

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**SUELEN MARTINS DE OLIVEIRA**

**EFICIÊNCIA DE DIFERENTES FONTES E FORMULAÇÕES NKS PARA  
ADUBAÇÃO DE COBERTURA NA CULTURA DO MILHO**

**UBERLÂNDIA  
Junho – 2009**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**SUELEN MARTINS DE OLIVEIRA**

**EFICIÊNCIA DE DIFERENTES FONTES E FORMULAÇÕES NKS PARA  
ADUBAÇÃO DE COBERTURA NA CULTURA DO MILHO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia, da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Elias Nascentes Borges

**Uberlândia – MG  
Junho – 2009**

**SUELEN MARTINS DE OLIVEIRA**

**EFICIÊNCIA DE DIFERENTES FONTES E FORMULAÇÕES NKS PARA  
ADUBAÇÃO DE COBERTURA NA CULTURA DO MILHO**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao curso de Agronomia, da  
Universidade Federal de Uberlândia,  
para obtenção do grau de Engenheiro  
Agrônomo.

Aprovado pela Banca Examinadora em 12 de Junho de 2009.

MSc. Patrícia Costa Silva  
Membro da Banca

MSc. Cílon César  
Membro da Banca

---

Prof. Dr. Elias Nascentes Borges  
Orientador

## AGRADECIMENTOS

Ao chegar ao final da graduação, reconhecemos que todos nós somos vencedores, pois conseguimos transpor mais uma etapa em nosso caminho. Além do esforço próprio, nada seria se não tivesse o auxílio de outras pessoas, seja no âmbito pessoal ou durante o desenvolvimento do trabalho de pesquisa.

É imprescindível agradecer à Deus por nos conceder a vida, a possibilidade de aprendizagem e por me iluminar sempre. Reconheço a dedicação e o esforço dos meus pais Hélio Vicente de Oliveira e Doralice Martins de Oliveira, que apesar das dificuldades sacrificaram-se trabalhando arduamente para que eu pudesse chegar até aqui.

Fico grata as minhas irmãs Rinélia Martins de Oliveira e Héllen Martins de Oliveira pelo companheirismo e paciência que a mim dedicam. Enfim, vocês foram e são muito importantes para mim, são a minha família. Agradeço também ao Emilliano Carneiro Foseca por seu carinho e amor a mim dedicados.

Durante o desenvolvimento deste trabalho muitas pessoas contribuíram para que este fosse realizado com sucesso, ressalto o meu orientador Prof.º Dr.º Elias Nascentes Borges, os colaboradores Dr.º Waldo Lara Cabezas, Dr.º Carlos Ribeiro Rodrigues, à Bunge Fertilizantes e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), além dos técnicos laboratoristas Marco Aurélio, Sr. Wilson e Manoel. Aos estagiários e amigos Adriano, Camilo, Ramiro, Natália, Polianna, Pedro e Thiago, aos mestrandos da época Cínara, Patrícia e Leomar, pela amizade, conselhos e companheirismo de sempre e ao Reinaldo.

Em suma, cada pessoa ajudou a construir o meu caráter e minha carreira profissional e por isso sou muito grata a todos vocês, muito obrigada!

## RESUMO

O aumento na eficiência de utilização do nitrogênio para as culturas, principalmente as anuais, deve-se, entre outros fatores à interação entre enxofre (S) e potássio (K). A aplicação de fertilizantes nitrogenados em misturas físicas, com fontes contendo estes dois nutrientes, em detrimento da utilização exclusiva da matéria prima básica, poderá melhorar a eficiência e o custo, visto que o nitrogênio representa para a maioria das culturas o fertilizante mais caro. Neste contexto os objetivos deste trabalho foram: a) Avaliar o efeito das misturas de Uréia (U) mais Sulfato de Amônio (S.A.) e Uréia mais Gesso Agrícola (G) sob diferentes características físicas sobre a produção e nutrição da cultura do milho quando aplicados em cobertura; b) Quantificar a distribuição em profundidade do N mineral ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ) e do enxofre ( $\text{S-SO}_4^{2-}$ ) no perfil do solo após a aplicação dos fertilizantes. O experimento foi realizado no ano agrícola 2005/06, na Fazenda Floresta do Lobo, Reflorestadora Pinusplam Ltda, BR050 Km 93, Uberlândia, MG, em solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, textura muito argilosa, fase cerrado, relevo plano. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições e cinco tratamentos os quais correspondiam a seguinte adubação de cobertura no milho: T1 (testemunha), T2 (Uréia + Sulfato de Amônio farelado), T3 (Uréia + Sulfato de Amônio granulado), T4 (Uréia + Gesso granulado) e T5 (Uréia + Gesso em pó). Cada parcela foi constituída de 300 m<sup>2</sup> com espaçamento de 0,5 m entre linhas de milho com uma população média de 68.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Para a análise de nitrogênio (N) e enxofre (S) no solo empregou-se o mesmo delineamento em esquema fatorial 5 x 4, com as quatro profundidades de avaliação (0- 10; 10 – 20; 20 – 40 e 40 – 60 cm) na subparcela. A aplicação da U com o gesso na forma granular ou em pó proporcionou incrementos significativos de produção quando comparados com a testemunha. A aplicação da U juntamente com o S.A. na forma farelada ou granular não proporcionou incrementos em relação ao tratamento testemunha. Conclui-se que nas condições de realização, a aplicação do G principalmente sob a granulometria pó juntamente com a U, proporcionou maior produtividade e exportação do N aplicado.

**Palavras-chave:** adubação nitrogenada, gesso agrícola, milho.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	6
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	8
2.1 Cultura do milho e exigências nutricionais .....	8
2.2 Adubação de cobertura .....	9
2.3 Fertilizantes nitrogenados.....	10
2.3.1 Uréia .....	11
2.3.2 Sulfato de amônio.....	13
2.4 Fertilizantes sulforados.....	14
2.4.1 Gesso agrícola .....	14
2.5 Análise de nitrogênio e enxofre no solo .....	16
2.6 Formulados nitrogenados .....	16
2.7 Relação nitrogênio : enxofre.....	18
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1 Localização e características da área experimental .....	20
3.2 Delineamento experimental.....	21
3.3 Condução do experimento .....	21
3.4 Análise estatística .....	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	23
4.1 Avaliações em campo: diagnose visual .....	23
4.2 Produtividade e nutrição do milho.....	24
4.3 Distribuição de nitrogênio e enxofre em profundidade no solo .....	29
5 CONCLUSÕES .....	32
REFERÊNCIAS .....	33

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento na eficiência da adubação nitrogenada em cobertura, principalmente para culturas anuais, requer a aplicação de fertilizantes nitrogenados em misturas com enxofre (S) e potássio (K), em detrimento da utilização individual das fontes destes nutrientes (CABEZAS; SOUZA, 2008).

Apesar de o nitrogênio (N) ser o nutriente requerido em maior quantidade pela cultura do milho (Amado et al., 2002), os solos brasileiros são deficientes em S na camada superficial, notadamente os de Cerrado (HOROWITZ; MEURER, 2006). Assim, as misturas de grânulos aplicadas em coberturas nitrogenadas deveriam incluir rotineiramente produtos com S, devido ao sinergismo com o N, o que contribui para aumentar a eficiência de aproveitamento deste último (BULL; CANTARELLA, 1993).

Muitas vezes não há respostas para doses mais elevadas de S, pelo fato do nível de nitrogênio N na adubação não acompanhar este aumento (VITTI, 1986). Segundo Pupo (1979), pode ocorrer exatamente o contrário, ou seja, a carência de S interfere na absorção de N pela planta, o que resultará em sintomas de deficiência deste nutriente, mascarando a ausência de S.

As fontes de N em uso: uréia (U), sulfato de amônio (S.A.) e nitrato de amônio (N.A.), muito empregados na agricultura brasileira, apresentam desvantagens quando utilizadas individualmente, porém, suas perdas podem ser minimizadas quando em misturas (CABEZAS; SOUZA, 2008).

O S.A. apresenta baixa higroscopicidade e excelentes propriedades físicas, possui alto teor de enxofre (24% S) e as perdas de nitrogênio por volatilização são menores em relação à U. Entretanto, o S.A. possui teor relativamente baixo de nitrogênio (20% N) e elevado poder de acidificação do solo. O N.A. deve ser manuseado cuidadosamente por apresentar caráter explosivo e alta higroscopicidade, além de estar sujeito à perdas significativas por lixiviação. (CORSI et al., 2001).

