0-20 cm e aplicada superficialmente (PRADO, 2003). Apesar de a calagem trazer grandes benefícios, como a neutralização do alumínio trocável e o fornecimento de cálcio e magnésio, a depender da dosagem, a calagem também pode ser prejudicial, levando à diminuição da disponibilidade de micronutrientes no solo, causando desequilíbrios nutricionais. Além disso, pode causar a dispersão de argila no solo, levando à degradação da estrutura do solo, e dessa forma levam a redução no movimento de água no solo e assim favorecendo processos erosivos (JUSCKSCH, 1987; PRADO, 2003).

O gesso agrícola também é utilizado como condicionador, apresentando uma maior mobilidade no perfil do solo, fornecendo  $\text{Ca}^{2+}$  e diminuindo a porcentagem de saturação por alumínio (valor m) (SOUZA; RITCHEY, 1986).

As recomendações de gesso devem ser feitas em áreas que apresentam nas camadas subsuperficiais, toxidez de alumínio e deficiência de cálcio. Quanto às doses, deve se lembrar que há recomendações em poucos estados. Um critério muito usado para o cálculo da dose de gesso é baseado na dose de calcário (25 a 30% da dose de calcário recomendada), sem prejuízo da quantidade desse corretivo (VITTI, 1987). A Comissão de Fertilidade do Solo

do Estado de Minas Gerais - CFSEMG (RIBEIRO; GUIMARÃES, 1999) estabelece dois critérios para a recomendação de gesso agrícola, sendo um com base na textura do solo e outra com base na determinação do fósforo remanescente. O estado de São Paulo através do boletim 100 do IAC (RAIJ et al., 1996) também apresenta recomendação de gesso. Contudo, doses excessivas de gesso podem levar a elevada lixiviação de nutrientes. Nesse sentido, Reeve e Summer (1972), em estudos em casa-de-vegetação, mostraram que aplicações elevadas de gesso, acima de  $3 \text{ cmol}_c/\text{kg}$ , causaram perdas de mais da metade do  $Mg^{2+}$  presente no solo.

Embrapa (1982), em ensaios conduzidos em condições de colunas de solo e de campo, mostra que a aplicação isolada de gesso promoveu lixiviação de potássio mais intensa do que a observada quando se aplicou calcário e gesso. Por outro lado, a aplicação equilibrada de gesso pode levar ao condicionamento do perfil de solo em profundidade favorecendo o crescimento de raízes explorando um maior volume de solo e podendo levar a maior tolerância a déficit hídricos.

Uma alternativa ao calcário para correção da acidez do solo e fornecimento de magnésio é a utilização de óxido de magnésio, obtido da calcinação da magnesita ( $MgCO_3$ ) como sugerido por (VITTI; DONADIO, 1988).

A utilização de resíduos industriais que diminua ou reduza a exploração de recursos naturais, como no caso da rocha calcária, são formas de atenuar os impactos causados pela exploração desse mineral bem como reduzir fontes de poluentes indústrias. Além disso, é interessante utilizar produtos que corrijam a acidez do solo, mas não favoreçam a sua dispersão e, conseqüentemente, a sua degradação física. Dessa forma esse trabalho tem como objetivo avaliar a distribuição do magnésio, cálcio e alumínio em ensaios com colunas de solo, submetidas a diferentes doses de óxido de magnésio, e combinações deste com gesso.

## Materiais e Métodos

O experimento foi conduzido em condições de laboratório na Embrapa Solos (CNPS), utilizando colunas de solo, onde foram aplicadas doses de óxido de magnésio combinadas com gesso agrícola. O experimento foi conduzido segundo um delineamento de blocos casualizados e um arranjo fatorial  $4 \times 3 + 2 + 2$ , que representam, quatro níveis de combinações entre óxido de magnésio e gesso agrícola (1:1, 1:2, 1:4, 1:8), três doses dessas misturas (referente à soma de  $Ca^{2+}$  e de  $Mg^{2+}$  equivalente a 2,0; 4,0 e 8,0  $cmol_c/dm^3$  de solo) e mais quatro tratamentos testemunha; dois com adição de calcário dolomítico 82,70% de PRNT, elevando a saturação de bases para 60% (RIBEIRO; GUIMARÃES, 1999); e dois tratamentos controle sem nenhuma aplicação de corretivos (Tabela 1). Todos os tratamentos foram repetidos 3 vezes. Uma amostra de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso de Rio Verde-GO foi utilizada nesse experimento sendo retirada a camada de 0-20 cm, seca ao ar, homogeneizada e caracterizada (Tabela 2). Nos tratamentos com óxido de magnésio e gesso, a incorporação foi realizada a uma profundidade de 0-5 cm, simulando uma correção num manejo com plantio direto. Nas testemunhas com calcário a incorporação foi realizada nas profundidades de 0-5 e 0-20 cm, simulando correção no plantio direto e convencional respectivamente.

As unidades experimentais foram constituídas por 11 anéis de PVC, com 15 cm de diâmetro e 5 cm de altura. Os anéis foram sobrepostos e vedados com cola de silicone nas uniões. Externamente, eles foram fixados com fita adesiva, para formar uma coluna de 55 cm de altura (Figura 1). Na extremidade inferior da coluna foi inserido um tampão de PVC perfurado, com cinco furos de 4 mm de diâmetro, uniformemente distribuídos e posteriormente um funil de plástico foi colocado no fundo da coluna para a coleta do lixiviado. No interior da coluna foi colocada uma manta de nylon recobrindo o fundo da mesma e em seguida uma fina camada de areia lavada, com cerca de 1 cm de areia muito grossa (2,0-1,0 mm) (DONAGEMMA, 2005) seguida de outra manta de nylon recobrindo a areia. A coluna foi preenchida com solo, despejado constantemente através de funil, realizando movimentos circulares, com intuito de reduzir ao máximo a segregação dos agregados, sendo preenchidas

até 50 cm. A superfície do solo foi coberta com uma manta de nylon, a fim de evitar que a água atingisse diretamente o solo, evitando-se dessa forma a formação de caminhos preferenciais nas colunas (WEIRICH, 2005) e distúrbios na seção de infiltração (DONAGEMMA, 2005). As colunas foram cobertas com sacos plásticos a fim de evitar a evaporação e contaminações (WEIRICH, 2005). Após a montagem as colunas foram levadas para o suporte onde foram aplicados os tratamentos descritos anteriormente.

**Tabela 1.** Quantidade, doses de gesso e óxido de magnésio em cada tratamento.

Relação	Dose Mg	MgO	Gesso
Mg: Ca		g/coluna	
01:01	15	0,044	0,176
	30	0,088	0,353
	45	0,132	0,529
01:02	15	0,044	0,353
	30	0,088	0,705
	45	0,132	1,058
01:04	15	0,044	0,705
	30	0,088	1,410
	45	0,132	2,115
01:08	15	0,044	1,410
	30	0,088	2,820
	45	0,132	4,230
Testemunhas	Profundidades	Quantidade de calcário	
	0-5cm	1,06	
	0-20cm	4,20	

**Tabela 2.** Caracterização química da amostra de Latossolo Vermelho de Rio Verde, GO, antes da adição dos tratamentos.

Amostra	pH H <sub>2</sub> O	Al	Ca	Mg	Na	K	H + Al	P	S	T	V(%)
		cmolc/dm <sup>3</sup>	cmolc/dm <sup>3</sup>	cmolc/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	cmolc/dm <sup>3</sup>		
Latossolo Vermelho	5,3	0,1 5	1,75	0,4 5	0	39	48,5	6,6	2,3	7,15	32



Figura 1. Colunas de PVC.

