



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Brasil

Lara Cabezas, Waldo Alejandro Ruben; Souza, Marcos André  
Volatilização de amônia, lixiviação de nitrogênio e produtividade de milho em resposta à aplicação de  
misturas de uréia com sulfato de amônio ou com gesso agrícola  
Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 32, núm. 6, noviembre-diciembre, 2008, pp. 2331-2342  
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo  
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214064012>

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

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## **SEÇÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS**

### **VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA, LIXIVIAÇÃO DE NITROGÊNIO E PRODUTIVIDADE DE MILHO EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE MISTURAS DE URÉIA COM SULFATO DE AMÔNIO OU COM GESSO AGRÍCOLA<sup>(1)</sup>**

**Waldo Alejandro Ruben Lara Cabezas<sup>(2)</sup> & Marcos André Souza<sup>(3)</sup>**

#### **RESUMO**

A adubação em cobertura na cultura de milho, assim como de outras culturas anuais, deve incluir N e S para acrescentar qualidade protéica à produção de grãos. Este trabalho foi desenvolvido na safra 2004/2005, na cultura de milho, na Fazenda Floresta do Lobo – Pinusplan, BR 050, km 93, município de Uberlândia (MG). O estudo foi realizado em Latossolo Vermelho ácrico típico fase Cerrado subcaducifólio muito argiloso ( $720 \text{ g kg}^{-1}$ ), objetivando: quantificar as perdas por volatilização de  $\text{N-NH}_3$  provenientes de algumas das misturas de grânulos utilizadas em cobertura nitrogenada na cultura de milho; determinar a distribuição, até 60 cm de profundidade de solo, do N-mineral ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ) e  $\text{S-SO}_4^{2-}$  após 37 e 51 dias da aplicação dos adubos em cobertura; e avaliar o efeito na produtividade de milho da aplicação de misturas de grânulos, com diferentes granulometrias e relações N:S, em relação à aplicação exclusiva, em cobertura nitrogenada, de uréia (U) e sulfato de amônio (SA). Foram instalados 11 tratamentos de adubação N:S:K em cobertura, no estádio de 5-6 folhas, em dose de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, nas formas exclusivas de U e SA, em misturas físicas de U+SA granulado (U+SA<sub>gr</sub>), U+SA farelado (U+SA<sub>fa</sub>), U+Gesso granulado (U+Gesso<sub>gr</sub>) e U+Gesso em pó (U+Gesso<sub>pô</sub>), em delineamento de blocos casualizados. As perdas gasosas de  $\text{N-NH}_3$  foram em ordem decrescente, em relação ao N aplicado: U 76,8%; U+SA<sub>Gr</sub> 37,9%; U+SA<sub>fa</sub> 27,7% e SA<sub>fa</sub> 7,8%. Os teores de N-amônio e N-nitrato no solo, após 37 dias da aplicação das misturas, mostraram-se similares à testemunha (menos N), evidenciando que o N fornecido via fertilizante foi em parte absorvido pela cultura, nitrificado, lixiviado e, ou, adsorvido em maior profundidade. Aos 51 dias após a aplicação das misturas, o

<sup>(1)</sup> Financiado pelo Convênio Embrapa-Petrobrás. Recebido para publicação em julho de 2007 e aprovado em julho de 2008.

<sup>(2)</sup> Pesquisador Científico nível IV, SAA-APTA-DDD Pólo Regional Noroeste Paulista. Caixa Postal 61, CEP 15500-970 Votuporanga (SP). E-mail: waldolar@terra.com.br ou waldolar@apta.sp.gov.br

<sup>(3)</sup> Professor da Faculdade de Agronomia, Universidade de Rio Verde – FES/URV. Fazenda Fontes do Saber Campus Universitário, Caixa Postal 104, CEP 75901-970 Rio Verde (GO). E-mail: s.s.m.andre@uol.com.br

teor de N-mineral total do solo, estava mais evidente nas camadas de 20 a 40 cm de profundidade, indicando lixiviação de N das camadas mais superficiais. Nos tratamentos com aplicação de apenas U ou SA, essa tendência foi mais atenuada. Quanto ao S-sulfato, a camada mais superficial apresentou os menores teores em todos os tratamentos, diminuindo ainda mais na camada de 0 a 10 cm, após os 37 e 51 dias da aplicação dos fertilizantes. Os teores de S-sulfato continuaram expressivos nas camadas mais profundas. No estádio de florescimento, a análise de nutrientes na folha oposta à espiga não mostrou diferença significativa na relação N:S, assim como na parte aérea da planta. As maiores produtividades foram alcançadas pelos tratamentos de U+SA<sub>fa</sub> e U+Gesso<sub>gr</sub>, respectivamente: 10.285 kg ha<sup>-1</sup> e 10.241 kg ha<sup>-1</sup> de grãos. Os tratamentos com maiores produtividades ocorreram com a aplicação da U em mistura com SA<sub>fa</sub>, SA<sub>gr</sub> e Gesso<sub>gr</sub>, nas relações N:S entre 2,75 e 4,0. Esses resultados permitem concluir que a aplicação de S em cobertura pode ser realizada misturando-se U com SA ou U com Gesso<sub>gr</sub>, embora esta última tenha apresentado perdas de NH<sub>3</sub> mais significativas.

**Termos de indexação:** cobertura nitrogenada, qualidade de produção, relação N:S foliar, relação N:S parte aérea, eficiência de fertilizante, enxofre.

**SUMMARY:** AMMONIA VOLATILIZATION, LEACHING OF NITROGEN AND CORN YIELD IN RESPONSE TO THE APPLICATION OF MIX OF UREA AND AMMONIUM SULPHATE OR GYPSUM

The side-dressing fertilization of annual crops should consider S, beside N and K, in order to add protein value to the crop production. This work was carried out in the crop year 2004/2005, in the Farm Floresta do Lobo - Pinusplan, located at the km 93 of BR 050 highway, in the county of Uberlândia (MG). The experiment was installed in ácrice Red Latossol typical Cerrado phase clayed (720 g kg<sup>-1</sup>), with the following objectives: to measure the losses by volatilization of NH<sub>3</sub>-N from some of the used mixtures at side-dressing in corn crop; to evaluate the distribution down to 60 cm deep, of mineral-N (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N) and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-S after 37 and 51 days of the side-dressing; and evaluate the effect on the corn yield, of granulated mixtures with different particles sizes and N:S ratios, in relation to urea (U) and ammonium sulphate (AS) exclusives. Eleven treatments in randomized blocs design of N:S:K fertilizers were used in side-dressing, in the corn stage of 5-6 leaves, in the rate of 90 kg ha<sup>-1</sup> of N, as exclusive U or AS, or mixtures of U+AS granulated (U+AS<sub>gr</sub>) and U+AS with different size particles (U+AS<sub>fa</sub>) and U+Gypsum granulated (U+Gypsum<sub>gr</sub>) and U+Gypsum powder (U+Gypsum<sub>powder</sub>). The more significant gas losses of NH<sub>3</sub>-N were in decrecent order: U exclusive 76.8 % followed by U+AS<sub>gr</sub> 37,9 %; U+Gypsum<sub>gr</sub> 27,7 % and AS<sub>fa</sub> exclusive (7,8 %). The concentration of ammonium-N and nitrate-N after 37 days of the fertilizer application was similar to the control (without N), demonstrating that the N supplied by the fertilizers were assimilated by the crop, nitrified, leached and, or, adsorbed more deeply. The sulphate-S, at the superficial layer presented the lower concentration in all treatments, reducing its concentration in the layer of 0 to 10 cm, and the 37 to 51 days of the fertilizer applied. After 51 days of the mixtures application, the concentration of total mineral-N was more expressive in the layers of 20 and 40 cm deep, demonstrating the leaching of N from the superficial layers. In the treatments with exclusive application of U and AS this tendency was weaker. In general it had greater ratio of the nitrate-N that of ammonium-N in the total mineral-N in the analyzed layers. In relation to sulphate-S, was expressive increasing the concentration in deeper layers. In stage of flowering, the analysis of nutrients in the leaf opposite the spike showed no significant difference in the ratio N:S leaf, and, this relationship in the shoots of the plant. The highest yields were reached by the treatments of U+AS<sub>fa</sub> and U+Gypsum<sub>gr</sub>: 10.285 and 10.241 kg ha<sup>-1</sup> of grains, respectively. The treatments with higher yields were the ones with U+AS<sub>fa</sub> or AS+Gypsum<sub>gr</sub> with the N:S ratios between 2,75 to 4,00. These results allow to conclude that the application of sulphur as side-dressing is necessary and it can be done by mixing U with AS or U and Gypsum<sub>gr</sub>, although this later one have presented significant higher NH<sub>3</sub> losses.