A U é o adubo nitrogenado mais usado atualmente no Brasil, contém 44% de N e seu custo unitário é inferior ao do S.A., isso faz com que o custeio com transporte seja menor. As restrições quanto ao uso da U estão relacionadas com suas propriedades físicas indesejáveis, devido à sua alta higroscopicidade, possíveis perdas de nitrogênio por volatilização quando aplicada sobre a superfície de solos, e pelo fato de esta fonte nitrogenada conter uma impureza denominada de biureto, a qual pode causar toxidez às plantas (FURTIN et al; 2005).

Como são muitas as reações que dificultam ou impedem a absorção do N pelas plantas, a eficiência do uso de fertilizantes nitrogenados pelas culturas varia de 40 a 60%. Sabe-se que a aplicação da uréia em superfície, principalmente em solos tropicais em cultivos de sequeiro, apresenta significativas perdas gasosas de amônia (SENGIK; KIEHL, 1995; CABEZAS et al., 1997a, 1997b; COSTA et al., 2003; SANGOI et al., 2003). Vários autores brasileiros têm relatado altas perdas de N por volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ) quando a uréia é aplicada na superfície dos solos como indica os resultados de Cabezas et al. (1997a, 1997b, 2000).

Cabezas et al. (2000), em seus estudos relatam que as perdas de N variaram de 40 a 78% quando aplicado na superfície de solos cultivados com a cultura do milho. Logo, sua utilização eficiente está condicionada à incorporação no solo, independentemente das condições climáticas e dos tipos de solos.

Em condições anaeróbias, o nitrato presente no solo pode ser rapidamente perdido por meio de formas gasosas ( $\text{N}_2$  e  $\text{NO}_2$ ), mas, mesmo em condições aeróbias, acredita-se que entre 5% e 30% do N aplicado como fertilizante irá ter esse destino. Muitos agricultores estão antecipando a adubação nitrogenada em cobertura no milho para otimizar a utilização de máquinas na propriedade. Nessas condições, chuvas intensas no início do ciclo da cultura do milho, principalmente no verão, podem resultar em menor eficiência de uso do N, devido as perdas de N por lixiviação do nitrato.

Vitti e Heinrichs (2006) citaram as misturas U + SA (1:1 em produto), sulfonitrato de amônio (75 % de N.A. e 25 % de S.A.), nitrosulfato de amônio (1:1 em produto) de U + S elementar (10 a 30 % de S) como fontes de aplicação conjuntas de N e S. Entretanto, a aplicação do gesso agrícola (resíduo da indústria de fertilizantes) com a uréia (Sobrinho et al., 2007), seria uma alternativa menos onerosa e de maior acessibilidade para o produtor.

O uso do gesso agrícola pode ser empregado com finalidade de adubo, uma vez que o mesmo é fonte de cálcio (17 a 20 %) e de enxofre (14 a 17 %). Este subproduto movimenta-se com facilidade em profundidade, porque é relativamente solúvel ( $2,0 \text{ g L}^{-1}$ ), e pode ser aplicado na superfície do solo quando úmido, (CAIRES et al., 1999). Dessa forma, é interessante aprofundar o conhecimento de misturas de fontes nitrogenadas bem como estudar a dinâmica do N e sua reação com a solução do solo. Estudar a mistura de fontes nitrogenadas com o gesso agrícola, aliando vantagens operacionais, técnicas e econômicas que complementem as características das fontes isoladas.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Cultura do milho e exigências nutricionais

O milho (*Zea mays* L.) foi uma das primeiras fontes de alimento utilizadas pelas civilizações do continente americano, as quais foram responsáveis, também, pelas primeiras domesticações e cultivo da espécie. Atualmente, o milho é uma das plantas mais usadas para produção de alimentos e ração animal em várias regiões do mundo (AYALA-OSUNA, 2001).

A safra 2007/2008 indica que os maiores produtores mundiais de milho são os Estados Unidos (331 milhões de toneladas), China (148 milhões de toneladas), Brasil (51,8 milhões de toneladas) e a União Européia (48 milhões de toneladas). Embora o Brasil seja um dos grandes produtores mundiais de milho, não se destaca da mesma forma quanto à produtividade. A produtividade média brasileira na safra 2007/2008 foi de apenas 3,75t.ha<sup>-1</sup> (INSTITUTO FNP, 2008; IBGE, 2007).

Nos últimos anos, a cultura do milho no Brasil tem passado por mudanças tecnológicas significativas que resultam em aumentos na produtividade e na produção. Entre essas tecnologias, destaca-se a necessidade de melhoria na qualidade dos solos por meio do manejo adequado da fertilidade, que é um dos principais fatores responsáveis pela baixa produtividade das áreas destinadas tanto para a produção de grãos como de forragem.

Segundo Coelho e França (1995), as necessidades nutricionais de qualquer planta são determinadas pela quantidade de nutrientes que esta extrai durante o seu ciclo. Esta extração total dependerá, portanto, do rendimento obtido e da concentração de nutrientes nos grãos e na palhada. Assim, tanto na produção de grãos como na de silagem será necessário colocar à disposição da planta a quantidade total de nutrientes que ela extrai, que devem ser fornecidos pelo solo e através de adubações.

Dados médios de experimentos conduzidos por Coelho et al. (dados não publicados), com doses moderadas a altas de fertilizantes, mostram a extração de nutrientes pelo milho, cultivado para produção de grãos e silagem (Tabela 1). Observa-se que a extração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio aumenta linearmente com o aumento na produção.

**Tabela 1.** Extração média de nutrientes pela cultura do milho destinada à produção de grãos e silagem em diferentes níveis de produtividade.

Tipo de exploração	Produtividade (t.ha <sup>-1</sup> )	Nutrientes extraídos (Kg. ha <sup>-1</sup> )				
		N	P	K	Ca	Mg
Grãos	3,65	77	9	83	10	10
	5,80	100	19	95	17	17
	7,87	167	33	113	27	25
	9,17	187	34	143	30	28
	10,15	217	42	157	32	33
Silagem (matéria seca)	11,60	115	15	69	35	26
	15,31	181	21	213	41	28
	17,13	230	23	271	52	31
	18,65	231	26	259	58	32

Fonte: Coelho et al. (dados não publicados).

## 2.2 Adubação de cobertura

De acordo com a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA) o custo dos fertilizantes para os produtores de milho em 2006 estiveram entorno de 39,3 sacas de milho para custear 1 tonelada de adubo, contrapondo-se às 57,7 sacas necessárias para aquisição da mesma quantidade na safra 2008/2009.

A contribuição dos adubos no aumento da produtividade das culturas é da ordem de 30% a 50% (ALCARDE et al., 1998). Portanto, diante da tendência do aumento no preço dos fertilizantes, reafirma-se a importância do manejo adequado da adubação nitrogenada o que exige maiores cuidados devido às inúmeras reações e ao complexo ciclo do nitrogênio no solo, aliado ao fato de ser, geralmente, o elemento mais caro no sistema de produção da cultura do milho.

Os adubos nitrogenados minerais são solúveis em água e, assim não apresentam problemas quanto à solubilidade. Os nitratos são, em geral, a forma mais absorvida pelas plantas. Neste contexto a uréia, o adubo nitrogenado mais utilizado, hidrolisa-se e é transformada em nitrato de amônio. Assim, o maior problema quanto a aplicação de fertilizantes nitrogenados é a perda por lixiviação de N, principalmente na forma de nitratos. As perdas por lixiviação ocorrem, de forma geral, nas épocas mais chuvosas do ano, portanto,

é importante empregar tecnologias de aplicações que visem reduzir ou minimizar essas perdas (RAIJ, 1991).

Em culturas anuais é comum a aplicação de uma pequena quantidade de nitrogênio por ocasião da semeadura, e uma quantidade maior posteriormente, em cobertura, quando o sistema radicular está suficientemente desenvolvido para absorver o nutriente aplicado.

Os adubos nitrogenados apresentam um caráter acidificante, logo essa característica deve ser levada em consideração na escolha da fonte nitrogenada a ser aplicada bem como a sua eficiência no solo (RAIJ, 1991).

A adubação potássica promove absorção e utilização do nitrogênio, logo, a adubação nitrogenada terá máxima eficiência se as plantas também forem supridas com quantidades adequadas de potássio. Este aspecto assume relevância ainda maior em sistemas de agricultura intensiva sob irrigação, em que, muitas vezes, pequenas doses de fertilizantes potássicos podem levar ao baixo aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados, baixas produções e menores lucros por parte do agricultor (LOPES; GUILHERME, 2000).

