



**BÁRBARA ZINI RAMOS**

**ESPECIAÇÃO QUÍMICA DA SOLUÇÃO E  
MOBILIDADE DE BASES E SULFATO EM  
LATOSSOLO SOB ALTAS DOSES DE GESSO**

**LAVRAS – MG**

**2012**

**BÁRBARA ZINI RAMOS**

**ESPECIAÇÃO QUÍMICA DA SOLUÇÃO E MOBILIDADE DE BASES E  
SULFATO EM LATOSSOLO SOB ALTAS DOSES DE GESSO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. José Maria de Lima

**LAVRAS – MG**

**2012**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Ramos, Bárbara Zini.

Especiação química da solução e mobilidade de bases e sulfato em Latossolo sob altas doses de gesso / Bárbara Zini Ramos. – Lavras: UFLA, 2012.

96 p.: il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: José Maria de Lima.

Bibliografia.

1. Nutrientes. 2. Par iônico. 3. Lixiviação. 4. Solução do solo. 5. Cátions básicos. 6. Balanço nutricional. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.82

**BÁRBARA ZINI RAMOS**

**ESPECIAÇÃO QUÍMICA DA SOLUÇÃO E MOBILIDADE DE BASES E  
SULFATO EM LATOSSOLO SOB ALTAS DOSES DE GESSO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 17 de julho de 2012.

Dr. Carlos Alberto Silva	UFLA
Dr. Nilton Curi	UFLA
Dr. Ruy Carvalho	UFLA
Dra. Aline Renée Coscione Gomes	IAC

Dr. José Maria de Lima  
Orientador

**LAVRAS – MG**

**2012**

*Aos meus pais, Marcos e Rosana; ao meu irmão, Bruno e ao meu amor, Murilo,  
por TUDO que eles representam para mim.*

DEDICO

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, meu grande guia em todos os momentos, pela vida, pelas oportunidades e por sempre me atender nas horas e nos momentos certos.

Especial agradecimento a Fapemig, Capes, CNPq, Epamig, Empresa AP Romeiro e IAC, por bolsas de estudos e de pesquisa concedidas, apoio financeiro e suporte logístico.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), especialmente ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade de realizar o Doutorado. A todos os professores do departamento que contribuíram para o meu aprendizado e me ajudaram a estar aqui hoje.

A minha família que tanto amo: minha mãe e meu pai, pelo carinho, incentivo e pela força. Apesar das dificuldades, sempre me proporcionaram as oportunidades para que eu me tornasse a pessoa que eu sou. Ao meu irmão lindo, por TUDO que você representa para mim. A minha avó. Você sabe o quanto eu te amo e que você é tudo pra mim. Aos meus tios e primos, pela força, pelo amor, pelo carinho e pelo apoio que me deram durante essa jornada.

Ao meu amor, Murilo, que esteve sempre ao meu lado, me incentivando, me apoiando... Obrigada pela sua paciência, pelo seu carinho e amor para que este sonho fosse realizado.

Ao meu orientador, Dr. José Maria de Lima, pela paciência e por sempre me ajudar em todas as horas em que precisei, com muita atenção.

Aos doutores Paulo Gontijo, Nilton Curi, Geraldo César, Luiz Roberto, Carlos Alberto, Ruy Carvalho, Aline Coscione, Ana Rosa, Enio Costa e Milson Serafim, pelas sugestões, ensinamentos e auxílios.

Aos funcionários da Pós-Graduação.

Aos grandes amigos que conquistei e que sempre me acompanharam e me transformaram em uma pessoa melhor, obrigada pelos bons momentos e pela

força nos momentos difíceis: Daniele, Raquel, João Paulo, Jerusa, Carla, Maykom, Gabriela Pinheiro, Gabriela Camargos, Alisson, Paulinha, Paula Caruana, Anna, Mayesse, Bethânia, Evânia, Adriana, Ciro, Vitória, Vico, Manoel, Emmeline, Samara e Amanda.

Enfim, a todos que, de algum modo, contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

O “nãõ” eu já tenho.

Vamos à luta.



## RESUMO

Ao ser incorporado ao solo, o gesso sofre dissolução e o íon  $\text{SO}_4^{2-}$  pode reagir no complexo de troca do solo, formando pares iônicos neutros que apresentam grande mobilidade ao longo do perfil. A lixiviação de bases trocáveis é preocupante quando atinge a camada inferior àquela sob exploração do sistema radicular, significando perdas e desbalanço desses nutrientes. Assim, este estudo foi realizado com os objetivos de: i) avaliar o equilíbrio das espécies iônicas com cálcio, magnésio e sulfato na solução de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado com café, sob influência de elevadas doses de gesso (0, 7 e 56 t ha<sup>-1</sup>) e ii) avaliar o efeito dessas doses nos teores de cálcio, magnésio e potássio, e pH na solução do solo estudado e a possível lixiviação dessas bases para as camadas mais profundas do solo. As amostras de solos foram coletadas na área experimental localizada na Fazenda AP Família, no município de São Roque de Minas, MG. O solo é um Latossolo Vermelho distrófico típico de mineralogia gibbsítico-oxídico, altamente intemperizado, permeável e com textura muito argilosa, cultivado com cafés da cultivar Catucaí Amarelo Multilínea, desde outubro de 2008. Foram avaliados quatro tratamentos com três repetições, distribuídas em blocos ao acaso, conforme descrito a seguir: G-0: gesso no preparo (aplicação ocorreu em setembro de 2008, distribuído a lanço, na quantidade de 2 t ha<sup>-1</sup>) e sem gesso na linha de plantio; G-7: gesso no preparo e 7 t ha<sup>-1</sup> de gesso na linha de plantio; G-56: gesso no preparo e 56 t ha<sup>-1</sup> de gesso na linha de plantio, todos com braquiária nas entrelinhas de plantio e CV-7: ausência de braquiária na entrelinha, com gesso no preparo e 7 t ha<sup>-1</sup> de gesso na linha de plantio - estas doses de gesso foram aplicadas em maio de 2009, sete meses após o plantio; em cinco profundidades: 15-25 cm, 35-45 cm, 75-85 cm, 115-125 cm e 235-245 cm. No primeiro estudo verificou-se que as formas livres de  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  foram as espécies químicas predominantes na solução do solo. O  $\text{SO}_4^{2-}$  formou os pares  $\text{MgSO}_4^0$  e  $\text{CaSO}_4^0$ . Entretanto, a maior proporção foi ocupada pelo  $\text{CaSO}_4^0$  na profundidade 75-85 cm. Embora tenha ocorrido a lixiviação dos pares iônicos, até a época de amostragem para este estudo (16 meses após a aplicação de gesso) os mesmos se encontram a 75-85 cm de profundidade, não significando perdas de Ca e Mg da zona explorada pelas raízes do café. No segundo estudo, verificou-se que a adição de gesso reduziu o pH nas profundidades de 15-25 a 75-85 cm, e foi eficiente na melhoria do ambiente radicular no subsolo; aumentou a concentração de  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$ , mas reduziu gradativamente o  $\text{K}^+$  em profundidade.

Palavras-chave: Par iônico. Lixiviação de nutrientes. Solução do solo. Cátions básicos. Balanço nutricional.

## ABSTRACT

When incorporated into the soil, gypsum dissolves and the  $\text{SO}_4^{2-}$  ion can react in the soil exchange complex forming neutral ionic pairs that can leach in the soil profile. The leaching of exchangeable bases, associated with sulfate, is of concern if losses or imbalance of nutrients can take place in the soil. This study was conducted with the following objectives: i) to assess the balance of the ionic species with calcium, magnesium and sulfate in the soil solution of a dystrophic Red Latosol (Oxisol) cultivated with coffee, under the influence of high doses of gypsum (0, 7 and 56 t ha<sup>-1</sup>) and ii) to evaluate the effect of those doses of gypsum on the leaching of calcium, magnesium and potassium, after sixteen months of gypsum addition to the soil. Soil samples were collected in an experimental area in the AP Family Farm, in São Roque de Minas- MG. The soil is a dystrophic Red Latosol (Oxisol) typical, gibbsitic-oxidic mineralogy, cultivated with coffee plants of Yellow Multilínea Catuaí since Oct. 2008. We evaluated four treatments with three replicates, in a randomized block design: G-0: 2 t ha<sup>-1</sup> of gypsum, applied during soil preparation, without gypsum in the row, G-7: 2 t ha<sup>-1</sup> of gypsum, applied during soil preparation, and 7 t ha<sup>-1</sup> gypsum in the plant row, G-56: 2 t ha<sup>-1</sup> of gypsum, applied during soil preparation, and 56 t ha<sup>-1</sup> gypsum in the plant row, all of these treatments had Brachiaria planted in between the plant rows. The other treatment had no brachiaria in between the plant rows, which was the CV-7: 2 t ha<sup>-1</sup> of gypsum, applied during soil preparation, and 7 t ha<sup>-1</sup> gypsum in the plant row. The gypsum in the plant rows was applied seven months after planting the coffee seedlings. Soil was sampled sixteen months after applying the gypsum, at 15-25, 35-45, 75-85, 115-125 and 235-245 cm depths. It was found that the free forms of  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  and  $\text{Mg}^{+2}$  were the predominant chemical species in the soil solution. The  $\text{SO}_4^{2-}$  formed ionic pairs such as  $\text{MgSO}_4^0$  and  $\text{CaSO}_4^0$ ; the highest proportion was found for  $\text{CaSO}_4^0$  at 75-85 cm depth. The leaching of these ionic pairs reached to the depth of 75-85 cm, and created a better soil condition for the coffee root system to grow deeper into the soil profile. It was also found that gypsum reduced the pH and the amount of K at 15-25 to 75-85 cm depths.

Keywords: Ion pair. Leaching of nutrients. Soil solution. Basic cations. Nutrient balance.

## SUMÁRIO

	<b>PRIMEIRA PARTE</b> .....	11
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	14
<b>2.1</b>	<b>A Cultura cafeeira</b> .....	14
<b>2.2</b>	<b>O gesso agrícola</b> .....	17
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS</b> .....	22
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	24
	<b>SEGUNDA PARTE</b> .....	32
	<b>ARTIGO 1</b> Especiação química da solução de um Latossolo cultivado com cafeeiro e sob influência de altas doses de gesso .....	32
	<b>ARTIGO 2</b> Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e pH da solução de um Latossolo Vermelho distrófico .....	60

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO

A acidez dos solos, quando elevada, é fator limitante ao desenvolvimento e à produção da maioria das plantas cultivadas em várias partes do mundo (WUTKE; GARGANTINI, 1962). Os solos podem ser naturalmente ácidos em razão da pobreza do material de origem em Ca, Mg e K, denominados de cátions básicos, ou devido a processos de formação ou de manejo que levam à perda dessas bases para camadas mais profundas do solo, fora do alcance das raízes e, portanto, à acidificação (QUAGGIO, 2000).

Nos solos da região do Cerrado, a deficiência de Ca, associada ou não à toxidez de alumínio (Al), não ocorre apenas na camada arável, mas também abaixo dela. Para superar esse problema na camada arável, é utilizada, com sucesso, a calagem. No entanto, a calagem não corrige a acidez e a deficiência de Ca em subsuperfície, podendo, essa acidez, comprometer a produtividade das culturas (SOUZA; LOBATO; REIN, 2005). Elevados teores de Al tóxico e/ou quantidades inadequadas de Ca no subsolo restringem o alongamento das raízes das plantas e diminuem a capacidade da cultura de explorar as reservas de água e nutrientes, resultando em perdas de rendimento (SHAMSHUDDIN; FAUZIAH, 2010; SUN et al., 2000).

O cafeeiro é uma planta muito exigente em bases, sendo o Ca e o Mg normalmente fornecidos pelos corretivos (MARQUES; FAQUIN; GUIMARÃES, 1999). Entretanto, no caso de cafezais já formados, a incorporação de corretivos é inviável (MALAVOLTA; FERNANDEZ; ROMERO, 1993). Nesse caso, a aplicação de gesso agrícola, um subproduto da indústria de ácido fosfórico que contém principalmente sulfato de Ca e pequenas concentrações de fósforo (P) e flúor (F) (CAIRES et al., 2003), é uma alternativa

para reduzir os teores de Al tóxico e fornecer  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  em profundidade e, dessa maneira, propiciar melhorias do ambiente radicular em subsuperfície e aumentar o aproveitamento de água pelas raízes das plantas. Tendo em vista o elevado percentual de solos ácidos e profundos no Brasil, este resíduo é considerado como atenuante da escassez de água para as plantas, particularmente na região dos Cerrados (SERAFIM et al., 2011), onde a incidência de veranicos e o déficit hídrico são maiores.

Na prática, elevada saturação por alumínio e deficiência de cálcio são os dois indicadores utilizados para diagnosticar a presença da barreira química em subsolos e para a tomada de decisão sobre aplicar ou não o gesso (RAIJ, 2012). A decisão sobre o uso do gesso agrícola deve sempre ser feita com base no conhecimento de algumas características químicas e na textura das camadas subsuperficiais do solo (20 a 40 cm e 30 a 60 cm). Há maior probabilidade de resposta ao gesso quando a saturação por  $\text{Al}^{3+}$  for maior do que 30%, o teor de Al for maior do que  $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  ou o teor de Ca for menor do que  $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (COELHO et al., 2007; GUIMARÃES et al., 1999). O gesso pode ser aplicado a lanço, em área total, sem necessidade de incorporação, no preparo de covas para culturas perenes ou em linhas de plantio (NUTRION, 2012).

O uso de doses inadequadas de gesso, todavia, pode provocar desbalanços entre as bases do solo, por elevar muito os teores de Ca em relação aos de Mg e K, induzindo a deficiência nutricional desses últimos, com reflexos na produtividade das culturas, principalmente na cultura do cafeeiro (MARQUES; FAQUIN; GUIMARÃES, 1999; TOMAZ et al., 2003). Além disso, o sulfato, proveniente do gesso, geralmente não é retido na camada superficial do solo e, dessa maneira, é lixiviado, carreando perfil abaixo quantidade equivalente de cátions, em função da formação de pares iônicos neutros que, devido à sua neutralidade, apresentam grande mobilidade. Isso ocasiona deslocamento vertical de cátions para as camadas mais profundas,

podendo ser encontrados abaixo daquelas camadas exploradas pelas raízes (CREMON et al., 2009; DIAS, 1992; NEIS et al., 2010; PEREIRA, 2007; RAIJ, 2008).

A especiação da solução do solo vem sendo utilizada para determinar a concentração e a distribuição dos elementos químicos em suas várias formas e os seus possíveis estados de oxidação. Essa distribuição inclui íons livres, complexos, pares iônicos e quelatos em solução que influenciam a reatividade, a mobilidade e a disponibilidade dos elementos para as plantas (PEREIRA, 2005).

A atividade e a distribuição das espécies de um dado elemento químico em solução podem ser estimadas com o auxílio de “softwares” específicos, como o Visual Minteq (GIROTTI et al., 2010; GUSTAFFSON, 2012). Para tal, é necessária a caracterização completa da solução em estudo, especialmente quantificando a concentração de íons, pH e teor de carbono orgânico dissolvido.

Diante disso, o presente trabalho foi desenvolvido com os objetivos de avaliar o balanço das espécies iônicas na solução de um Latossolo Vermelho distrófico, sob cultura cafeeira, sob influência de doses elevadas de gesso e o efeito dessas doses nos teores de cálcio, magnésio, potássio e no pH da solução e a possível lixiviação dessas bases para as camadas mais profundas do solo.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Nesse tópico são exploradas algumas informações sobre a cultura cafeeira e ao uso do gesso agrícola, dando enfoque ao estudo da lixiviação das bases trocáveis através da simulação química da solução do solo e a importância do balanço nutricional entre cálcio, magnésio e potássio.

### **2.1 A cultura cafeeira**

Com uma produção anual, em média, de 1,3 milhão de toneladas de café e uma parcela de aproximadamente 30% do mercado internacional, o Brasil é o principal produtor e exportador de café do mundo, seguido por Vietnã, Colômbia e Indonésia. Entre 10% e 30% da safra anual permanecem no país, o que faz do Brasil o segundo maior consumidor mundial de café, atrás apenas dos Estados Unidos (COFFEE BUSINESS, 2012).

No período compreendido entre novembro de 2010 e outubro de 2011, a Associação Brasileira da Indústria de Café, a ABIC, registrou o consumo de 19,7 milhões de sacas, representando um acréscimo de 3,1% em relação ao período anterior correspondente. Para 2012, a ABIC projeta um crescimento de 3,5% em volume, o que elevaria o consumo para 20,4 milhões de sacas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ - ABIC, 2012).

As regiões centro-oeste e sul de Minas Gerais são as maiores produtoras de café do estado e do Brasil, respondendo por 51,5% da produção mineira e 26,8% da produção nacional, sendo de relevância social devido à geração de empregos e ao fato de proporcionar a fixação de mão de obra no meio rural (CAIXETA, 1995; COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2012; ROMANIELLO; AMÂNCIO; BENEDICTO, 2007). Portanto, a influência do solo na expansão e no desenvolvimento de cafezais é notória.

Durante muito tempo, o cafeeiro foi considerado, pelos técnicos, como sendo uma planta exigente em solos ricos em matéria orgânica, acreditando-se que a falta dela era o principal obstáculo para a restauração das lavouras decadentes (LAZZABINI et al., 1975). Em experimentos realizados em meados da década de 1950, ficou evidenciada, desde as primeiras produções, a viabilidade econômica do emprego exclusivo de adubos minerais para o cafeeiro. Desde então, ele é considerado uma planta extremamente delicada e exigente em atributos físicos e químicos do solo, requerendo solos profundos, porosos, bem drenados, com boa retenção de umidade e teores de macro e micronutrientes distribuídos de forma adequada ao longo do perfil do solo (MATIELLO; GARCIA; ALMEIDA, 2008; SEDIYAMA et al., 2001).

Além disso, as condições físico-hídricas são de extrema importância, considerando que a planta necessita retirar do solo uma grande quantidade de água para suportar a produção de frutos. Chuvas anuais de 1.200 mm podem ser consideradas adequadas ao bom desenvolvimento dos cafés arábico e conilon (MATIELLO, 1991; SANTINATO; FERNANDES; FERNANDES, 1996) e temperatura média anual entre 18,0 e 23,5 °C é a faixa térmica favorável à cafeicultura (SEDIYAMA et al., 2001). Segundo Camargo et al. (1974) e Sedyama et al. (2001), o abortamento floral dos cafeeiros e a baixa frutificação poderão ocorrer quando a temperatura for igual ou superior a 34 °C e quando a deficiência hídrica for inferior a 150 mm. Estas faixas são consideradas inaptas e, dessa maneira, diminuem consideravelmente a produtividade cafeeira.

A cafeicultura, nas regiões centro-oeste e sul de Minas Gerais, está implantada, em sua maior parte, no Cerrado. Fatores adversos à cafeicultura nos cerrados, como a má distribuição de chuvas no decorrer do ano, a deficiência hídrica no período da seca e a deficiência generalizada de nutrientes, restringem a frutificação, resultando em baixa produtividade e qualidade do produto (NAZARENO et al., 2003; SERAFIM et al., 2011).



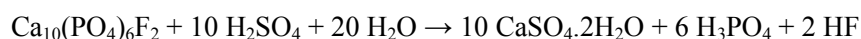
Portanto, o fornecimento de nutrientes, por meio da adubação e da calagem adequados ao solo, o controle fitossanitário e a mecanização são muito importantes para o sucesso da cafeicultura, quando se quer corrigir a camada superficial do solo (RAIJ, 2008). Entretanto, essas limitações encontradas nos solos de cerrado vão além da camada arável, atingindo as camadas subsuperficiais, que impedem a maximização das produções, por limitar o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, a utilização de água e de nutrientes em profundidade (SILVA et al., 1998). Dessa maneira, o gesso agrícola tem sido utilizado em solos ácidos como um produto complementar ao calcário, para reduzir a fitotoxicidade do  $Al^{3+}$  e aumentar a concentração de  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $SO_4^{2-}$  em profundidade. Faria, Costa e Faria (2003) verificaram que a calagem e a gessagem promoveram incremento nos níveis de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  e reduziram o teor de  $Al^{3+}$  do solo. Rosa Júnior et al. (2006), ao estudarem o efeito do uso de calcário e do gesso sobre alguns atributos do solo, observaram que houve aumento significativo na capacidade de troca de cátions.