O solo recebeu aplicação de água para atingir 70% da capacidade de campo e em seguida as colunas foram incubadas por um dia. Após esse período, iniciou-se uma simulação de chuva com volumes correspondentes a precipitação (em mm) do mês de outubro na região de Rio Verde-GO, sendo aplicado um volume de água destilada de 204 mL a cada aplicação nas colunas. Realizaram-se doze aplicações, sendo 3 aplicações por semana durante o período de um mês. O lixiviado foi coletado no dia seguinte às aplicações, sendo retirada uma sub-amostra para análises de cátions: cálcio, magnésio e alumínio dosados por titulometria, com solução de EDTA e o último dosado por ICP-OES, respectivamente. Além disso, analisou-se nos lixiviados o pH. Após o final das recargas foram retiradas amostras de solo do centro de cada anel, para serem feitas análises químicas de rotina: cálcio, magnésio, potássio, pH, e alumínio (EMBRAPA, 1997). A argila dispersa e o sulfato estão em fase final análise.

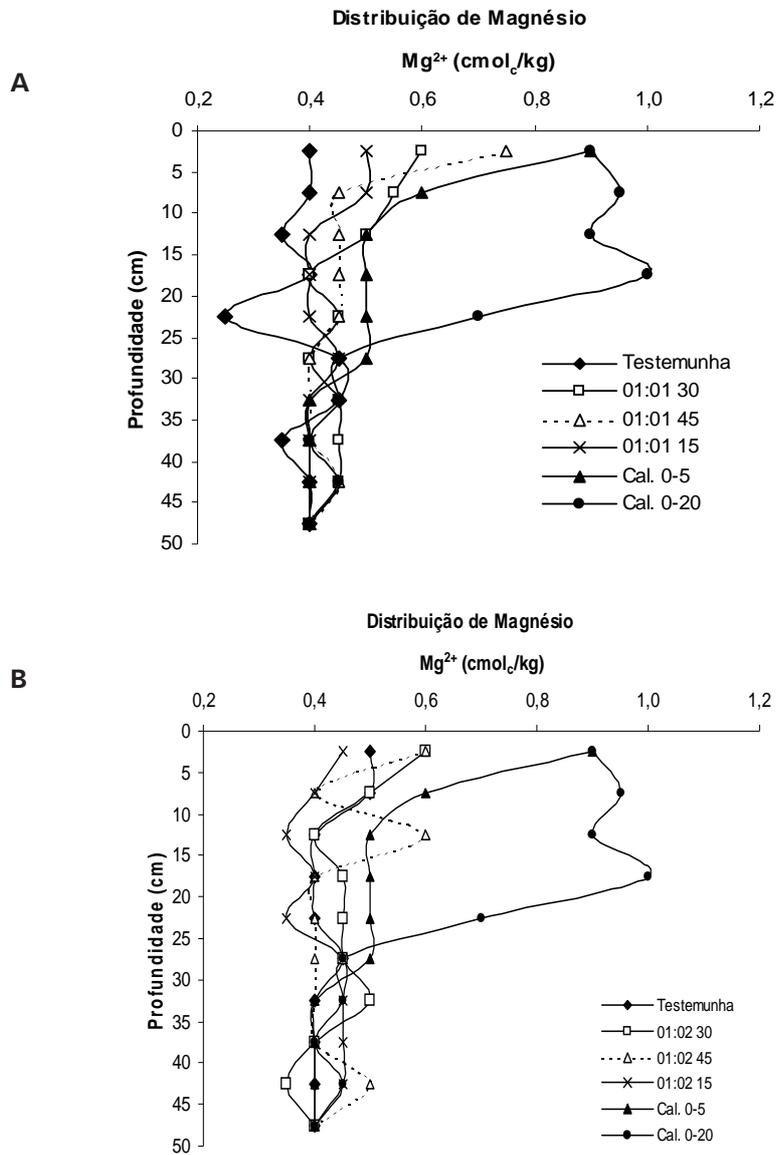
## Resultado e discussão

### Distribuição dos nutrientes ao longo da coluna

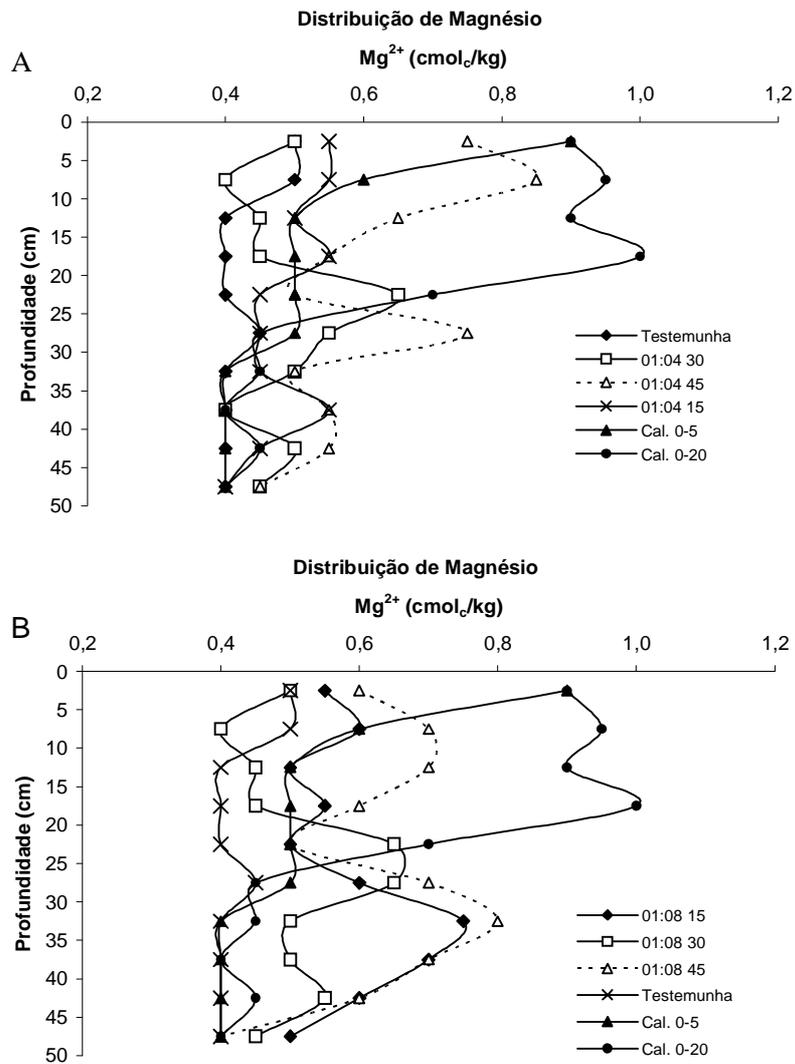
Os resultados que serão apresentados são a média de duas repetições par ao Latossolo Vermelho argilo distrófico de Rio Verde-GO.

A adição de óxido de magnésio dentro de cada proporção de óxido de magnésio:gesso alterou a distribuição de magnésio no solo ao longo da coluna, quando compara-se as doses aplicadas com a testemunha, sendo as maiores variação da distribuição detectadas nas doses de 30 e 45 kg/ha frente a dose de 15 kg (Figura 2). Isso se deve ao fato da maior concentração do cátion  $Mg^{2+}$  em solução, que tende a permitir maior probabilidade de troca no complexo sortivo e formação de par iônico com o  $SO_4^{=}$ . Assim, o que se pode inferir pela visualização das Figuras 2 e 3 é que o  $Mg^{2+}$  teve sua mobilidade incrementada quando o gesso foi usado em combinação nas maiores proporções (relação óxido de magnésio:gesso: 1:8) (Figura 3).