A tendência natural do agricultor em situações de dificuldade de crédito para custeio dos insumos para produção de determinadas culturas é reduzir os gastos com fertilizantes e corretivos agrícolas. Entretanto esta atitude não é recomendável, pois os adubos minerais são essenciais para o aumento de produção das culturas e se manejados de maneira correta poderão ter sua eficiência aumentada (ALCARDE, 1998).

### **2.3 Fertilizantes nitrogenados**

De acordo com Rajj (1991), embora o nitrogênio seja um dos elementos mais difundidos na natureza, ele praticamente não existe nas rochas que dão origem aos solos. Assim, pode-se considerar que a fonte primária do elemento no solo é o nitrogênio do ar. Isto porque sua estrutura química, com dupla ligação, o torna muito pouco reativo e impossibilita sua absorção pela grande maioria das plantas.

Conforme o mesmo autor, os meios que a natureza disponibilizou, trazendo este nitrogênio para nutrir plantas e, a partir destas alimentar homens e animais, são as chuvas com trovoadas, uma vez que as descargas elétricas fornecem a energia necessária para o desdobramento da molécula de  $N_2$  e a fixação biológica do nitrogênio – FBN. Posteriormente,

quando o homem passou a cultivar as plantas para a sua alimentação e para comercialização, estas duas fontes se mostraram insuficientes para a obtenção de maiores produtividades.

Liebig no século XIX ao definir a nutrição mineral de plantas marcou a fase dos adubos químicos, com a adição de sais minerais ao solo para aumentar a produção das culturas. O uso de fertilizantes ganha maior impulso na década de 70 do mesmo século após a chamada “Revolução Verde”. Neste período, o uso de nutrientes minerais, dentre eles o nitrogênio, passou a ser um fator preponderante na atividade agrícola, aliando-se ao melhoramento genético e ao uso científico dos defensivos, contribuiu de maneira decisiva para melhorar os níveis de produtividade das culturas e, conseqüentemente a produção de alimentos no mundo (RAIJ, 1991).

Pode-se prever uma importância crescente do nitrogênio na agricultura brasileira, já que este é o nutriente exigido em maior quantidade pelas culturas. Esse fato é refletido no consumo mundial do elemento em fertilizantes à medida que a agricultura se intensifica e as produtividades aumentam no país.

### 2.3.1. Uréia

A uréia (U) é obtida por reação de amônia e gás carbônico sob alta pressão, em presença de um catalisador. A U exige atenção especial, pela possibilidade de perdas por volatilização. Essas perdas ocorrem devido a formação carbonato de amônio no processo de hidrólise da U (Reação 1). Para que esta reação ocorra é necessário a participação catalítica de uma enzima chamada urease, abundante nos solos. O carbonato de amônio por ser um sal instável, decompõe-se em amônia e gás carbônico (Reação 2).

Observando-se as reações 3 e 4 verifica-se que, em meio alcalino, essas reações deslocam-se no sentido de produzir  $\text{NH}_3$  (gasoso) e, em meio ácido, deslocam-se no sentido de produzir  $\text{NH}_4^+$ , forma de N não-volátil ( FURTIN et al., 2005).



Dessa forma, para que o  $\text{NH}_3^+$  não se desprenda para a atmosfera, há a necessidade de meio ácido no solo, pois deste modo é a formação do cátion  $\text{NH}_4^+$ . Esta é a razão pela qual a uréia deve ser incorporada ao solo ácido. A uréia isenta de enxofre, apresenta séria limitação quando aplicada na superfície do solo, devido às significativas perdas por volatilização de amônia (BOUWMEESTER et al., 1985; RODRIGUES; KIEHL, 1986; CABEZAS et al., 1997a). Quando as perdas são expressivas, Cabezas et al. (2000) mostraram quedas significativas na produtividade do milho. Barreto e Westerman (1989) relatam que as perdas são maiores em sistemas de plantio direto, pois a atividade da urease é maior em plantas e resíduos vegetais em áreas de plantio direto quando comparado a áreas de solo descoberto.

A mistura da U com fertilizantes de caráter ácido, aplicada ao solo pode aumentar a concentração de íons  $\text{H}^+$  próximos do grânulo e promover a diminuição das perdas de N por volatilização. Dentre os fertilizantes nitrogenados mais utilizados, o sulfato de amônio é a fonte de nitrogênio com caráter mais ácido, além de não sofrer volatilização do nitrogênio amoniacal quando o pH é inferior a 7 (VOLK, 1959).

De acordo com Vitti et. al. (2002), a mistura de uréia com sulfato de amônio, na proporção de 1:1, reduz as perdas de amônia sem afetar a qualidade da mistura em relação aos atributos físico-químicos. Segundo Cabezas (1997a), a presença do sulfato de amônio contribui para a geração de prótons ( $\text{H}^+$ ) os quais neutralizam o efeito alcalino da base ( $\text{OH}^-$ ) originado da hidrólise da uréia, contribuindo para diminuir as perdas por volatilização.

Neste contexto, o parcelamento da adubação nitrogenada tem por objetivo minimizar as perdas por lixiviação e aumentar a eficiência de uso do nitrogênio pela planta de milho (CANTARELLA, 1993). Segundo de Villas Boas (1999), o parcelamento da uréia aumenta os valores de massa seca, conteúdo, quantidade e recuperação do N na planta de milho em relação a aplicação em uma única vez.

As formas mais importantes de N disponíveis para as plantas são os íons amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) sendo este último a forma mais absorvida. Através das reações de nitrificação que ocorrem no solo o cátion  $\text{NH}_4^+$  se transforma no ânion  $\text{NO}_3^-$  (Reação 5). Valores de pH mais alto e boa aeração do solo favorecem o processo de nitrificação.



O íon amônio, por ser um cátion, permanece no solo em forma trocável, adsorvido pelas cargas negativas do solo. Já o nitrato, por ter carga negativa, é repellido pela superfície das partículas do solo, permanecendo na solução sendo assim muito móvel no solo e

suscetível à lixiviação. O nitrito é um ânion, em geral de existência efêmera no solo, sendo rapidamente oxidado a nitrato. Isso é importante, pois o nitrito é tóxico para as plantas e para animais que delas se alimentarem.

### 2.3.2 Sulfato de amônio

O sulfato de amônio (S.A.) é um subproduto da indústria metalúrgica ou também pode ser produzido diretamente pela reação da amônia com ácido sulfúrico:



Ainda é um fertilizante muito usado no Brasil, com as vantagens da estabilidade química, baixa higroscopicidade e presença de 24% de enxofre, não sendo superado neste aspecto por nenhum outro fertilizante. Apesar de as perdas de amônia por volatilização serem menores que a uréia, a grande desvantagem do S.A. é o seu alto poder de acidificação (FURTIN et al., 2005). Todavia, para solos alcalinos que, indevidamente, receberam doses excessivas de calcário, o S.A. pode ser indicado para abaixar o pH. Furtin et al. (2005) relatam que é preciso lembrar de que a aplicação superficial o sulfato de amônio em solos com pH acima de 7,5 ou com excesso de calcário não reagido na superfície, pode resultar em acentuadas perdas de nitrogênio por volatilização de amônia (Reações 7, 8, 9).



Outra desvantagem do sulfato de amônio diz respeito ao seu baixo teor de nitrogênio (N= 20%), o que aumenta muito o custo de transporte e, conseqüentemente, seu custo efetivo. Assim sendo, mundialmente, o sulfato e amônio tem perdido espaço para a uréia (FURTIN et al., 2005).

Em estudo realizado pela Ocepar (1995), foram testadas doses crescentes até 200 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, nas formas isoladas de U e S.A. na cultura do milho e também em

outras culturas. A organização verificou que os acréscimos de produtividade devidos ao S.A. não foram muito significativos em relação à aplicação de U. A utilização de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N representam uma adição de 229 kg ha<sup>-1</sup> de S-sulfato. Nesse sentido, excesso de sulfato, como mostrado no perfil do solo após três anos de estudo, pode ter lixiviado cátions em profundidade (Ca, Mg, K) e talvez provocado desbalanço nutricional de N e S na planta, quando ambos os nutrientes são assimilados preferencialmente por fluxo de massa (SILVA et al., 1998).

## **2.4 Fertilizantes sulforados**

O enxofre, tanto no país como no exterior foi durante muito tempo esquecido na prática da adubação. Com o surgimento dos sintomas de deficiência de S nas plantas, percebeu-se que o seu fornecimento estava condicionado à aplicação dos tradicionais fornecedores de macronutrientes primários que contêm enxofre na sua composição: o sulfato de amônio e o superfosfato simples. Além dos fertilizantes, o emprego de adubos orgânicos, alguns inseticidas e fungicidas também podem fornecer enxofre (ENSMINGER; FRENEY, 1966).