Nos últimos anos, surgiu um sistema intensivo de cultivo de cafeeiros, que foi desenvolvido e vem sendo praticado na região fisiográfica do Alto São Francisco, MG, em propriedades dos municípios de São Roque de Minas, Vargem Bonita e Piumhi, além de outras regiões nos estados de Minas Gerais e São Paulo, que foi denominado, por seus criadores, como Sistema AP Romero (SERAFIM et al., 2011). Esse sistema caracteriza-se, principalmente, pela aplicação de elevadas doses de gesso agrícola, que chegam, normalmente, a  $28\text{ t ha}^{-1}$  numa operação conhecida como “irrigação branca” e cultivo de braquiária nas entrelinhas dos cafeeiros. O gesso potencializa o aprofundamento do sistema radicular e a braquiária nas entrelinhas da lavoura aumenta a cobertura do solo, incrementando o teor de matéria orgânica e possibilitando maior infiltração da água das chuvas e o uso mais eficiente da água pela cultura, mitigando efeitos de secas prolongadas.

Apesar dos notáveis resultados positivos apresentados pelo sistema intensivo de cultivo de cafeeiros, como se pode observar no trabalho de Serafim et al. (2011), ainda faltam muitas informações no que se refere, particularmente, ao uso de altas doses de gesso no cafeeiro, sendo imprescindível a realização de estudos que possam desvendar os fundamentos destes efeitos, principalmente do ponto de vista químico.

## 2.2 O gesso agrícola

Gesso agrícola é, basicamente, o sulfato de cálcio di-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Para a produção de ácido fosfórico, as indústrias de fertilizantes utilizam, como matéria-prima, a rocha fosfática (apatita) que, ao ser atacada por ácido sulfúrico + água, produz, como subproduto da reação, o sulfato de cálcio (gesso agrícola) e o ácido fluorídrico (DIAS, 1992; MASCHIETTO, 2009; PINTO, 1989). De forma simplificada, essa reação pode ser representada por



A composição química média do gesso agrícola inclui S (17,7%), CaO (30,9%), F (0,2%) e  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0,7%). As principais empresas que produzem o gesso agrícola são a Ultrafertil (Piaçaguera), a Copebrás e a Anglo American Brasil (Cubatão), e a Quimbrasil (Jacupiranga) em São Paulo; a Fosfertil e a Agronelli (Uberaba), em Minas Gerais; a ICC (Imbituba), em Santa Catarina; a Nutrion (Catalão), em Goiás e a Caraíba Metais (Camaçari), na Bahia (BELCHIOR et al., 2010; DIAS, 1992). Na fabricação do ácido fosfórico são produzidas, em média, de cinco a onze toneladas de gesso para cada tonelada de  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , dependendo da composição da rocha fosfática (BLUM, 2008; MASCHIETTO, 2009). Portanto, por ser um subproduto da indústria de fertilizantes fosfatados, o

gesso agrícola é comercializado a baixo custo e, por isso, é acessível para o produtor rural (CUSTÓDIO et al., 2005).

O uso do gesso agrícola como corretivo de solos para agricultura no Brasil remonta ao início da década de 1980, quando a descoberta do seu efeito peculiar ocorreu por acaso, durante uma comparação de fosfatos (superfosfato triplo - ST e superfosfato simples - SS), em solos de cerrados sob cultura de milho. Os pesquisadores verificaram que, durante um dos veranicos da região, nas parcelas do tratamento com ST, as plantas de milho ficavam murchas, enquanto no tratamento SS estavam túrgidas, por terem ocorrido maior aprofundamento radicular e maior extração de água. Além disso, as camadas mais profundas do solo tratado com SS continham menos Al e mais Ca. Como o SS difere do ST pelo gesso que contém, os efeitos observados foram atribuídos a esse componente do adubo (RAIJ, 2008; RITCHEY et al., 1980).

A calagem é uma prática essencial para a garantia do sucesso da produtividade das culturas, tendo como benefícios a neutralização da acidez do solo, o fornecimento de Ca e Mg e a redução da toxidez de Al (COSTA, 2011). Entretanto, a calagem somente produzirá esse efeito em subsuperfície na agricultura convencional, em que a incorporação de calcário no solo ocorre com aração e gradagem, ou seja, o solo é submetido a frequentes revolvimentos. Todavia, além de se contrapor aos fundamentos do plantio direto, podendo interferir negativamente nos benefícios proporcionados pela supressão de mobilizações do solo, a calagem profunda é impraticável, do ponto de vista econômico (RAIJ, 2008).

O gesso agrícola, após ser aplicado ao solo e por ser um sal solúvel em água, dissolve com a água de chuva e penetra facilmente no subsolo, favorecendo o aprofundamento das raízes, permitindo que as plantas superem veranicos e usem com eficiência os nutrientes aplicados no solo. O gesso, portanto, é um insumo importante no manejo da fertilidade do subsolo na

agricultura conservacionista (RAIJ, 2008; SOUZA; LOBATO; REIN, 2005). Entretanto, o gesso não corrige a acidez, isto é, não aumenta o pH do solo, pois é um sal neutro. Assim, não substitui o calcário, mas complementa o seu efeito, reduzindo a fitotoxicidade do  $\text{Al}^{3+}$  e aumentando a concentração de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ , em profundidade (ERNANI; RIBEIRO; BAYER, 2001; RAMPIM et al., 2011; VELOSO et al., 1992).

No entanto, alguns trabalhos demonstraram que a aplicação do gesso promoveu o aumento do pH do solo, principalmente em subsuperfície (BLUM, 2008; CAIRES et al., 2003, 2004, 2006; CAMARGO; RAIJ, 1989; CARVALHO; RAIJ, 1997; QUAGGIO et al., 1993; RAIJ et al., 1994). O efeito do gesso na redução da acidez do solo pode ser explicado pelo mecanismo chamado de “autocalagem”, na qual a  $\text{OH}^-$  é substituída pelo  $\text{SO}_4^{2-}$ , mediante troca de ligantes na superfície dos óxidos hidratados de ferro e alumínio, seguida pela precipitação do  $\text{Al}^{3+}$ , como  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , na solução do solo (REEVE; SUMNER, 1972).

Ao contrário dos metais alcalinos, cujas bases são todas fortes, com grau de dissociação em água superior a 90% (MAHAN, 2003), os alcalinos terrosos, como é o caso do Ca e Mg, formam bases de dissociação mais lenta. Assim, é razoável supor que, uma vez dissociado em  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  em água, o  $\text{Ca}^{2+}$  sofra hidrólise. Ou seja, retira íons  $\text{OH}^-$  do equilíbrio iônico de dissociação das moléculas  $\text{H}_2\text{O}$ , fazendo prevalecer no meio aquoso maior atividade do íon  $\text{H}^+$ .

Ao ser incorporado ao solo, o gesso agrícola sofre dissolução e o íon  $\text{SO}_4^{2-}$  pode reagir no complexo de troca do solo, formando  $\text{AlSO}_4^+$  (que é menos tóxico às plantas) e os pares iônicos neutros, como  $\text{K}_2\text{SO}_4^0$ ,  $\text{MgSO}_4^0$  e  $\text{CaSO}_4^0$ , que apresentam grande mobilidade ao longo do perfil, ocasionando uma descida de cátions para as camadas mais profundas do solo (DIAS, 1992; CREMON et al 2009). Entretanto, essa lixiviação das bases trocáveis é preocupante quando

atinge a camada inferior àquela sob exploração do sistema radicular, significando perdas deste nutriente (CAIRES et al., 2003; RAIJ, 2008).

Esses pares iônicos podem ser determinados por meio do estudo da especiação iônica da solução do solo que, além de determinar as espécies que são disponíveis para as plantas, a mobilidade dos elementos na solução do solo, também promove a determinação das formas trocáveis (BARRA et al., 2000; HILL, 1997; TACK; VERLOO, 1995; ZAMBROSI; ALLEONI; CAIRES, 2007). A estimativa da atividade e da especiação química dos íons em solução geralmente é efetuada por meio de programas computacionais, como o Visual Minteq (GUSTAFFSON, 2012).

O termo especiação é empregado para indicar a distribuição dos elementos entre as suas várias formas físicas e químicas e seus possíveis estados de oxidação. Essa distribuição, portanto, inclui íons livres, complexos, pares iônicos e quelatos em solução e na fase sólida amorfa ou cristalina, que influenciam a reatividade, a mobilidade e a disponibilidade dos elementos (ABREU; ABREU; BERTON, 2002).

A preferência das plantas por absorver cátions livres em solução dá-se pelo fato de as células das raízes possuírem um potencial negativo ao longo da membrana celular, que favorece a absorção de espécies catiônicas. Por outro lado, cátions complexados têm suas cargas positivas reduzidas, neutralizadas ou podem até apresentar carga negativa, impedindo, dessa maneira, os cátions de participar de outras reações na solução do solo. Com relação à absorção de ânions, aqueles que exibem comportamento de ácidos ou bases fracos têm mostrado ser dependentes do pH e do efeito deste na especiação. O potencial interno das células das raízes faz com que a entrada de ânions seja um transporte “morro acima” e, dessa forma, qualquer redução na carga negativa do ânion diminui a barreira de energia potencial para a sua entrada na célula (MATTIAZO; BERTON; CRUS, 2001; ABREU; ABREU; BERTON, 2002).

A presença de nutrientes essenciais em quantidades adequadas em um solo não assegura a sua disponibilidade para as culturas, pois outros fatores, como deficiência hídrica, temperatura, pH e presença de nutrientes tóxicos ou sais, podem limitar essa disponibilidade (OLIVEIRA et al., 2009). Várias interações também podem ocorrer entre os nutrientes na solução do solo, afetando a disponibilidade, como antagonismo, inibição competitiva e não competitiva, além de sinergismo (MALAVOLTA, 2006).

Aplicações elevadas de gesso agrícola em solos agriculturáveis elevam significativamente os teores de Ca na solução do solo, ocorrendo, dessa maneira, alterações nas relações entre Ca, Mg e K, devido à inibição competitiva e, assim, resultando em desbalanço entre esses cátions no solo, prejudicando o desenvolvimento das culturas (MARQUES; FAQUIN; GUIMARÃES, 1999). Isso ocorre porque como o K é monovalente, é menos retido no complexo de troca do solo do que o Ca e o Mg, que são divalentes. Por outro lado, o Ca, como tem grau de hidratação menor do que o Mg, fica mais fortemente retido no solo, portanto, em solos cultivados, aplicações de doses elevadas de gesso podem resultar em alterações nas relações entre os cátions básicos, cuja volta às condições de equilíbrio requer tempo prolongado, às vezes até anos (QUAGGIO, 2000).

O desbalanço entre  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  no solo como consequência das aplicações elevadas de gesso pode ser razoavelmente explicado pelas relações de tamanho (raio iônico de Pauling: 0,99 Å, 0,65 Å e 1,33 Å, respectivamente para  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ ) e densidade de carga (relação carga/raio) de cada espécie (2,02; 3,07 e 0,75, respectivamente para  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ ) (MAHAN, 2003). Quanto maior a densidade de carga, mais intensa será a ligação iônica do cátion com íons de cargas opostas, como  $\text{OH}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ . Portanto, a facilidade de formação de sulfatos percoláveis no solo diminui na seguinte ordem:  $\text{MgSO}_4 < \text{CaSO}_4 <$

$K_2SO_4$ , que poderá alterar-se em função de incrementos na adição de gesso agrícola ou de fatores decorrentes da heterogeneidade do sistema solo.

### **3 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

O efeito do uso do gesso tem se mostrado muito positivo, particularmente no que se refere ao uso eficiente da água do solo, com maior exploração do sistema radicular em profundidade, além do fornecimento de cálcio e sulfato em subsuperfície. Contudo, ainda faltam muitas informações, no que se refere ao uso de altas doses deste produto na cultura do cafeeiro, principalmente do ponto de vista químico.

Desse modo, estudos que identificam e quantificam os efeitos causados ao longo do tempo pela excessiva adição de gesso, e em particular estudos da lixiviação dos pares iônicos em subsuperfície, são imprescindíveis, principalmente do ponto de vista nutricional para as plantas.



## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. **Indicadores da indústria de café no Brasil**: 2010. Disponível em: <<http://www.abic.com.br/estatisticas>>. Acesso em: 20 abr. 2012.

ABREU, C. A.; ABREU, M. F.; BERTON, R. S. Análise química de solo para metais pesados. In: ALVAREZ, V. H. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p. 646-692.

BARRA, C. M. et al. Especiação de arsênio: uma revisão. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 58-69, mar./abr. 2000.

BELCHIOR, E. B. et al. **Avaliação dos impactos do uso do gesso agrícola na cultura de soja em algumas áreas do Cerrado**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2010. 34 p.

BLUM, S. C. **Atributos químicos de um Latossolo e comportamento do trigo e da soja no sistema plantio direto influenciados pela aplicação e reaplicação de gesso agrícola**. 2008. 74 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

CAIRES, E. F. et al. Alterações químicas no solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 275-286, abr. 2003.

\_\_\_\_\_. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 125-136, out. 2004.

\_\_\_\_\_. Soybean yield and quality as a function of lime and gypsum applications. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 4, p. 370-379, jul./ago. 2006.

CAIXETA, G. Z. C. **Cenário futuro do negócio agrícola de Minas Gerais: cenário futuro para a cadeia produtiva de algodão em Minas Gerais.** Belo Horizonte: SEAPA, 1995. 49 p.

CAMARGO, A. P. de et al. Aptidão climática de culturas agrícolas. In: SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura. **Zoneamento agrícola do Estado de São Paulo.** São Paulo, 1974. p. 109-150.

CAMARGO, O. A.; RAIJ, B. van. Movimento do gesso em amostras de Latossolos com diferentes propriedades eletroquímicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 13, n. 6, p. 275-280, fev. 1989.

CARVALHO, M. C. S.; RAIJ, B. van. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant and Soil**, The Hague, v. 192, n. 4, p. 37-48, May 1997.

COELHO, A. M. et al. **Sistemas de produção 1: cultivo do milho.** 3. ed. Brasília: EMBRAPA/CNPMS, 2007. Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho\\_3ed/feraduba.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_3ed/feraduba.htm)>. Acesso em: 8 mar. 2012.

COFFEE BUSINESS. **Cafeicultura no Brasil.** Disponível em: <<http://www.coffeebusiness.com.br/>>. Acesso em: 16 abr. 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira café: safra 2011 quarta estimativa.** Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/aceso>>. Acesso em: 17 abr. 2012.

COSTA, C. H. M. **Efeito residual da aplicação superficial de calcário e gesso nas culturas de soja, aveia-preta e sorgo granífero.** 2011. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrônômicas) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

CREMON, C. et al. Análise micromorfológica de agregados de um Latossolo Vermelho Distroférico em diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 1, p. 139-146, mar. 2009.

CUSTÓDIO, D. P. et al. Avaliação do gesso no desenvolvimento e produção do capim tanzânia. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 6, n. 1, p. 27-34, mar. 2005.

DIAS, L. E. **Uso de gesso como insumo agrícola**. Seropédica: EMBRAPA-CNPBS, 1992. 6 p.

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 4, p. 825-831, dez. 2001.

FARIA, C. M. B.; COSTA, N. D.; FARIA, A. F. Ação de calcário e gesso sobre características químicas do solo e na produtividade e qualidade do tomate e melão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 4, out./dez. 2003. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-05362003000400007](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362003000400007)>. Acesso em: 10 mar. 2012.

GIROTTI, E. et al. Formas de perdas de cobre e fósforo em água de escoamento superficial e percolação em solo sob aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 9, p. 1948-1954, set. 2010.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ VIEGAS, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 289-302.

GUSTAFFSON, J. P. **Visual Minteq, version 3.0 beta 2010**. Disponível em: <<http://www2.lwr.kth.se/English/OurSoftware/vminteq/>>. Acesso em: 2 fev. 2012.

HILL, S. J. Speciation of trace metals in the environment. **Chemical Society Reviews**, London, v. 26, n. 6, p. 14-20, June/Aug. 1997.

LAZZABINI, W. et al. Cultivo de café em Latossolo Vermelho-Amarelo da região de batatais, SP. **Bragantia**, Campinas, v. 34, n. 14, p. 229-239, ago. 1975.

MAHAN, B. M. **Química**: um curso universitário. 6. ed. São Paulo: E. Blücher, 2003. 581 p.

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

MALAVOLTA, E.; FERNANDEZ, D. R.; ROMERO, J. P. Seja doutor do seu cafezal. **Informações Agrônomicas**, Campinas, v. 64, n. 2, p. 1-13, dez. 1993.

MARQUES, E. S.; FAQUIN, V.; GUIMARÃES, P. T. G. Teores foliares de nutrientes no cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em resposta a calcário e gesso. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 1, p. 140-151, jan./mar. 1999.

MASCHIETTO, E. H. G. **Gesso agrícola na produção de milho e soja em solo de alta fertilidade e baixa acidez em subsuperfície em plantio direto**. 2009. 56 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2009.

MATIELLO, J. B. **O café**: do cultivo ao consumo. São Paulo: Globo, 1991. 320 p.

MATIELLO, J. B.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R. **Adubação racional na lavoura cafeeira**. Varginha: PROCAFÉ, 2008. 54 p.

MATTIAZZO, M. E.; BERTON, R. S.; CRUZ, M. C. P. Disponibilidade e avaliação de metais pesados potencialmente tóxicos. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. V.; ABREU, C. A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal, SP: Potafos, 2001. p. 213-234.

NAZARENO, R. B. et al. Crescimento inicial do cafeeiro Rubi em resposta a doses de nitrogênio, fósforo e potássio e a regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 903-910, ago. 2003.

NEIS, L. et al. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 2, p. 409-416, fev. 2010.

NUTRION. **Gesso agrícola**. Disponível em:  
<[http://www.nutrion.com.br/Nutrion\\_Gesso.asp](http://www.nutrion.com.br/Nutrion_Gesso.asp)>. Acesso em: 2 maio 2012.

OLIVEIRA, A. R. et al. Absorção de nutrientes e resposta à adubação em linhagens de tomateiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 4, p. 498-504, out./dez. 2009.

PEREIRA, B. F. F. **Potencial fitorremediador das culturas de feijão-de porco, girassol e milho cultivadas em Latossolo Vermelho contaminado com chumbo**. 2005. 68 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical/Gestão de Recursos Agroambientais) - Instituto Agrônomo, Campinas, 2005.

PEREIRA, F. R. D. S. **Gesso de minério associado a fontes de fósforo na cultura do milho em sistema plantio direto no estado de Alagoas**. 2007. 67 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

PINTO, M. B. A. B. A. **Efeito residual da calagem, adubação fosfatada corretiva e gesso agrícola na dinâmica de bases e características químicas do solo e subsolo**. 1989. 96 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1989.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111 p.

QUAGGIO, J. A. et al. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 3, p. 375-383, mar. 1993.

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

RAIJ, B. van. **O uso do gesso na agricultura**. Disponível em: <[http://www.ipni.com.br/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/d20fb44d85259bf7032572530062870e/\\$FILE/Parte-Bernardo.pdf](http://www.ipni.com.br/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/d20fb44d85259bf7032572530062870e/$FILE/Parte-Bernardo.pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2012.

RAIJ, B. van et al. Efeito de calcário e de gesso para soja cultivada em latossolo roxo ácido saturado com sulfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 18, p. 305-312, abr. 1994.

RAMPIM, L. et al. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 5, p. 1687-1698, set./out. 2011.

REEVE, N. G.; SUMNER, M. E. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface applied amendments. **Agrochimophysics**, Melbourne, v. 4, n. 2, p. 1-6, Oct./Dec. 1972.

RITCHEY, K. D. et al. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, n. 6, p. 40-44, Oct. 1980.