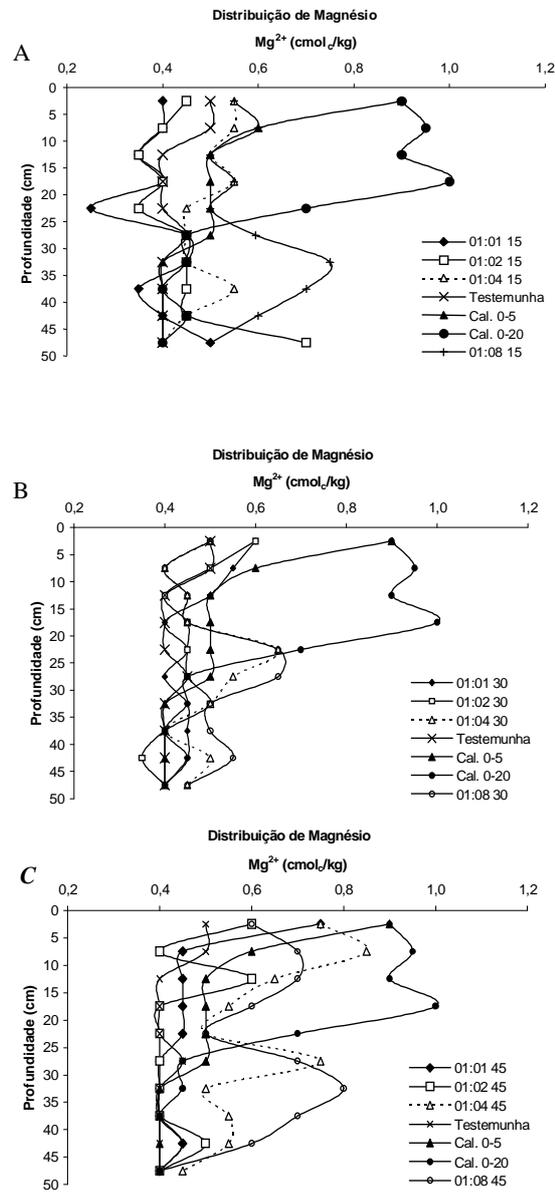
A correção de magnésio com a aplicação do calcário restringiu-se à profundidade onde este foi aplicado, ou seja, 0-5 cm e 0-20 cm (Figuras 2, 3 e 4). Este fato reforça a hipótese de que a aplicação de calcário em sistema de plantio direto pode não ser eficiente na correção da acidez em profundidade, além de comprometer a estrutura física do solo mediante a dispersão de argila induzida principalmente pela elevação do pH acima do ponto de carga zero (PCZ) formando excesso de carga negativas que se repelem (JUSCKSCH, 1987; PRADO, 2003). A correção dos teores de magnésio do solo em relação a testemunha foi bem mais elevada para o calcário do que para o óxido de magnésio, em razão da dose de calcário aplicada ser em torno de 10 vezes mais que a do óxido de magnésio (figuras 3 e 4). Por outro lado, a aplicação da maior dose de de óxido de magnésio (45 kg/ha) associada a gesso na proporção de 01:01 levou a uma correção expressiva dos teores de magnésio em relação a testemunha, sobre tudo em superfície.



**Figura 2.** Distribuição do magnésio em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso de Rio Verde-GO em resposta a aplicação de doses de óxido de magnésio (15, 30 e 45 kg/ha) em combinação com gesso na proporção de 01:01 (A) e 01:02 (B) à aplicação de calcário de 0-5 cm e de 0-20 cm profundidade.



**Figura 3.** Distribuição do magnésio em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso de Rio Verde-GO em resposta a aplicação de doses de óxido de magnésio (15, 30 e 45 kg/ha) em combinação com gesso na proporção de 01:04 (A) e 01:08 (B) à aplicação de calcário de 0-5 cm e de 0-20 cm profundidade.

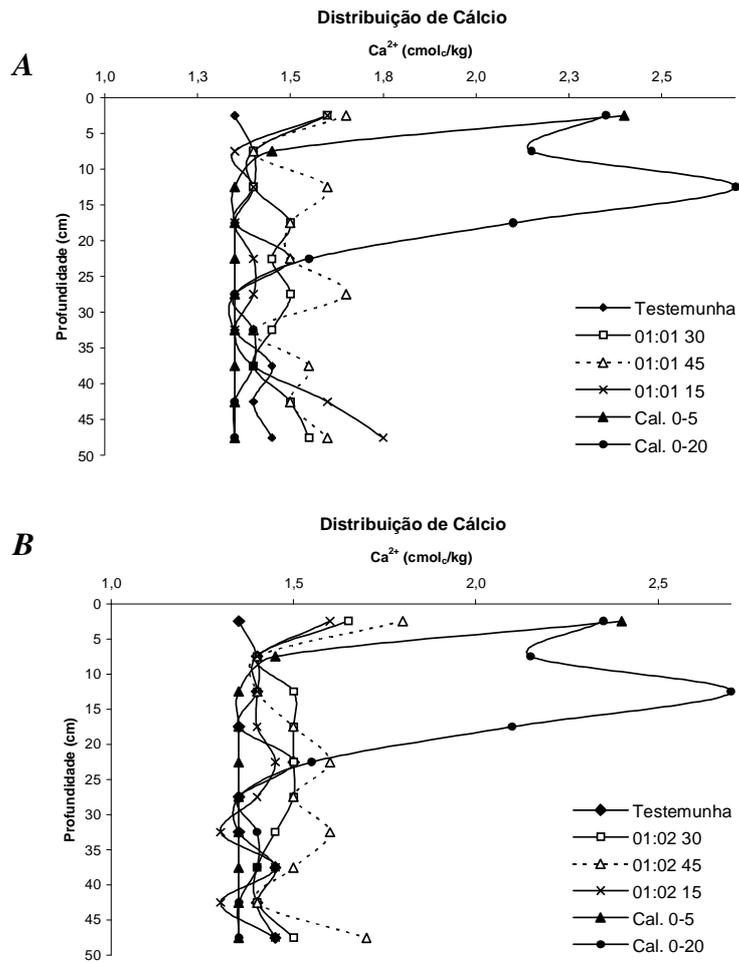


**Figura 4.** Distribuição do magnésio em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso de Rio Verde-GO em resposta a aplicação de proporções de óxido de magnésio e gesso (01:01, 01:02, 01:04 e 01:08) para as doses de 15 (A), 30 (B) e 45 kg/ha (C) de óxido de magnésio e aplicação de calcário nas profundidades de 0-5 cm e 0-20 cm.

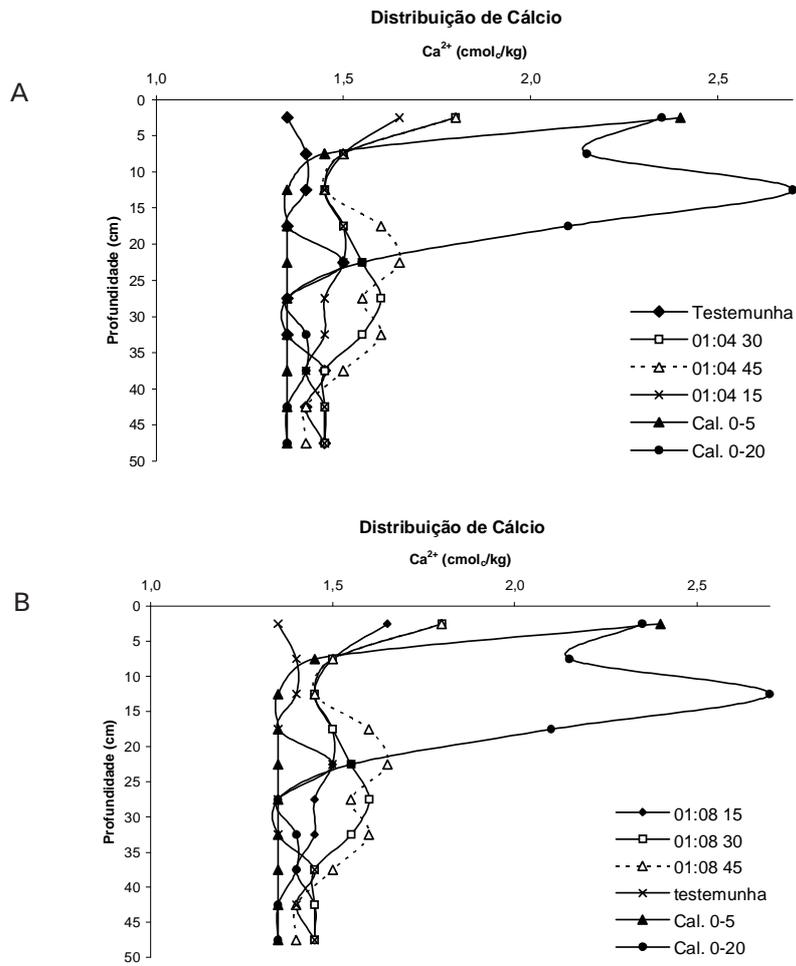
Esse fato se deve possivelmente a maior reatividade e solubilidade do óxido de magnésio em relação ao calcário liberando o magnésio mais rapidamente.