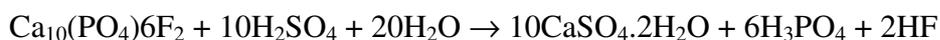
Os principais produtos que contêm enxofre são: sulfato e amônio, sulfonitrato de amônio, fosfossulfato de amônio, superfosfatos, sulfato de potássio e magnésio, sulfonitrocálcio, uréia revestida com enxofre (MALAVOLTA, 1981). Entretanto a forma mais barata e fácil de se obter o enxofre é através da aplicação do gesso agrícola (18% S) que além de possuir caráter fertilizante atua como um condicionador de solo.

Embora as doses ótimas de enxofre, com base na análise de solo, para a produção de diversas culturas sejam variáveis, aceita-se que em aplicações anuais, 10 a 40 Kg desse nutriente por hectare, sejam suficientes para prevenir a deficiência (VITTI, 1986).

### **2.4.1 Gesso agrícola**

O gesso agrícola, um subproduto da indústria de ácido fosfórico que contém principalmente sulfato de cálcio e pequenas concentrações de fósforo (P) e flúor (F), é

largamente disponível em muitas partes do mundo. De forma simplificada, essa reação pode ser representada pela equação:



No Brasil, cerca de 4,5 milhões de toneladas são produzidas anualmente (VITTI, 2000). Segundo Vitti et al. (1986), o gesso agrícola tem dupla função, pois além de servir como fonte de cálcio e de enxofre para as culturas, neutraliza o excesso de alumínio tóxico em subsuperfície e enriquece as camadas mais profundas do solo com cálcio, permitindo assim o maior desenvolvimento do sistema radicular, o que resulta em maior resistência à seca e, maior aproveitamento dos nutrientes do solo e dos adubos aplicados.

Apesar de estar amplamente provado na literatura que o calcário e o gesso são excelentes complementos em termos de corretivos (Vitti e Malavolta, 1985), acredita-se que o gesso agrícola possa também ser utilizado como adubo, suprimindo as necessidades das culturas, pois contém cerca de 18% de enxofre em sua formação.

Spindola (2000) verificou que a aplicação de gesso agrícola na semeadura influenciou positivamente o teor de nitrogênio nas sementes de amendoim; e o enxofre elementar presente no gesso agrícola exerceu influência no teor de potássio das sementes.

Soratto (2007) verificou que a gessagem em superfície aumentou os teores solúveis de cálcio e reduziu o de magnésio na parte aérea das culturas arroz, feijão e aveia-preta, principalmente nas primeiras safras após a aplicação. Soratto (2008) relatou que a aplicação de gesso agrícola promoveu aumentos nos teores de cálcio trocável e enxofre sob a forma de sulfatos, e diminuição no teor de alumínio trocável presente no solo, estes fatores contribuíram para que os efeitos da calagem superficial nas características químicas do solo alcançassem, de forma mais rápida, as camadas subsuperficiais.

A grande mobilidade vertical de cátions ocasionada pelo gesso (ERNANI, 1986; CAIRES et al., 1998), deve-se à maior solubilidade desse produto em relação aos calcários, à inalteração das cargas elétricas, e à permanência do ânion sulfato quase que totalmente na solução do solo. Devido a essa mobilidade Quaggio et al. (1982), Rajj (1988) e Alcarde (1998), verificaram que o uso do gesso agrícola pode provocar a lixiviação de bases trocáveis para as camadas mais profundas do solo, especialmente o potássio e o magnésio.

Por outro lado, a capacidade do solo em remover sulfato da solução, e, portanto, diminuir as perdas deste elemento por lixiviação, depende de sua inerente propriedade de adsorção (a qual pode ser afetada pela adsorção de outros íons), do nível de adsorção prévia de sulfato e da concentração deste na solução que percola em relação à concentração da solução com a qual o solo foi anteriormente equilibrado (NODVIN et al., 1986b).

## 2.5 Análise de nitrogênio e enxofre no solo

A grande dificuldade na avaliação da disponibilidade do nitrogênio é influenciada pela dinâmica do elemento no solo. Uma das etapas da dinâmica do nitrogênio é a imobilização das formas minerais, a qual pode variar em função da disponibilidade e quantidade de adubo aplicado, de fatores climáticos e de condições do próprio solo. Além disso, o íon nitrato é muito móvel no solo, e está sujeito a lixiviação principalmente em climas úmidos (RAIJ, 1991).

As fontes primárias do enxofre são as rochas ígneas, nas quais o elemento ocorre, em geral, em pequenas proporções como sulfatos. A fração mineral do enxofre no solo é, em geral, reduzida, de menos de 5% do total. O enxofre, em muitos solos, sob a forma do ânion sulfato não é retido no solo e desta forma ser facilmente lixiviado. Porém naqueles solos em que há predominância de óxidos de ferro e alumínio, além de caulinita, pode haver adsorção específica de sulfato no solo. Um fator muito importante nessa adsorção é o pH do solo – quanto maior ele for, menor será a adsorção (RAIJ, 1991).

Ao contrário do que acontece com os cátions de cálcio e magnésio, mais retidos na camada arável do solo, o ânion sulfato enfrenta, nessa parte do solo, três fatores que dificultam a sua permanência. O primeiro fator é a presença de teores maiores de matéria orgânica, que reduz a adsorção por óxidos e aumenta a carga negativa do solo, portanto repele os sulfatos. O segundo fator é a aplicação freqüente de calcário como corretivo do solo, o que causa aumento do pH e a liberação de sulfatos adsorvidos. Finalmente, os fosfatos aplicados em adubações ocupam preferencialmente as posições de troca que seriam ocupados por sulfatos (RAIJ, 1991).

## 2.6 Formulados nitrogenados

As características relacionadas à qualidade dos fertilizantes, principalmente daqueles adubos que fornecem nutrientes nobres como o nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) são classificadas de acordo com as condições naturais ou artificiais com que esses produtos são produzidos e desta forma apresentados. O tipo de formulação dos fertilizantes têm relação direta ou indireta com a sua eficiência no solo. Essas características podem ser diversas ou até

numerosas além de poder classificar-se como de natureza física, química ou físico-química (ALCARDE et al., 1998).

Os fertilizantes podem ser designados quanto à classificação física como sólidos, fluidos ou gasosos, sendo que atualmente, os fertilizantes sólidos são os mais utilizados na agricultura. Estes são subdivididos em pó ou farelado - cujas partículas são de pequenas dimensões, ou granulados quando as partículas são de dimensões que permitem caracterizar um grânulo. Logo, as misturas de grânulos (formulados) são obtidas pela simples mistura física de dois ou mais fertilizantes simples previamente granulados (MALAVOLTA, 1981).

Segundo Alcarde et al. (1998), a granulometria dos fertilizantes sólidos relaciona-se com o tamanho e a forma de suas partículas. A influência do tamanho das partículas nas características dos fertilizantes sólidos fundamenta-se no fato de que a subdivisão de um material aumenta sua superfície de exposição por unidade de massa. Como consequência, todos os fenômenos que dependem do contato, como velocidade de dissolução, absorção de umidade atmosférica ou higroscopicidade e outros, são intensificados ou reduzidos em função do tamanho. Assim, os fertilizantes solúveis em água e higroscópicos, como nitrato de amônio, uréia, nitrocálcio, etc., devem ser preferidos com granulometria grosseira. Em contrapartida, os termofosfatos e fosfatos naturais que são pouco solúveis em água, devem ser preferidos com granulometria fina, a fim de que esta seja facilitada.

Numerosos são os inconvenientes de um fertilizante úmido ou que apresente forte tendência para tal: queda no teor de nutrientes, dificuldade de manuseio e de distribuição, diminuição da resistência das partículas, aderência nos condicionadores, além da umidade ser a principal responsável pelo empedramento (recristalização do material dissolvido) dos fertilizantes.

A desuniformidade no tamanho das partículas dos formulados gera a separação e acomodação seletiva das partículas por ordem de tamanho, com a movimentação e trepidação do produto isto é o que chamamos de segregação (ALCARDE et al., 1998). Segundo este autor, isso pode comprometer seriamente a homogeneidade da mistura de grânulos, onde a separação por ordem de tamanho leva automaticamente à separação dos nutrientes. Além disso, a desuniformidade do tamanho acarreta à distribuição irregular dos fertilizantes nas adubações, tanto quantitativamente, dificultado as regulagens das adubadoras, quanto qualitativamente, se ocorrer a segregação no caso das misturas de grânulos.