ROMANIELLO, M.; AMÂNCIO, R.; BENEDICTO, S. C. Avaliação do programa de gestão inter-institucional circuito sul mineiro de cafeicultura na região sul do Estado de Minas Gerais. **Revista de Administração Contemporânea**, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 119-137, jan./mar. 2007.

ROSA JÚNIOR, E. J. et al. Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 1, p. 37-44, mar. 2006.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 146 p.  
SEDIYAMA, G. C. et al. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 501-509, ago./dez. 2001.

SERAFIM, M. E. et al. Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do alto São Francisco, MG: um estudo de caso. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 6, p. 964-977, nov./dez. 2011.

SHAMSHUDDIN, J.; FAUZIAH, I. C. Alleviating acid soil infertility constrains using basalt, ground magnesium limestone and gypsum in a tropical environment. **Malaysian Journal of Soil Science**, Selangor Darul Ehsan, v. 14, n. 2, p. 1-13, 2010.

SILVA, A. A. et al. Efeitos de relações  $\text{CASO}_4/\text{CACO}_3$  na mobilidade de nutrientes no solo e no crescimento do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 1, p. 451-457, jan./jun. 1998.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, S.; REIN, T. A. **Uso de gesso agrícola nos solos do Cerrado**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2005. 19 p. (Circular Técnica, 32).

SUN, B. et al. Effect of slaked lime and gypsum on acidity alleviation and nutrient leaching in an acid soil from Southern China. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 57, p. 215-223, Oct. 2000.

TACK, F. M. G.; VERLOO, M. G. Chemical speciation and fractionation in soil and sediment heavy metal analysis: a review. **International Journal of Environmental and Analytical Chemistry**, London, v. 59, p. 225-238, Aug. 1995.

TOMAZ, M. A. et al. Eficiência de absorção, translocação e uso de cálcio, magnésio e enxofre por mudas enxertadas de *Coffea arabica*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 5, p. 885-892, jun./jul. 2003.

VELOSO, C. A. C. et al. Efeito de diferentes materiais no pH do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 49, n. 8, p. 123-128, abr. 1992.

WUTKE, A. C. P.; GARGANTINI, H. Avaliação das possibilidades de escórias de siderurgia como corretivo de acidez do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 21, n. 45, p. 795-805, ago. 1962.

ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 1, p. 110-117, fev. 2007.



**SEGUNDA PARTE****ARTIGO 1****ESPECIAÇÃO QUÍMICA DA SOLUÇÃO DE UM LATOSSOLO  
CULTIVADO COM CAFEIEIRO E SOB INFLUÊNCIA DE ALTAS  
DOSES DE GESSO****Normas da Revista Química Nova (versão submetida)**

BÁRBARA ZINI RAMOS\*, JOÃO PAULO VAZ FLORIANO TOLEDO,  
JOSÉ MARIA DE LIMA, LUIZ ROBERTO GUIMARÃES GUILHERME:  
Departamento de Ciência do Solo (DCS) da Universidade Federal de Lavras  
(UFLA), Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Lavras (MG).

MILSON EVALDO SERAFIM: Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia de Mato Grosso - Campus Cáceres, Cáceres (MT). Avenida dos  
Ramires, s/nº, Distrito Industrial, CEP 78106-960.

PAULO TÁCITO GONTIJO GUIMARÃES: Rod. Lavras/Ijaci, km 02 Campus  
da UFLA, CP: 176, Lavras (MG), CEP: 37200-000.

ENIO TARSO DE SOUZA COSTA: Instituto de Ciências Agrárias - Campus  
Monte Carmelo da Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo (MG).  
CEP: 38400-902.

ALINE RENÉE COSCIONE: Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e  
Recursos Ambientais, do Instituto Agronômico. Av. Barão de Itapura 1481, CEP  
13012-970, Campinas (SP).

\*barbarazini@yahoo.com.br

---

**ABSTRACT****SOIL SOLUTION CHEMICAL SPECIATION OF A DISTROFIC RED  
LATOSOL CULTIVATED WITH COFFEE UNDER INFLUENCE OF HIGH  
DOSES OF GYPSUM**

This work was developed with the objective to assess the balance of the ionic species with Ca, Mg, K and  $\text{SO}_4^{-2}$  in the solution of an Distrofic Red Latosol under coffee cultivation, with the application of high doses of gypsum. The soil solution was obtained by the method of saturated soil paste. Chemical speciation was done using Visual Minteq. The free forms of  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  and  $\text{Mg}^{+2}$  were dominant among the chemical species in the soil solution. The  $\text{SO}_4^{-2}$  formed pairs with  $\text{MgSO}_4^0$  and  $\text{CaSO}_4^0$ , with the highest proportion occupied by  $\text{CaSO}_4^0$  up to 75-85 cm depth, measured 16 months after application of gypsum

Keywords: ion pair, leaching of nutrients, soil solution.

## INTRODUÇÃO

O principal obstáculo à agricultura na região dos Cerrados, que abrange cerca de 24% do território brasileiro, segundo o IBGE<sup>1</sup>, diz respeito à baixa fertilidade natural, limitada pela elevada acidez do solo. Os baixos teores de nutrientes (e.g.,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e outros), teores médio de matéria orgânica, baixa CTC e elevada saturação por Al limitam o desenvolvimento de algumas culturas. Além disso, a erosão em sulcos constitui um dos maiores problemas ambientais da região<sup>2, 3, 4, 5, 6</sup>. Soma-se, como agravante nesse sistema, a baixa disponibilidade de P, relacionada à mineralogia peculiar e ao ambiente geoquímico desse tipo de solo, os quais favorecem a retenção de fosfato pelos constituintes sólidos, principalmente óxidos de Fe e Al e a presença significativa de gibbsita, segundo Pozza *et al*<sup>70, 71</sup>. Os íons fosfato também podem formar complexos insolúveis com Fe e Al em solução e assim diminuem a concentração desse elemento<sup>7, 8, 9, 10, 11</sup>. Nesses solos, a concentração de P na solução é muito baixa, comumente inferior a  $0,1 \text{ mg dm}^{-3}$ .<sup>12</sup>

De acordo com Diniz<sup>5</sup> e Embrapa<sup>13</sup>, as limitações dos Latossolos, que representam até 46% dos solos do Cerrado<sup>1</sup>, vão além da camada arável, atingindo as camadas subsuperficiais e impedem a maximização das produções, por limitarem o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, a absorção de nutrientes e, principalmente, água em profundidade<sup>14</sup>. As chuvas nessa região são concentradas em seis meses do ano, fazendo com que o déficit hídrico e a baixa fertilidade natural sejam as principais limitações ao desenvolvimento das culturas, principalmente do cafeeiro, que retira do solo grande quantidade de água e nutrientes para suportar a produção de frutos, necessitando de adequada aplicação de corretivos e fertilizantes para alcançar altas produtividades<sup>15, 16</sup>.

Apesar de as raízes do cafeeiro se concentrarem nas camadas superficiais, elas têm potencial para um crescimento extenso e profundo,

podendo alcançar de 2 a 3 m de profundidade. Com a aplicação de gesso, este potencial de crescimento é estimulado, permitindo absorver quantidades significativas de água durante longos períodos de estiagem<sup>17, 18</sup>.

O gesso agrícola ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) é um subproduto da produção do ácido fosfórico utilizado na fabricação de superfosfato triplo e fosfatos de amônio<sup>19</sup>. Por ser um sal neutro, o gesso não corrige a acidez, isto é, não aumenta o pH do solo. Assim sendo, o gesso não substitui o calcário, apenas complementa o seu efeito, reduzindo a fitotoxicidade do  $\text{Al}^{3+}$  e aumentando a concentração de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e outros íons acompanhantes do  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{F}^-$ , em profundidade<sup>20, 21, 22</sup>. Isso ocorre, pois, sendo um sal solúvel em água, dissolve com a água de chuva e penetra facilmente no subsolo. O gesso é, portanto, um insumo importante no manejo da fertilidade do subsolo na agricultura<sup>23, 24</sup>.

Ao ser incorporado ao solo, o gesso agrícola sofre dissolução e o íon  $\text{SO}_4^{2-}$  pode reagir no complexo de troca do solo, formando  $\text{AlSO}_4^+$  (que é menos tóxico às plantas do que o alumínio livre) e pares iônicos neutros, como  $\text{K}_2\text{SO}_4^0$ ,  $\text{MgSO}_4^0$  e  $\text{CaSO}_4^0$ , que apresentam grande mobilidade ao longo do perfil do solo, ocasionando uma descida de cátions para camadas mais profundas<sup>25, 26</sup>. A lixiviação das bases trocáveis para profundidades superiores à do sistema radicular é preocupante, devido aos prejuízos econômicos (perda de nutrientes) e ambientais (risco de contaminação do lençol freático) que podem ocorrer<sup>23, 27</sup>. Portanto, devem-se seguir sempre os critérios de recomendação para gessagem, uma vez que o uso de forma indiscriminada e sem critérios pode acarretar problemas para o agricultor<sup>25</sup>. Entretanto, a maior ou a menor movimentação desses cátions podem variar em função da quantidade de gesso aplicada ao solo, da capacidade de troca catiônica, da capacidade do solo em adsorver sulfato, da textura do solo e do volume de água incidente<sup>23</sup>.

Devido às vantagens e aos riscos apresentados, o estudo de especiação iônica da solução do solo em áreas que receberam aplicações de doses elevadas

de gesso se torna de fundamental importância. Essa ferramenta permite identificar as espécies que são disponíveis para as plantas e suas possíveis formas trocáveis, além de prever o potencial de lixiviação<sup>28, 29, 30, 31</sup>. Entre as ferramentas para se determinar as espécies químicas da solução do solo, destaca-se o programa Visual Minteq<sup>32</sup>.

Em função da adoção de elevadas doses de gesso agrícola em solos de cafeeiro da região do Alto São Francisco, em Minas Gerais, e devido à carência de estudos que avaliem os impactos dessa prática, que têm despertado o interesse de alguns agricultores da região, torna-se necessária a realização de estudos que comprovem os principais benefícios e malefícios dessa prática. Por essa razão, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o balanço das espécies iônicas de cálcio, magnésio e sulfato na solução de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado com café, sob influência de doses elevadas de gesso agrícola.

## **PARTE EXPERIMENTAL**

O trabalho foi desenvolvido, de setembro de 2010 a maio de 2012, nos laboratórios da Universidade Federal de Lavras, em Lavras, MG, no Departamento de Ciência de Solo. As amostras de solo utilizadas foram coletadas em setembro de 2010, 16 meses após a aplicação de gesso.

A área experimental está localizada na Fazenda AP Família, pertencente à Empresa Agropecuária Piumhi Ltda., no município de São Roque de Minas, localizada na região fisiográfica do Alto São Francisco, porção centro-oeste do estado de Minas Gerais, na latitude e na longitude aproximadas de 20°14'42" S e 46°21'57" W de Greenwich, respectivamente. O clima da região é do tipo Cwa, segundo Köppen, sendo a precipitação média anual de 1.344 mm, com

estação seca bem definida nos meses de maio a setembro, temperatura média anual de 20,7 °C, umidade relativa média de 60% e altitude média de 900 m<sup>33</sup>.

Para a implantação das lavouras cafeeiras da cultivar Catucaí Amarelo Multilínea na área estudada, foi feito o preparo do solo com aração e gradagem, aproveitando-se essas operações para a incorporação de calcário e gesso agrícola a 20 cm de profundidade. A aplicação desses insumos ocorreu em setembro de 2008 e as respectivas quantidades foram calculadas com base nos resultados das análises químicas e físicas do solo, segundo recomendação para o estado de Minas Gerais<sup>34</sup>. O gesso, no preparo do solo, foi distribuído a lanço, na quantidade de duas toneladas por hectare. Este valor corresponde a 50% da recomendação baseada no teor de argila do solo, de acordo com a análise de solo, considerando a camada de 0 a 10 cm. Após o preparo, foi implantada *Urochloa ruziziensis*, como cultura de cobertura do solo.

No preparo do sulco de plantio, fez-se uma operação com um subsolador a 0,6, seguida da operação com uma cavadeira dotada de sistema rotativo, a qual revolve o solo numa faixa de 50 cm de largura e 60 cm de profundidade, realizando conjuntamente a mistura dos adubos previamente colocados na linha de plantio. Em maio de 2009, sete meses após o plantio, foi realizada a aplicação em superfície dos tratamentos com gesso agrícola na linha da cultura, em uma faixa de 50 cm de largura. A operação seguinte foi a chegada de terra na linha do cafeeiro, cobrindo todo o gesso. Inicialmente, a leira formada com a amontoa chegou a 50 cm de altura; com o tempo, ocorreu a acomodação do material, estabilizando-se com 20 a 30 cm de altura.

Os dados pluviométricos, obtidos por meio de pluviômetros instalados na área de estudo, foram: no ano de 2008, de 694 mm (meses setembro, outubro, novembro e dezembro); de 2009, de 1.060,5 mm e, de 2010, de 745 mm.

Os resultados da análise textural e do extrato de ataque sulfúrico para o solo estudado estão apresentados na Tabela 1. Tendo em vista os valores dos

índices  $K_i$  e  $K_r < 0,75$ , o Latossolo em estudo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico de mineralogia gibbsítico-oxídico<sup>13</sup>. Trata-se, portanto, de solo altamente intemperizado, permeável, com textura muito argilosa. As quantidades de corretivos e adubos utilizados nas épocas de plantio, formação e produção da lavoura podem ser encontradas em Serafim *et al.*<sup>16</sup>.

Foram utilizados quatro tratamentos com três repetições, distribuídas em blocos ao acaso, conforme descritos a seguir: G-0: gesso no preparo (aplicação ocorreu em setembro de 2008, distribuído a lanço, na quantidade de  $2 \text{ t ha}^{-1}$ ) e sem gesso na linha de plantio; G-7: gesso no preparo e  $7 \text{ t ha}^{-1}$  de gesso na linha de plantio ( $1,75 \text{ kg m}^{-1}$ ); G-56: gesso no preparo e  $56 \text{ t ha}^{-1}$  de gesso na linha de plantio ( $14 \text{ kg m}^{-1}$ ), todos com braquiária nas entrelinhas de plantio e CV-7: ausência de braquiária na entrelinha, com gesso no preparo e  $7 \text{ t ha}^{-1}$  de gesso na linha de plantio ( $1,75 \text{ kg m}^{-1}$ ). Para o estudo da especiação química da solução do solo foram amostradas as profundidades de 15-25 cm, 35-45 cm, 75-85 cm e 235-245 cm na linha e na entrelinha de cada tratamento, após 16 meses da aplicação do gesso agrícola, totalizando 96 amostras. Estas amostras foram posteriormente secas ao ar (TSFA), destorroadas, passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha e acondicionadas em sacos plásticos. As amostras foram armazenadas à sombra e à temperatura ambiente, até a realização das análises.

A escolha dos tratamentos G-56 e G-0 se justifica por serem os extremos do experimento, devendo, dessa maneira, possuir maior contraste entre estes tratamentos e, por consequência, verificar se há diferenças. O tratamento CV-7 foi comparado com o G-0, pois, neste contraste CV-7 x G-7, consegue-se isolar o efeito da braquiária e, dessa maneira, verificar se a mesma interfere ou não na resposta do gesso. Com relação às profundidades amostradas, foram escolhidas a de 15-25 cm, por ser a camada de cultivo; a de 35-45cm, por ser logo abaixo da camada arável; a de 75-85 cm, por ser aquela abaixo do sulco de plantio e a de 235-245 cm, por ser o extremo das profundidades.

Para a extração da solução do solo, utilizou-se o método de pasta de solo saturado, adaptado do extrato aquoso<sup>35</sup>. Para isso, foram medidos 250 cm<sup>3</sup> de cada amostra e, em um recipiente plástico de 500 mL, adicionou-se água ultrapura até, aproximadamente, 25% do volume do solo. Em seguida, a pasta foi deixada, por 16 horas, em repouso e, após esse tempo, foi colocada em um conjunto de funil de buchner contendo papel de filtro (filtração rápida), acoplado a um kitassato, e a solução foi então extraída sob vácuo, por cerca de 9 horas. A solução obtida foi filtrada em membrana de celulose de 0,45µm de malha e encaminhada para análise. Determinou-se nas soluções o pH e quantificou-se, em analisador de carbono Shimadzu 5000 A, o carbono orgânico dissolvido (COD). As concentrações de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> foram determinadas por espectroscopia de emissão em plasma com detecção ótica (ICP-AES axial da marca Varian, modelo Vista MPX com nebulizador Meinhart), utilizando-se soluções padrão para curva de calibração e de verificação da calibração rastreadas ao NIST; K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> por fotometria de chama e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> por cromatografia iônica (cromatógrafo iônico ICS 1100, Dionex, USA, operando com um detector de condutividade DS6). A coluna usada para ânions foi Ion Pack AS23 e o eluente utilizado constituiu-se de 45 mmol L<sup>-1</sup> de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> e 14 mmol L<sup>-1</sup> de NaHCO<sub>3</sub>, com o fluxo de 0,25 mL min<sup>-1</sup> e volume de injeção de 20 µL. A curva padrão foi preparada a partir de soluções padrões da Dionex, com concentrações de 1.000 mg.L<sup>-1</sup>. Os limites de detecção foram 5 mg L<sup>-1</sup> para COD, para K e Na 1 mg L<sup>-1</sup>, para o Al 0,07 mg L<sup>-1</sup>, Ca 0,12 mg L<sup>-1</sup>, Cu 0,006 mg L<sup>-1</sup>, Fe 0,35 mg L<sup>-1</sup>, Mg 0,25 mg L<sup>-1</sup>, Mn 0,003 mg L<sup>-1</sup>, Zn 0,03 mg L<sup>-1</sup>, Cl<sup>-</sup> 0,03 mg L<sup>-1</sup>, F<sup>-</sup> 0,06 mg L<sup>-1</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 0,04 mg L<sup>-1</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> 0,03 mg L<sup>-1</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> 0,02 mg L<sup>-1</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 0,08 mg L<sup>-1</sup>.

Os íons Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup> e PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> apresentaram suas concentrações abaixo do limite de detecção do ICP-OES e do cromatógrafo iônico, conforme o equipamento empregado nas determinações.



Os resultados das análises dos atributos químicos do solo foram submetidos à análise de variância. O delineamento usado foi em blocos casualizados, com três repetições. As comparações das médias foram realizadas pelo teste de Scott-Knott, adotando-se valores de  $p \leq 0,05$  como critério de significância de F e de diferença entre médias. Os dados foram processados utilizando-se o software SISVAR 5.1 Build 72 Ferreira<sup>36</sup>. A simulação da especiação química da solução do solo foi realizada com o auxílio do programa Visual Minteq Gustaffson<sup>32</sup>, a partir das concentrações totais ( $\text{mg L}^{-1}$ ) dos cátions e ânions, do COD e do valor de pH da solução do solo para cada tratamento e profundidade amostrada.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se, na Tabela 2, que as concentrações de  $\text{SO}_4^{2-}$ , neste trabalho, variaram entre 0,0005-2,34  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , na linha de plantio e entre 0,0006-0,08  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , na entrelinha. Os menores valores foram encontrados nas amostras das profundidades 75-85 e 235-245 cm e o maior valor (2,34  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), nas amostras da camada superficial da linha de plantio onde foi aplicada a maior dose de gesso agrícola (15-25 cm e 56 t gesso  $\text{ha}^{-1}$ ). A concentração de  $\text{SO}_4^{2-}$  na solução do solo no valor de 0,0008  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  tem sido indicada como crítica para o desenvolvimento das culturas<sup>37, 38</sup>.