A distribuição de cálcio ao longo da coluna também foi alterada pelo tipo de corretivo. O cálcio aplicado via calcário ficou localizado na superfície (0-5 e 0-20 cm). De um modo geral a adição das combinações de óxido de magnésio e gesso proporcionaram mudanças brandas nos teores de Ca ao longo perfil (Figuras 5, 6 e 7), sendo os maiores teores de Ca observados para as relações óxido de magnésio: gesso iguais a 1:4 e 1:8 e doses mais elevadas de óxido de magnésio (Figuras 5, 6 e 7). A mobilidade do  $Ca^{2+}$  nesses tratamentos está relacionada com a maior concentração do  $Mg^{2+}$  na solução do solo, que desloca o  $Ca^{2+}$  do complexo de troca para a solução, levando a formação de  $CaSO_4^0$ , que apresenta elevada mobilidade no solo (DIAS et al., 1994).

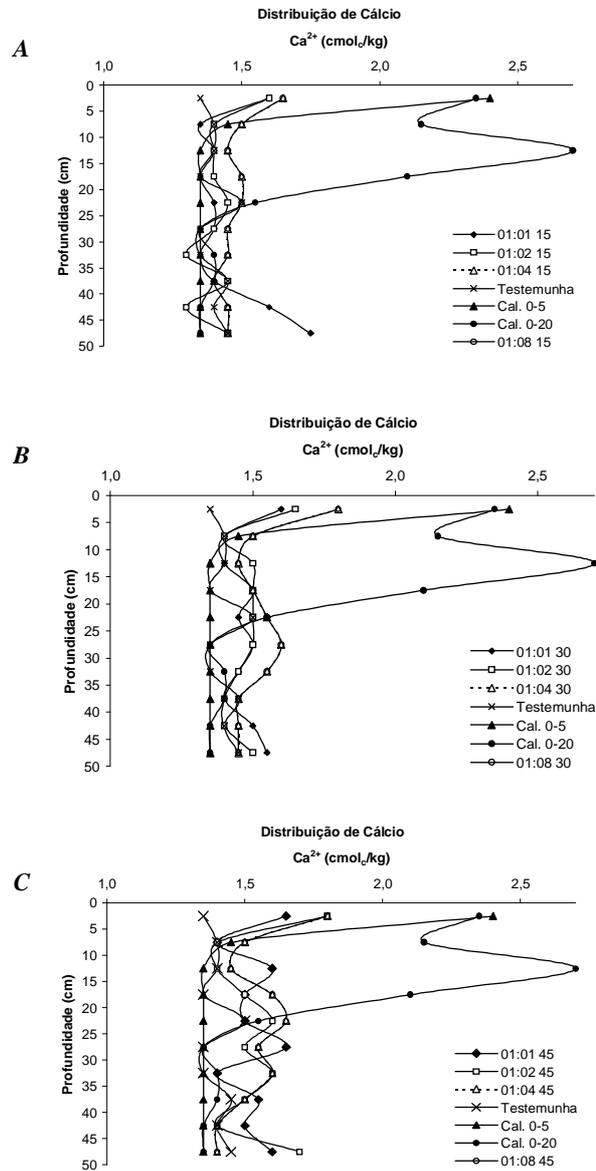
Em relação ao pH do solo, observou-se que as maiores doses de óxido de magnésio (30 e 45 kg/ha) corrigiram o pH em superfície (0-5 cm) sendo a magnitude em geral menor do que para aplicação de calcário (0-5 e 0-20 cm) (Figura 8 e 9). Por outro lado, observou-se também uma correção do pH de menor magnitude em profundidade, em relação as camadas superficiais, nos tratamentos com óxido de magnésio e gesso. Acredita-se que essa correção de pH em profundidade se deva em fato do sulfato estar se associando com outros cátions e do poder de neutralização apresentado pelo MgO, além do  $Mg^{2+}$  e o do Ca. Nesse sentido, é possível que partículas finas de óxido de magnésio desceram na coluna de solo carregadas pelo fluxo de água, assim havendo correção em profundidade. O pH não foi influenciado de forma expressiva pela proporção de magnesita:gesso (Figura 10), sendo a correção de pH resposta das doses de óxido de magnésio e calcário. O teor de alumínio no solo foi influenciado pelas doses de óxido de magnésio, havendo redução no teor de alumínio, em superfície (0-5 cm) sendo a redução maior para a maior dose (45 kg/ha) atingindo o valor de zero. Também observou-se uma redução de menor magnitude em profundidade. Essa redução nos teores de alumínio está relacionada ao aumento no pH nas profundidades corrigidas pelo óxido de magnésio. Por outro lado, o calcário reduziu o teor de alumínio ao valor de zero, na superfície (0-5 e 0-20 cm). O teor de alumínio não foi influenciado pelas proporções de gesso em relação ao óxido de magnésio.



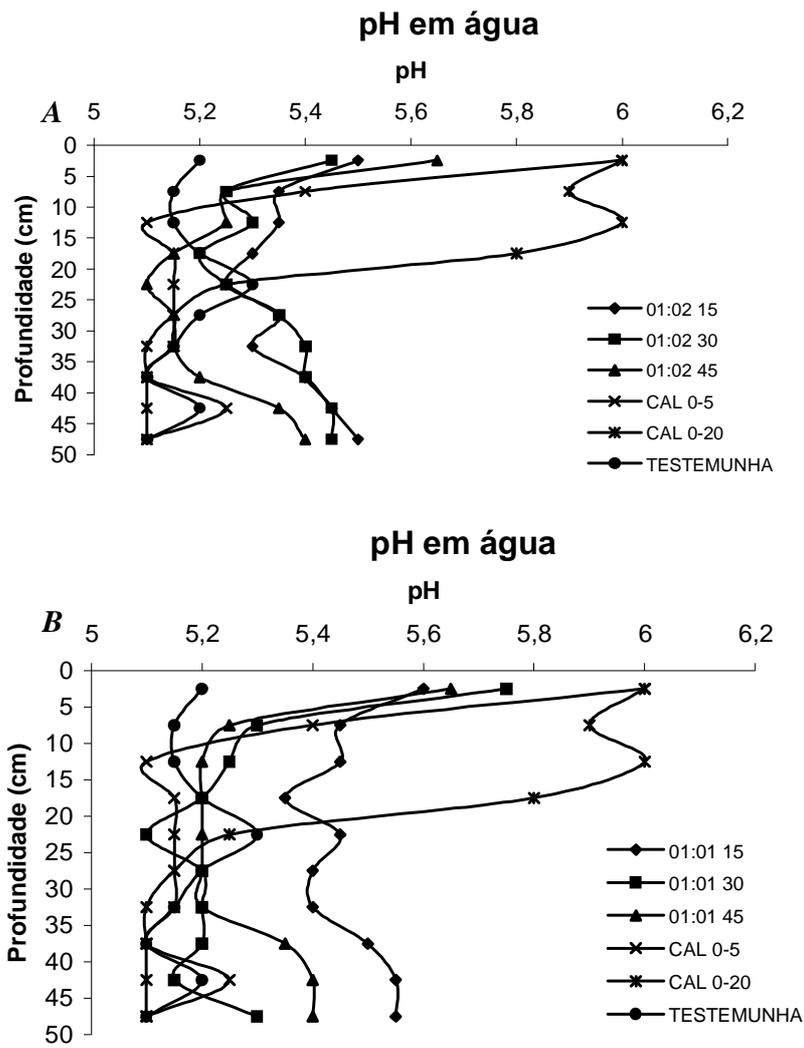
**Figura 5.** Distribuição do cálcio em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso de Rio Verde-GO em resposta a aplicação de doses de óxido de magnésio (15, 30 e 45 kg/ha) em combinação com gesso na proporção de 01:01 (A) e 01:02 (B) e à aplicação de calcário de 0-5 cm e de 0-20 cm profundidade.