Os nutrientes adicionados ao solo via adubos podem sofrer perdas. O conhecimento das causas de perdas é importante, pois pode-se evitá-las ou reduzi-las, e também melhorar a

eficiência dos adubos. As principais causas de perdas dos nutrientes presentes no solo são por: erosão (desagregamento e arraste de solo provocado principalmente pela água carrega também os nutrientes) e a percolação proveniente da lavagem vertical do solo eliminando do solo principalmente os fertilizantes solúveis e ânions, que não são ou são fracamente adsorvidos no solo como os nitratos e sulfatos.

Sabe-se que tanto uma parte maior quanto uma parte menor dos nutrientes adicionados ao solo não são aproveitadas pelos vegetais. A baixa eficiência de recuperação do nitrogênio presente no fertilizante tem sido atribuída, principalmente, às perdas gasosas do N (volatilização e desnitrificação). As perdas do fertilizante nitrogenado por desnitrificação têm sido estimadas em menos de 10% na cultura do milho (Hilton et. al., 1994), porém, a perda de  $\text{NH}_3$  por volatilização, quando a uréia, fonte nitrogenada mais comercializada no País (Anda, 2001), não é enterrada ou incorporada ao perfil do solo pela água da chuva ou irrigação, pode atingir de 31% a 78% do total de N aplicado (CABEZAS et al., 1997a).

## **2.7 Relação nitrogênio : enxofre**

A existência de uma relação nitrogênio-enxofre (N/S) aproximadamente rígida nas proteínas leva à necessidade de um adequado balanço na nutrição das plantas quanto a estes elementos. Níveis adequados de adubação nitrogenada, sob baixos teores de enxofre no solo, podem levar à acumulação de formas não protéicas de nitrogênio, resultando em uma ineficiente utilização dos fertilizantes nitrogenados de baixa qualidade dos produtos (LOPES et al., 2000).

Os dados apresentados por Vale et al. (1993), em suas avaliações sobre as frações do N total e relação N/S em plantas de milho sob diferentes doses de enxofre adicionadas ao solo, mostraram que, para a cultura do milho, a ausência de aplicação, ou mesmo a aplicação insuficiente de enxofre no solo, resultou em maior acúmulo de formas solúveis de nitrogênio (não-protéica), em detrimento das formas insolúveis (protéicas). Pode-se observar inclusive uma tendência de estabilização da relação nitrogênio – enxofre na planta, acompanhada de uma estabilização das frações de N – insolúvel, a partir da dose de  $10 \text{ mg S.dm}^{-3}$  de solo.

Batista e Monteiro (2006) concluíram em seus trabalhos que a concentração de N e os acúmulos totais de N e de S em capim-marandu mostraram-se dependentes da interação entre as doses de N e de S. Estes autores verificaram também que, o N exerceu efeito determinante

no comprimento, na superfície, na produção de massa seca de raízes e na concentração de S e na relação comprimento: massa seca do sistema radicular do capim-marandu.

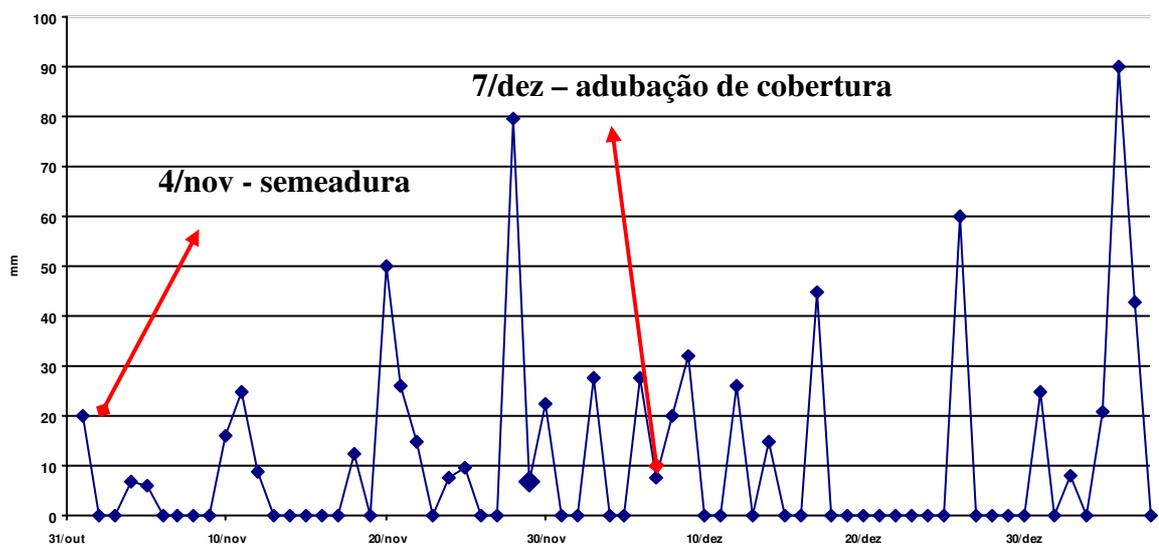
Werner e Monteiro (1988) relataram que as pastagens com deficiência em nitrogênio apresentaram baixas respostas ao enxofre. Conseqüentemente, alta disponibilidade de nitrogênio requer aplicação de doses mais altas de enxofre, uma vez que este nutriente é importante no metabolismo do nitrogênio e na síntese de proteína.

A relação N:S indica que os teores de enxofre total são mais baixos que de nitrogênio, de acordo com Raij (1991), essa relação raramente ultrapassa 0,1% em solos.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e características da área experimental

O experimento foi realizado na Fazenda Floresta do Lobo, Reflorestadora Pinusplam Ltda, BR050, Km 93, no município de Uberlândia/MG, em sistema de plantio convencional (SPC). O trabalho foi realizado na safra 2005/2006 em solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, textura muito argilosa, fase cerrado, relevo plano. A posição geográfica 19° 04' latitude Sul (S) e 48° 07' longitude Oeste (W). A altitude média na região varia entre 830 e 940 m e o clima predominante é o Aw, pela classificação de Köppen (EMBRAPA, 1982). Caracteriza-se como clima tropical chuvoso (clima de savana), megatérmico, com o inverno seco. A temperatura do mês mais frio é superior a 18°C e a precipitação do mês mais seco é inferior a 60 mm. A precipitação média de 1.550 mm anuais, com as chuvas distribuídas de forma irregular de Outubro à Março e um período muito seco de Julho à Agosto, caracterizando um regime de umidade do solo de acordo com a Soil Taxonomy é o "ustic", com o número de dias acumulativos secos entre 90 e 180 dias (EMBRAPA, 1982). A Figura 1 mostra que a precipitação por ocasião do plantio foi de 20 mm e na adubação de cobertura de 10 mm, mas com precipitações durante o ciclo da cultura de até 90 mm.



**Figura 1.** Distribuição da precipitação pluvial durante o ciclo da cultura do milho na safra 2005/2006. Estação Meteorológica da Fazenda Floresta do Lobo, Uberlândia – MG.

### 3.2 Delineamento experimental

Para a avaliação da produtividade e nutrição do milho, o delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições e cinco tratamentos (Tabela 2). Para os dados de nitrogênio (N) e enxofre (S) no solo o delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5 x 4, com parcela subdividida, sendo cinco tratamentos os quais correspondiam adubação de cobertura nas parcelas da cultura do milho: T1 (testemunha), T2 (uréia + sulfato de amônio farelado.), T3 (uréia + sulfato de amônio granulado), T4 (uréia + gesso granulado) e T5 (uréia + gesso em pó) e quatro profundidades de avaliação (0- 0,1; 0,1 – 0,2; 0,2 – 0,4 e 0,4 – 0,6 m) na subparcela, com quatro repetições. Portanto, nesta pesquisa cada parcela constitui-se de 300 m<sup>2</sup> sendo, 50 m de comprimento por 12 linhas de plantio, com espaçamento de 0,5 m entre linhas e população média de 68.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Para as avaliações foram consideradas como área útil das parcelas as oito linhas centrais eliminando-se 15 metros em cada extremidade, totalizando 80m<sup>2</sup> de área útil.

**Tabela 2.** Tratamentos de formulados N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O:S que serão utilizadas nas misturas de grânulos N, S e K, sua relação N:S, granulometrias utilizadas em cobertura nitrogenada na cultura de milho, cultivada em sistema de plantio convencional. Safra 2005/06, Fazenda Floresta do Lobo, Pinusplan, Uberlândia (MG).