Observa-se que houve diferenças entre os tratamentos na linha de plantio, exceto nas profundidades de 75-85 e 235-245 cm. Nas camadas de 15-25 e 35-45 cm, já era esperado esse aumento nos teores de sulfato, ou seja, o aumento nas doses de gesso teve como consequência o aumento nos teores de  $\text{SO}_4^{2-}$  na solução do solo. Entretanto, os tratamentos G-7 e G-56 não diferiram entre si. Silva *et al.*<sup>39</sup>, ao estudarem os efeitos de doses gesso (0, 2, 4 e 6 t  $\text{ha}^{-1}$ ) nas características químicas de um Latossolo Vermelho distrófico na cultura do

algodão, observaram que houve deslocamento do  $\text{SO}_4^{2-}$  para uma camada mais profunda (40-60 cm), após sete meses da aplicação do insumo. Martins *et al.*<sup>40</sup> também verificaram alterações químicas no perfil de um Latossolo Vermelho álico em resposta à aplicação de gesso e observaram que o tratamento com a maior dose de gesso ( $6 \text{ t ha}^{-1}$ ) foi o que apresentou teores mais altos de  $\text{SO}_4^{2-}$  nas profundidades de 15 a 30 cm e de 30 a 45 cm, diminuindo na profundidade de 45-60 cm, após dois anos da aplicação.

Na profundidade de 15-25 e 35-45 cm na linha de plantio, observa-se, com relação aos teores de  $\text{SO}_4^{2-}$ , uma diferença entre os tratamentos G-7, com cultivo da *Urochloa ruziziensis* na entrelinha e CV-7, sem cultivo de braquiária na entrelinha. Em estudos realizados com o cultivo do cafeeiro foi observado que o aporte de matéria orgânica (MO) em superfície e no perfil melhora os atributos do solo e, por consequência, traz benefícios para a lavoura. Os benefícios constatados foram: redução das perdas por erosão, aumento dos rendimentos do cultivo agrícola, diminuição das variações de temperatura do solo, diminuição da evaporação de água e do escoamento superficial e elevação da taxa de infiltração<sup>16,41</sup>. Entre esses atributos, a MO e a taxa de infiltração podem contribuir para aumentar o movimento do gesso para camadas mais profundas do solo.

A MO do solo aumenta a capacidade de retenção de água e é responsável, em grande parte, pela capacidade de troca de cátions, principalmente em solos mais intemperizados, como é o caso deste estudo. Por ser fortemente eletronegativa, ela confere um ambiente de repulsão do sulfato, reduzindo a sorção e permitindo maior movimentação desse ânion ao longo do perfil<sup>23</sup>. Diante disso, o aumento nos teores de  $\text{SO}_4^{2-}$  na solução do tratamento G-7 deve-se a uma maior quantidade de MO oriunda do cultivo da braquiária nas entrelinhas, comparativamente ao tratamento CV-7, no qual as entrelinhas da cultura são deixadas descobertas. Nos solos altamente intemperizados, os óxidos

de Fe e Al e a presença significativa de gibbsita são os principais responsáveis pela elevada retenção de  $\text{SO}_4^{2-}$ , sendo retido com considerável energia<sup>42,43</sup>. Sendo assim, a ausência da braquiária no tratamento CV-7 e a presença de elevados teores de óxidos de Fe e Al (Tabela 1) presentes no solo reduziram os teores de  $\text{SO}_4^{2-}$  na solução. Resultados semelhantes foram encontrados ao se avaliar o efeito de doses de gesso agrícola sobre os teores de sulfato (Nogueira & Melo<sup>44</sup>), sobre as alterações físico-químicas, com consequente movimentação de íons em Latossolo gibbsítico<sup>45</sup> e ao se quantificar a retenção e a dessorção de sulfato na fração argila gibbsítica em um Gleissolo Melânico<sup>70,71</sup>.

A forma livre  $\text{SO}_4^{2-}$  foi a espécie química predominante na solução do solo, independentemente do tratamento ou da profundidade amostrada, corroborando os resultados encontrados por Zambrosi *et al.*<sup>31</sup>. Quando esse ânion formou pares iônicos, considerando-se os valores médios de cada par, o par  $\text{MgSO}_4^0$  contribuiu com 3,7% e 4,2% do total, respectivamente, na linha e na entrelinha. O par  $\text{CaSO}_4^0$  contribuiu com 13,5% e 8,4% e as outras formas ( $\text{NaSO}_4^-$ ,  $\text{KSO}_4^-$ ,  $\text{HSO}_4^-$ ,  $\text{MnSO}_4^0$ ,  $\text{AlSO}_4^+$ ,  $\text{NH}_4\text{SO}_4^-$ ) foram encontradas, respectivamente, na linha e na entrelinha, nas porcentagens de 0,24% e 0,63%. Portanto, a maior proporção ocorreu para o  $\text{CaSO}_4^0$ , seguido do  $\text{MgSO}_4^0$ , com as maiores porcentagens presentes na linha de plantio até 75-85 cm de profundidade e aumentando com a aplicação de maiores doses de gesso. A mobilidade de cátions, tais como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ , para camadas abaixo da profundidade explorada pelo sistema radicular, requer atenção para que não haja riscos de contaminação e comprometimento na produção decorrente da redução na absorção desses nutrientes. Portanto, amostragens ao longo do tempo serão necessárias para se verificar a ocorrência da lixiviação dos pares iônicos para as camadas mais profundas do perfil do solo.

Diversos são os trabalhos nos quais se verificou a movimentação do  $\text{SO}_4^{2-}$  e de seus íons acompanhantes pelo uso do gesso agrícola. Camargo &

Raij<sup>46</sup>, estudando possíveis perdas de nutrientes do solo por lixiviação em solos ácidos e alcalinos, verificaram que o movimento de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  foi afetado pelo uso do insumo. Wadt & Wadt<sup>47</sup>, ao avaliarem a movimentação de cátions em um Latossolo Vermelho-Amarelo incubado com duas fontes de cálcio, concluíram que a aplicação de sulfato de cálcio foi efetiva em promover aumentos no teor de Ca da camada A para a Bw e lixiviar  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Os autores consideraram essa movimentação ao  $\text{SO}_4^{2-}$  como o principal ânion acompanhante.

Concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  na solução do solo entre 0,001-0,2  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  têm sido indicadas como valor crítico para o desenvolvimento das culturas<sup>37, 38</sup>. Observa-se, na Tabela 3, que os teores variaram entre 0,02-2,23  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , na linha de plantio e entre 0,003-1,41  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , na entrelinha.

Os teores de Ca (Tabela 3), na linha de plantio, apresentaram diferenças significativas na profundidade de 15-25 cm, evidenciando diferenças entre os tratamentos G-0, G-7 e G-56. Nas demais profundidades não se observaram diferenças entre os tratamentos G-7 e G-56. Em todas as profundidades, o tratamento G-0 apresentou os menores teores, comparado aos demais tratamentos. Resultados semelhantes foram encontrados em diferentes estudos. Rampim *et al.*<sup>22</sup>, Caires *et al.*<sup>49</sup>, Serafim *et al.*<sup>45</sup>, Ritchey *et al.*<sup>50</sup>, Morelli *et al.*<sup>51</sup>, Ernani & Barber<sup>52</sup> e Saldanha *et al.*<sup>53</sup> demonstraram que a aplicação das doses de gesso provocou aumento nos teores de Ca nas camadas subsuperficiais do solo, evidenciando o arraste desse nutriente para as camadas além da aplicação do insumo. Sendo o Ca indispensável ao desenvolvimento e ao aprofundamento das raízes, a sua presença distribuída ao longo do perfil é extremamente importante para que a absorção desse nutriente seja contínua, principalmente para o cafeeiro, cuja raiz se desenvolve em maiores profundidades<sup>54</sup>. Serafim *et al.*<sup>16</sup> constataram, na área de estudo, que as raízes do cafeeiro atingiram, na época da coleta das amostras, profundidade média de 140 cm.

Na entrelinha de plantio, observaram-se teores de Ca encontrados nos soluções estudadas até a profundidade de 75-85 cm. O cultivo sem braquiária na entrelinha foi o que apresentou menores teores de Ca, em todas as profundidades. A importância da cultura de cobertura e da manutenção dos seus restos culturais na superfície do solo, tendo como consequência o aporte de MO na superfície e em profundidade, já é bem conhecida. Os compostos orgânicos do solo são formados por ácidos húmicos e fúlvicos e ácidos orgânicos de baixa massa molecular, responsáveis pela adsorção de íons e lixiviação de Ca no solo<sup>55, 56</sup>. Esses compostos favorecem a mobilidade de Ca no perfil do solo originado da dissolução do gesso e calcário aplicados em superfície. A lixiviação de Ca no perfil ocasionada pelo aporte de MO no solo também foi constatada em outros trabalhos<sup>57, 58, 59, 60</sup>.

A forma livre  $\text{Ca}^{2+}$ , presente até a 75-85 cm de profundidade, foi a espécie química predominante na solução do solo, independentemente do tratamento ou da profundidade amostrada, com proporção média de 56%, na linha e na entrelinha. Resultado semelhante foi obtido por Zambrosi *et al.*<sup>31</sup>, em cujo trabalho a forma livre de  $\text{Ca}^{2+}$  foi cerca de 54%. Caires *et al.*<sup>61</sup>, ao avaliarem os efeitos da aplicação superficial de gesso sobre o subsolo ácido, concluíram que o gesso, além de ter sido eficiente na melhoria do ambiente radicular do subsolo, também aumentou o teor de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{-2}$ . Ramos *et al.*<sup>62</sup>, ao compararem o efeito do calcário, gesso e silicatos, quanto à sua capacidade de fornecer Ca em profundidade, verificaram que o gesso não apenas disponibilizou Ca no solo, mas que, a partir dos 30 cm de profundidade, o teor de Ca manteve-se superior ao dos outros produtos testados na dose  $0,5 \text{ t ha}^{-1}$ . Marques *et al.*<sup>63</sup> também verificaram, ao estudarem o efeito da aplicação do gesso no teor de nutrientes solúveis em água, que o insumo aumentou os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  no solo.

O par iônico  $\text{CaSO}_4^0$  representou 11,6% das espécies na linha de plantio e menos de 1% de todo o Ca contido na solução do solo na entrelinha. Sun *et al.*<sup>64</sup>, ao estudarem o efeito do gesso e a lixiviação de nutrientes em um solo ácido, observaram que cerca de 30% do Ca lixiviado em subsuperfície estava na forma de  $\text{CaSO}_4^0$ . Rocha *et al.*<sup>65</sup>, ao estimarem os efeitos da aplicação de gesso em solo cultivado com cana-de-açúcar, verificaram que a mobilização do Ca em profundidade na forma de  $\text{CaSO}_4^0$  foi determinante na melhoria do ambiente radicular em profundidade. Ramos<sup>66</sup>, ao avaliar doses de gesso agrícola (0, 1, 2, 4 e 8 t ha<sup>-1</sup>) nos atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, notou que houve aumentos significativos de  $\text{Ca}^{2+}$ , favorecendo a formação de  $\text{CaSO}_4^0$ , com posterior lixiviação do par iônico no perfil do solo.

O par iônico com o COD representou 8,8% na solução do solo em amostras da linha de plantio e 15,0% na entrelinha, tendo sido encontrado em até 75-85 cm de profundidade. Esta constatação confirma a importância de se manter teores adequados de MO no solo, como uso da braquiária como planta de cobertura, pois os compostos orgânicos provenientes de sua decomposição são capazes de formar complexos orgânicos com Al, Ca e Mg, devido à presença dos radicais funcionais.<sup>59</sup>

Um dos efeitos principais do gesso agrícola é fornecer Ca em profundidade e assim melhorar a condição do solo para o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, aumentar o aproveitamento de água e nutrientes. Isso confere maior resistência das plantas aos veranicos<sup>23</sup>. Esses efeitos do gesso dependem de fatores climáticos, como a intensidade pluviométrica e também da sua taxa de dissolução, influenciada pela forma de aplicação e pela granulometria do insumo<sup>23</sup>. Quaggio *et al.*<sup>67</sup> verificaram que, após 18 meses da aplicação do gesso, os íons  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{Ca}^{2+}$  haviam lixiviado para profundidades além de 60 cm. Zambrosi *et al.*<sup>31</sup> estimaram que, após cinco anos da aplicação do gesso agrícola, a forma livre  $\text{Ca}^{2+}$  predominou sobre a forma Ca-COD até

100 cm de profundidade. Rocha *et al.*<sup>66</sup> observaram que, aos 480 dias, ainda foi possível encontrar  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{-2}$  no perfil do solo até 80 cm de profundidade. Rampim *et al.*<sup>22</sup> verificaram, após seis meses da aplicação de gesso, a magnitude de solubilização e interferência nas características químicas do solo até 40 cm de profundidade. Resultados semelhantes foram encontrados no presente estudo, verificando-se que, após 16 meses da aplicação de gesso, as formas livres  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{-2}$  estão presentes a 75-85 cm de profundidade. Portanto, pode-se dizer que estudos que envolvam gesso agrícola necessitam de tempo para que seu efeito seja de fato avaliado ao longo do perfil.

Concentrações de  $\text{Mg}^{2+}$  na solução do solo entre 0,002-0,08  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  têm sido indicadas como valor crítico para o desenvolvimento das culturas<sup>37,38</sup>. Observa-se, na Tabela 4, que os teores variaram entre 0,0004 e 0,56  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , na linha de plantio e entre 0,001 e 1,03  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , na entrelinha. Os menores valores foram encontrados a 235-245 cm de profundidade, na linha e na entrelinha, e os maiores valores, a 35-45 e a 75-85 cm de profundidade, na linha e na entrelinha, respectivamente.

Ainda na Tabela 4 observa-se que, até 35-45 cm de profundidade, na linha de plantio, o aumento da dose de gesso promoveu aumentos nos teores de  $\text{Mg}^{2+}$  na solução do solo. Isso corrobora os resultados encontrados por Leandro *et al.*<sup>68</sup> que, ao verificarem a ação do gesso sobre os atributos químicos de um Latossolo Vermelho escuro, constataram que, após 481 dias da aplicação do gesso, houve um aumento de 70% no teor de  $\text{Mg}^{2+}$ , nas profundidades 40-60 cm. Caires *et al.*<sup>69</sup> concluíram que, após oito meses da aplicação de gesso, teores de Mg foram encontrados até 40 cm de profundidade. Rampim *et al.*<sup>22</sup> observaram que o uso de até 5  $\text{t ha}^{-1}$  de gesso resultou em lixiviação de  $\text{Mg}^{2+}$  até 40 cm de profundidade, um ano após a aplicação. Serafim *et al.*<sup>45</sup>, ao estudarem a aplicação de 6 doses de gesso (equivalentes a 0, 3, 6, 9, 12 e 15  $\text{t ha}^{-1}$ ) em um

Latossolo Vermelho distroférico gibbsítico, observaram que o aumento das doses de gesso propiciou a lixiviação de Mg da camada superficial do solo.

A forma livre  $Mg^{+2}$  foi a espécie química predominante na solução do solo, em relação a outras formas desse cátion, ocupando, aproximadamente, 57% na linha de plantio e 59% na entrelinha. A associação do Mg com ânions orgânicos ocupou 32% na linha e 21% na entrelinha, confirmando a importância da planta de cobertura na dinâmica e na ciclagem dos nutrientes.

Dentre os ânions inorgânicos, o que mais se ligou ao Mg foi o  $SO_4^{-2}$ , ocupando 9,9% na linha e menos de 1% na entrelinha, tendo sido observada a presença desse par iônico, embora em menores porcentagens, até 75-85 cm de profundidade. Esses resultados corroboram os encontrados por Zambrosi *et al.*<sup>31</sup> que também observaram que o Mg se associou mais com  $SO_4^{-2}$  (0,6%) do que com  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $F^-$  (0,1%), até 40 cm profundidade. Segundo Ernani *et al.*<sup>21</sup>, a taxa de movimentação do Mg no perfil depende da existência de outros ânions na solução do solo, principalmente nitratos e cloretos, oriundos, principalmente, da mineralização da MO ou, no caso dos sulfatos, da aplicação do gesso agrícola. Morelli *et al.*<sup>51</sup> verificaram que o uso do gesso provocou lixiviação de Mg, mesmo nas doses de  $2 \text{ t ha}^{-1}$  de gesso. Após 18 meses da aplicação de 4 e  $6 \text{ t ha}^{-1}$  de gesso, o teor de Mg na profundidade 100-125 cm foi de  $0,13 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , passando para  $0,06 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  após 27 meses. Silva *et al.*<sup>39</sup> observaram que o gesso propiciou um aumento gradativo do Mg até a profundidade de 40-60 cm, seguido de repentina diminuição em seu teor. Caires *et al.*<sup>27</sup> verificaram que, após oito meses da aplicação do gesso, houve aumento nas concentrações de Mg em camadas do subsolo e que, após 32 meses, o gesso continuou promovendo lixiviação de  $Mg^{2+}$  em maiores profundidades. Dessa maneira, o uso de doses elevadas de gesso no solo requer monitoramento por um maior período de duração, para melhor avaliar a viabilidade de uso dessa prática.



## CONCLUSÕES

As formas livres de  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  foram as espécies químicas predominantes na solução do solo.

O  $\text{SO}_4^{-2}$  formou os pares  $\text{MgSO}_4^0$  e  $\text{CaSO}_4^0$ , entretanto, a maior proporção foi ocupada pelo  $\text{CaSO}_4^0$  até 75-85 cm de profundidade.

Embora ocorra lixiviação dos pares iônicos, até a época de amostragem para este estudo (16 meses após a aplicação de gesso), os mesmos se encontravam a 75-85 cm de profundidade, não significando perdas de Ca e Mg da zona atingida pelas raízes do cafeeiro.

## AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG, CAPES, CNPq, EPAMIG, FAPEMIG e Empresa AP, por bolsas de estudos e de pesquisa concedidas, apoio financeiro e suporte logístico.

## LITERATURA CITADA

- <sup>1</sup><http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=mg&tema=lavourapermanente2008>, acessada em Maio 2012.
- <sup>2</sup> Souza, D. M. G.; Ritchey, K. D. *Anais do I Seminário sobre o Uso de Fosfogesso na Agricultura*, **1986**, 45, 144.
- <sup>3</sup> Bernardi, A. C. C.; Machado, P. L. O. A.; Freitas, P. L.; Coelho, M. R.; Leandro, W. M.; Oliveira Júnior, J. P.; Oliveira, R. P.; Santos, H. G.;

- Madari, B. E.; Carvalho, M. C. S. *Correção do solo e adubação no sistema de plantio direto nos cerrados*. Rio de Janeiro, 2003. 22 p.
- <sup>4</sup> Oliveira, I. P.; Costa, K. A. P.; Santos, K. J. G.; Moreiras, F. P.; *Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos*, **2005**, *1*, 133.
- <sup>5</sup> Diniz, B. P. C. *Tese de Doutorado*, Universidade de São Paulo-SP, Brasil, 2006.
- <sup>6</sup> Rosolen, V.; Resende, T. M.; Borges, E. N.; Frare, C. T.; Machado, H. Amorim.; *Soc. & Nat*, **2012**, *24*, 168.
- <sup>7</sup> Vance, C. P.; Stone, C. U.; Allan, D. L.; *New Phytologist*, **2003**, *157*, 447.
- <sup>8</sup> Mendes, I. C.; Reis Junior, F. B. *Microrganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos: uma análise crítica*. Planaltina, 2003. 26 p.
- <sup>9</sup> Coimbra, R. R.; Martins, E. C. A.; Miranda, G. V.; Naoe, L. K.; Cardoso, E. A.; Archangelo, E. R.; *Revista Ciências Agrárias*, **2008**, *50*, 33.
- <sup>10</sup> Camargo, M. S.; Barbosa, D. S.; Resende, R. H.; Korndörfer, G. H.; Pereira, H. S.; *Bioscience Journal*, **2010**, *26*, 194.
- <sup>11</sup> Santos, J. Z. L.; Furtini, A. E.; Resende, A. V.; Carneiro, L. F.; Curi, N.; Moretti, B. S.; *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **2011**, *35*, 202.
- <sup>12</sup> Resende, A. V.; Furtini Neto, A. E. *Aspectos Relacionados ao Manejo da Adubação Fosfatada em Solos do Cerrado*. Planaltina, 2007, 32 p.