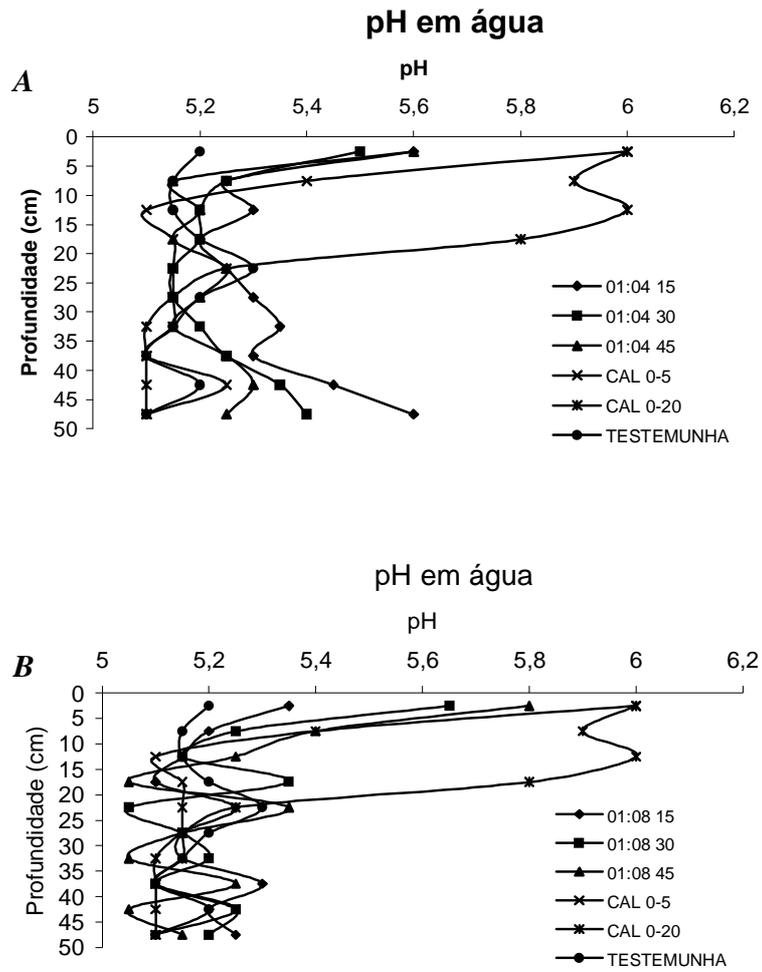
**Figura 6.** Distribuição do cálcio em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso de Rio Verde-GO em resposta a aplicação de doses de óxido de magnésio (15, 30 e 45 kg/ha) em combinação com gesso na proporção de 01:04 (A) e 01:08 (B) e à aplicação de calcário de 0-5 cm e de 0-20 cm profundidade.



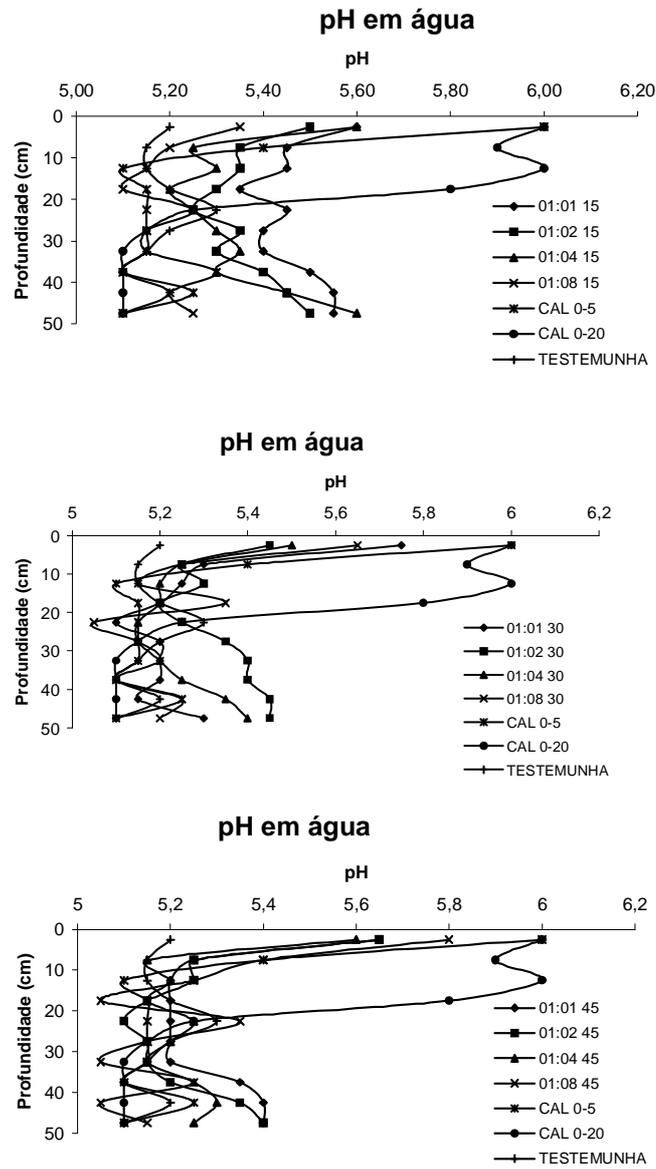
**Figura 7.** Distribuição do cálcio em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso de Rio Verde-GO em resposta a aplicação de proporções de óxido de magnésio e gesso (01:01, 01:02, 01:04 e 01:08) para as doses de 15 (A), 30 (B) e 45 kg/ha (C) de óxido de magnésio e aplicação de calcário nas profundidades de 0-5 cm e 0-20 cm.



**Figura 8.** Distribuição do pH em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso de Rio Verde-GO em resposta a aplicação de doses de óxido de magnésio (15, 30 e 45 kg/ha) em combinação com gesso na proporção de 01:01 (A) e 01:02 (B) e à aplicação de calcário de 0-5 cm e de 0-20 cm profundidade.



**Figura 9.** Distribuição do pH em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso de Rio Verde-GO em resposta a aplicação de doses de óxido de magnésio (15, 30 e 45 kg/ha) em combinação com gesso na proporção de 01:04 (C) e 01:08 (D) e à aplicação de calcário de 0-5 cm e de 0-20 cm profundidade.



**Figura 10.** Distribuição do pH em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso de Rio Verde-GO em resposta a aplicação de proporções de óxido de magnésio e gesso (01:01, 01:02, 01:04 e 01:08) para as doses de 15 (A), 30 (B) e 45 kg/ha (C) de óxido de magnésio e aplicação de calcário nas profundidades de 0-5 cm e 0-20 cm.