Tratamento	Formulado	Formas N-S <sup>1</sup>	Razão N/S	Granulometria
T1	Testemunha	-	-	-
T2	24:00:06:20	U-SA fa	4,0	U - gr + SA - fa
T3	24:00:06:20	U-SA gr	4,0	U - gr + SA - gr
T4	15:00:05:19	U-G gr	3,0	U - gr + G - gr
T5	23:00:00:30	U-G pó	3,0	U - gr + G - pó

<sup>1</sup> N - Nitrogênio; S - Enxofre; U – Uréia; S.A. – Sulfato de Amônio; G – Gesso agrícola; fa – farelado; gr – granulado.

### 3.3 Condução do experimento

O híbrido simples de milho utilizado no experimento foi o DOW710 o qual foi semeado em 04/11/2005. Na área onde foi realizado o experimento foram aplicadas 2 t. ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, incorporado a 0,20 m de profundidade. A adubação de semeadura foi

realizada com  $350 \text{ kg ha}^{-1}$  do formulado 18:27:06 (composto por 29,1% de uréia (45% de N); 58,5% de Monoamônio Fosfato (10% de N e 54% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ); 24% de Superfosfato Simples Amoniado (3% de N, 17% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e 10% de Cloreto de Potássio (62% de  $\text{K}_2\text{O}$ ).

A adubação de cobertura foi realizada no dia 07/12/2005 (Figura 1) quando o milho encontrava-se entre os estágios V4 e V5. A adubação foi a lanço na entrelinha com as mangueiras da adubadora livres perfazendo uma faixa de três a quatro centímetros com o adubo. No tratamento cinco (T5) o gesso (15% de S) foi aplicado manualmente, após a aplicação do formulado, na quantidade de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$ , visando manter a relação N/S igual a 3,0 (Tabela 2). A quantidade aplicada de cada formulado foi o correspondente à aplicação de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

No início do florescimento, quando da emissão da boneca, o estado nutricional das plantas de milho foi determinado através da avaliação do teor foliar de N e S, na folha oposta e abaixo da espiga. Empregou-se para análise química do tecido vegetal bem como para amostragem a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). Na mesma data da amostragem foliar foi realizada a amostragem do solo nos tratamentos nas profundidades de (0- 0,1; 0,1 – 0,2; 0,2 – 0,4 e 0,4 – 0,6 m) para determinação de N-mineral total, segundo metodologia descrita por Cantarella e Trivelin (2001) e S-sulfato disponível segundo método descrito por Cantarella e Prochnow (2001).

Por ocasião da colheita colheu-se a espiga das plantas de milho localizadas na linha central da parcela totalizando 10 metros lineares para cada parcela. Em seguida, a espiga foi debulhada separando-se os grãos, que depois de secos para a determinação da umidade foram pesados para estimar a produtividade. Depois de moídos, os grãos foram destinados à análise química de tecido, segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997), para posterior estimativa do total de N e S exportado.

### **3.4 Análise estatística**

Os dados de produção, teores de N e S na folha durante a época do florescimento, N e S exportado e N e S no solo foram submetidos à análise de variância (teste F a 99%) e teste de média (Scott Knott a 0,05 de significância) com auxílio do software SISVAR (FERREIRA, 2000).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Avaliações em campo: diagnose visual

Durante a condução do experimento, foi observado desde o início do crescimento e desenvolvimento das plantas de milho até próximo da data de realização da adubação de cobertura (V4-V5), o sintoma visual de clorose internerval em folhas novas do milho nos tratamentos, sintoma este mais intenso no tratamento testemunha. Estes sintomas são semelhantes ao descrito por Malavolta et al. (1997) para a deficiência de Manganês (Mn). Na época de realização das amostragens foliar e do solo, observou-se a persistência dos sintomas de deficiência de Mn no tratamento testemunha (Figura 2), tal como redução do limbo foliar e porte das plantas deste tratamento quando comparado ao tratamento uréia + gesso em pó (Figuras 3). Assim, após a aplicação dos tratamentos, onde foi aplicado o gesso, tanto em pó quanto granulado, os sintomas de deficiência reduziram e as plantas apresentaram maior retenção de folhas no baixeiro e conseqüentemente maior desenvolvimento e crescimento.



**Figura 2.** Sintomas de clorose internerval no tratamento testemunha - T1.



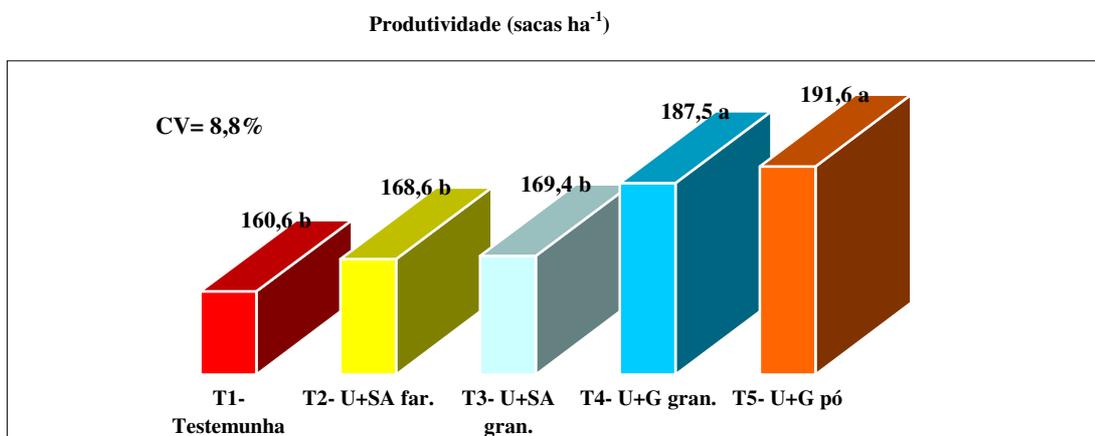
**Figura 3.** (A) Diferença aparente no porte das plantas entre os tratamentos testemunha (T1) e Uréia + Gesso em pó (T5). (B) E redução no tamanho das folhas novas de T1 comparadas às folhas novas de T5.

Essas observações indicam que a aplicação do gesso possibilitou alterações químicas no solo, o que proporcionou maior crescimento das plantas. Um dos principais efeitos benéficos da adição do gesso foi o carregamento das bases para camadas mais profundas do solo, fato também observado por Rajj (1991), e isto promoveu maior crescimento radicular em profundidade. A aplicação do gesso em cobertura, pode ter favorecido, o carregamento de cátions em profundidade, o que favorecem maior crescimento do sistema radicular das plantas de milho abaixo da faixa de incorporação do calcário. Assim, possibilitando o crescimento radicular em regiões de pH mais baixos e com alta disponibilidade de Mn para as plantas.

#### 4.2 Produtividade e nutrição do milho

As variáveis: produtividade de grãos, teor foliar de S no florescimento, teor de N nos grãos e N exportado apresentaram alterações estatisticamente significativas entre os tratamentos.

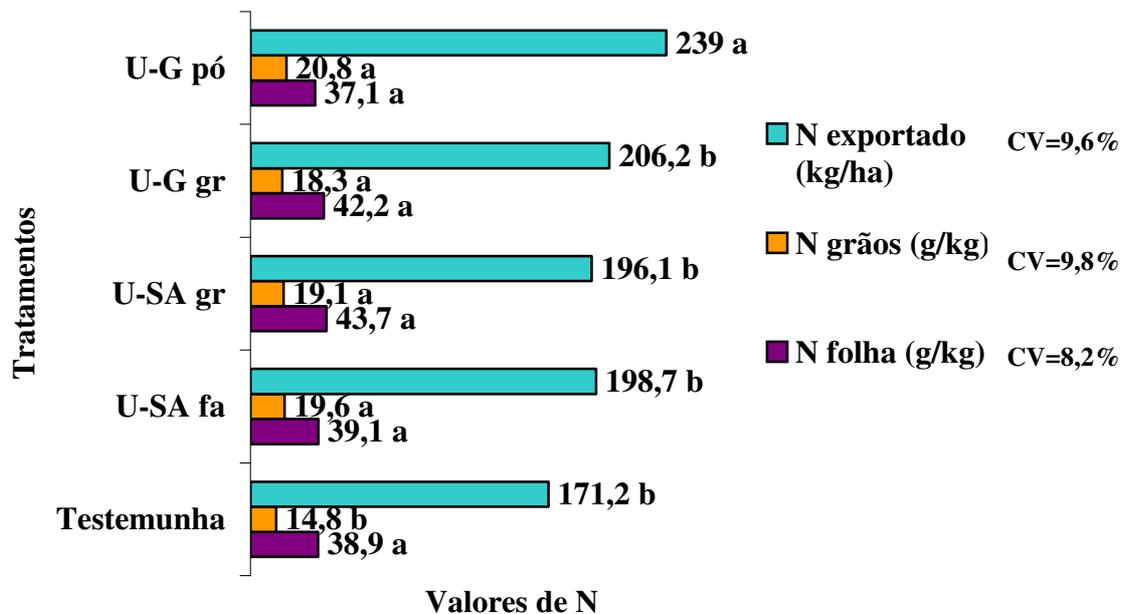
Os dados de produtividade do milho dos diferentes tratamentos foram submetidos ao teste de média Scott Knott a 0,05 de probabilidade para análise conjunta de todos os dados obtidos. Em geral verificou-se que a aplicação da uréia mais o gesso tanto na forma granular quanto em pó proporcionou incrementos significativos de produção de 26,9 e 31 sacas  $ha^{-1}$  a mais quando comparados com a testemunha (Figura 4). Já a aplicação da uréia juntamente com o sulfato de amônio na forma farelada ou granular não ocasionou incrementos em relação à testemunha (Figura 4).