**Terms of indexation:** side-dress fertilization, production quality, N:S leaf ratio, N:S shoots ratio, fertilizer efficiency, sulphur

## INTRODUÇÃO

O aumento na eficiência da adubação nitrogenada em cobertura, principalmente em culturas anuais, requer a aplicação de fertilizantes nitrogenados em misturas com S e K, em detrimento da utilização individual das fontes destes nutrientes. Habtegebral & Singh (2006) observaram na cultura de tef, cereal de grande difusão na Etiópia (*Eragrostis tef*), que a aplicação conjunta de N e S favoreceu a eficiência de uso do N pela cultura e sua produtividade. Weil & Mughogho (2000), em diversos experimentos em Malawi, África, verificaram que a adubação nitrogenada aumentou a eficiência da utilização de S pelo milho.

No Brasil, dá-se ênfase a estudos que visam ao aumento da eficiência de fontes nitrogenadas em cobertura (Rambo et al., 2004; Silva et al., 2006; Collier et al., 2006). As fontes de N em uso (uréia, sulfato de amônio e nitrato de amônio), comuns na agricultura brasileira, apresentam desvantagens quando utilizadas individualmente, que podem ser minimizadas quando em misturas. Sabe-se que a aplicação da uréia (U) em superfície, principalmente em solos tropicais, em cultivos de sequeiro, sofre significativas perdas gasosas de amônia (Sengik & Kiehl, 1995; Lara Cabezas et al., 1997a,b; Costa et al., 2003; Sangoi et al., 2003). Sua utilização eficiente está condicionada à incorporação no solo (Lara Cabezas et al., 2000), independentemente das condições climáticas e dos tipos de solos. Esforços tecnológicos têm sido realizados para diminuir a magnitude da volatilização de amônia, logo após a aplicação da U; apesar do maior custo, pelo recobrimento da U com S, pela utilização de novos polímeros, pelo uso de inibidores de urease e de uréia supergrânulo, e pelas misturas com outros sais inorgânicos (Savant & Stangel, 1990; Watson et al., 1994; Sengik & Kiehl, 1995; Carrow, 1997).

O sulfato de amônio (SA) não sofre perdas significativas de amônia, de modo particular em solos ácidos (Lara Cabezas et al., 1997b), embora o custo unitário de N seja superior ao da U. Entretanto, contribui para melhorar a qualidade do grão, quanto ao suprimento de S para a planta.

O nitrato de amônio (NA), de manuseio cuidadoso pelo seu caráter explosivo e alta higroscopidez, pode eventualmente estar sujeito a perdas significativas por lixiviação (Corsi et al., 2001). Os solos brasileiros são deficientes em S na camada superficial, notadamente os de Cerrado (Horowitz & Meurer, 2006). As misturas de grânulos aplicadas em coberturas nitrogenadas deveriam incluir rotineiramente produtos com S, devido ao sinergismo com o N, aumentando a eficiência de aproveitamento deste último (Bull & Cantarella, 1993). O S participa na composição de aminoácidos (metionina, cistina, cisteína, taurina), bem como da ferrodoxina, enzima-chave no processo da fixação simbiótica do N<sub>2</sub>.

atmosférico (Vitti & Trevisan, 2000). Oliveira & Balbino (1995), avaliando o rendimento da soja em sucessão ao trigo, após a aplicação de 50 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, nas formas de U e SA, respectivamente, observaram que o SA contribuiu para aumento da produtividade de 30 e 51 %, respectivamente, e que a U, independentemente da dose, proporcionou aumento médio de 17 % na produção de grãos. A aplicação de S como superfosfato simples em semeadura e de gesso quando efetuada a adubação corretiva pode parecer suficiente em função do requerido por culturas como alfafa, cana-de-açúcar e milho, 70, 50 e 30 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente, segundo Teixeira (2004), inferindo-se desnecessária sua posterior aplicação em cobertura.

Foram objetivos deste estudo quantificar as perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub> provenientes de algumas misturas de grânulos utilizadas em cobertura nitrogenada, determinar a distribuição em profundidade de solo, do N-mineral (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> após a aplicação dos fertilizantes, e avaliar o efeito, na produtividade de milho, da aplicação de misturas de grânulos contendo U e SA, ou gesso, em relação à aplicação exclusiva de U ou SA em cobertura, em solo muito argiloso de Cerrado.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi parte de um estudo desenvolvido em dois períodos de safras consecutivas de milho: em 2004/2005 e 2005/2006 na Fazenda Floresta do Lobo – Pinusplan, BR 050, km 93, no município de Uberlândia (MG), e em 2005/2006, no município de Votuporanga (SP). Em Uberlândia (MG), a área experimental tinha sido cultivada com soja, variedade Vencedora (safra 2002/2003) e Monarca (safra 2003/2004), em sistema plantio direto, obtendo-se produtividades de 3.540 e 3.960 kg ha<sup>-1</sup> de grãos, respectivamente. Na época de estiagem, a área ficou em pousio, com crescimento vegetativo espontâneo. O estudo foi realizado de novembro de 2004 a maio de 2005, em Latossolo Vermelho ácrico típico fase Cerrado subcaducifólio (Embrapa, 1999). A coleta de solo para sua caracterização química foi efetuada em maio de 2004, nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm de profundidade, a partir de dez amostras simples, segundo método proposto por Raij et al. (2001), no laboratório da Unithal-Campinas, SP (Quadro 1).

Em setembro de 2004, foi feita adubação com 42 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de KCl, a lanço, sem incorporação. No dia anterior à semeadura de milho foi efetuada a dessecação da área, utilizando-se 3 L ha<sup>-1</sup> de glifosato. O híbrido P30K75 (precoce) foi semeado em 4/11/2004, com espaçamento de 0,5 m, numa densidade de 70.000 sementes por hectare. No sulco de semeadura, realizou-se a aplicação de 54,3 kg ha<sup>-1</sup> de N nas formas de U e monoamônio fosfato (MAP), 94,8 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> nas formas de superfosfato simples e MAP, e 42,0 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na

**Quadro 1. Atributos químicos em amostras de solo coletadas em diferentes profundidades, na área experimental, na safra 2004-2005. Uberlândia (MG)<sup>(1)</sup>**

| Profundidade | pH (CaCl <sub>2</sub> ) | P (Mehlich-1)       | K   | Ca <sup>2+</sup>                   | Mg <sup>2+</sup> | CTC  | V    | MO                 | S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> |
|--------------|-------------------------|---------------------|-----|------------------------------------|------------------|------|------|--------------------|---------------------------------|
| cm           |                         | mg dm <sup>-3</sup> |     | mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |                  |      | %    | g dm <sup>-3</sup> | mg dm <sup>-3</sup>             |
| 00–10        | 5,2                     | 15,0                | 3,0 | 32,0                               | 9,0              | 80,0 | 55,0 | 38,0               | 11,3                            |
| 10–20        | 5,0                     | 7,0                 | 2,4 | 22,0                               | 7,0              | 73,4 | 42,8 | 29,0               | 21,0                            |
| 20–40        | 5,0                     | 5,0                 | 2,3 | 19,0                               | 7,0              | 66,3 | 42,7 | 22,0               | 23,0                            |

<sup>(1)</sup> Métodos descritos em Raji et al. (2001).

forma de KCl, sem adição de micronutrientes. Durante o ciclo da cultura, realizou-se o controle químico de plantas daninhas e da lagarta elasmo (*Elasmopalpus lignosellus*), semelhante aos tratos culturais da área comercial da fazenda.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com onze tratamentos de adubação NSK em cobertura, com quatro repetições, com o milho no estádio de cinco a seis folhas (04/12/2004). Cada parcela foi constituída de sete linhas, com 50 m de comprimento e 0,5 m de espaçamento entre as linhas de plantas. Os tratamentos, incluindo testemunha sem N, corresponderam à aplicação, em cobertura, de 90 kg ha<sup>-1</sup> de N, de acordo com as misturas de grânulos NSK (Quadro 2).

As diferenças entre as misturas foram a razão N:S e a granulometria. Amostras de cada mistura foram analisadas no Laboratório de Análises de Solos e Fertilizantes da ESALQ/USP, Piracicaba-SP, para conferência da garantia em nutrientes.

Em três das quatro repetições, nos tratamentos T1, T2, T5, T10 e T11, correspondentes à testemunha e aplicação das misturas de grânulos NPSK 24:00:06:20, 22:00:08:20, 24:00:00:20 e 10:00:12:30 respectivamente (Quadro 2), foram instalados dois coletores de NH<sub>3</sub> do tipo semi-aberto estático em cada parcela, em delineamento experimental inteiramente casualizado, para quantificar a volatilização de N-NH<sub>3</sub> segundo método descrito por Lara Cabezas et al. (1999). Os coletores, continham em cada unidade dois discos de espuma, para a retenção da amônia proveniente do solo e do ar, respectivamente. Os discos coletores de amônia foram imbebidos em solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 eq g L<sup>-1</sup> e 30 mL L<sup>-1</sup> de glicerina como agente umidificante. Sob os coletores foram aplicadas doses equivalentes às misturas aplicadas na área experimental, respeitando-se forma e modo de aplicação. Foi efetuado amostragem do disco inferior (com amônia adsorvida do solo) com descarte do disco superior (amônia proveniente do ar) em intervalos de quatro a cinco dias, armazenados em temperatura de 5 °C, para posterior extração e destilação de N-amoniacial, segundo método descrito por Cantarella & Trivelin (2001), no Laboratório de Fertilidade de Solos do IAC-Campinas (SP).