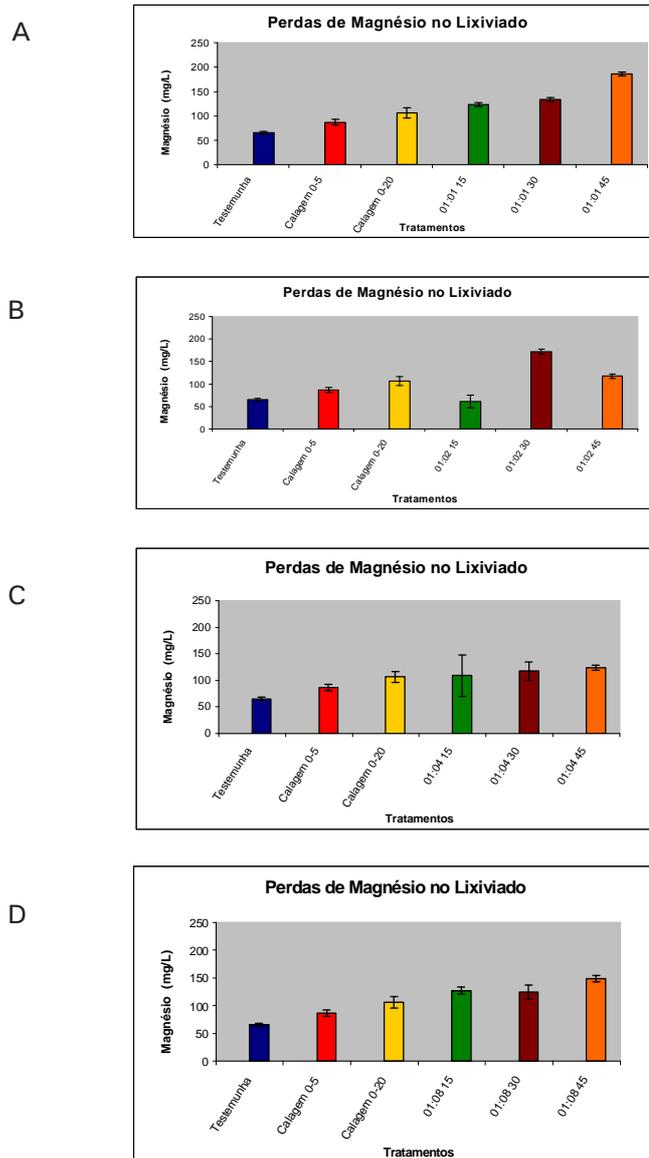
### **Perdas de magnésio, cálcio e alumínio no lixiviado**

As perdas de magnésio, cálcio no lixiviado foram influenciadas pelas doses de óxidos de magnésio (Figuras 11, 12, 13 e 14), sendo que, quanto maior a dose, maior a perda desses cátions no lixiviado. No caso do magnésio, o aumento da dose diminui a interação com a fase sólida, ficando maior a concentração de magnésio passível de ser transportado. Já para o cálcio, com o aumento da dose de magnésio, este vai sendo substituindo o cálcio no sítio de troca, ficando maior concentração de cálcio na solução passível de ser transportada.

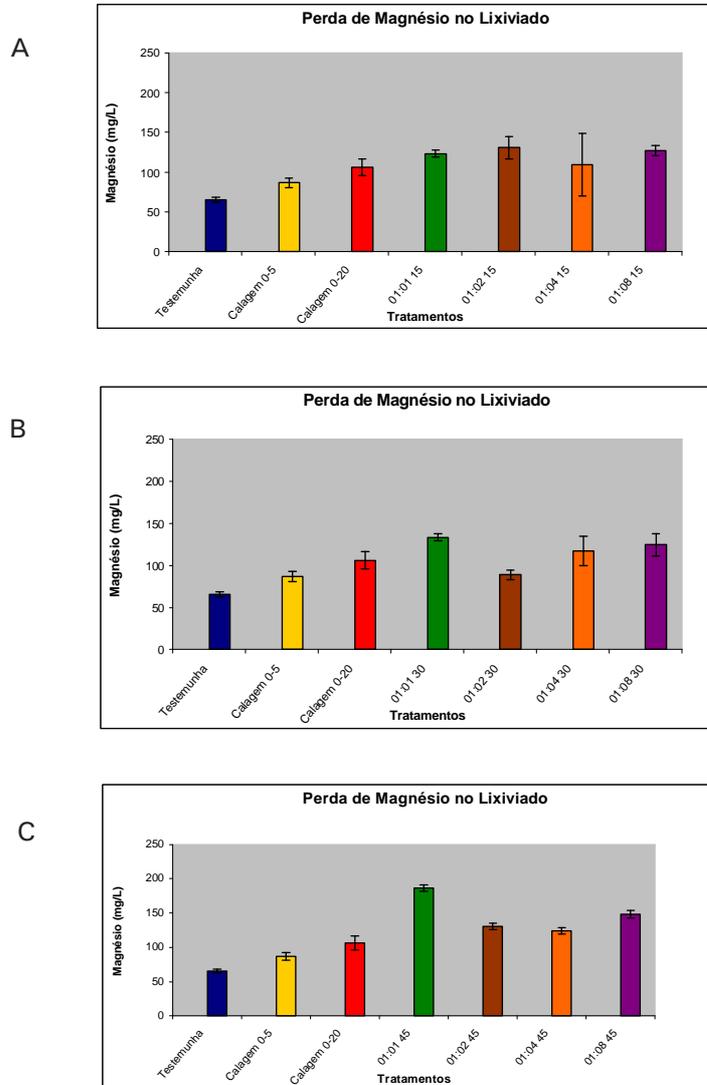
A dose de óxido de magnésio de 15 kg/ha foi a que levou a menor perda desses cátions no lixiviado, contudo, foi a que menos corrigiu o pH do solo, bem como levou a uma distribuição mais superficial dos nutrientes, comparada com as doses de 30 e 45 kg/ha. Observou-se que, de um modo geral, as perdas de cálcio e magnésio foram maiores para a combinação óxido de magnésio com gesso, já que em geral, a mobilidade do cálcio e magnésio na presença de gesso é maior em razão da formação de par iônico desses cátions com o sulfato. Além disso, a mobilidade do cálcio na presença do carbonato é baixa. Por outro lado, as perdas de  $Mg^{2+}$  e de  $Ca^{2+}$  no lixiviado podem trazer à luz o aspecto desejável de o  $Mg^{2+}$  do óxido de Mg se movimentar de forma dinâmica no perfil do solo, que estimularia, entre outros efeitos, o aprofundamento do sistema radicular das plantas (RAIJ et al., 1996). Avaliando as perdas de magnésio e cálcio em resposta a proporção de óxido de magnésio:gesso, os resultados sugerem não ter havido um efeito isolado da proporção na perda de cálcio e magnésio. O efeito de dose do óxido parece ser mais intenso sobre a movimentação dos cátions que a proporção de gesso em relação a óxido de magnésio. Embora fosse esperado que, com maior proporção de gesso, maior seria a movimentação devido a formação de par iônico do cálcio e magnésio com o gesso, a lixiviação dos cátions não acompanharam as relações óxido:gesso na mesma magnitude.