**Figura 4.** Produtividade de milho em função da aplicação de diferentes fontes e formulações NKS em cobertura nitrogenada. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (Scott Knott 5%). Fazenda Floresta do Lobo, Uberlândia - MG. T1- Testemunha; T2- Uréia + Sulfato de Amônio farelado; T3- Uréia + Sulfato de Amônio granulado, T4- Uréia + Gesso granulado e; T5- Uréia + Gesso em pó.

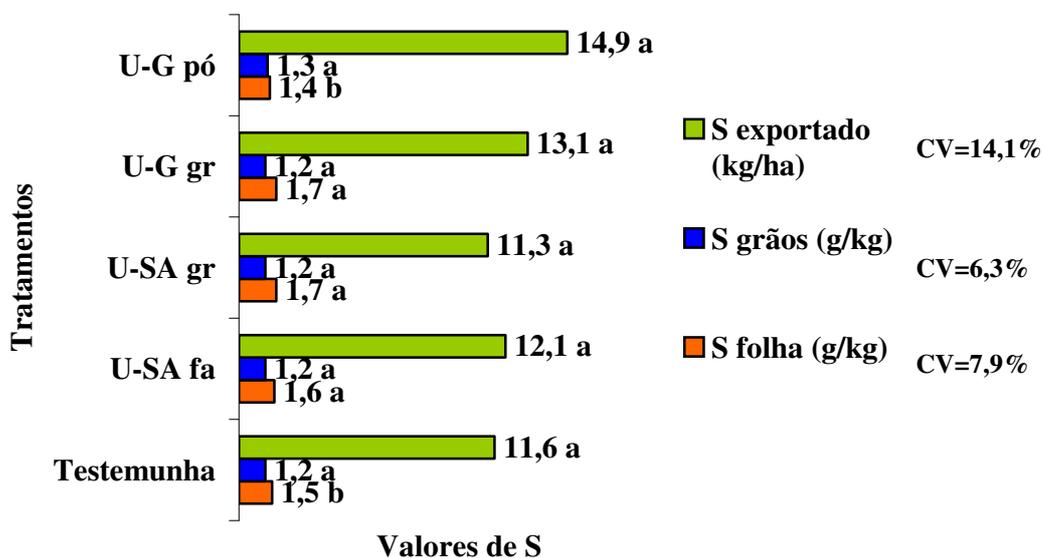
O sulfato de amônio independente de sua granulometria (farelada ou granular) atuou como fornecedor apenas de nitrogênio (N) e enxofre (S). Nos tratamentos com aplicação de gesso agrícola além do fornecimento de S, este atuou como condicionador de solo e promoveu: percolação de bases e enxofre para as camadas subsuperficiais, além de favorecer da neutralização do alumínio tóxico; aumentou a saturação por cálcio em subsuperfície; melhorou o desenvolvimento e aprofundamento do sistema radicular; aumentou a absorção de água e nutrientes, mesmo em períodos de estiagem; além do mais elevou os teores de proteínas das plantas permitindo maior produtividade e melhoria na qualidade da produção.

De forma geral, não foi observada nenhuma alteração nos teores foliares de N avaliado no período de florescimento das plantas e também nos teores de N dos grãos para todos os tratamentos. Verificou-se que os teores de N foram maiores em todos os tratamentos exceto na testemunha. Os resultados para o N exportado mostram que o tratamento uréia + gesso em pó apresentou valores superiores quando comparados aos demais tratamentos (Figura 5). A maior exportação do N ocorreu, provavelmente, devido ao fato de que o gesso quando dissociado no solo, libera o ânion sulfato que ao associar-se com o N-amoniacal proveniente da uréia pode auxiliar na redução das perdas de N por volatilização, o que resultará em uma maior absorção e exportação deste nutriente pela planta. Além deste fator, a forma física de pó possivelmente disponibilizou o nutriente mais rapidamente na solução do solo do que a forma granulada.



**Figura 5.** Valores de N-exportado, N-grãos e N-foliar de milho cultivado sob aplicação de diferentes fontes e formulações NKS em cobertura nitrogenada. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (Scott Knott 5%). Fazenda Floresta do Lobo, Uberlândia - MG. U-G pó = Uréia + Gesso em pó; U-G gran.= Uréia + Gesso granulado; U-S.A.gran. = Uréia + Sulfato de Amônio granulado; U-S.A.far. = Uréia + Sufato de Amônio farelado.

Os teores de S-foliar foram menores nos tratamentos testemunha e com a aplicação do gesso em pó. A redução nos teores de S na folha das plantas do tratamento com aplicação do gesso em pó pode estar relacionado ao efeito de diluição do nutriente. Para S-grão e S-exportado não houve diferença significativa entre os tratamentos (Figura 6).



**Figura 6.** Valores de S-exportado, S-grãos e S-foliar de milho cultivado sob aplicação de diferentes fontes e formulações NKS em cobertura nitrogenada. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (Scott Knott 5%). Fazenda Floresta do Lobo, Uberlândia - MG. U-G pó = Uréia + Gesso em pó; U-G gran.= Uréia + Gesso granulado; U-S.A.gran. = Uréia + Sulfato de Amônio granulado; U-S.A.far. = Uréia + Sulfato de Amônio farelado.

Na Tabela 3, têm-se os dados de produção e nutrição do milho adubado com formulados sob diferentes relações N:S, os quais foram analisados por contrastes. Nesta mesma tabela pode-se observar melhor a estimativa dos contrastes para os diferentes tratamentos, através da diferença dos valores médios de cada grupo de tratamento. Sendo assim os tratamentos foram separados em grupos para análise via contrastes:

- 1º contraste - testemunha versus (vs.) todos os tratamentos (Testemunha. vs. Trats.);
- 2º contraste - testemunha vs. Uréia + Sulfato de Amônio farelado e granulado (Testemunha. vs. U-Sa fa gr);
- 3º contraste - testemunha vs. Uréia + Gesso granulado e em pó (Testemunha. vs. U-G gr pó);
- 4º contraste - Uréia + Sulfato de Amônio farelado e granulado vs. Uréia + Gesso granulado e em pó (U-SA fa gr vs. U-G gr pó);
- 5º contraste - Uréia + Sulfato de Amônio granulado vs. Uréia + Sulfato de Amônio farelado (U-Sa gr vs. U-Sa fa); e o

6º contraste - Uréia + Gesso granulado vs. Uréia + Gesso em pó (U-G gr vs. U-G pó).

**Tabela 3.** Estimativa dos contrastes entre os grupos de tratamentos para as variáveis avaliadas. Safra 2005/06, Fazenda Floresta do Lobo, Pinusplan, Uberlândia (MG).