Na época de pleno florescimento, em 11/01/2005, foram coletadas, em duas das quatro repetições de cada tratamento, 10 folhas opostas, abaixo da espiga (Malavolta et al., 1989) e preparadas para a determinação dos teores foliares N, P, K e S, efetuada no Laboratório Unithal, Campinas (SP).

Aos 37 e 51 dias depois de efetuada a aplicação das misturas em cobertura, foram coletadas três subamostras de solo para compor uma amostra, nas profundidades de 0 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm para as determinações de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. As amostras foram mantidas a -18 °C, até a análise no laboratório de Fertilidade de Solo do IAC-Campinas (SP). Para a determinação de N-inorgânico, foi utilizado o método descrito por Cantarella & Trivelin (2001), e para determinação de sulfato por turbidimetria, segundo método preconizado por Cantarella & Prochnow (2001).

**Quadro 2. Composição dos fertilizantes utilizados nas misturas de grânulos, sua relação N:S, aplicados em cobertura nitrogenada na cultura de milho, cultivada em sistema plantio direto, safra 2004-2005, Uberlândia (MG)**

| Tratamento | Mistura de grânulos (N:P:S:K) <sup>(1)</sup> | Matéria prima <sup>(2)</sup> | Relação N:S |
|------------|--|------------------------------|-------------|
| Testemunha | -  | -                            | -           |
| T2         | 24:00:06:20                                  | U + SA <sub>gr</sub>         | 4,00        |
| T3         | 24:00:06:20                                  | U + SA <sub>fa</sub>         | 4,00        |
| T4         | 22:00:08:20                                  | U + SA <sub>gr</sub>         | 2,75        |
| T5         | 22:00:08:20                                  | U + SA <sub>fa</sub>         | 2,75        |
| T6         | 27:00:05:24                                  | U + Gesso <sub>pó</sub>      | 5,40        |
| T7         | 18:00:05:17                                  | U + Gesso <sub>gr</sub>      | 3,60        |
| T8         | 23:00:05:30                                  | U + Gesso <sub>pó</sub>      | 4,60        |
| T9         | 15:00:05:19                                  | U + Gesso <sub>gr</sub>      | 3,00        |
| T10        | 22:00:00:30                                  | U                            | -           |
| T11        | 10:00:12:30                                  | SA <sub>fa</sub>             | 0,83        |

<sup>(1)</sup> Misturas de grânulos preparadas pela Serrana Fertilizantes – Grupo Bunge Fertilizantes Ltda. <sup>(2)</sup> U: uréia granulada, SA<sub>gr</sub>: sulfato de amônio granulado, SA<sub>fa</sub>: sulfato de amônio farelado, Gesso<sub>pó</sub>: gesso em pó, Gesso<sub>gr</sub>: gesso granulado.

Em 02/04/2005, foi obtida a produtividade de grãos em três linhas de plantas com 10 m de comprimento por parcela, e colhidas as espigas sem palha. Elas foram pesadas e debulhadas. Foi determinada a umidade dos grãos e efetuada a correção para 130 g kg<sup>-1</sup>. No dia seguinte, foi colhida, rente ao colo da planta, a parte aérea (colmo + folha + espiga + palha da espiga) das plantas de duas linhas de 15 m de cada repetição. O material foi triturado, homogeneizado e subamostrado para a determinação da massa de matéria seca (MMS) e as quantidades de N e S absorvidos pela cultura.

As perdas gasosas de N-NH<sub>3</sub> acumuladas foram avaliadas, comparando-se as médias, pelo teste de t (Student). Os resultados dos teores de nutrientes foliares e os da produtividade de grãos foram submetidos à análise de variância, e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5 %. Os resultados de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> foram avaliados em esquema fatorial 11 x 4 (11 fontes de cobertura e quatro camadas de amostragem entre 0 e 60 cm de profundidade), e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5 %. Na colheita, as médias de MMS e a eficiência de utilização de nutriente (N e S) na parte aérea da cultura (EUNPA), correspondente à produção de MMS por unidade de nutriente (kg kg<sup>-1</sup> de MMS), e a recuperação aparente de nutriente na parte aérea (RANPA), correspondente ao percentual na planta, proveniente do fertilizante em relação ao tratamento testemunha, foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 %.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A elevada umidade relativa do ar causada por alta pluviosidade, registrada durante a época da cobertura nitrogenada (Figura 1), dificultou a aplicação das

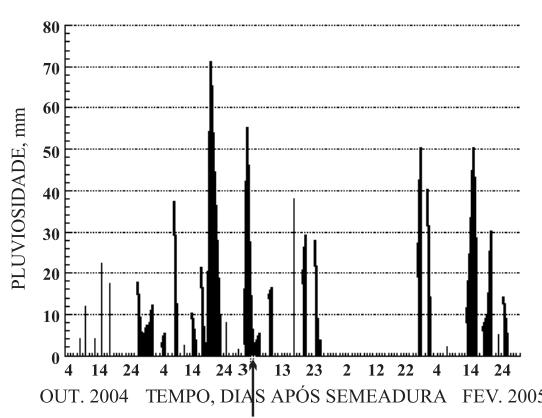
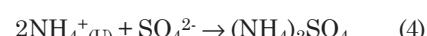
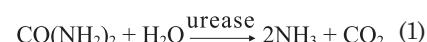


Figura 1. Pluviosidade na época da aplicação das misturas de grânulos em cobertura nitrogenada na cultura de milho, safra 2004-2005, Uberlândia (MG).

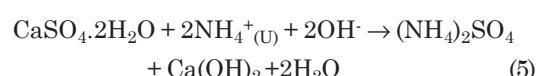
misturas de grânulos, alterando a exatidão da dose programada e consequentemente, as quantidades efetivas de N e S aplicadas. A aplicação média foi 84,3 % em relação à dose de 90 kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo os tratamentos T7 e T9 (contendo Gesso<sub>gr</sub> na mistura), os mais alterados, mostrando limitações de caráter operacional, devido ao empedramento da mistura.

As perdas de N-NH<sub>3</sub> mais apreciáveis ocorreram no experimento com aplicação da U de forma exclusiva (76,8 % do N-aplicado), seguidas daquelas em que foram aplicadas as misturas U+SA<sub>gr</sub> e U+SA<sub>fa</sub> (37,9 e 27,7 %), respectivamente e o SA<sub>fa</sub> aplicado de forma exclusiva (7,8 %) (Figura 2). Esses resultados colocam em evidência que o SA está efetivamente contribuindo a atenuar as perdas gasosas de N-NH<sub>3</sub> provenientes da hidrólise da U.

Esta afirmação toma como base as reações indicadas nas equações (1) a (4), e que ocorrem entre as fontes U e SA, quando aplicadas conjuntamente:



Uma fração importante da amônia liberada pela hidrólise da U ficaria retida na solução de solo na forma de NH<sub>4</sub><sup>+</sup><sub>(U)</sub> (Eq. 2), o qual poderia reagir com o ânion sulfato na solução de solo, dando origem a novo sulfato de amônio (Eq. 4), evitando o aumento na concentração da amônia livre e sua consequente perda gasosa por gradiente de concentração do gás. O gesso estaria efetuando função similar, considerando-se a equação (5):



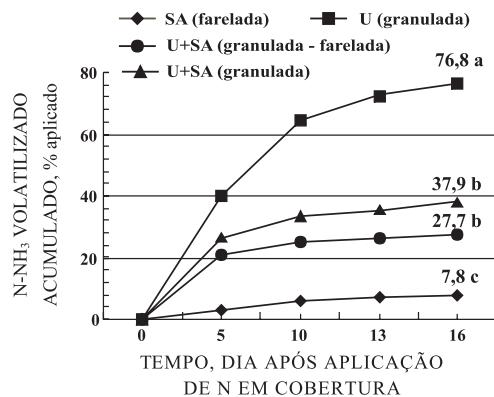
Resultados similares foram observados por Lara Cabezas et al. (1997b). Aparentemente esse efeito é observado mais nitidamente quando as fontes entram em contato direto com o solo. Sobre palha de cana-de-açúcar, como observado por Costa et al. (2003), a maior atividade de urease, e consequentemente, a hidrolise mais acentuada de U, poderia estar atenuando o efeito do SA. Como todas as fontes nitrogenadas foram aplicadas juntamente com KCl, pode-se observar que o ânion sulfato do SA, pela dupla carga negativa seria mais eficaz no controle das perdas gasosas em relação ao cloreto. Não foi observada diferença significativa das perdas gasosas quando utilizada a forma granulada ou farelada do SA na mistura (Figura 2).