- <sup>13</sup>. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- <sup>14</sup>. Silva, A. A., Vale, F. R., Fernandes, L. A., Furtini Neto, A. E., Muniz, J. A.; *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **1998**, 22, 457.
- <sup>15</sup>. Farnezi, M. M. M.; Silva, E. B.; Guimarães, P. T.G.; *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **2009**, 33, 978.
- <sup>16</sup>. Serafim, M. E.; Oliveira, G. C.; Oliveira, A. S.; Lima, J. M.; Guimarães, P. T.G.; Costa, J. C.; *Bioscience Journal*. **2011**, 27, 977.
- <sup>17</sup>. Guimarães, P.T.G. *O uso do gesso agrícola na cultura do cafeeiro*. In: Seminário sobre o uso do gesso na agricultura, 1992. p. 190.
- <sup>18</sup>. Rena, A. B. e Guimarães, P. T. G. *Sistema Radicular do Cafeeiro: Estrutura, Distribuição, Atividade e Fatores que o Influenciam*. Belo Horizonte, 2000, p. 80.
- <sup>19</sup>. Pinto, M. B. A. B. A. *Dissertação de Mestrado*, Escola Superior de Agricultura de Lavras, Brasil, 1989.
- <sup>20</sup>. Veloso, C. A. C.; Borges, A. L.; Muniz, A. S.; Veigas, I. A. de J. M.; *Scientia Agricola*. **1992**, 49, 128.
- <sup>21</sup>. Ernani, P. R.; Ribeiro, M. S.; Bayer, C.; *Scientia Agricola*, **2001**, 58, 831.

- <sup>22</sup> Rampim, L.; Lana, M. C.; Frandoloso, J. F.; Fontaniva, S.; *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **2011**, *35*, 1698.
- <sup>23</sup> Raij, B. van. *Gesso na agricultura*. Campinas, 2008, p. 233.
- <sup>24</sup> Souza, D. M. G.; Lobato, S.; Rein, T. A. *Uso de gesso agrícola nos solos do Cerrado*. Planaltina, 2005, p 19.
- <sup>25</sup> Dias, L.E. *Uso de gesso como insumo agrícola*. Seropédica, 1992. 6 p.
- <sup>26</sup> Cremon, C.; Rosa Júnior, E. J.; Serafim, M . E.; Ono, F. B.; *Acta Scientiarum Agronomy*, **2009**, *31*, 146.
- <sup>27</sup> Caires, E. F.; Blum, J.; Barth, G.; Garbuio, F. J.; Kusman, M. T.; *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **2003**, *27*, 286.
- <sup>28</sup> Tack, F. M. G.; Verloo, M. G.; *International Journal of Environmental and Analytical Chemistry*, **1995**, *59*, 238.
- <sup>29</sup> Hill, S. J.; *Chemical Society Reviews*. **1997**, *26*, 298.
- <sup>30</sup> Barra, C. M.; Santelli, R. E.; Abrão, J. J.; Guardia, M. D. L.; *Química Nova*, **2000**, *23*, 69.
- <sup>31</sup> Zambrosi, F. C. B.; Alleoni, L. R. F.; Caires, E. F.; *Ciência Rural*. **2007**, *37*, 117.

- <sup>32</sup> <http://www2.lwr.kth.se/English/OurSoftware/vminteq>, acessada em Fevereiro 2012.
- <sup>33</sup> Menegasse, L. N.; Gonçalves, J. M.; Fantinel, L. M.; *Revista Águas Subterrâneas*. **2002**, *16*, 19.
- <sup>34</sup> Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez Viegas, V. H. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa, 1999. p. 302.
- <sup>35</sup> Wolt, J.D. *Soil solution chemistry: applications to environmental science and agriculture*. New York, 1994. p. 120.
- <sup>36</sup> Ferreira, D.F. *Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 5.1*. São Carlos. 2000. p. 258.
- <sup>37</sup> Asher, C. J.; Edwards, D.G.; *Plant Nutrition*. **1978**, *1*, 28.
- <sup>38</sup> Malavolta, E. *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo, 2006. 638 p.
- <sup>39</sup> Silva, N. M. DA.; Raij, B. van.; Carvalho, L. H.; Bataglia, O. C.; Kondo, J. I.; *Bragantia*, **1997**, *56*, 192.
- <sup>40</sup> Martins, O. C.; Novais, R. F.; Alvarez, V. H.; Ribeiro, A. C.; Barros, N. F.; *Revista Ceres*, **2002**, *49*, 135.
- <sup>41</sup> Bragagnolo, N.; Mielniczuk, J.; *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **1990**, *14*, 98.

- <sup>42</sup> Freney, J. R.; Melville, G. E.; Williams, C. H.; *Soil Biology and Biochemistry*, **1975**, 7, 221.
- <sup>43</sup> Neptune, A.M.L.; Tabatabai, M. A.; Hanway J. J.; *Soil Science Society American Proceeding*, **1975**, 39, 55.
- <sup>44</sup> Nogueira, M. A.; Melo, W. J.; *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **2003**, 27, 663.
- <sup>45</sup> Serafim, M. E.; Lima, J. M.; Lima, V. M. P.; Zeviani, W. M.; Pessoni, P. T.; *Bragantia*, **2012**, 71, 40.
- <sup>46</sup> Camargo, O. A.; Raij, B. van. *Movimento do gesso em amostras de Latossolos com diferentes propriedades eletroquímicas*. Campinas. 1987, p.111.
- <sup>47</sup> Wadt, P. G. S.; Wadt, L. H. O.; *Scientia Agricola*, **1999**, 56, 1164.
- <sup>48</sup> Melo, V. F.; Alleoni, L. R. F. *Química e mineralogia do solo, Parte II- Aplicações*, 2009, p 686.
- <sup>49</sup> Caires, E.F.; Kusman, M.T.; Barth, G.; Garbuio, F.J.; Padilha, J.M.; *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. **2004**, 28, 136.
- <sup>50</sup> Ritchey, K. D.; Souza, D. M. G.; Lobato, E.; Correa, O.; *Agronomy Journal*, **1980**, 72, 44.
- <sup>51</sup> Morelli, J. L.; Dalben, A. E.; Almeida, J. O. C.; Demattê, J. L. I.; *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **1992**, 16, 194.

- <sup>52</sup> Ernani, P. R.; Barber S.A.; *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **1993**, *10*, 46.
- <sup>53</sup> Saldanha, E. C. M.; Rocha, A. T.; Oliveira, E. C. A.; Nascimento, C. W. A.; Freire, F. J.; *Caatinga*, **2007**, *20*, 164
- <sup>54</sup> Quaggio, J.A. *Acidez e calagem em solos tropicais*. Campinas, 2000. 111p.
- <sup>55</sup> Franchini, J. C.; Hoffmann-Campo, C. B.; Torres, E.; Miyazawa, M.; Pavan, A.; *Soil Sci. Plant*. **2003**, *34*, 2058.
- <sup>56</sup> Pavinato, P. C.; Rosolem, C. A.; *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **2008**, *32*, 920.
- <sup>57</sup> Ziglio, C. M.; Miyazawa, M.; Pavan, M. A.; *Braz. Arch. Biol. Tech.* **1999**, *42*, 262.
- <sup>58</sup> Franchini, J. C.; Miyazawa, M.; Pavan, M. A.; Malavolta, E.; *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **1999**, *34*, 2276.
- <sup>59</sup> Amaral, A. S.; Anghinoni, I.; Deschamps, F. C.; *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **2004**, *28*, 123.
- <sup>60</sup> Moraes, M. F.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Coscione, A. R.; *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **2007**, *31*, 684.
- <sup>61</sup> Caires, E. F.; Fonseca, A. F.; Mendes, J.; Chueiri, W. A.; Madruga, E. F.; *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **1999**, *23*, 327.

- <sup>62</sup> Ramos, L. A.; Nolla, A.; Korndörfer, G. H.; Pereira, H. S.; Camargo, M. S.; *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **2006**, *30*, 857.
- <sup>63</sup> Marques, R. R.; Crusciol, C. A. C.; Castro, G. S. A.; Perim, L.; *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **2011**, *35*, 522.
- <sup>64</sup> Sun, B.; Poss, R.; Moreau, R.; Avenirier, A.; Fallavier, P.; *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **2000**, *57*, 223.
- <sup>65</sup> Rocha, A. T.; Oliveira, A. C.; Rodrigues, A. N.; Lira Júnior, M. A.; Freire, F. J.; *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, **2008**, *3*, 312.
- <sup>66</sup> Ramos, S. B. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual Paulista, Brasil, 2011.
- <sup>67</sup> Quaggio, J. A.; Rajj, B. van.; Gallo, P. B.; Mascarenhas, H. A. A.; *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **1993**, *28*, 383.
- <sup>68</sup> Leandro, W. M.; Bellingieri, P. A.; Galon, J. A. *Anais da Escola de Agronomia e Veterinária*, **1996**, *26*, 49.
- <sup>69</sup> Caires, E. F.; Chueiri, W. A.; Madruga, E. F.; Figueiredo, A.; *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **1998**, *22*, 34.
- <sup>70</sup> Pozza, A. A. A.; Curi, N., Costa, E. T. S., Guilherme, L. R. G., Marques, J. J. G. S. M., Motta, P. E. F. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **2007**, *42*, 11.



<sup>71</sup> Pozza, A. A. A.; Curi, N., Guilherme, L. R. G., Marques, J. J. G. S. M., Costa, E., T. S., Zuliani, D. *Química Nova*, **2009**, *32*, 1.

Tabela 1. Análise textural e resultados do ataque sulfúrico para os horizontes Ap e Bw do Latossolo Vermelho distrófico em estudo.

Horizonte	Textura			Ataque sulfúrico				Ki*	Kr**
	Argila	Silte	Areia	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
	-----g kg <sup>-1</sup> -----								
Ap	763	198	39	102	355	157	1,32	0,49	0,38
Bw	819	148	33	105	392	169	0,98	0,46	0,36

\*Ki: relação molecular  $1,7 \times \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ , \*\*Kr: relação molecular  $[1,7 \times \text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,64 \times \text{Fe}_2\text{O}_3)]$

Tabela 2. Teor trocável de sulfato e suas respectivas espécies químicas na solução do Latossolo estudado, em função dos tratamentos e das profundidades amostradas.

Prof. (cm)	Tratamentos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	MgSO <sub>4</sub> <sup>0</sup>	CaSO <sub>4</sub> <sup>0</sup>	Outras <sup>(1)</sup>
		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----Espécies (%)-----			
	<b>Linha de plantio</b>					
	G-0	0,02 c	86,2	5,3	8,4	0,1
15-	G-7	1,41 a	62,1	6,3	31,4	0,2
25	G-56	2,34 a	52,6	6,2	40,9	0,3
	CV-7	0,54 b	70,9	2,1	26,7	0,3
	G-0	0,03 c	90,3	5,3	4,1	0,3
35-	G-7	1,46 a	59,5	6,9	33,3	0,3
45	G-56	1,32 a	58,4	11,3	29,9	0,4
	CV-7	0,72 b	67,9	7,4	24,5	0,2
	G-0	nd*	-	-	-	-
75-	G-7	0,0020 a	87,6	5,2	6,5	0,7
85	G56	0,0005 a	88,5	2,7	8,4	0,4
	CV-7	0,0010 a	97,7	0,8	1,2	0,3
	G-0	0,0006 a	99,9	-	-	0,01
235-	G-7	nd*	-	-	-	-
245	G-56	0,0020 a	99,7	0,02	-	0,3
	CV-7	nd*	-	-	-	-
	Valores médios		63,8	3,7	13,5	0,24

Tabela 2, continuação

		<b>Entrelinha de plantio</b>				
15-	G-0	0,08 a	92,3	2,0	4,0	1,7
	G-7	0,01 b	85,9	3,4	9,2	1,5
25	G-56	0,07 a	80,6	3,1	15,6	0,7
	CV-7	0,07 a	92,0	3,2	4,6	0,2
35-	G-0	0,001 a	45,0	15,1	39,3	0,8
	G-7	0,001 a	75,4	3,6	18,9	2,1
45	G-56	0,003 a	55,6	10,1	33,7	0,6
	CV-7	nd*	-	-	-	-
75-	G-0	nd*	-	-	-	-
	G-7	0,002 a	47,8	24,6	26,7	0,9
85	G56	0,001 a	99,6	-	0,02	0,4
	CV-7	0,001 a	96,2	1,5	1,1	1,2
235-	G-0	0,0006 a	99,9	-	-	0,01
	G-7	0,0010 a	99,9	-	-	0,01
245	G-56	nd*	-	-	-	-
	CV-7	nd*	-	-	-	-
Valores médios			60,6	4,2	8,4	0,63

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ )

<sup>(1)</sup> Outras espécies de sulfato:  $\text{NaSO}_4^-$ ,  $\text{KSO}_4^-$ ,  $\text{HSO}_4^-$ ,  $\text{MnSO}_4^0$ ,  $\text{AlSO}_4^+$ ,  $\text{NH}_4\text{SO}_4^-$

\*nd: concentração de sulfato na solução do solo não detectada

Tabela 3. Teor trocável de cálcio e suas respectivas espécies químicas na solução do Latossolo estudado, em função dos tratamentos e das profundidades amostradas.

Prof. (cm)	Tratamentos	Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----Espécies (%)-----			
			Ca <sup>2+</sup>	CaSO <sub>4</sub> <sup>0</sup>	Ca-COD	Outras <sup>(1)</sup>
	<b>Linha de plantio</b>					
15-25	G-0	0,16 c	78,9	1,2	19,8	0,1
	G-7	1,30 b	62,1	33,9	3,8	0,2
	G-56	2,23 a	52,9	42,8	3,5	0,8
	CV-7	0,80 b	73,6	18,0	8,3	0,1
35-45	G-0	0,08 b	79,1	1,6	18,9	0,4
	G-7	1,43 a	62,4	33,9	3,5	0,2
	G-56	1,26 a	64,7	31,4	3,6	0,3
	CV-7	0,80 a	71,6	21,9	6,3	0,2
75-85	G-0	0,07 b	83,6	-	16,1	0,3
	G-7	0,11 a	92,5	0,1	7,2	0,2
	G-56	0,14 a	91,8	0,03	7,8	0,4
	CV-7	0,02 c	58,1	0,04	41,8	0,06
235-245	G-0	nd*	-	-	-	-
	G-7	nd*	-	-	-	-
	G-56	nd*	-	-	-	-
	CV-7	nd*	-	-	-	-
	Valores médios		54,5	11,6	8,8	0,20

Tabela 3, continuação

		<b>Entrelinha de plantio</b>				
15-25	G-0	0,09 c	66,9	0,4	32,5	0,2
	G-7	0,19 b	84,4	0,7	13,2	1,7
	G-56	0,34 a	85,1	3,3	10,7	0,9
	CV-7	0,10 c	66,5	3,3	30,0	0,2
35-45	G-0	1,41 a	92,5	0,02	3,0	4,5
	G-7	0,42 a	93,4	0,04	4,7	1,9
	G-56	1,02 a	95,1	0,1	2,9	1,9
	CV-7	0,04 b	78,7	-	21,1	0,2
75-85	G-0	0,14 b	88,4	-	11,2	0,4
	G-7	0,91 a	94,8	0,05	1,9	3,3
	G56	0,003 b	9,3	-	90,6	0,1
	CV-7	0,02 b	81,3	0,06	18,6	0,04
235-245	G-0	nd*	-	-	-	-
	G-7	nd*	-	-	-	-
	G-56	nd*	-	-	-	-
	CV-7	nd*	-	-	-	-
Valores médios			58,5	0,49	15,0	0,96

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

<sup>(1)</sup> Outras espécies de cálcio:  $\text{CaCl}^+$ ,  $\text{CaHCO}_3^+$ ,  $\text{CaNO}_3^+$ ,  $\text{CaF}^+$ ,  $\text{CaH}_2\text{PO}_4^+$ ,  $\text{CaHPO}_4$

\*nd: concentração de cálcio na solução do solo não detectada.

Tabela 4. Teor trocável de magnésio e suas respectivas espécies químicas na solução do Latossolo estudado, em função dos tratamentos e das profundidades amostradas.

Prof. (cm)	Tratamentos	Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----Espécies (%)-----			
			Mg <sup>2+</sup>	MgSO <sub>4</sub> <sup>0</sup>	Mg-COD	Outras <sup>(1)</sup>
	<b>Linha de plantio</b>					
15-25	G-0	0,13 c	81,3	1,0	17,6	0,1
	G-7	0,31 b	66,8	28,9	3,5	0,8
	G-56	0,39 a	58,5	37,6	3,3	0,6
	CV-7	0,08 d	77,3	14,9	7,4	0,4
35-45	G-0	0,12 d	81,1	1,3	17,0	0,6
	G-7	0,40 b	67,5	29,1	3,3	0,1
	G-56	0,56 a	69,4	26,8	3,3	0,5
	CV-7	0,29 c	75,7	18,4	5,7	0,2
75-85	G-0	0,04 a	85,1	-	14,5	0,4
	G-7	0,11 a	92,9	0,07	6,7	0,3
	G56	0,05 a	92,8	0,02	7,0	0,2
	CV-7	0,02 a	59,9	0,04	40,0	0,06
235-245	G-0	0,0010 a	3,4	-	96,5	0,1
	G-7	0,0016 a	1,6	-	98,4	-
	G-56	0,0020 a	7,8	-	92,2	-
	CV-7	0,0004 a	1,4	-	98,6	-
	Valores médios		57,5	9,9	32,4	0,27

Tabela 4, continuação

		<b>Entrelinha de plantio</b>				
15-25	G-0	0,05 b	69,4	0,31	30,2	0,09
	G-7	0,09 a	86,8	0,55	12,5	0,2
	G-56	0,08 a	87,1	2,7	9,8	0,4
	CV-7	0,08 a	69,3	2,7	27,7	0,3
35-45	G-0	0,66 a	94,5	0,02	2,6	2,9
	G-7	0,10 a	94,7	0,03	4,4	0,9
	G-56	0,38 a	96,3	0,08	2,5	1,1
	CV-7	0,05 a	79,9	-	20,0	0,1
75-85	G-0	0,05 b	89,8	-	10,0	0,2
	G-7	1,03 a	96,5	0,04	1,6	1,9
	G56	nd*	-	-	-	-
	CV-7	0,03 b	81,8	0,05	18,1	0,05
235-	G-0	0,001 a	1,8	-	98,2	-
	G-7	nd*	-	-	-	-
245	G-56	nd*	-	-	-	-
	CV-7	0,001 a	4,8	-	95,2	-
Valores médios			59,5	0,41	20,8	0,51

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

<sup>(1)</sup> Outras espécies de magnésio:  $MgCl^+$ ,  $MgHCO_3^+$ ,  $MgF^+$ ,  $MgHPO_4$

\*nd: concentração de magnésio na solução do solo não detectada

**ARTIGO 2****DOSES DE GESSO EM CAFEIEIRO: INFLUÊNCIA NOS TEORES DE CÁLCIO, MAGNÉSIO, POTÁSSIO E pH DA SOLUÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO<sup>(1)</sup>****Normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo (versão preliminar)**

Bárbara Zini Ramos<sup>(2)</sup>, João Paulo Vaz Floriano Toledo<sup>(3)</sup>, José Maria de Lima<sup>(4)</sup>, Ana Rosa Ribeiro Bastos<sup>(5)</sup>, Paulo Tácito Gontijo Guimarães<sup>(6)</sup>, Aline Renée Coscione<sup>(7)</sup>

**RESUMO**

O desbalanço entre  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^{+}$  no solo, como consequência das aplicações elevadas de gesso, pode ser razoavelmente explicado pelas relações de tamanho (raio iônico) e as densidade de carga (relação carga/raio) de cada espécie.

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Doutorado da primeira autora, desenvolvida com suporte financeiro da Fapemig, CNPq e Empresa AP.

<sup>(2)</sup> Doutoranda em Ciência do Solo no Departamento de Ciência do Solo (DCS) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Lavras (MG). E-mail: barbarazini@yahoo.com.br. Bolsista CNPq.

<sup>(3)</sup> Bolsista de Iniciação Científica - Graduando do curso de Química da UFLA. E-mail: quimico.jp@gmail.com. Bolsistas CNPq.