Com relação à perda de alumínio do solo, observou-se que os valores foram bastantes baixos e que foram influenciados pelas doses de óxido de magnésio (Figura 15 e 16). De um modo geral, quanto maior a dose menor a perda de alumínio, já que principalmente a dose de 45 kg/ha elevou o pH acima de 5,5 e redução do alumínio na profundidade aplicada a proximo de zero. Por outro

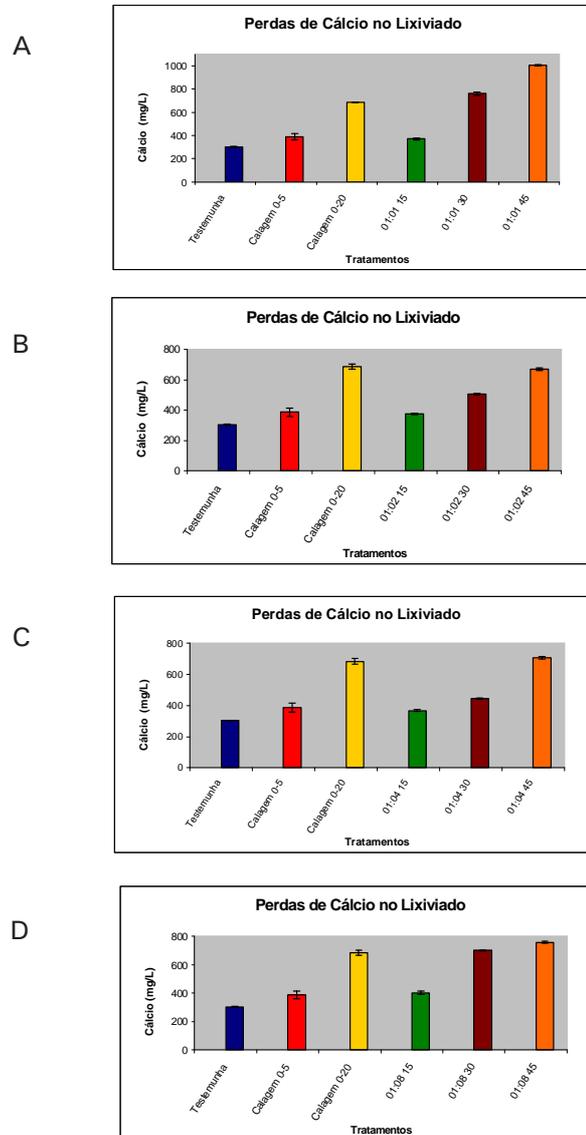
lado, os maiores valores de perdas de alumínio ocorreram no tratamento testemunha. As menores perdas de  $Al^{3+}$  foram encontradas para calagem 0-20 cm e 0-5 cm respectivamente. No caso da testemunha, o resultado está relacionado ao fato da testemunha apresenta maior concentração de alumínio em solução passível de ser transportada. As diferenças de perda de  $Al^{3+}$  em relação aos tratamentos testemunha frente à aplicação de óxido de magnésio e gesso, deve-se ao maior volume de solo corrigido, já que observou-se que o pH foi corrigido não só na camada onde foi aplicado, 0-5 cm, mas também em profundidade. Ressalta-se que a magnitude da perda dos cátions no lixiviado foi diferente e na seguinte ordem: alumínio < magnésio < cálcio. Analisando os resultados da distribuição de magnésio, cálcio e alumínio ao longo da coluna de solo e as perdas desses cátions no lixiviado, sugere-se a aplicação da dose de 45 kg/ha de óxido de magnésio com gesso, independente da proporção óxido de magnésio e gesso, dessa forma corrigiu o solo não só em superfície, mas em profundidade, elevando o pH, e reduzindo o alumínio a zero e condicionando o solo em profundidade. A proporção de óxido magnésio e gesso adequada deve ser recomendada mediante avaliação com culturas a campo, bem como a dose de 45 kg/ha deve ser avaliada para culturas em condições de campo para ser recomendada.



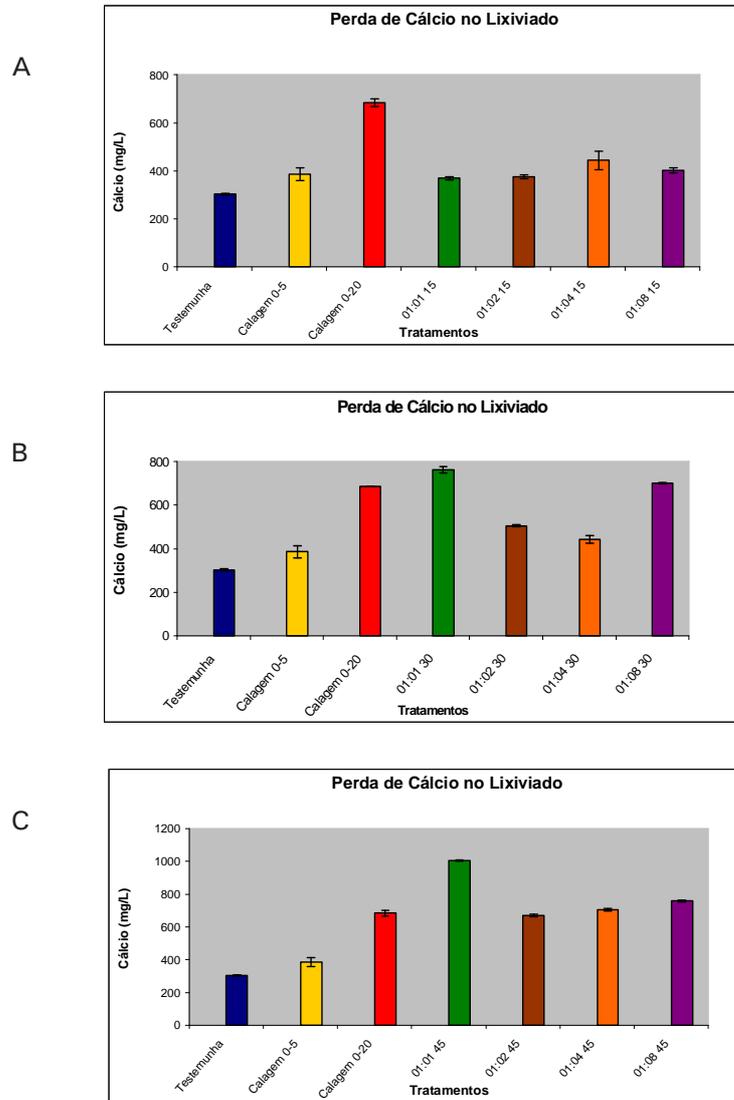
**Figura 11.** Perda de magnésio no lixiviado de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso de Rio Verde-GO em resposta a aplicação de doses de óxido de magnésio (15, 30 e 45 kg/ha) em combinação com gesso na proporção de 01:01 (A), 01:02 (B), 01:04 (C), 01:08 (D) e à aplicação de calcário de 0-5 cm e de 0-20 cm profundidade.



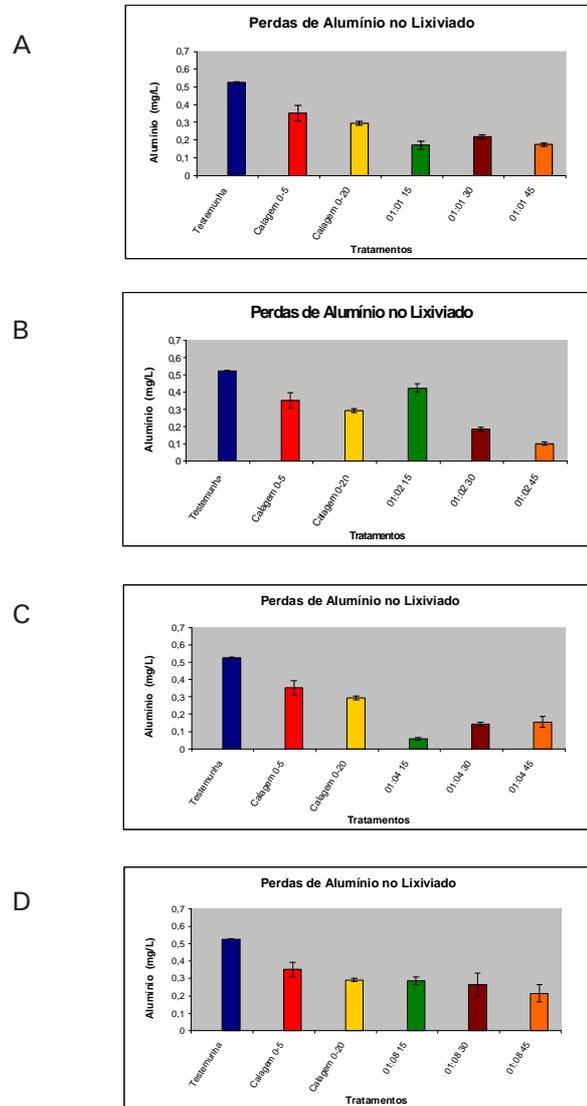
**Figura 12.** Perda de magnésio no lixiviado de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso de Rio Verde-GO em resposta a aplicação de proporções de óxido de magnésio e gesso (01:01, 01:02, 01:04 e 01:08) para as dose de 15 (A), 30 (B), (C) 45 kg/ha de óxido de magnésio e aplicação de calcário nas profundidades de 0-5 cm e 0-20 cm.