O teor foliar de N, P, K e S no estádio de pleno florescimento não mostrou diferença significativa entre os tratamentos (Quadro 3). Os teores médios de N, P, K e S foram de 37,7, 3,5, 21,4 e 2,2 g kg<sup>-1</sup>

respectivamente. Caires et al. (2004) não observaram diferença no teor foliar de milho em tratamentos com doses crescentes de gesso em SPD num Argiloso do Paraná. Para tratamentos com aplicação de zero até 9 t ha<sup>-1</sup> de gesso, esses autores observaram valores médios de 33,4, 3,4, 27,4 e 1,9 g kg<sup>-1</sup> de N, P, K e S, respectivamente, similares aos obtidos neste estudo. Todos os valores encontraram-se dentro do intervalo adequado de suficiência, o que constitui um reflexo do

nível de fertilidade do solo em que foi realizado o estudo. O teor de S foliar que geralmente se mostra deficiente em solos do Cerrado e do Brasil esteve dentro do intervalo adequado, evidenciando coerência com o resultado da análise química de solo (Quadro 1). Ainda, como salientaram Souza & Rein (2004), o gesso agrícola granulado em culturas anuais apresenta eficiência agronômica equivalente à do gesso em pó.

Segundo Oliveira et al. (2000), o uso de gesso agrícola nos Latossolos da região de Cerrado contribui com o aumento na lixiviação de nitrato, mas a melhor distribuição do sistema radicular no perfil do solo, proporcionada pela lixiviação de Ca, pode contrabalançar o aumento de perdas de nitrato. A maior capacidade de adsorção de nitrato na subsuperfície desses solos estudados, independentemente de apresentarem inversão de carga ou não, pode contribuir para diminuir as perdas deste íon por lixiviação, o que poderia aumentar a eficiência das adubações nitrogenadas e reduzir o potencial de contaminação dos lençóis freáticos, como indicado por esses autores. Os padrões de distribuição de amônio e nitrato, em profundidade (Quadro 4), mostraram-se similares para todos os tratamentos, com exceção do tratamento com aplicação única de SA, que não apresentou decréscimo em profundidade. Os valores foram similares aos observados por Primavesi et al. (2006), com aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup> de U em pastagem no período chuvoso, em camadas equivalentes, em profundidade. Os teores para os tratamentos mostraram-se similares aos da testemunha, evidenciando que o N fornecido via fertilizantes foi absorvido pela cultura, nitrificado e, ou, lixiviado. Em



**Figura 2.** Perdas de N-NH<sub>3</sub> volatilizado acumulado de algumas das misturas de grânulos utilizadas em cobertura nitrogenada na cultura de milho, safra 2004-2005, Uberlândia (MG). Entre as misturas, na quarta coleta, as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de t (Student), a 5 %. CV = 24,7 %.

**Quadro 3.** Teores de nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre na folha índice, na época de florescimento pleno da cultura de milho, submetida a tratamentos de misturas de grânulos NSK em cobertura nitrogenada, safra 2004-2005, Uberlândia (MG)

| Tratamento                        | Mistura de grânulo | Nitrogênio | Fósforo | Potássio  | Enxofre            |         |
|-----------------------------------|--------------------|------------|---------|-----------|--------------------|---------|
|                                   |                    |            |         |           | g kg <sup>-1</sup> |         |
| Testemunha                        | -                  | 37,4       | 3,3     | 22,3      |                    | 2,0     |
| T2                                | 24:00:06:20        | 43,7       | 3,5     | 21,6      |                    | 2,7     |
| T3                                | 24:00:06:20        | 36,2       | 3,4     | 21,6      |                    | 2,0     |
| T4                                | 22:00:08:20        | 34,2       | 3,5     | 21,3      |                    | 2,0     |
| T5                                | 22:00:08:20        | 34,5       | 3,4     | 20,6      |                    | 2,1     |
| T6                                | 27:00:05:24        | 35,9       | 3,4     | 21,7      |                    | 2,4     |
| T7                                | 18:00:05:17        | 38,8       | 3,6     | 19,4      |                    | 2,1     |
| T8                                | 23:00:05:30        | 40,8       | 3,4     | 22,9      |                    | 2,2     |
| T9                                | 15:00:05:19        | 37,8       | 3,5     | 22,1      |                    | 2,2     |
| T10                               | 22:00:00:30        | 36,3       | 3,3     | 18,9      |                    | 2,3     |
| T11                               | 10:00:12:30        | 39,6       | 3,8     | 22,6      |                    | 2,2     |
| DMS                               |                    | 5,1ns      | 0,6ns   | 2,6ns     |                    | 0,3ns   |
| CV (%)                            |                    | 14,3       | 4,6     | 12,7      |                    | 14,1    |
| Intervalo adequado <sup>(1)</sup> |                    | 27,5-32,5  | 1,9-3,5 | 17,5-29,7 |                    | 1,5-2,1 |

<sup>(1)</sup>Fonte: Bull & Cantarella (1993).

**Quadro 4. Teores de  $\text{N-NH}_4^+$ ,  $\text{N-NO}_3^-$ , N-mineral total e  $\text{S-SO}_4^{2-}$ , nas camadas de 0 a 60 cm de profundidade, 37 dias após a aplicação das misturas de grânulos em cobertura nitrogenada, na cultura de milho, safra 2004-2005, Uberlândia (MG)<sup>(1)</sup>**