<sup>(4)</sup> Professor do DCS da UFLA. E-mail: jmlima@dcs.ufla.br (Orientador). Bolsistas CNPq.

<sup>(4)</sup> Professores do DCS da UFLA. E-mail: jmlima@dcs.ufla.br (Orientador). Bolsistas CNPq.

<sup>(5)</sup> Bolsista do Programa Nacional de Pós-Doutorado/UFLA/PNPD/CAPES. Email: arosa@dcs.ufla.br.

<sup>(6)</sup> Pesquisador da EPAMIG, Lavras (MG). E-mail: paulotgg@epamig.ufla.br

<sup>(7)</sup> Pesquisadora do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais, do Instituto Agrônomo. Av. Barão de Itapura 1481, CEP 13012-970, Campinas (SP). E-mail: aline@iac.sp.gov.br. Bolsista: CNPq.



Quanto maior a densidade de carga, mais intensa será a ligação iônica do cátion com íons de cargas opostas como  $\text{OH}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ . Dessa maneira, o uso excessivo de gesso agrícola, sem considerar o balanço de carga das partículas do solo, o equilíbrio iônico e a CTC, pode resultar em expressiva lixiviação desses nutrientes ao longo do perfil do solo. O presente estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito de elevadas doses de gesso nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e pH na solução de um Latossolo Vermelho distrófico. Para o estudo dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e pH, a solução do solo foi obtida pelo método adaptado do extrato aquoso. O solo foi amostrado nas profundidades 15-25 cm, 35-45 cm, 75-85 cm, 115-125 cm e 235-245 cm, na linha de plantio, em quatro tratamentos (G-0 - gesso no preparo e sem gesso na linha de plantio; G-7 - gesso no preparo e 7,0 t ha<sup>-1</sup> de gesso na linha de plantio; G-56 - gesso no preparo e 56 t ha<sup>-1</sup> de gesso na linha de plantio, nessas parcelas experimentais as entrelinhas de plantio foram cobertas com braquiária, e CV-7: ausência de braquiária na entrelinha, com gesso no preparo e 7 t ha<sup>-1</sup> de gesso na linha), com três repetições distribuídas em blocos ao acaso, após 16 meses da aplicação do gesso. A adição de gesso reduziu o pH nas profundidades 15-25 cm, 35-45 cm e 75-85 cm. Nas maiores profundidades não houve efeito do gesso. A aplicação de gesso agrícola foi eficiente na melhoria do ambiente radicular no subsolo, aumentou a concentração de  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$ , mas reduziu o  $\text{K}^+$  em profundidade. Os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  trocável na solução do solo estiveram acima do nível crítico, entretanto, os teores de  $\text{K}^+$  trocável se mantiveram na faixa do valor crítico indicado para o desenvolvimento das culturas.

Termos de indexação: cátions básicos, lixiviação, balanço nutricional.

**SUMMARY:** DOSES OF GYPSUM IN COFFEE: INFLUENCE ON CALCIUM, MAGNESIUM, POTASSIUM AND pH OF THE SOLUTION OF A DISTROFIC RED LATOSOL

The imbalance between soil  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{K}^+$  as a consequence of high gypsum applications can be reasonably explained by the relationship of size (ionic radius) and charge density (charge/ionic radius) of each species. The higher the ionic strength is, the stronger the bonding of the cation with the opposite charge ions, such as  $\text{OH}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ . Thus, the excessive use of gypsum, without considering the charge balance of the soil colloid, the soil solution ionic balance and the soil CEC (cation exchange capacity), may result in significant leaching of these nutrients throughout the soil profile. The aim of this study was to evaluate the effect of the addition of high doses of gypsum to the soil on the pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{K}^+$  concentrations and its distribution in the solution of an dystrophic Red Latosol. The soil solution was obtained by the aqueous extract adapted method, with sampling at depths of 15-25, 35-45, 75-85, 115-125 and 235-245 cm, in coffee rows, 16 months after the gypsum additions to the crop. The experiment consisted of four treatments (G-0- gypsum added only in soil preparation; G-7- gypsum added in soil preparation and 7.0 t ha<sup>-1</sup> of gypsum added in the rows; G 56- gypsum added in soil preparation and 56 t ha<sup>-1</sup> of gypsum added in the rows, brachiaria was planted between the rows; and CV-7- gypsum added in soil preparation and 7 t ha<sup>-1</sup> of gypsum added in the rows) with three replications in a randomized block design. The addition of gypsum reduced the pH in the depths of 15-25, 35-45, 75-85 cm. At greater depths there was no gypsum effect, however the application of gypsum was effective in improving the root's environment, increased the concentration of  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{Ca}^{2+}$ , but reduced  $\text{K}^+$  concentration in the profile. The exchangeable  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  found

in soil solution were above the critical level, but the exchangeable  $K^+$  remained in the critical range for the proper development of the crop.

Index Terms: basic cations, leaching, nutrient balance

## INTRODUÇÃO

A região centro-oeste de Minas Gerais, juntamente com a região sul do estado, é grande produtora de café. O cafeeiro é uma planta exigente em atributos físicos e químicos do solo, exigindo solos profundos, porosos, bem drenados, com boa retenção de umidade e teores de macro e micronutrientes distribuídos de forma adequada ao longo do perfil do solo para que a absorção seja contínua (Guimarães & Lopes, 1986; Malavolta et al, 1993; Sedyama et al, 2001; Matiello et al., 2008). Limitações físicas são de difícil correção, mas as químicas podem ser anuladas com o manejo adequado da fertilidade do solo, para que a planta tenha a seu dispor durante seu ciclo os nutrientes em quantidades adequadas para cumprir as suas funções metabólicas (Malavolta et al, 1993; Prado, 2008).

A cafeicultura nessas regiões de Minas Gerais está implantada, em sua maior parte, em solos que apresentam limitações, caracterizados pela elevada acidez, teores médios de matéria orgânica, baixa CTC, deficiência generalizada de nutrientes e elevada saturação por Al (Souza & Ritchey, 1986; Corrêa, 1992; Bernardi et al, 2003, Oliveira et al, 2005; Diniz, 2006, Serafim et al, 2011). Essas são condições desfavoráveis à cultura, que restringem a frutificação, resultando em baixa produtividade. Como forma de corrigir a toxidez de alumínio nas camadas mais profundas do solo e permitir que o sistema radicular alcance maiores profundidades que são, via de regra, mais úmidas, a aplicação de gesso agrícola tem sido feita em muitas propriedades na região oeste de

Minas Gerais, em associação com adubações adequadas, de forma a garantir desenvolvimento das plantas e produtividades sustentáveis.

Por ser um subproduto da indústria de fertilizantes fosfatados, o gesso agrícola é comercializado a baixo custo e por isso é mais acessível para o produtor rural. Após a aplicação desse insumo ao solo, não se espera a elevação do pH, pois o mesmo é um sal neutro. Entretanto, quando aplicado conjuntamente com o calcário, a mistura diminui o teor de  $Al^{3+}$  e aumenta os teores  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $SO_4^{2-}$  em profundidade (Custódio et al, 2005; Rampim et al, 2011). Isso ocorre, pois, sendo um sal mais solúvel em água do que o carbonato, o sulfato de cálcio dissolve com a água de chuva e é deslocado para o subsolo, promovendo, portanto, grande mobilidade vertical de cátions (Ernani, et al, 2001; Souza et al, 2005; Rajj, 2008).

O desbalanço entre  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $K^+$  no solo, como consequência das aplicações elevadas de gesso, pode ser razoavelmente explicado pelas relações de tamanho (raio iônico de Pauling: 0,99 Å, 0,65 Å e 1,33 Å, respectivamente para  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $K^+$ ) e a densidade de carga (relação carga/raio) de cada espécie (2,02; 3,07 e 0,75, respectivamente para  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $K^+$ ) (Mahan, 2003). Quanto maior a densidade de carga, mais intensa será a ligação iônica do cátion com íons de cargas opostas como  $OH^-$ ,  $SO_4^{2-}$ . Portanto, a facilidade de formação de sulfatos percoláveis no solo diminui na seguinte ordem:  $MgSO_4^0 < CaSO_4^0 < K_2SO_4^0$ , que poderá alterar-se em função de incrementos na adição de gesso agrícola ou de fatores decorrentes da heterogeneidade do sistema solo.

Além disso, o  $Ca^{2+}$  apresenta maior energia de adsorção aos coloides do solo, quando comparado com o  $Mg^{2+}$  e  $K^+$ . Assim sendo, o uso excessivo do gesso, não levando em consideração o balanço de cargas dos coloides do solo, o equilíbrio iônico e a capacidade de troca de cátions, pode promover expressiva lixiviação desses nutrientes ao longo do perfil do solo (Caires et al., 2003), podendo ir para além da camada onde se encontra o sistema radicular das

plantas. Esse é, comumente, o motivo de maior preocupação, principalmente quanto ao uso de elevadas doses de gesso, que podem causar desbalanços e perdas de nutriente mais lixiviáveis (Caires et al, 2003; Rajj 2008). Caires et al (1998), Soratto & Crusciol (2008) e Serafim et al (2012) relatam lixiviação intensa de  $Mg^{2+}$  e  $K^+$  ao longo do perfil do solo, ocasionada pela aplicação de elevadas doses de gesso.

Diante disso, este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito de altas doses de gesso nos teores de cálcio, magnésio e potássio trocáveis e pH na solução de um Latossolo Vermelho distrófico.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A área experimental está localizada na Fazenda AP Família, pertencente à Empresa Agropecuária Piumhi Ltda., no município de São Roque de Minas, na região fisiográfica do Alto São Francisco, porção centro-oeste do estado de Minas Gerais, na latitude e longitude aproximadas de 20°14'42" S e 46°21'57" W de Greenwich, respectivamente. O clima da região é do tipo Cwa, segundo Köppen, sendo a precipitação média anual de 1.344 mm, com estação seca bem definida nos meses de maio a setembro, temperatura média anual de 20,7 °C, umidade relativa média de 60% e altitude média de 900 m (Menegasse et al, 2002).

Para a implantação das lavouras cafeeiras da cultivar Catucaí Amarelo Multilínea na área estudada foi feito o preparo do solo com aração e gradagem, aproveitando essas operações para a incorporação de calcário e gesso agrícola a 20 cm de profundidade. A aplicação desses insumos ocorreu em setembro de 2008 e as respectivas quantidades foram calculadas com base nos resultados das análises químicas e físicas do solo, segundo recomendação para o estado de Minas Gerais (Guimarães et al, 1999). O gesso, no preparo do solo, foi

distribuído a lanço, na quantidade de duas toneladas por hectare. Este valor corresponde a 50% da recomendação baseada no teor de argila do solo, de acordo com a análise de solo, considerando a camada de 0 a 10 cm. Após o preparo, foi implantada *Urochloa ruziziensis*, como cultura de cobertura do solo.

No preparo do sulco de plantio, fez-se uma operação com um subsolador a 0,6, seguida da operação com uma cavadeira dotada de sistema rotativo, a qual revolve o solo numa faixa de 50 cm de largura e 60 cm de profundidade, realizando conjuntamente a mistura dos adubos previamente colocados na linha de plantio. Em maio de 2009, sete meses após o plantio, foi realizada a aplicação em superfície dos tratamentos com gesso agrícola na linha da cultura, em uma faixa de 50 cm de largura. A operação seguinte foi a chegada de terra na linha do cafeeiro, cobrindo todo o gesso. Inicialmente, a leira formada com a amontoa chegou a 50 cm de altura; com o tempo, ocorreu a acomodação do material e estabilizou-se com 20 a 30 cm de altura.

Os dados pluviométricos foram obtidos por meio de pluviômetros instalados na área de estudo. No ano de 2008 foram registrados 694 mm (meses setembro, outubro, novembro e dezembro); em 2009, 1.060,5 mm e, em 2010, 745 mm.

Foram utilizados quatro tratamentos com três repetições, distribuídas em blocos ao acaso, conforme descritos a seguir: G-0: gesso no preparo (aplicação ocorreu em setembro de 2008, distribuído a lanço, na quantidade de 2 t ha<sup>-1</sup>) e sem gesso na linha de plantio; G-7: gesso no preparo e 7 t ha<sup>-1</sup> de gesso na linha de plantio (1,75 kg m<sup>-1</sup>); G-56: gesso no preparo e 56 t ha<sup>-1</sup> de gesso na linha de plantio (14 kg m<sup>-1</sup>), todos com braquiária nas entrelinhas de plantio, e CV-7: ausência de braquiária na entrelinha, com gesso no preparo e 7 t ha<sup>-1</sup> de gesso na linha de plantio (1,75 kg m<sup>-1</sup>). Para o estudo dos teores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e pH na solução do solo, o solo foi amostrado nas profundidades 15-25, 35-45, 115-125, 75-85 e 235-245 cm na linha de cada tratamento após 16 meses da

aplicação do gesso agrícola, totalizando 60 amostras. Estas amostras foram posteriormente secas ao ar (TSFA), destorroadas, passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha e acondicionadas em sacos plásticos. As amostras foram armazenadas à sombra e à temperatura ambiente, até a realização das análises.

A escolha dos tratamentos G-56 e G-0 se justifica por serem os extremos do experimento, devendo, dessa maneira, possuir maior contraste entre estes tratamentos e, por consequência, verificar se há diferenças. O tratamento CV-7 foi comparado com o G-0, pois, neste contraste CV-7 x G-7, consegue-se isolar o efeito da braquiária e, dessa maneira, verificar se a mesma interfere ou não na resposta do gesso. Com relação às profundidades amostradas, a de 15-25 cm, se justifica por ser a camada de cultivo; a 35-45 cm, por ser logo abaixo da camada arável; as de 75-85 e de 115-125 cm se justificam por ser aquelas abaixo do sulco de plantio e a de 235-245 cm, por ser o extremo das profundidades.

Para a extração da solução do solo, utilizou-se o método de pasta de solo saturado, adaptado do extrato aquoso (Wolt, 1994). Para isso, foram medidos 250 cm<sup>3</sup> de cada amostra e, em um recipiente plástico de 500 mL, adicionou-se água ultrapura até, aproximadamente, 25% do volume do solo. Em seguida, a pasta foi deixada por 16 horas em repouso e, após esse tempo, foi colocada em um conjunto de funil de buchner contendo papel de filtro (filtração rápida), acoplado a um kitassato, e a solução foi extraída sob vácuo, por cerca de 9 horas. A solução obtida foi, então, filtrada em membrana de celulose de 0,45 µm de malha e encaminhada para análise. Determinou-se nas soluções o pH e as concentrações de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> foram determinadas por espectroscopia de emissão em plasma com detecção ótica (ICP- AES axial da marca Varian, modelo Vista MPX com nebulizador Meinhart), utilizando-se soluções padrão para a curva de calibração e de verificação da calibração rastreadas ao NIST; K<sup>+</sup> por fotometria de chama. Os limites de detecção foram 1 mg L<sup>-1</sup> para K, 0,12 mg L<sup>-1</sup> para Ca e 0,25 mg L<sup>-1</sup> para Mg.

Os resultados da análise textural, do extrato de ataque sulfúrico e as principais características químicas do solo estudado antes do plantio da cultivar Catucaí Amarelo Multilínea são apresentados nas Tabelas 1 e 2. Tendo em vista os valores dos índices Ki e Kr < 0,75, o Latossolo em estudo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico de mineralogia gibbsítico-oxidico (Embrapa, 2006). Trata-se, portanto, de solo altamente intemperizado, permeável e com textura muito argilosa. As quantidades de corretivos e adubos utilizados nas épocas de plantio, formação e produção da lavoura podem ser encontradas em Serafim et al (2011).

Tabela 1. Análise textural e resultados do ataque sulfúrico para os horizontes Ap e Bw do Latossolo Vermelho distrófico em estudo.

Horizonte	Textura			Ataque sulfúrico				Ki*	Kr**
	Argila	Silte	Areia	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
	-----g kg <sup>-1</sup> -----								
Ap	793	198	39	102	355	157	1,32	0,49	0,38
Bw	819	148	33	105	392	169	0,98	0,46	0,36

\*Ki: relação molecular  $1,7 \times \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ , \*\*Kr: relação molecular  $[1,7 \times \text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,64 \times \text{Fe}_2\text{O}_3)]$ .



Tabela 2. Resultado das análises químicas do Latossolo Vermelho distrófico, para a coleta de solo realizada em setembro de 2008, antes do plantio do cafeeiro, na área com braquiária (CB) e sem braquiária (SB), na entrelinha, nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm e 60-80 cm.

Solo	Prof.	pH <sup>(1)</sup>	..... mg dm <sup>-3</sup> .....				..... cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....				t	T	V	m	MO <sup>(5)</sup> ..... dag kg <sup>-1</sup>
			P <sup>(2)</sup>	K <sup>(2)</sup>	Na <sup>(2)</sup>	Ca <sup>(3)</sup>	Mg <sup>(3)</sup>	Al <sup>(3)</sup>	H+Al <sup>(4)</sup>	%					
CB	0-20	4,9	5,6	29,3	5,9	1,4	0,6	0,2	5,5	2,4	7,7	27,6	8,5	3,3	
	20-40	5,0	2,5	20,9	4,8	0,9	0,3	0,2	5,3	1,5	6,5	18,6	17,9	3,1	
	40-60	5,1	1,6	18,4	5,2	0,8	0,3	0,2	5,0	1,3	6,1	18,0	14,3	2,9	
	60-80	5,0	3,2	22,9	5,3	1,0	0,4	0,2	5,3	1,7	6,8	21,4	13,6	3,1	
SB	0-20	5,1	4,9	26,8	6,4	1,9	0,8	0,1	4,6	2,9	7,4	36,9	5,8	3,4	
	20-40	5,0	2,1	19,3	6,4	1,1	0,5	0,2	5,0	1,8	6,6	25,1	9,9	3,1	
	40-60	5,1	2,2	19,7	5,7	1,2	0,5	0,2	4,3	1,9	6,0	29,3	9,3	3,0	
	60-80	5,1	1,0	11,5	3,7	0,5	0,2	0,1	4,1	0,8	4,8	13,9	17,4	2,4	

<sup>(1)</sup> pH em água, relação 1:2,5. <sup>(2)</sup> Extrator Mehlich 1. <sup>(3)</sup> Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. <sup>(4)</sup> Extrator SMP. <sup>(5)</sup> MO: Oxidação Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 4N+ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10N

Os resultados das análises dos atributos químicos do solo foram submetidos à análise de variância. O delineamento usado foi em blocos casualizados, com três repetições. As comparações das médias foram realizadas pelo teste de Scott-Knott, adotando-se valores de  $p \leq 0,05$  como critério de significância de F e de diferença entre médias. Os dados foram processados utilizando-se o software SISVAR 5.1 Build 72 (Ferreira, 2000).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Observa-se, na Figura 1, que os valores de pH variaram entre 4,5 e 6,2. A adição de gesso, independentemente da dose aplicada, reduziu o pH nas profundidades 15-25 cm, 35-45 cm e 75-85 cm, comparado ao tratamento G-0. Resultados semelhantes foram encontrados por Silveira et al (2008) e Leite et al (2012). Estes autores observaram, em seus trabalhos com solos salinos e sódicos, que o gesso reduziu o pH do solo comparado ao solo original. Essa redução no pH não ocorreu pela ação química do gesso, que é aprótico, mas pela percolação da água através do solo, com elevada permeabilidade e, dessa maneira, lixiviando ânions hidroxilas, carbonatos e bicarbonatos (Lucena et al., 1990; Leite et al., 2012).

Borges et al (1998), ao estudarem as alterações no pH em um Latossolo Vermelho Escuro álico, verificaram que as aplicações crescentes de gesso (0,0; 3,25; 6,50 e 9,75 t ha<sup>-1</sup>) reduziram o pH do solo de 5,30 para 4,80. Segundo esses autores, essa redução do pH pode estar relacionada com a predominância de microrganismos anaeróbicos. Além da baixa atividade decompositora, os produtos da degradação da matéria orgânica podem ser de caráter mais ácido, contribuindo, desse modo, para o abaixamento do pH. Ernani et al (2001), ao avaliarem as alterações na fase sólida e na solução percolada em dois solos ácidos (Latossolo Bruno Álico e Cambissolo Húmico Álico), verificaram que a

adição de gesso agrícola diminuiu o pH da solução percolada e da fase sólida. Os autores atribuíram essa diminuição de pH à hidrólise do Al, deslocado das cargas negativas pelo Ca aplicado e também pelo aumento da concentração de eletrólitos, uma vez que esses dois solos têm predomínio de carga líquida negativa. Rosa Junior et al (2006) também verificaram comportamento semelhante em um Latossolo Vermelho distroférico.