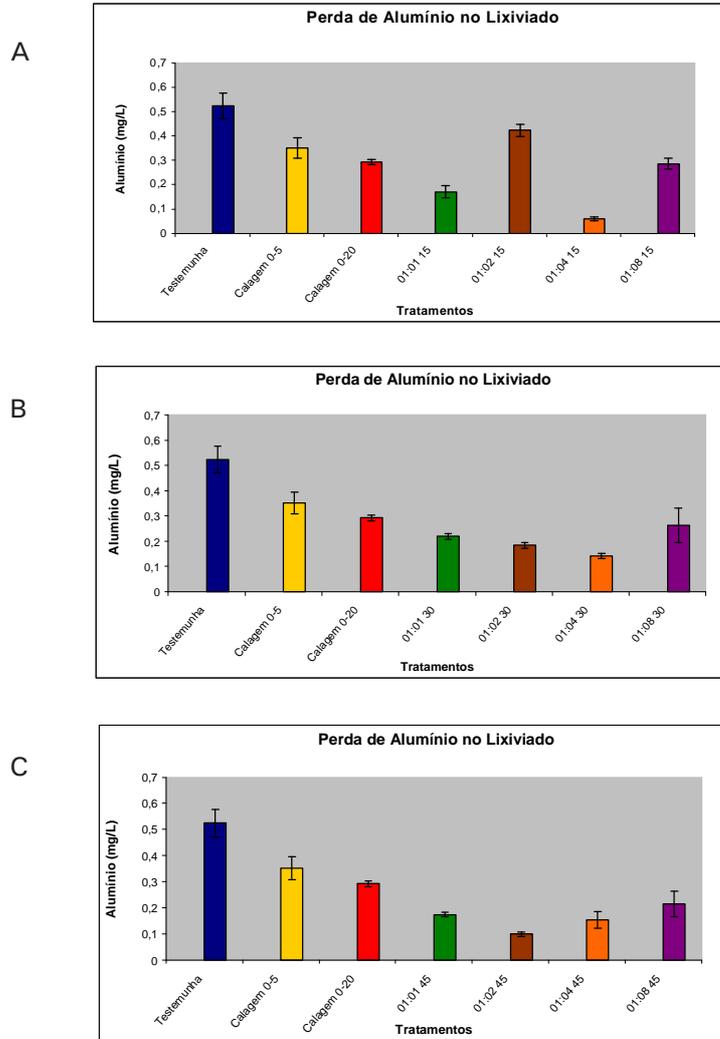
**Figura 13.** Perda de Cálcio no lixiviado de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso de Rio Verde-GO em resposta a aplicação de doses de óxido de magnésio (15, 30 e 45 kg/ha) em combinação com gesso na proporção de 01:01 (A), 01:02 (B), 01:04 (C), 01:08 (D) e à aplicação de calcário de 0-5 cm e de 0-20 cm profundidade.



**Figura 14.** Perda de cálcio no lixiviado de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso de Rio Verde-GO em resposta a aplicação de proporções de óxido de magnésio e gesso (01:01, 01:02, 01:04 e 01:08) para as doses de 15 (A), 30 (B), (C) 45 kg/ha de óxido de magnésio e aplicação de calcário nas profundidades de 0-5 cm e 0-20 cm.



**Figura 15.** Perda de Alumínio no lixiviado de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso de Rio Verde-GO em resposta a aplicação de doses de óxido de magnésio (15, 30 e 45 kg/ha) em combinação com gesso na proporção de 01:01 (A), 01:02 (B), 01:04 (C), 01:08 (D) e à aplicação de calcário de 0-5 cm e de 0-20 cm profundidade.



**Figura 16.** Perda de Alumínio no lixiviado de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso de Rio Verde-GO em resposta a aplicação de proporções de óxido de magnésio e gesso (01:01, 01:02, 01:04 e 01:08) para as dose de 15 (A), 30 (B), (C) 45 kg/ha de óxido de magnésio e aplicação de calcário nas profundidades de 0-5 cm e 0-20 cm.

## Considerações finais

- A distribuição de magnésio, cálcio e alumínio ao longo da coluna foi influenciada pelas doses de óxido de magnésio;
- a profundidade de correção do solo e ou condicionamento variou com a mobilidade do corretivo e com a dose de óxido de magnésio;
- a combinação óxido de magnésio:gesso na dose de 45 kg/ha corrigiu o solo em superfície (0-5 cm) e em profundidade a 47,5 cm, enquanto a correção com a calagem se restringiu a profundidade onde se aplicou esse corretivo (0-5 cm ou 0-20 cm);
- a proporção de óxido de magnésio:gesso não influenciou de forma expressiva a movimentação de cálcio e magnésio e as perdas de magnésio, cálcio e alumínio;
- as perdas de magnésio, cálcio e alumínio no lixiviado foram influenciadas pelas doses de óxido de magnésio combinadas com gesso e foram de baixa magnitude, sendo que a menor dose de óxido de magnésio (15 kg/ha) foi a que levou as menores perdas de magnésio, cálcio e alumínio;
- sugere-se que a dose de 45 kg/ha de óxido de magnésio seja avaliada quanto a resposta em produtividade de culturas no campo para que seja recomendada; a proporção de óxido de magnésio:gesso será aquela mais adequada às culturas no campo.

## Referências

DIAS, L. E. et al. Dinâmica de Algumas formas de enxofre em colunas de solos tratados com diferentes doses de fósforo e de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 1-8, 1994.

DONAGEMMA, G. K. **Distribuição de amônio, nitrato, potássio e fósforo em colunas de latossolos fertirrigadas**. 72 f. 2005. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Brasília: Embrapa Produção de Informação. 1997. 212 p.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos cerrados. **Relatório Técnico Anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1980/81**. Brasília, 1982, 163 p.

JUSCKSCH, I. **Calagem e dispersão de argila em amostra de um latossolo Vermelho-Escuro**. 1987. 37 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OLMOS, J. I. L.; CAMARGO, M. N. Ocorrência de alumínio tóxico no solo do Brasil, sua caracterização e distribuição. **Ciência e Cultura**. v. 28, p. 171-180, 1976.

PRADO, R. M. A calagem e as propriedades físicas de solos tropicais: revisão de literatura. **Revista Biociências**. v. 9, p. 7-16, 2003.

RAIJ, B. V. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1996. (Boletim técnico, 100).

RIBEIRO, A. C. et al. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG. 1999. 359 p. 5a. Aproximação.

SOUZA, D. M. G.; RITCHEY, K. D. Uso de gesso no solo de cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA. 1., 1985, Brasília, DF. **Anais...** Brasília: Embrapa, 1986. p. 119-144.

VITTI, G. C.; DONADIO, L. C. Correção do solo e micronutrientes. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUTIVIDADE DE CITRUS. 3., 1988, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: Funep, 1988. p. 163-183.

VITTI, G. C. Acidez do solo, calagem e gessagem. In: FERNANDES, F. M.; NASCIMENTO, V. M. **Curso de atualização em fertilidade do solo**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 303-319.

WEIRICH, C. J. **Calagem e dispersão de argila em Neossolo Quartzarênico**. 2005. 54 f. Monografia (Engenharia agrônômica) - Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá.

## **Agradecimento**

À Magnesita S.A pelo financiamento do projeto.