| Tratamento                | Mistura de grânulos           | Profundidade | $\text{N-NH}_4^+$ | $\text{N-NO}_3^-$   | N mineral total | $\text{S-SO}_4^{2-}$ |
|---------------------------|-------------------------------|--------------|-------------------|---------------------|-----------------|----------------------|
|                           | fontes-relação N:S            | cm           |                   | mg dm <sup>-3</sup> |                 |                      |
| Testemunha                |                               | 00–10        | 2,64 Aa           | 3,40 Aa             | 6,04            | 6,67 Ba              |
|                           | –                             | 10–20        | 1,04 Bab          | 0,85 Aba            | 1,89            | 33,67 ABab           |
|                           |                               | 20–40        | 0,63 Ba           | 0,75 Aba            | 1,38            | 62,67 Aa             |
|                           |                               | 40–60        | 0,25 Ba           | 0,25 Bb             | 0,50            | 59,00 Aab            |
| T2                        | 24:00:06:20<br>(U+SA–4,00)    | 00–10        | 1,79 Aa           | 3,49 Aa             | 5,28            | 17,33 Ba             |
|                           |                               | 10–20        | 0,76 Ab           | 1,41 Aa             | 2,17            | 28,33 ABab           |
|                           |                               | 20–40        | 0,85 Aa           | 1,42 Aa             | 2,27            | 44,00 Aba            |
|                           |                               | 40–60        | 0,60 Aa           | 0,85 Aab            | 1,45            | 56,33 Aab            |
| T3                        | 24:00:06:20<br>(U+SA–4,00)    | 00–10        | 1,79 Aba          | 3,87 Aa             | 5,66            | 7,67 Ba              |
|                           |                               | 10–20        | 2,45 Aa           | 1,99 Aa             | 4,44            | 54,00 Aab            |
|                           |                               | 20–40        | 0,85 Ba           | 2,27 Aa             | 3,12            | 56,33 Aa             |
|                           |                               | 40–60        | 0,75 Ba           | 1,60 Aab            | 2,35            | 56,67 Aab            |
| T4                        | 22:00:08:20<br>(U+SA–2,75)    | 00–10        | 1,68 Aa           | 4,54 Aa             | 6,22            | 18,67 Ba             |
|                           |                               | 10–20        | 0,99 Aab          | 1,84 Aba            | 2,83            | 55,67 ABab           |
|                           |                               | 20–40        | 0,99 Aa           | 1,28 Ba             | 2,27            | 88,00 Aa             |
|                           |                               | 40–60        | 0,42 Aa           | 3,54 ABab           | 3,96            | 82,67 Aab            |
| T5                        | 22:00:08:20<br>(U+SA–2,75)    | 00–10        | 1,99 Aa           | 4,88 Aa             | 6,87            | 24,00 Ba             |
|                           |                               | 10–20        | 1,89 Aab          | 2,93 Aba            | 4,82            | 42,00 ABab           |
|                           |                               | 20–40        | 0,85 Aba          | 2,17 Aba            | 3,02            | 53,00 Aba            |
|                           |                               | 40–60        | 0,54 Ba           | 1,89 Bab            | 2,43            | 61,33 Aab            |
| T6                        | 27:00:05:24<br>(U+Gesso–5,40) | 00–10        | 1,98 Aa           | 4,73 Aa             | 6,71            | 8,00 Ba              |
|                           |                               | 10–20        | 0,79 Ab           | 1,32 Ba             | 2,11            | 55,67 Aab            |
|                           |                               | 20–40        | 1,13 Aa           | 1,61 Ba             | 2,74            | 78,00 Aa             |
|                           |                               | 40–60        | 1,01 Aa           | 2,47 ABab           | 3,48            | 78,33 Aab            |
| T7                        | 18:00:05:17<br>(U+Gesso–3,60) | 00–10        | 1,82 Aa           | 3,50 Aa             | 4,82            | 23,67 Ba             |
|                           |                               | 10–20        | 0,66 Ab           | 1,89 Aa             | 2,55            | 67,33 Aa             |
|                           |                               | 20–40        | 0,57 Aa           | 1,98 Aa             | 2,55            | 70,33 Aa             |
|                           |                               | 40–60        | 0,57 Aa           | 0,94 Aab            | 1,51            | 81,33 Aab            |
| T8                        | 23:00:05:30<br>(U+Gesso–4,60) | 00–10        | 1,89 Aa           | 3,31 Aa             | 5,20            | 7,33 Ba              |
|                           |                               | 10–20        | 1,18 ABab         | 0,66 Aa             | 1,84            | 21,67 ABab           |
|                           |                               | 20–40        | 0,41 Ba           | 1,23 Aa             | 1,64            | 57,67 Aa             |
|                           |                               | 40–60        | 0,28 Ba           | 1,10 Aab            | 1,38            | 53,33 Aab            |
| T9                        | 15:00:05:19<br>(U+Gesso–3,00) | 00–10        | 1,89 Aa           | 2,65 Aa             | 4,54            | 12,00 Ba             |
|                           |                               | 10–20        | 1,04 ABab         | 1,23 Aa             | 2,27            | 31,66 ABab           |
|                           |                               | 20–40        | 0,38 Ba           | 1,41 Aa             | 1,79            | 46,00 Aba            |
|                           |                               | 40–60        | 0,21 Ba           | 0,66 Aab            | 0,87            | 54,67 Aab            |
| T10                       | 22:00:00:30<br>(U)            | 00–10        | 2,18 Aa           | 3,69 Aa             | 5,87            | 7,00 Ba              |
|                           |                               | 10–20        | 0,30 Bb           | 1,42 Aa             | 1,72            | 14,00 ABb            |
|                           |                               | 20–40        | 1,04 Aba          | 0,95 Aa             | 1,99            | 45,67 Aa             |
|                           |                               | 40–60        | 0,76 Ba           | 0,95 Aab            | 1,71            | 41,00 ABb            |
| T11                       | 10:00:12:30<br>(SA–0,83)      | 00–10        | 1,48 Aa           | 4,25 Aa             | 5,73            | 8,00 Ca              |
|                           |                               | 10–20        | 0,77 Ab           | 2,74 Aa             | 3,51            | 49,67 Bab            |
|                           |                               | 20–40        | 0,66 Aa           | 2,86 Aa             | 3,52            | 84,33 ABA            |
|                           |                               | 40–60        | 0,57 Aa           | 4,04 Aa             | 4,61            | 88,00 Aa             |
| DMS (entre formulados)    |                               |              | 1,66              | 3,47                | -               | 46,74                |
| DMS (entre profundidades) |                               |              | 1,32              | 2,76                | -               | 37,09                |
| CV (%)                    |                               |              | 57,86             | 58,58               | -               | 38,26                |

<sup>(1)</sup> Para cada mistura, entre as profundidades, as médias seguidas de letras maiúsculas desiguais apresentaram diferença significativa pelo teste de Tukey, a 5 %. Entre as misturas de grânulos, para a mesma profundidade, as médias seguidas de letras minúsculas iguais, não apresentaram diferença significativa pelo teste de Tukey, a 5 %.

geral, houve maior proporção de nitrato que de amônio no N-mineral total, nas camadas analisadas. Fato

similar foi observado por Ferreira et al. (2003). Quanto ao S-sulfato, a camada mais superficial (0 a

10 cm) apresentou os menores teores em todos os tratamentos, variando de 6,67 mg dm<sup>-3</sup> (testemunha) até 24,0 mg dm<sup>-3</sup> (tratamento U+SA). A distribuição em profundidade mostrou lixiviação do sulfato, estando todas as camadas com valores superiores aos teores de suficiência (5 ou 10 mg dm<sup>-3</sup>), segundo Rheinheimer et al. (2005). Análise de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> efetuada nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm de profundidade, em Cascavel, PR, por Oliveira & Balbino (1995), nas culturas de milho, trigo e algodão mostraram aumento no teor desse nutriente, na camada inferior, e maior quando utilizado SA, em relação a U.

Observou-se maior proporção de N-amônio em relação a N-nitrato, em todas as camadas em profundidade (Quadro 5). Isto pode ser consequência da amonificação de N-orgânico, contribuindo para o aumento de amônio. O teor de N-mineral total mostrou-se mais expressivo até a profundidade de 20 a 40 cm, evidenciando lixiviação de N da camada superficial. Nos tratamentos com aplicação exclusiva de U e SA essa tendência foi mais atenuada. Os teores de S-sulfato continuaram expressivos, com maior teor nas camadas mais profundas.

A maior produção de MMS foi alcançada com aplicação da mistura de U+SA<sub>gr</sub> (relação N:S = 4,0), com 25 Mg ha<sup>-1</sup> (Quadro 6). Esse tratamento apresentou diferença significativa tanto em relação à aplicação exclusiva de U como à de U+SA<sub>gr</sub> (relação N:S = 2,75). Cabe salientar que a dose aplicada neste último tratamento, devido a problemas climáticos como explicado anteriormente, foi inferior à do tratamento T2, o que poderia ter influenciado a produção. No tratamento com U, a menor produção pode ser devida à volatilização de amônia, como mostrado anteriormente (Figura 2). Como esperado, o menor acúmulo de N na parte aérea da planta foi constatado na testemunha: 208,4 kg ha<sup>-1</sup>. Por sua vez, o S-total na planta foi semelhante em todos os tratamentos, variando entre 28,1 e 34,2 kg ha<sup>-1</sup>. Valores semelhantes foram indicados por Hiroce et al. (1989), para produtividades de grãos de milho de 5 a 7 Mg ha<sup>-1</sup>, indicando coerência com o resultado da análise de solo (Quadro 1).

Os tratamentos foram ordenados em escala decrescente de produtividade (Quadro 7). De acordo com Yamada & Abdalla (2000), produtividades da ordem de 9 a 10 Mg ha<sup>-1</sup>, como os obtidos neste estudo, têm sido conseguidas com o uso de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicados na semeadura e mais 80 a 120 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, no máximo até o estádio V4. As maiores produtividades foram alcançadas pelos tratamentos de U+SA<sub>fa</sub> e U+Gesso<sub>gr</sub>, com relações N:S 4,0 e 3,0, respectivamente: 10.285 e 10.241 kg ha<sup>-1</sup> de grãos. As menores produtividades foram obtidas nos tratamentos T6, T10, T8 e T2 em forma decrescente, abaixo de 9.500 kg ha<sup>-1</sup> de grãos. Entre as possíveis causas, nesses tratamentos podem ter ocorrido os seguintes fatos: (a) relação N:S maior que 4,0 para os casos T6 e T8, tanto com Gesso<sub>gr</sub> como Gesso<sub>pó</sub>. A

relação N:S foliar nesses tratamentos mostrou valores extremos, em relação aos outros obtidos: 15,0 e 18,6 respectivamente, o que poderia ser um indicativo de maior absorção de S que o requerido (forma de pó), e menor absorção (forma granulada), respectivamente, influenciando a relação mais adequada para a cultura; (b) a aplicação isolada de U (T10) é um indicativo de que, apesar do solo não estar deficiente em S, a aplicação de N deve ser acompanhada pela de S para atenuar as perdas gasosas de N-amoniacial (Figura 2); c) no tratamento T2, a utilização de SA<sub>gr</sub> poderia ter dificultado sua solubilidade, alterando a interação com o amônio proveniente da hidrólise da U. Ainda, de forma indireta, apesar de não haver diferença significativa nas perdas gasosas, pode-se observar (Figura 2), que houve perda em torno de 10 % a menos (27,7 % do N-aplicado) da fonte U+SA<sub>fa</sub>, em relação à mistura U+SA<sub>gr</sub> (37,9 %). A mais rápida solubilização da primeira, em relação à segunda teria disponibilizado mais rapidamente o sulfato, retendo mais amônia proveniente da uréia, que na forma granulada.