Apesar de muitos trabalhos mostrarem essas alterações de pH, em muitas outras pesquisas isso não foi observado (Rampim et al.,2011; Veloso et al., 1992; De Maria et al., 1993; Azevedo et al., 2004; Foloni et al., 2008 e Rocha et al., 2008). A ausência de alteração no pH do solo é um comportamento comumente esperado, uma vez que o gesso não é um corretivo da acidez do solo, ou seja, não aumenta o pH do solo por ser um sal neutro. No presente trabalho, isso foi observado somente nas profundidades 115-125 cm e 235-245 cm.

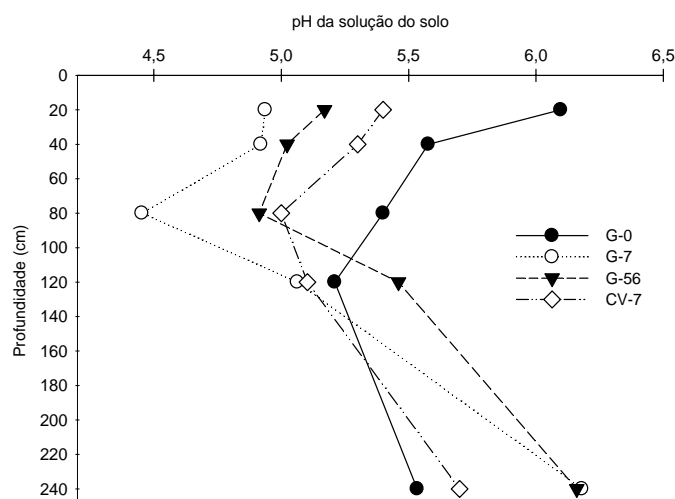


Figura 1. Valores de pH na solução do Latossolo Vermelho distrófico, em função das doses de gesso utilizadas (G-0: gesso no preparo e sem gesso na linha de plantio; G-7: gesso no preparo e 7 t ha<sup>-1</sup> de gesso na linha de plantio, G-56: gesso no preparo e 56 t ha<sup>-1</sup> de gesso na linha de plantio e CV-7: ausência de braquiária na entrelinha, com gesso no preparo e 7 t ha<sup>-1</sup> de gesso na linha de plantio), em função das profundidades amostradas de solo (15-25 cm, 35-45 cm, 75-85 cm, 115-125 cm e 235-245 cm).

Em outros trabalhos foi demonstrada elevação do pH no subsolo (Caires et al, 2003 e Rampim et al, 2011) após 32 e 12 meses, respectivamente, devido às aplicações de doses de gesso. Essa elevação tem sido atribuída a uma reação de troca de ligantes na superfície das partículas de solo, em que a liberação do Ca<sup>2+</sup>, pela dissolução do gesso que, posteriormente, liga-se ao carbono orgânico, torna o SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> disponível na solução do solo deslocando OH<sup>-</sup> e, assim, promove a neutralização parcial da acidez (Reeve & Sumner, 1972; Soratto & Crusciol, 2008).

O pH é utilizado como indicativo das condições gerais da fertilidade, pois reflete indiretamente o conteúdo de bases existentes no solo. Assim, quanto maior for seu conteúdo de bases, maior será a atividade de Ca, Mg e K na solução do solo e, conseqüentemente, menor será a atividade de íons  $H^+$ , medida pelo pH (Quaggio, 2000). Portanto, a redução do pH nas profundidades 15-25 cm a 75-85 cm, independentemente das doses de gesso aplicadas, deve-se ao deslocamento dessas bases para as camadas mais profundas do solo. Isso foi verificado por meio da análise da solução do solo em questão, tendo a aplicação de doses crescentes de gesso aumentado os teores de  $Ca^{2+}$  e  $K^+$  até 35-45 cm de profundidade, quando comparado ao tratamento G-0 e aos teores de  $Mg^{2+}$ , até 75-85 cm nos tratamentos G-7 e G-56, após 16 meses da aplicação do gesso agrícola (Figura 2). Resultados semelhantes foram encontrados por Ritchey et al (1980), Morelli et al (1992), Ernani & Barber (1993), Caires et al (2003), Saldanha et al (2007), Rampim et al (2011) e Serafim et al (2012).

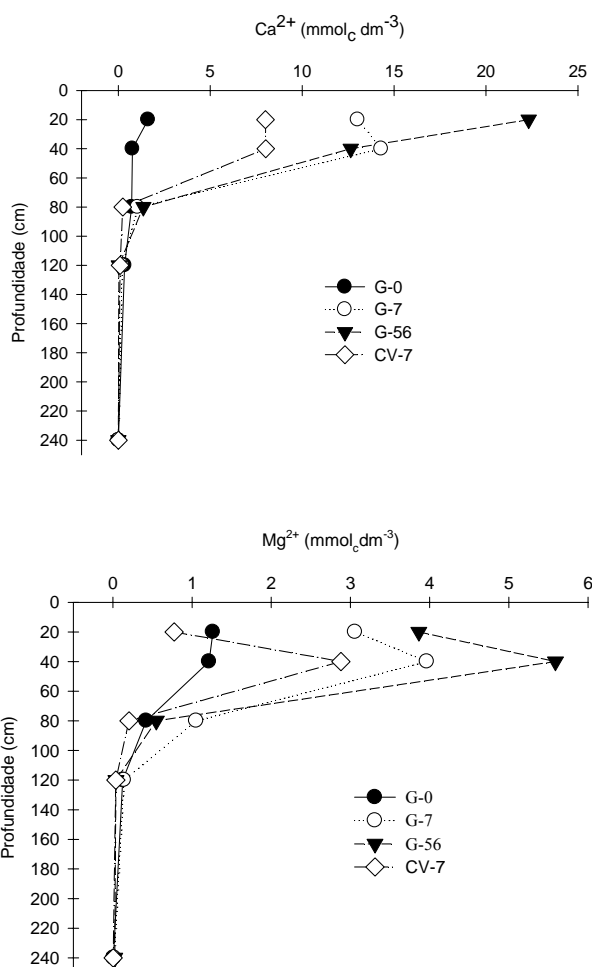
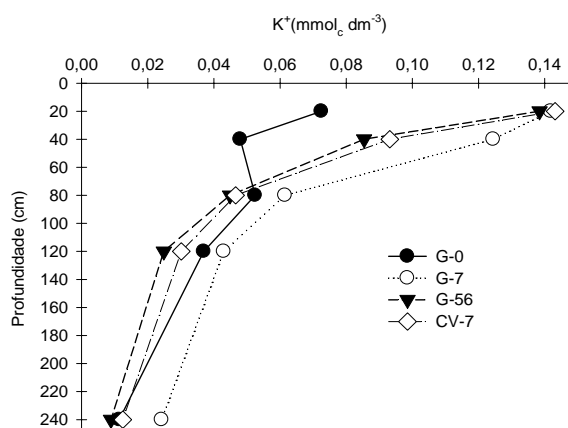


Figura 2. Efeito de doses de gesso (G-0: gesso no preparo e sem gesso na linha de plantio; G-7: gesso no preparo e  $7 \text{ t ha}^{-1}$  de gesso na linha de plantio, G-56: gesso no preparo e  $56 \text{ t ha}^{-1}$  de gesso na linha de plantio e CV-7: ausência de braquiária na entrelinha, com gesso no preparo e  $7 \text{ t ha}^{-1}$  de gesso na linha de plantio) sobre os teores trocáveis de Ca, Mg e K ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), nas profundidades 15-25 cm, 35-45 cm, 75-85 cm, 115-125 cm e 235-245 cm.

(...continua...)



Observa-se, na Figura 2, que a aplicação do gesso agrícola proporcionou a lixiviação de Ca e Mg no perfil do solo na forma de pulso, como pode ser visto na profundidade de 35-45 cm, após 16 meses da aplicação do insumo. Segundo Quaggio et al (1982) e Quaggio (2000), o movimento em forma de pulso é característico da lixiviação provocada pela gessagem. Já no caso do K, essa movimentação na forma de pulso não ocorreu, provavelmente porque esse elemento se movimenta com maior facilidade no perfil do solo, devido à sua menor densidade de carga. Quaggio et al (1982) observaram que a aplicação de calcário associada a 2 t ha<sup>-1</sup> de gesso aumentou a concentração de Ca e Mg em profundidade, porém, na forma de pulso na profundidade de 50 cm, após 18 meses da aplicações dos produtos. De Maria et al (1993), ao avaliarem o movimento de cátions em colunas com Latossolo Vermelho escuro de diferentes texturas (média e argilosa), após aplicação gesso, observaram que as perdas de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup> ocorreram na forma de pulso acentuado, na primeira percolação no solo com textura média e na segunda percolação no solo com textura argilosa. Silva et al (1997) constataram que o movimento na forma de pulso ficou bem nítido para o Mg nas amostras com aplicações de 2, 4 e 6 t ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola.

O gesso causou movimentação de Mg trocável no solo nas camadas superficiais, promovendo um aumento nas concentrações do nutriente na solução do solo até 75-85 cm de profundidade. No caso do K trocável, o mesmo foi sendo reduzido gradativamente em profundidade (Figura 2). Essa movimentação está associada à formação de pares iônicos neutros, como  $K_2SO_4^0$ ,  $CaSO_4^0$  e  $MgSO_4^0$ , formados pela dissolução do gesso no solo, que apresentam grande mobilidade ao longo do perfil do solo, ocasionando uma descida vertical de cátions para as camadas mais profundas (Dias, 1992; Caires et al, 2003; Mahan, 2003; Raij, 2008; Cremon et al, 2009, Ramos et al, 2012).

Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al (1998). Os autores verificaram que quanto maior a quantidade de  $CaSO_4$  aplicada, maior foi a tendência de movimentação do Mg em profundidade (30-40 cm). Martins et al (2002) observaram que o aumento das doses gessos aplicadas ao solo decresceram os teores de  $Mg^{2+}$  na camada de 0-15 cm, aumentando nas camadas de 30-45 cm e de 45 a 60 cm. Caires et al (2003) constataram que, após 8 e 32 meses da aplicação de gesso, houve redução de Mg trocável das camadas superficiais do solo e aumento das concentrações do nutriente em camadas subsuperficiais. Rampim et al (2011) concluíram que o uso do gesso em doses de 1 a 5 t ha<sup>-1</sup> proporcionou redução linear de  $K^+$  até 10 cm e de  $Mg^{2+}$  até 40 cm de profundidade do solo, um ano após a sua aplicação. Serafim et al (2012), ao estudarem a movimentação de íons dos horizontes A e Bw de um Latossolo gibbsítico sob seis doses de gesso agrícola (0, 3, 6, 9, 12 e 15 t ha<sup>-1</sup>), verificaram que, após 62 dias da aplicação do gesso, houve lixiviação de  $Mg^{2+}$  do horizonte A.

Entretanto, em outros trabalhos não foram constatadas reduções ou perdas desses nutrientes (Silva, 1990; Braga et al, 1995; Silva et al, 1998; Saldanha et al, 2007). A aplicação de gesso associado ao calcário pode minimizar as perdas de Mg, pois a calagem, ao elevar o pH do solo, libera cargas



negativas dos coloides, dificultando a lixiviação dos cátions do gesso em profundidade, devido à maior retenção dos mesmos na superfície. Além disso, essa prática aumenta a capacidade de troca de cátions (CTC), aumentando a adsorção do potássio (Caires et al., 2004; Quaggio, 2000). No caso do K, além da calagem, a prática da adubação potássica em cobertura, feita de forma parcelada, pode compensar essas perdas. Assim, quando o gesso é aplicado em doses elevadas no solo, estratégias para minimizar perdas potenciais de Mg e K trocáveis devem ser aplicadas (Caires et al, 2003).

Serafim et al (2011) constataram, na mesma área da presente pesquisa, que as raízes do cafeeiro atingiram profundidade média de 140 cm, não representando, no momento da coletas das amostras, perdas abaixo da camada de exploração das raízes. Os autores sugerem amostragens ao longo do tempo para verificar a ocorrência da lixiviação desses nutrientes para as camadas mais profundas do perfil do solo.

Concentrações de  $K^+$  na solução do solo entre 0,003-0,12  $mmol_c dm^{-3}$  têm sido indicadas como valores críticos para o desenvolvimento das cultura; para o  $Ca^{+2}$ , valores entre 0,01-2  $mmol_c dm^{-3}$  e, para o  $Mg^{2+}$ , entre 0,02-0,8  $mmol_c dm^{-3}$  (Asher & Edwards, 1978 apud Malavolta, 2006). Na Tabela 3, os teores de  $K^+$  se mantiveram sempre dentro do valor crítico e, além disso, o gesso não influenciou nos teores de potássio trocável no solo. O gesso agrícola é constituído, basicamente, por S, Ca,  $P_2O_5$  e F (Dias, 1992), ou seja, não é fonte imediata de K ao solo. Segundo Ermani et al (2007), a concentração de K em solos, mesmos naqueles bem fertilizados, é, normalmente, inferior a 0,5  $mmol_c dm^{-3}$ . Resultados semelhantes foram encontrados por Custódio et al (1995), Neis et al (2010) e Rampim et al (2011). Serafim et al (2012) verificaram que o K mostrou redução do seu teor residual no solo com a aplicação de gesso. Segundo esses autores, o gesso, um composto que contém Ca, pode deslocar o K de seus

sítios na argila do solo e este pode ser lixiviado pela água de irrigação ou de precipitação pluviométrica.

Tabela 3. Teores médios, nas profundidades estudadas, de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$  ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) na solução do Latossolo, em função dos tratamentos.

Tratamentos	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$
	$\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$		
G-0	0,04a	0,9c	0,6b
G-7	0,08a	7,2a	1,6a
G-56	0,06a	9,1a	2,0a
CV-7	0,07a	4,1b	0,8b

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

Com relação aos teores de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  na solução do solo, nos tratamentos com gesso na linha de plantio, seus teores estão acima dos níveis críticos estipulados em literatura (Tabela 3). No caso dos teores de  $\text{Mg}^{2+}$ , o gesso na linha elevou seus teores no solo. Resultados semelhantes foram encontrados por vários autores (Ritchey et al, 1980; Morelli et al, 1992; Ernani & Barber, 1993; Leandro et al (1996); Caires et al, 2003; Saldanha et al, 2007, Rampim et al, 2011; Serafim et al, 2012) que mostraram que a aplicação das doses de gesso provocou aumento nos teores de Ca e Mg nas camadas subsuperficiais do solo.

Observa-se, na Tabela 3, que os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  na solução do solo no tratamento G-7 com cultivo da *Urochloa ruziziensis* na entrelinha foram maiores que no tratamento CV-7, sem cultivo de braquiária na entrelinha. Já é bem conhecida a importância da cultura de cobertura e a manutenção dos seus restos culturais na superfície do solo, tendo como consequência o aporte de MO na superfície e em profundidade. Os compostos orgânicos do solo são formados por ácidos húmicos e fúlvicos, e ácidos orgânicos de baixa massa molecular,

responsáveis pela adsorção de íons e disponibilização dos mesmos para a solução do solo, conseqüentemente, suprindo as plantas (Franchini et al, 2003; Pavinato et al, 2008). Andrade et al (2012) também verificaram que o sistema de semeadura direta manteve maior teor de MO do que o preparo convencional, o que favoreceu a adsorção de cátions, como Ca e Mg, pelo solo e reduziu as perdas dos mesmos por erosão e lixiviação.

Diante dos resultados encontrados, conclui-se que tanto a prática da calagem, visando à correção da acidez do solo, como da gessagem, no fornecimento de Ca e Mg em subsuperfície e redução de  $Al^{3+}$ , devem ser feitas em níveis exigidos pelas culturas, procurando garantir o fornecimento adequado de Ca, Mg e K. A ausência ou o excesso de qualquer um deles e o uso inadequado de calcário e gesso acarretarão, ao longo do tempo, baixas produções e baixa qualidade da cultura, além de afetar o crescimento e o desenvolvimento e, em muitos casos, causar perdas irrecuperáveis.

## CONCLUSÕES

A adição de gesso reduziu o pH nas profundidades 15-25 cm, 35-45 cm e 75-85 cm. Nas profundidades maiores, de até 245 cm, não houve efeito do gesso.

A aplicação de gesso agrícola foi eficiente na melhoria do ambiente radicular no subsolo, aumentou a concentração de  $Mg^{2+}$  e  $Ca^{2+}$ , mas reduziu o  $K^+$  em profundidade.

Os teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  trocável na solução do solo mantiveram-se acima do nível crítico, entretanto, os teores de  $K^+$  trocável permaneceram na faixa do valor crítico indicado para o desenvolvimento das culturas.

## AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG, CAPES, CNPq, EPAMIG, FAPEMIG e Empresa AP, por bolsas de estudos e de pesquisa concedidas, apoio financeiro e suporte logístico.

## LITERATURA CITADA

ANDRADE, A. P.; MAFRA, A. L.; PICOLLA, C. D.; ALBUQUERQUE, J. A.; BERTOL, I. Atributos químicos de um Cambissolo Húmico após 12 anos sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas. *Cienc. Rural*, Santa Maria, v.42, n.5, mai. 2012.

ASHER, C. J.; EDWARDS, D.G. Critical external concentrations for nutrients deficiency and excess. In: **Plant Nutrition**, v. 1, p. 13-28, 1978.

AZEVEDO, W. R.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L. A.; OLIVEIRA JUNIOR, A. C. Disponibilidade de fósforo para o arroz inundado sob efeito residual de calcário, gesso e esterco de curral aplicados na cultura do feijão. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 28, p. 995-1004, 2004.

BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. A.; FREITAS, P. L.; COELHO, M. R.; LEANDRO, W. M.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. P.; OLIVEIRA, R. P.; SANTOS, H. G.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. C. S. Correção do solo e adubação no sistema de plantio direto nos cerrados. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 22 p. Documentos, 46.

BORGES, E. N.; NETO, F. L.; COSTA, L. M.; CORRÊA, G. F.; BORGES, E. V. S. Alterações nos componentes da acidez do solo promovidas em camada subsuperficial compactada pela aplicação superficial de gesso. *Revista Cereas*, v. 45, n. 257, p. 55-64, 1998.

BRAGA, F.de A.; VALE, F.R. do; MUNIZ, J.A. Movimentação de nutrientes no solo, crescimento e nutrição mineral do eucalipto, em função de doses de gesso e níveis de irrigação. *R. Bras. Ci. Solo*, v.19, p.69-77, 1995.

- CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:275-286, 2003.
- 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.; 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. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v.28, n.1, jan./fev. 2004.
- CORRÊA, J. B. Associação calcário/gesso na melhoria das condições químicas do solo para caféeiros (*Coffea arabica* L.) em crescimento. 1992. 104 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1992.
- CREMON, C.; ROSA JÚNIOR, E. J.; SERAFIM, M. E.; ONO, F. B. Análise micromorfométrica de agregados de um LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico em diferentes sistemas de manejo. *Acta scientiarum agronomy*, Maringá, v. 31, n. 1, p. 139-146, 2009.
- CUSTÓDIO, D. P.; OLIVEIRA, I. P.; COSTA, K. A.; SANTOS, R. S. M.; FARIA, C. D. Avaliação do gesso no desenvolvimento e produção do capim tanzânia. *Ciência Animal Brasileira* v. 6, n. 1, p. 27-34, jan./mar. 2005.
- De MARIA, I. C.; ROSSETTO, R.; AMBROSANO, E. J.; CASTRO, O. M. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio no movimento de cátions em colunas de solo. *Sci. Agric.* Piracicaba, v. 50, n. 1, p. 87-98, fev./mai. 1993.
- DIAS, L.E. Uso de gesso como insumo agrícola. Seropédica, Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Biologia - CNPBS, 1992. 6p. (Comunicado Técnico 7).