Houve diferença significativa de 780,0 kg ha<sup>-1</sup> entre os tratamentos agrupados de maior e menor produtividade (9.753 – 8.973 kg ha<sup>-1</sup> de grãos). Cabe salientar que na maioria dos tratamentos com maior produtividade, houve aplicação de misturas NSK, seja acompanhando a U com SA<sub>fa</sub> ou SA<sub>gr</sub>, ou com gesso aplicado principalmente de forma granulada, com relações N:S entre 2,75 a 4,0. A lenta dissolução do Gesso<sub>gr</sub> poderia ter disponibilizado o S mais gradativamente para a cultura, do que na forma aplicada Gesso<sub>pó</sub>. Sabe-se que o SA apresenta alta solubilidade em água (754 g L<sup>-1</sup>), em relação ao gesso (2,04 g L<sup>-1</sup>), a 20–25 °C (Vitti et al., 1986). A aplicação exclusiva de SA (T11, Quadro 7), resultou em menor produtividade dentre o grupo de tratamentos mais produtivos: 9.328 kg ha<sup>-1</sup> de grãos. Houve aplicação efetiva de 89,9 kg ha<sup>-1</sup> de S, para uma aplicação de 74,9 kg ha<sup>-1</sup> de N dessa fonte, acima da aplicada nos outros tratamentos e do requerido nesse solo, podendo acarretar percolação de bases fora do alcance do sistema radicular (Pavan & Volkweiss, 1986; Maria, et al., 1993).

Não houve diferença significativa para a relação N:S foliar, N:S parte aérea total da planta, EUNPA e na RANPA para N e S, entre os tratamentos agrupados que apresentaram maior e menor produtividade (Quadro 7). Foram observados valores médios de 17,7 e 16,4 respectivamente, para a relação N:S foliar. Valores similares de 18,4, 19,7 e 19,5 são mencionados por Lopes et al. (2004), para aplicações de S entre 10 a 30 kg ha<sup>-1</sup>. Valores médios de 7,81 e 8,35 foram registrados para a relação N:S da parte aérea total para os tratamentos de maior e menor produtividade, respectivamente. Entretanto, para a relação N:S foliar houve tendência oposta, indicando indiretamente que toda a planta (parte aérea) ficou mais enriquecida em S nos tratamentos de maior produtividade. Valores semelhantes de EUNPA foram de 95,3 e 93,8 kg kg<sup>-1</sup> de N na MMS absorvido pela planta e de 742,1 e 781,8 kg kg<sup>-1</sup> de S na MMS da

**Quadro 5. Teores de  $\text{N-NH}_4^+$ ,  $\text{N-NO}_3^-$ , N-mineral total e  $\text{S-SO}_4^{2-}$ , nas camadas de 0 a 60 cm de profundidade, 51 dias após a aplicação das misturas de grânulos, em cobertura nitrogenada, na cultura de milho, safra 2004-2005, Uberlândia (MG)<sup>(1)</sup>**

| Tratamento                | Mistura de grânulos           | Profundidade | $\text{N-NH}_4^+$  | $\text{N-NO}_3^-$ | N mineral total     | $\text{S-SO}_4^{2-}$ |  |
|---------------------------|-------------------------------|--------------|--------------------|-------------------|---------------------|----------------------|--|
|                           |                               |              | fontes-relação N:S | cm                | mg dm <sup>-3</sup> | mg dm <sup>-3</sup>  |  |
| Testemunha                | -                             | 00–10        | 3,02 Abc           | 1,51 Ab           | 4,53                | 5,67 Ca              |  |
|                           |                               | 10–20        | 2,27 Abc           | 0,85 Aa           | 3,12                | 18,00 BCc            |  |
|                           |                               | 20–40        | 0,99 Ab            | 0,96 Aa           | 1,95                | 39,33 Abbc           |  |
|                           |                               | 40–60        | 1,16 Aa            | 0,71 Aa           | 1,87                | 50,83 Abc            |  |
| T2                        | 24:00:06:20<br>(U+SA-4,00)    | 00–10        | 2,94 Abbc          | 3,68 Aa           | 6,62                | 30,00 Aba            |  |
|                           |                               | 10–20        | 7,00 Aab           | 2,93 Aba          | 9,93                | 9,33 Bc              |  |
|                           |                               | 20–40        | 0,56 Bb            | 1,84 Ba           | 2,40                | 47,67 Abc            |  |
|                           |                               | 40–60        | 3,78 Aba           | 1,42 Ba           | 5,20                | 36,67 Ac             |  |
| T3                        | 24:00:06:20<br>(U+SA-4,00)    | 00–10        | 6,36 Aabc          | 1,61 Aab          | 7,97                | 17,67 Ba             |  |
|                           |                               | 10–20        | 8,88 Aa            | 2,17 Aa           | 11,05               | 27,33 Abbc           |  |
|                           |                               | 20–40        | 1,89 Bb            | 1,42 Aa           | 3,31                | 33,33 Abc            |  |
|                           |                               | 40–60        | 0,99 Ba            | 1,14 Aa           | 2,13                | 48,67 Abc            |  |
| T4                        | 22:00:08:20<br>(U+SA-2,75)    | 00–10        | 1,45 Ac            | 0,99 Ab           | 2,44                | 11,00 Ba             |  |
|                           |                               | 10–20        | 1,27 Ac            | 1,14 Aa           | 2,41                | 73,00 Aa             |  |
|                           |                               | 20–40        | 1,60 Ab            | 1,32 Aa           | 2,92                | 60,67 Aabc           |  |
|                           |                               | 40–60        | 2,18 Aa            | 1,13 Aa           | 3,31                | 54,00 Abc            |  |
| T5                        | 22:00:08:20<br>(U+SA-2,75)    | 00–10        | 4,35 Babc          | 2,74 Aab          | 7,09                | 21,33 Ca             |  |
|                           |                               | 10–20        | 4,85 Aabc          | 1,98 Aba          | 6,83                | 39,00 BCbc           |  |
|                           |                               | 20–40        | 0,88 Bb            | 0,56 Ba           | 1,44                | 50,00 Abbc           |  |
|                           |                               | 40–60        | 1,42 Ba            | 1,55 Aba          | 2,97                | 75,33 Aab            |  |
| T6                        | 27:00:05:24<br>(U+Gesso-5,40) | 00–10        | 2,70 Abc           | 2,26 Aab          | 4,96                | 12,67 Ba             |  |
|                           |                               | 10–20        | 1,53 Ac            | 1,98 Aa           | 3,51                | 34,33 Abbc           |  |
|                           |                               | 20–40        | 5,20 Aab           | 1,98 Aa           | 7,18                | 51,33 Abc            |  |
|                           |                               | 40–60        | 1,40 Aa            | 1,61 Aa           | 3,01                | 58,33 Abc            |  |
| T7                        | 18:00:05:17<br>(U+Gesso-3,60) | 00–10        | 8,41 Aa            | 2,55 Aab          | 10,96               | 7,00 Ca              |  |
|                           |                               | 10–20        | 5,28 ABabc         | 1,32 Aa           | 6,60                | 23,67 BCbc           |  |
|                           |                               | 20–40        | 5,57 Aab           | 1,14 Aa           | 6,71                | 42,00 Abbc           |  |
|                           |                               | 40–60        | 1,32 Ba            | 1,42 Aa           | 2,74                | 57,33 Abc            |  |
| T8                        | 23:00:05:30<br>(U+Gesso-4,60) | 00–10        | 6,62 Aabc          | 2,84 Aab          | 9,46                | 7,67 Ba              |  |
|                           |                               | 10–20        | 4,63 ABabc         | 1,61 Aba          | 6,24                | 24,67 Abbc           |  |
|                           |                               | 20–40        | 1,42 Bb            | 1,04 Ba           | 2,46                | 42,33 Abc            |  |
|                           |                               | 40–60        | 1,32 Ba            | 0,66 Ba           | 1,98                | 35,00 Ac             |  |
| T9                        | 15:00:05:19<br>(U+Gesso-3,00) | 00–10        | 6,81 Aab           | 2,46 Aab          | 9,27                | 10,67 Ca             |  |
|                           |                               | 10–20        | 1,84 Bbc           | 1,14 Aa           | 2,98                | 41,33 Babc           |  |
|                           |                               | 20–40        | 9,51 Aa            | 1,13 Aa           | 10,64               | 69,67 Aab            |  |
|                           |                               | 40–60        | 1,51 Ba            | 1,60 Aa           | 3,11                | 79,67 Aab            |  |
| T10                       | 22:00:00:30<br>(U)            | 00–10        | 1,98 Abc           | 1,89 Aab          | 3,87                | 7,00 Ba              |  |
|                           |                               | 10–20        | 1,70 Ac            | 1,23 Aa           | 2,93                | 12,67 Bc             |  |
|                           |                               | 20–40        | 1,23 Ab            | 1,23 Aa           | 2,46                | 43,00 Abc            |  |
|                           |                               | 40–60        | 0,94 Aa            | 0,57 Aa           | 1,51                | 39,00 Ac             |  |
| T11                       | 10:00:12:30<br>(SA-0,83)      | 00–10        | 2,65 Abc           | 1,89 Aab          | 4,54                | 7,67 Ca              |  |
|                           |                               | 10–20        | 0,56 Ac            | 1,13 Aa           | 1,69                | 53,00 Bab            |  |
|                           |                               | 20–40        | 2,17 Ab            | 1,79 Aa           | 3,96                | 84,33 Aa             |  |
|                           |                               | 40–60        | 1,84 Aa            | 0,71 Aa           | 2,55                | 94,33 Aa             |  |
| DMS (entre formulados)    |                               |              | 5,26               | 5,24              | -                   | 32,58                |  |
| DMS (entre profundidades) |                               |              | 4,18               | 4,16              | -                   | 25,85                |  |
| CV (%)                    |                               |              | 60,60              | 62,91             | -                   | 31,50                |  |

<sup>(1)</sup> Para cada mistura, entre as profundidades, as médias seguidas de letras maiúsculas desiguais apresentaram diferença significativa pelo teste de Tukey, a 5 %. Entre as misturas de grânulos, para a mesma profundidade, as médias seguidas de letras minúsculas iguais, não apresentaram diferença significativa pelo teste de Tukey, a 5 %.

**Quadro 6. Massa de matéria seca, quantidades de nitrogênio e enxofre acumulados na parte aérea de milho (sem espiga) e relação N:S, na colheita de grãos, safra 2004-2005, Uberlândia (MG)<sup>(1)</sup>**

| Tratamento | Mistura de grânulos           | Massa de matéria seca | Concentração de nitrogênio | Quantidade de nitrogênio | Concentração de enxofre | Quantidade de enxofre | Relação N:S |
|------------|-------------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------|
|            | Fontes-relação N:S            | kg ha <sup>-1</sup>   | g kg <sup>-1</sup>         | kg ha <sup>-1</sup>      | g kg <sup>-1</sup>      | kg ha <sup>-1</sup>   |             |
| Testemunha | -                             | 20.840 bc             | 10,0                       | 208,4 c                  | 1,4                     | 29,2 abc              | 7,14        |
| T2         | 24:00:06:20<br>(U+SA-4,00)    | 25.003 a              | 10,2                       | 255,0 a                  | 1,4                     | 31,6 ab               | 8,07        |
| T3         | 24:00:06:20<br>(U+SA-4,00)    | 22.294 abc            | 10,6                       | 236,6 abc                | 1,2                     | 28,1 bc               | 8,42        |
| T4         | 22:00:08:20<br>(U+SA-2,75)    | 20.417 c              | 10,3                       | 210,3 bc                 | 1,2                     | 24,5 c                | 8,58        |
| T5         | 22:00:08:20<br>(U+SA-2,75)    | 23.888 abc            | 10,7                       | 255,6 a                  | 1,4                     | 33,5 ab               | 7,63        |
| T6         | 27:00:05:24<br>(U+Gesso-5,40) | 24.209 abc            | 10,4                       | 251,8 a                  | 1,2                     | 29,1 abc              | 8,65        |
| T7         | 18:00:05:17<br>(U+Gesso-3,60) | 24.404 ab             | 10,7                       | 261,1 a                  | 1,4                     | 34,2 a                | 7,63        |
| T8         | 23:00:05:30<br>(U+Gesso-4,60) | 24.270 abc            | 10,3                       | 250,0 ab                 | 1,3                     | 31,6 ab               | 7,91        |
| T9         | 15:00:05:19<br>(U+Gesso-3,00) | 21.536 abc            | 11,7                       | 252,0 a                  | 1,4                     | 30,2 ab               | 8,34        |
| T10        | 22:00:00:30<br>(U)            | 20.751 bc             | 11,9                       | 246,9 abc                | 1,3                     | 28,2 bc               | 8,76        |
| T11        | 10:00:12:30<br>(SA-0,83)      | 23.642 abc            | 9,7                        | 229,3 abc                | 1,4                     | 33,1 ab               | 6,93        |
| DMS        |                               | 3.880                 | -                          | 241,5                    | -                       | 5,7                   |             |
| CV (%)     |                               | 6,90                  | -                          | 6,83                     | -                       | 7,61                  |             |

<sup>(1)</sup> Para cada mistura, entre as profundidades, as médias seguidas de letras maiúsculas desiguais apresentaram diferença significativa pelo teste de Tukey, a 5 %. Entre as misturas de grânulos, para a mesma profundidade, as médias seguidas de letras minúsculas iguais não apresentaram diferença significativa pelo teste de Tukey, a 5 %.

semelhantes foram registrados por Silva et al. (2006), em duas safras consecutivas 2001/2002 e 2002/2003 com milho após crotalária, pousio e milheto em LVD típico argiloso fase Cerrado, em experimento localizado no município de Selvíria (MS), numa condição climática similar à registrada neste trabalho. Quanto ao S, o valor de RANPA variou entre 4,0 a 30,0 % do S-aplicado. Entre os tratamentos de maiores e menores produtividades, as médias não apresentaram diferenças significativas: 13,7 e 12,5 % do S-aplicado (Quadro 7). Valor de 40 %, obtido por Teixeira (2004), na planta inteira, com sistema radicular confinado em vasos, deve ter favorecido a eficiência de recuperação desse nutriente pela planta.

## CONCLUSÕES

1. Em ordem crescente, as perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub>, entre os fertilizantes testados foram: sulfato de amônio < uréia + sulfato de amônio farelado = uréia + sulfato de amônio granulado < uréia.

2. Na camada de 0 a 10 cm, os teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> aumentaram e os de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> diminuíram entre os 37 e 51 dias de aplicação das misturas de grânulos, em profundidade; os teores de ambas as formas diminuíram nas duas épocas. O teor de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> foi crescente em profundidade, sendo os maiores teores detectados abaixo dos 20 cm, nas duas épocas e semelhantes à testemunha.

3. Os tratamentos com maior produtividade caracterizaram-se pela aplicação da uréia em mistura com sulfato de amônio farelado e granulado e com gesso granulado principalmente, com relações N:S entre 2,75 e 4,0. Menor produtividade foi alcançada com a aplicação exclusiva de uréia em relação à aplicação exclusiva de sulfato de amônio.

## AGRADECIMENTOS

Ao Convênio Embrapa – Petrobras e ao produtor Sr. Fernando Ferraz da Fazenda Floresta do Lobo.

**Quadro 7. Produtividade de grãos, relação N:S foliar e da parte aérea, eficiência de utilização de nutriente (N e S) na parte aérea (EUNPA) e recuperação aparente de nutriente (N e S) na parte aérea (RANPA) de plantas de milho, na colheita de grãos, safra 2004-2005, Uberlândia (MG)**

| Tratamento                       | Mistura de grânulos (N:P:S:K)                | Produtividade           | Relação N:S foliar | Relação N:Sparte aérea | EUNPA                      |         | RANPA         |                  |
|----------------------------------|--|-------------------------|--------------------|------------------------|----------------------------|---------|---------------|------------------|
|                                  |  |                         |                    |                        | N                          | S       | N             | S                |
|                                  | Fontes-relação N:S                           | kg ha <sup>-1</sup>     |                    |                        | kg kg <sup>-1</sup> de MMS |         | % do aplicado |                  |
| T3                               | 24:00:06:20<br>(U+Sa <sub>fa</sub> -4,00)    | 10.285 a <sup>(1)</sup> | 18,1               | 8,42                   | 94,2                       | 793,4   | 32,1          | - <sup>(3)</sup> |
| T9                               | 15:00:05:19<br>(U+Gesso <sub>gr</sub> -3,00) | 10.241 a                | 17,2               | 8,34                   | 85,5                       | 713,1   | 74,7          | 5,1              |
| T4                               | 22:00:08:20<br>(U+Sa <sub>gr</sub> -2,75)    | 9.866 ab                | 17,1               | 8,58                   | 97,1                       | 833,3   | -             | -                |
| T5                               | 22:00:08:20<br>(U+Sa <sub>fa</sub> -2,75)    | 9.660 ab                | 16,4               | 7,63                   | 93,5                       | 713,1   | 59,8          | 15,0             |
| T7                               | 18:00:05:17<br>(U+Gesso <sub>gr</sub> -3,60) | 9.635 ab                | 18,5               | 7,63                   | 93,5                       | 713,6   | 89,0          | 30,3             |
| T11                              | 10:00:12:30<br>(Sa <sub>fa</sub> -0,83)      | 9.328 ab                | 18,0               | 6,93                   | 103,1                      | 714,3   | 27,9          | 4,3              |
| T1                               | -  | 9.259 ab                | 18,7               | 7,14                   | 100,0                      | 713,7   | -             | -                |
| Média                            |  | 9.753 A <sup>(2)</sup>  | 17,7 A             | 7,81 A                 | 95,3 A                     | 742,1 A | 56,7 A        | 13,7 A           |
| T6                               | 27:00:05:24<br>(U+Gesso <sub>pó</sub> -5,40) | 9.050 b                 | 15,0               | 8,65                   | 96,1                       | 831,9   | 47,3          | -                |
| T10                              | 22:00:00:30<br>(U)                           | 9.047 b                 | 15,8               | 8,76                   | 84,0                       | 735,9   | 43,8          | -                |
| T8                               | 23:00:05:30<br>(U+Gesso <sub>gr</sub> -4,60) | 8.913 b                 | 18,5               | 7,91                   | 97,1                       | 768,0   | 53,3          | 14,1             |
| T2                               | 24:00:06:20<br>(U+Sa <sub>gr</sub> -4,00)    | 8.883 b                 | 16,2               | 8,07                   | 98,1                       | 791,2   | 53,0          | 10,9             |
| Média                            |  | 8.973 B                 | 16,4 A             | 8,35 A                 | 93,8 A                     | 781,8 A | 49,4 A        | 12,5 A           |
| DMS (entre tratamentos)          |  | 1.138                   | -                  | -                      | -                          | -       | -             | -                |
| CV (%)                           |  | 4,9                     | -                  | -                      | -                          | -       | -             | -                |
| DMS (entre médias T3-T1 e T6-T2) |  | 472,9                   | 1,6                | 0,83                   | 8,5                        | 66,6    | 32,1          | 25,4             |
| CV (%)                           |  | 3,5                     | 6,4                | 7,3                    | 6,3                        | 6,2     | 37,9          | 79,4             |