- DINIZ, B. P. C. O Grande Cerrado do Brasil Central: geopolítica e economia. 2006. 231 p. Tese (Doutorado em geografia)- Universidade de São Paulo-SP. 2006.
- EMBRAPA. Manual de análise química de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2009. 627 p.
- ERNANI, P. R.; BARBER S.A. Composição da solução do solo e lixiviação de cátions afetadas pela aplicação de cloreto e sulfato de cálcio em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.41-46, 1993.
- ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 31, p. 393-402, 2007.
- ERNANI, P.R.; RIBEIRO, M.S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. *Scientia Agricola*, v.58, n.4, p.825-831, 2001.
- FERREIRA, D.F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 5.1. In: Reunião anual da região brasileira da sociedade internacional de biometria. **Anais**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2000. p.255-258.
- FOLONI, J. S. S.; SANTOS, D. H.; CRESTE, J. E.; CÂMARA, M.; TIRITAN, C. S. Produção de matéria seca do milho e fertilidade do solo em função da gessagem em excesso. **Colloquium Agrariae**, v. 4, n.2, p. 42-51, dez. 2008.
- FRANCHINI, J. C.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, A. Organic composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid Oxisol. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* v. 34, p. 2045-2058, **2003**.
- GUIMARÃES, P. T. G.; GARCIA, A. W. R.; ALVAREZ VIEGAS, V. H.; PREZOTTI, L. C.; VIANA, A. S.; MIGUEL, A. E.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J. B.; LOPES, A. S.; NOGUEIRA, F. D.; MONTEIRO, A. V.

- C. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ VIEGAS, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 289-302.
- GUIMARÃES, P.T.G.; LOPES, A.S. Solos para o cafeeiro: características, propriedades e manejo. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. Cultura do Cafeeiro: fatores que afetam a produtividade. Associação Brasileira para Pesquisa a Potássio e do Fosfato. Piracicaba, 1986. p.115-156.
- LEANDRO, W. M.; BELLINGIERI, P. A.; GALON, J. A. Ação de diferentes corretivos e do gesso sobre as características químicas de um Latossolo Vermelho escuro na sucessão arroz e soja. *Anais Esc. De Agron. E Vet*, v. 26, p. 37-49, 1996.
- LEITE, M. J. H.; SANTOS, R. V.; GOMES, A. D. V.; VITAL, A. F. M. Aplicação de corretivos e crescimento de oleaginosas em solos salinizados do semiárido. *Revista Verde (Mossoró – RN)*, v.7, n.1, p. 87 – 95, jan./mar. 2012.
- LUCENA, E. R.; CAVALCANTE, L. F.; JUNIOR, R. F. Efeito do gesso agrícola sobre a absorção de NPK e sódio por plantas de milho em um solo. *Agropecuária Técnica*, v. 11, n. 12, p. 54-63, 1990.
- MAHAN, B. M. **Química: um curso universitário**. 6 ed. Edgard Blücher, São Paulo, 2003, p. 581.
- MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo. Ceres. 2006. 638 p.
- MALAVOLTA, E.; FERNANDEZ, D. R.; CASALE, H.; ROMERO, J. P. Seja doutor do seu cafezal. **Informações Agronômicas**, Campinas, v. 64, p. 1-13, 1993.
- MARTINS, O. C.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; RIBEIRO, A. C.; BARROS, N. F. Resposta a aplicação de diferentes misturas de calcário e

gesso em solos. I. Alterações químicas no perfil do solo. **Revista Ceres**, v. 49, p. 123-135, 2002.

MATIELLO, J.B.; GARCIA A. W. R.; ALMEIDA, S. R. **Adubação Racional na Lavoura Cafeeira**. Varginha: Bom Pastor, p. 49-54, 2008.

MENEGASSE, L. N.; GONÇALVES, J. M.; FANTINEL, L. M. Disponibilidades hídricas na Província Cárstica de Arcos-Pains-Doresópolis, Alto São Francisco, Minas Gerais, Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**. São Paulo, v.16, p.1-19, 2002.

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

NEIS, L.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D. de.; REIS, E. F. dos.; PINTO, F. A. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. *R. Bras. Ci. Solo*, v.34, p. 409-416, 2010.

OLIVEIRA, I. P.; COSTA, K. A. P.; SANTOS, K. J. G.; MOREIRAS, F. P. Considerações sobre a acidez dos solos de cerrado. *Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos, Goiás*, v.1, n.1. 2005.

PAVINATO, P. C.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 32, p. 911-920, **2008**.

PRADO, R.M. *Nutrição de Plantas*. 2008. Editora Unesp, São Paulo, Brasil. 407p.

QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111p.

QUAGGIO, J.A.; DECHEN, A.R.; RAIJ, B. van. Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases no



- solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 6, p. 189-194, 1982.
- RAIJ, B. VAN. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agronômico, p. 233, 2008.
- RAMOS, B. Z.; FLORIANO, J. P. V.; LIMA, J. M. de.; GUILHERME, L. R. G.; SERAFIM, M. E.; GUIMARÃES, P. T. G.; COSTA, E. T. S.; COSCIONE, A. R. Especiação química da solução de um Latossolo sob cultura do cafeeiro com altas doses de gesso. Artigo submetido 2012.
- RAMPIM, L.; LANA, M.C.; FRANDOLOSO, J.F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa , v. 35, n. 5, 2011.
- REEVE, N. G.; SUMNER, M. E. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface applied amendments. **Agrochemophysica**, Australia, v.4, n. 2, p.1-6, out./dec. 1972.
- RITCHEY, K. D.; SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E.; CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol . **Agronomy Journal**, v. 72, p. 40-44, jan./feb. 1980.
- ROCHA, A. T.; OLIVEIRA, A. C.; RODRIGUES, A. N.; LIRA JÚNIOR, M. A.; FREIRE, F. J. Emprego do gesso do Araripe na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 4, p.307-312, oct./dez, 2008.
- ROSA JUNIOR, E. J.; MARTINS, R. M. G.; ROSA, Y. B. C. J.; CREMON, C. Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 36, n. 1, p. 37-44, 2006.
- SALDANHA, E. C. M.; ROCHA, A. T.; OLIVEIRA, E. C. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, F. J. Uso do gesso mineral em Latossolo cultivado com cana de açúcar. Caatinga, Mossoró, v.20, n.1, 2007.

- SEDIYAMA, G. C.; MELO JUNIOR, J.C.F.; SANTOS, A.R.; RIBEIRO, A.; COSTA, M; H.; HAMAKAWA, P.J.; COSTA, J. M. N.; COSTA, L. C. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arábica* L.) para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, p.501-509, Dez. 2001.
- SERAFIM, M. E.; LIMA, J. M.; LIMA, V. M. P.; ZEVIANI, W. M.; PESSONI, P. T. Alterações físico-químicas e movimentação de íons em Latossolo gibbsítico sob doses de gesso. *Bragantia* (São Paulo, SP. Impresso), v. 71, p. 30-40, 2012.
- SERAFIM, M. E.; OLIVEIRA, G. C.; OLIVEIRA, A. S.; LIMA, J. M.; GUIMARÃES, P. T.G.; COSTA, J. C. Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do alto São Francisco, MG:Um estudo de caso. **Biosci. J.** Uberlândia, v. 27, n. 6, p. 964-977, 2011.
- SILVA, A. A., VALE, F. R., FERNANDES, L. A., FURTINI NETO, A. E., MUNIZ, J. A. Efeitos de relações  $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$  na mobilidade de nutrientes no solo e no crescimento do algodoeiro. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 22, p. 451-457, 1998.
- SILVA, A. de A. Efeito de relações  $\text{CaCO}_3/\text{CaSO}_4$  no movimento de nutrientes no solo e no desenvolvimento do algodoeiro. 1990. 80f. Tese (Doutorado) - ESAL, Lavras, 1990.
- SILVA, N. M. A.; RAIJ, B. V.; CARVALHO, L. H. D.; 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, 1997.
- SILVEIRA, K. R.; RIBEIRO, M. R.; OLIVEIRA, L. B.; HECK, R. J.; SILVEIRA, R. R. Gypsum-saturated water to reclaim alluvial saline sodic and sodic soils. **Sci. Agric.** (Piracicaba, Braz.), v.65, n.1, p.69-76, Jan./Feb. 2008.

- 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. R. Bras. Ci. Solo, v. 32, p. 675-688, 2008.
- SOUZA, D. M. G.; LOBATO, S.; REIN, T. A. Uso de gesso agrícola nos solos do Cerrado. Documentos / Embrapa Cerrados, Circular Técnica n. 32, Planaltina, DF, 19 p, 2005.
- SOUZA, D. M. G.; RITCHEY, K. D. Uso do gesso no solo de cerrado. In: Anais do I Seminário sobre o Uso de Fosfogesso na Agricultura. p. 119-144, 1986.
- VELOSO, C. A. C.; BORGES, A. L.; MUNIZ, A. S.; VEIGAS, I. A. de J. M. Efeito de diferentes materiais no pH do solo. **Sci. agric.** V. 49. 1992.
- WOLT, J.D. Obtaining soil solution: laboratory methods. In: Soil solution chemistry: applications to environmental science and agriculture. New York: John Wiley, 1994. p.95-120.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As doses de gesso alteraram as características químicas do solo. No primeiro estudo, verificou-se que houve um aumento nos teores de  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  nas camadas subsuperficiais do solo, evidenciando o arraste desses nutrientes para as camadas além da aplicação do insumo. Com o estudo da especiação química, constatou-se que as formas livre de  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  foram as espécies químicas predominantes na solução do solo estudado, independentemente do tratamento ou da profundidade amostrada.

Quando o  $\text{SO}_4^{-2}$  formou pares iônicos, a maior proporção ocorreu para o  $\text{CaSO}_4^0$ , seguido do  $\text{MgSO}_4^0$ , com as maiores porcentagens presentes na linha de plantio até 75-85 cm de profundidade e aumentando com a aplicação de maiores doses de gesso. O  $\text{Ca}^{2+}$ , ao formar os pares iônicos  $\text{CaSO}_4^0$  e o par iônico com o COD representaram, na linha de plantio, 11,6% e 8,8% das espécies,

respectivamente e, na entrelinha de plantio, representaram, respectivamente, menos de 1% e 15,0%, tendo sido encontrados em até 75-85 cm de profundidade. A associação do  $Mg^{2+}$  com ânions orgânicos ocupou 32% na linha e 21% na entrelinha, confirmando a importância da planta de cobertura na dinâmica e na ciclagem dos nutrientes. Dentre os ânions inorgânicos, o que mais se ligou ao  $Mg^{2+}$  foi o  $SO_4^{2-}$ , ocupando 9,9% na linha e menos de 1% na entrelinha, tendo sido observada a presença desse par iônico, embora em menores porcentagens, em até 75-85 cm de profundidade.

No segundo estudo, foi observado que a adição de gesso, independentemente da dose aplicada, reduziu o pH nas profundidades 15-25 cm, 35-45 cm e 75-85 cm, comparada ao tratamento somente com gesso no preparo. Essa redução deve-se ao deslocamento das bases para as camadas mais profundas do solo.

Isso foi verificado por meio da análise da solução do solo em questão, observando-se que a aplicação de doses crescentes de gesso aumentou os teores de  $Ca^{2+}$  e  $K^+$  até 35-45 cm de profundidade, quando comparado ao tratamento somente com gesso no preparo, e dos teores de  $Mg^{2+}$  até 75-85 cm nos tratamentos G-7 e G-56, após 16 meses da aplicação do gesso agrícola. Foi observado, ainda, que a aplicação do gesso proporcionou a lixiviação de Ca e Mg no perfil do solo na forma de pulso, na profundidade de 35-45 cm.

A mobilidade de cátions ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $SO_4^{2-}$ ) e de pares iônicos ( $CaSO_4^0$ ,  $MgSO_4^0$ ,  $KSO_4^0$ ) formados pela dissolução do gesso no solo, para camadas abaixo da profundidade explorada pelo sistema radicular, requer atenção para que não haja riscos de contaminação e comprometimento na produção, decorrente da redução na absorção desses nutrientes. Portanto, amostragens ao longo do tempo serão necessárias para se verificar a ocorrência da lixiviação dos pares iônicos para as camadas mais profundas do perfil do solo, pois estudos que envolvam gesso agrícola necessitam de tempo para que

seu efeito seja de fato avaliado ao longo do perfil. Além disso, o uso de doses elevadas de gesso no solo requer monitoramento por um maior período de duração, para melhor avaliar a viabilidade de uso dessa prática.

## ANEXOS

Anexo 1 Dados da especiação química do solo na linha de plantio

Trat.	Prof.	cm								%		
		SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	MnSO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>	CaSO <sub>4</sub>	NaSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	KSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>+2</sup>	CaCl <sup>+</sup>	CaNO <sub>3</sub> <sup>+</sup>
G0	15-25	86,2	-	0,01	5,3	8,4	0,05	0,04	0,06	78,9	0,04	-
	35-45	90,3	0,03	0,02	5,3	4,1	0,056	0,03	0,16	79,1	0,34	-
	75-85	-	-	-	-	-	-	-	-	83,6	0,23	0,09
	235-245	99,9	0,03	-	-	-	0,01	-	0,1	-	-	-
G7	15-25	62,1	0,06	0,02	6,3	31,4	0,05	0,05	0,03	62,1	0,06	0,01
	35-45	59,5	0,06	0,02	6,9	33,3	0,05	0,04	0,05	62,4	0,05	0,02
	75-85	87,6	0,26	0,23	5,2	6,5	0,08	0,03	0,1	92,5	0,18	0,06
	235-245	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G56	15-25	52,6	0,03	0,03	6,2	40,9	0,07	0,04	0,11	52,9	0,24	0,21
	35-45	58,4	0,04	0,03	11,3	29,9	0,07	0,03	0,16	64,7	0,19	0,09
	75-85	88,5	0,09	0,07	2,7	8,4	0,07	0,02	0,07	91,8	0,08	0,38
	235-245	99,7	-	-	0,02	-	0,01	-	0,22	-	-	-
CV7	15-25	70,9	0,02	0,03	2,1	26,7	0,04	0,05	0,04	73,6	0,02	-
	35-45	67,9	0,03	0,02	7,4	24,5	0,05	0,03	0,04	71,6	0,03	-
	75-85	97,7	0,04	0,01	0,8	1,2	0,08	0,03	0,12	58,1	0,05	0,04
	235-245	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo 1, continuação

Trat.	Prof. cm	CaSO <sub>4</sub>	CaHCO <sub>3</sub> <sup>+</sup>	CaF <sup>+</sup>	Ca-COD	Mg <sup>2+</sup>	MgCl <sup>+</sup>	MgF <sup>+</sup>	MgSO <sub>4</sub>	MgHCO <sub>3</sub> <sup>+</sup>	Mg-COD
		%									
G0	15-25	1,2	0,06	-	19,8	81,3	0,07	-	1,0	0,052	17,6
	35-45	1,6	0,02	-	18,9	81,1	0,56	-	1,3	0,02	17,0
	75-85	-	0,01	-	16,1	85,1	0,37	-	-	0,01	14,5
	235-245	-	-	-	-	3,4	-	-	-	-	96,5
G7	15-25	33,9	-	0,1	3,8	66,8	0,1	0,63	28,9	-	3,5
	35-45	33,9	-	0,01	3,5	67,5	0,08	0,09	29,1	-	3,3
	75-85	0,1	-	-	7,2	92,9	0,28	-	0,07	-	6,7
	235-245	-	-	-	-	1,6	-	-	-	-	98,4
G56	15-25	42,8	-	0,02	3,5	58,5	0,42	0,14	37,6	-	3,3
	35-45	31,4	-	0,03	3,6	69,4	0,32	0,19	26,8	-	3,3
	75-85	0,03	-	-	7,8	92,8	0,13	0,02	0,02	-	7,0
	235-245	-	-	-	-	7,8	-	-	-	-	92,2
CV7	15-25	18,0	0,01	0,05	8,3	77,3	0,04	0,33	14,9	-	7,4
	35-45	21,9	-	0,03	6,3	75,7	0,05	0,16	18,4	-	5,7
	75-85	0,04	-	-	41,8	59,9	0,08	-	0,04	-	40,0
	235-245	-	-	-	-	1,4	-	-	-	-	98,6

Anexo 2 Dados da especiação química do solo na entrelinha de plantio

Trat.	Prof. cm	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	AlSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	MnSO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>	CaSO <sub>4</sub>	NaSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	KSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>+2</sup>	CaCl <sup>+</sup>	CaNO <sub>3</sub> <sup>+</sup>
%													
G0	15-25	92,3	0,04	-	0,25	2,0	4,0	0,07	1,07	0,20	66,9	0,03	0,04
	35-45	45,0	0,07	0,01	0,21	15,1	39,3	0,06	0,21	0,06	92,5	1,8	2,7
	75-85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	88,4	0,13	0,30
	235-245	99,9	-	-	-	-	-	0,01	-	0,05	-	-	-
G7	15-25	85,9	0,28	-	0,17	3,4	9,2	0,11	0,73	0,17	84,4	0,07	1,5
	35-45	75,4	0,47	0,12	0,41	3,6	18,9	0,11	0,61	0,41	93,4	0,56	1,3
	75-85	47,8	0,17	-	0,22	24,6	26,7	0,11	0,12	0,28	94,8	1,1	2,2
	235-245	99,9	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G56	15-25	80,6	0,11	-	0,14	3,1	15,6	0,08	0,17	0,25	85,1	0,09	0,69
	35-45	55,6	0,16	-	0,22	10,1	33,7	0,1	0,06	0,09	95,1	0,73	1,2
	75-85	99,6	0,06	-	-	-	0,02	0,18	-	0,09	9,3	-	-
	235-245	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CV7	15-25	92,0	0,04	-	0,03	3,2	4,6	0,03	0,07	0,03	66,5	0,01	0,16
	35-45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	78,7	0,02	0,19
	75-85	96,2	0,40	0,24	0,24	1,5	1,1	0,05	0,08	0,12	81,3	0,02	0,05
	235-245	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Anexo 2, continuação

Trat.	Prof. cm	CaSO <sub>4</sub>	CaF <sup>+</sup>	CaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>+</sup>	CaHCO <sub>3</sub> <sup>+</sup>	Ca-COD	Mg <sup>2+</sup>	MgCl <sup>+</sup>	MgF <sup>-</sup>	MgSO <sub>4</sub>	MgHCO <sub>3</sub> <sup>+</sup>	Mg-COD
		%										
G0	15-25		-						-			30,2
	35-45	0,4		-	-	32,5	69,4	0,05		0,31	-	
	75-85	0,02	-	0,01	-	3,0	94,5	2,87	-	0,02	-	2,6
	235-245	-	-	-	0,01	11,2	89,8	0,21	-	-	-	10,0
	235-245	-	-	-	-	-	1,8	-	-	-	-	98,2
G7	15-25	0,70	0,01	0,07	-	13,2	86,8	0,12	0,06	0,55	-	12,5
	35-45	0,04	-	0,02	-	4,7	94,7	0,90	-	0,03	-	4,4
	75-85	0,05	-	0,02	-	1,9	96,5	1,8	-	0,04	-	1,6
	235-245	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	235-245	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G56	15-25	3,3	0,05	-	-	10,7	87,1	0,15	0,30	2,7	-	9,8
	35-45	0,1	-	-	-	2,9	96,3	1,2	-	0,08	-	2,5
	75-85	-	-	-	-	90,6	-	-	-	-	-	-
	235-245	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	235-245	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CV7	15-25	3,3	0,04	-	-	30,0	69,3	0,02	0,24	2,7	-	27,7
	35-45	-	-	-	-	21,0	79,9	0,03	0,02	-	-	20,0
	75-85	0,06	-	-	-	18,6	81,9	0,03	-	0,05	-	18,1
	235-245	-	-	-	-	-	4,8	-	-	-	-	95,2
	235-245	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-