<sup>(1)</sup> Para produtividade, entre os tratamentos, as médias seguidas de letras minúsculas desiguais diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5 %. <sup>(2)</sup> Entre os tratamentos de maior e menor produtividade, as médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5 %. <sup>(3)</sup> Valores eliminados do cálculo do valor médio.

Pinusplan-MG, sem os quais não teria sido possível a execução deste estudo. Agradecimentos especiais ao Grupo Bunge Fertilizantes, marca Serrana, pelo preparo e fornecimento dos formulados utilizados em cobertura nitrogenada.

CANTARELLA, H. & TRIVELIN, P.C.O. Determinação de nitrogênio total em solo. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A., eds. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 2001. p.262-269.

CANTARELLA, H. & PROCHNOW, L.I. Determinação de sulfato em solos. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A., eds. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 2001. p.225-230.

BULL, L.T. & CANTARELLA, H. Cultura do milho: Fatores que afetam a produtividade. BULL, T. & CANTARELLA, H., eds. Piracicaba, Potafos, 1993. 301p.

CARROW, R.N. Turfgrass response to slow-release nitrogen fertilizers. Agron. J., 89:491-496, 1997.

CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.T. & BARTH, G. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. R. Bras. Ci. Solo, 28:125-136, 2004.

COLLIER, L.S.; CASTRO, D.V.; DIAS NETO, J.J.; BRITO, D.R. & RIBEIRO, P.A.A. Manejo da adubação nitrogenada para o milho sob palhada de leguminosas em plantio direto em Gurupi, TO. Ci. Rural, 36:1100-1105, 2006.

## LITERATURA CITADA

- CORSI, M.; MARTHA, J.R. & BASALOBRE, M.A.A. Tendências e perspectivas da produção de bovinos sob pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 17., Piracicaba, 2001. Anais. Piracicaba, Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 2001. p.3-69.
- COSTA, M.C.G.; VITTI, G.C. & CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. R. Bras. Ci. Solo, 27:631-637, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação dos solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- FERREIRA, M.M.M.; FERREIRA, G.B.; FONTES, P.C.R. & DANTAS, J.P. Influência das adubações nitrogenada e orgânica no tomateiro sobre os teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no perfil de solo. R. Bras. Eng. Agric. Amb., 7:233-239, 2003.
- HABTEGEBRIAL, K. & SINGH, B.R. Effects of timing of nitrogen and sulphur fertilizers on yield, nitrogen, and sulphur contents of tef (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter). Nutr. Cycl. Agroec., 75:213-222, 2006.
- HIROCE, R.; FURLANI, A.M.C. & LIMA, M. Extração dos nutrientes na colheita por populações e híbridos de milho. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1989. 24p. (Boletim Científico, 17)
- HOROWITZ, N. & MEURER, E.J. Oxidação do enxofre elementar em solos tropicais. Cienc. Rural, 36:822-828, 2006.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDÖRFER, G.H. & MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. R. Bras. Ci. Solo, 21:481-487, 1997a.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDÖRFER, G.H. & MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. R. Bras. Ci. Solo, 21:489-496, 1997b.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLLI, J.A.; SANTANA, D.G. & GASCHO, G.J. Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizers. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 30:389-406, 1999.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; KORNDÖRFER, G.H. & PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura de milho, em sistema de plantio direto no triângulo mineiro. R. Bras. Ci. Solo, 24:363-376, 2000.
- LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. & MARQUES, R. Guia de fertilidade do solo. Versão Multimídia 3.0. Lavras, Consultoria Agronômica, 2004. CD-ROM.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional de plantas: Princípios e aplicações. Piracicaba, Potafós, 1989. 201p.
- 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., 50:87-98, 1993.
- OLIVEIRA, E.F.; BALBINO, L.C. Efeito de fontes e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura nas culturas de milho, trigo e algodão. Cascavel, SN-Centro/OCEPAR, 1995. (Relatórios Técnicos, 1992, 1993 e 1995).
- OLIVEIRA, J.R.A.; VILELA, L. & AYARZA, M.A. Adsorção de nitrato em solos de cerrado do Distrito Federal. Pesq. Agropec. Bras., 35: 1199-1205, 2000.
- PAVAN, M.A. & VOLKWEISS, S.J. Efeito do gesso nas relações solo - planta: princípios. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1., Brasília, 1985. Anais. Embrapa-SPI, 1986. p.107-118.
- PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A.C.; CORRÊA, L.A.; SILVA, A.G. & CANTARELLA, H. Lixiviação de nitrato em pastagem de *coastcross* adubada com nitrogênio. R. Bras. Zootec., 35:683-690, 2006.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 2001. 285p.
- RAMBO, L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G. & SANGOI, L. Parâmetros de planta para aprimorar o manejo da adubação nitrogenada de cobertura em milho. Ci. Rural, 34:1637-1645, 2004.
- RHEINHEIMER, D.S.; ALVAREZ, J.W.R.; FILHO, B.D.O.; SILVA, L.S. & BORTOLUZZI, E.C. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. Ci. Rural, 35:562-569, 2005.
- SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A. & RAMPAZZO, C. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. Ci. Rural, 33:687-692, 2003.
- SAVANT, N.K. & STANGEL, P.J. Deep placement of urea supergranules in transplanted rice: Principles and practices. J. Nutr. Cycl. Agroec., 25:1-83, 1990.
- SENGIK, E.; KIEHL, J.C. Controle da volatilização de amônia em terra tratada com uréia e turfa pelo emprego de sais inorgânicos. R. Bras. Ci. Solo, 19:455-461, 1995.
- SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; BUZZETTI, S. & TRIVELIN, P.C.O. Manejo de nitrogênio no milho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura, em Latossolo Vermelho. Pesq. Agropec. Bras., 41:477-486, 2006.
- SOUZA, D.M.G. & REIN, T.A. Adubação com enxofre. In: SOUZA, D.M.G. & LOBATO, E., eds. Cerrado. Correção de solo e adubação. 2.ed. Brasília, DF, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.227-256.
- TEIXEIRA, G.M. Recuperação do enxofre <sup>34</sup>S aplicado ao solo em cultivos sucessivos com milho ou soja e alfafa. Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP, 2004. 77p. (Tese de Mestrado)
- VITTI, G.; FERREIRA, M.E. & MALAVOLTA, E. Respostas de culturas anuais e perenes ao fosfogesso. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1.; Brasília, 1985. Anais. Brasília, Embrapa, 1986. p.17-44.
- VITTI, G.C. & TREVISAN, W. Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade de soja. Informações Agronômicas. Piracicaba, POTAFÓS, 2000. 16p. (Encarte Técnico, 90)
- WEIL, R.R. & MUGHOGHO, S.K. Sulfur nutrition of maize in four regions of Malawi. Agron. J., 92:649-656, 2000.
- YAMADA, T.D. & ABDALLA, S.R.S. Como melhorar a eficiência da adubação nitrogenada do milho? Piracicaba, Potafós, 2000. 5p. (Informações Agronômicas, 91)