Contrastes	Variáveis						
	Produtividade (saca ha <sup>-1</sup> )	N folha (g kg <sup>-1</sup> )	S folha (g kg <sup>-1</sup> )	N grãos (g kg <sup>-1</sup> )	S grãos (g kg <sup>-1</sup> )	N exportado (kg ha <sup>-1</sup> )	S exportado (kg ha <sup>-1</sup> )
Testemunha. vs. Trats.	-18,6*	-1,6 <sup>ns</sup>	-0,14 <sup>ns</sup>	-4,6**	0 <sup>ns</sup>	-38,8**	-1,2 <sup>ns</sup>
Testemunha vs.U-SAfa gr	-8,4 <sup>ns</sup>	-2,5 <sup>ns</sup>	-0,19*	-4,5**	0 <sup>ns</sup>	-26,2*	-0,1 <sup>ns</sup>
Testemunha vs. U-G gr pó	-28,8**	-0,7 <sup>ns</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>	-4,7**	0 <sup>ns</sup>	-51,4**	-2,4*
U-SA fa gr vs. U-G gr pó	-20,3**	1,7 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	-0,2 <sup>ns</sup>	0 <sup>ns</sup>	-25,1*	-2,3*
U-SA gr vs. U-SA fa	-0,8 <sup>ns</sup>	-4,6 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	0,5 <sup>ns</sup>	0 <sup>ns</sup>	2,5 <sup>ns</sup>	0,8 <sup>ns</sup>
U-G gr vs. U-G pó	-4,3 <sup>ns</sup>	5,1 <sup>ns</sup>	-0,30**	-2,5 <sup>ns</sup>	0 <sup>ns</sup>	-32,8**	-1,8 <sup>ns</sup>

\*\* Significativo a 1%; \* significativo a 5% e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F.

Nota-se através da Tabela 3 que a produtividade dos tratamentos apresentou incremento de produtividade de 18,6 sacas ha<sup>-1</sup> em relação à testemunha, esse incremento mostra que houve efeito significativo dos tratamentos. Observa-se na mesma tabela que os tratamentos com aplicação de uréia + sulfato de amônio (farelado ou granular) não apresentaram incremento significativo em relação à testemunha, isto se deve possivelmente pelo fato de o sulfato de amônio fornecer apenas N e S para as plantas. A aplicação da uréia mais o gesso (granular ou pó) além de fornecer N e S, o gesso é fonte de cálcio e ao dissociar-se no solo auxilia na redução de perdas de N por volatilização, pode-se ressaltar ainda suas propriedades como condicionador de solo. Dentre os tratamentos, somente aqueles que receberam uréia + gesso granular e em pó apresentaram alteração significativa em relação à testemunha com incremento médio de 28,8 sacas ha<sup>-1</sup>. Em relação aos tratamentos que receberam uréia + sulfato de amônio farelado ou granulado o incremento médio de 20,3 sacas ha<sup>-1</sup>, resultado este significativo.

Analisando as diferentes fontes de enxofre: sulfato de amônio farelado ou granulado, e gesso agrícola granulado ou em pó, percebe-se através da Tabela 3 que essas fontes não exerceram alterações significativas sobre a produtividade do milho. A forma como é fornecida a fonte de enxofre pode influenciar na maior velocidade de dissolução da fonte e conseqüentemente maior atividade do ânion sulfato na solução do solo. No entanto, no presente trabalho, foi observado somente o efeito da fonte de enxofre, portanto a forma física de cada fonte não exerceu influência sobre a velocidade de dissolução deste nutriente culminando em incrementos não significativos na produtividade da cultura. Esta ausência de

efeito significativo conforme a forma física da fonte pode ser atribuída à alta umidade presente no solo por ocasião da época de aplicação das fontes e também à alta taxa pluviométrica após a aplicação dos tratamentos, o que pode ter contribuído para solubilizar rapidamente todas as fontes aplicadas independente de sua forma.

No entanto, comparando-se o efeito da mistura uréia + gesso granulado vs. uréia + gesso em pó, observou-se que houve incremento nos teores foliares de S avaliado no período de florescimento das plantas quando aplicou-se o gesso em pó (Tabela 3). Esse resultado pode ser atribuído ao maior contato do fertilizante com as partículas de solo, uma vez que o gesso em pó apresenta partículas menores e por isso de maior superfície específica, em relação à fonte granulada o que aumentou a velocidade de reação de dissolução do fertilizante, embora não tenha resultado em incremento significativo de produtividade.

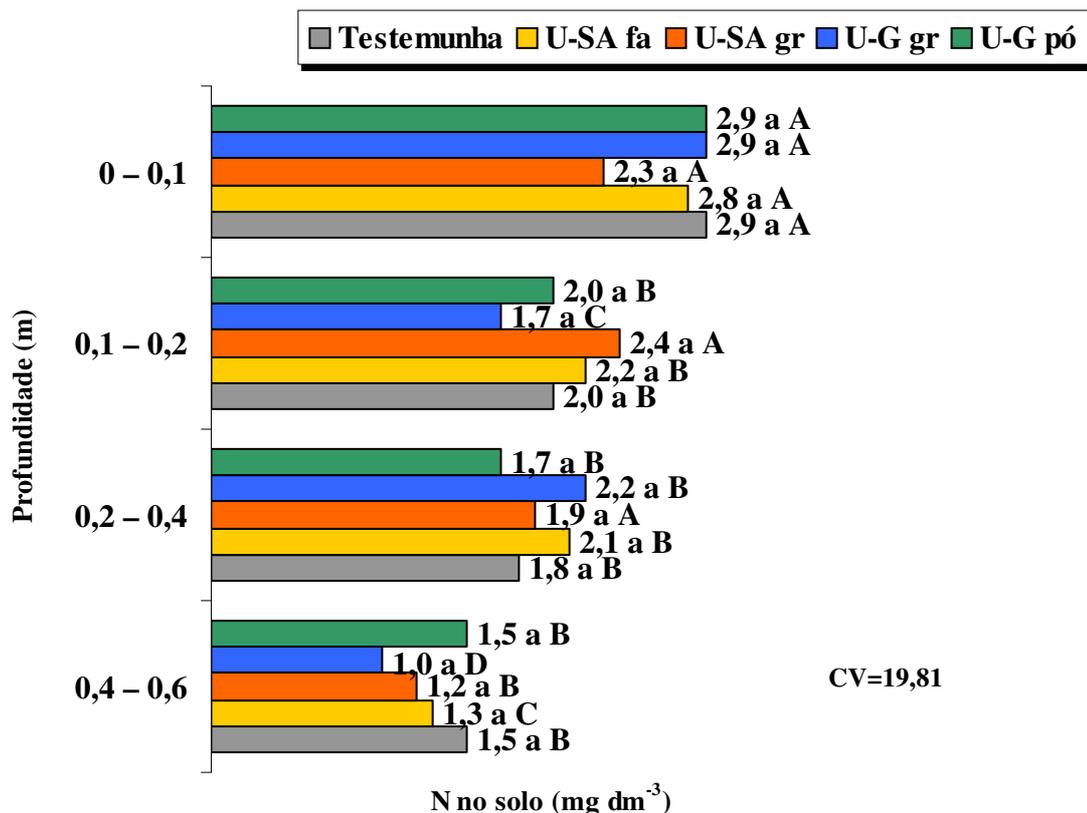
Em relação aos teores e N-foliar avaliado na época de florescimento da cultura do milho, nota-se pela Tabela 3 que não houve diferença entre os tratamentos. O mesmo comportamento também foi observado para os teores de S nos grãos. No entanto, analisando os teores de N nos grãos, observou-se que todos os tratamentos, tanto com uso de uréia + sulfato de amônio granulado ou farelado quanto uréia + gesso granulado ou pó, promoveram incrementos significativos de N nos grãos, quando comparados ao tratamento testemunha. Porém, nenhuma alteração significativa entre as fontes de S e a granulometria dessas (Tabela 3).

Avaliado os valores de N e S exportado (análise conjunta da produção e da eficiência de uso do nitrogênio e enxofre), observou-se que para o N exportado, além de todos os tratamentos com aplicação de fonte de N apresentarem-se superior à testemunha, a aplicação do gesso junto com a uréia foi superior em relação à aplicação de sulfato de amônio em associação com a uréia (Tabela 3). Quanto à forma de gesso fornecida, percebeu-se que a aplicação na forma de pó ocasionou maior exportação de N em relação ao tratamento que recebeu o gesso na forma granulada (Tabela 3). Em relação à exportação de S, observou-se que somente os tratamentos com aplicação de gesso (fonte de S) foram superiores à testemunha e também superiores aos tratamentos com aplicação de sulfato de amônio como fonte de S. No entanto, verificou-se maior teor foliar de S com a aplicação de gesso em pó em comparação com a forma granulada. Esse fato não resultou em maior exportação de S, logo, não ocorreu alteração nos valores de exportação de S em função da forma em que o gesso foi fornecido (Tabela 3).

### 4.3 Distribuição de nitrogênio e enxofre em profundidade no solo

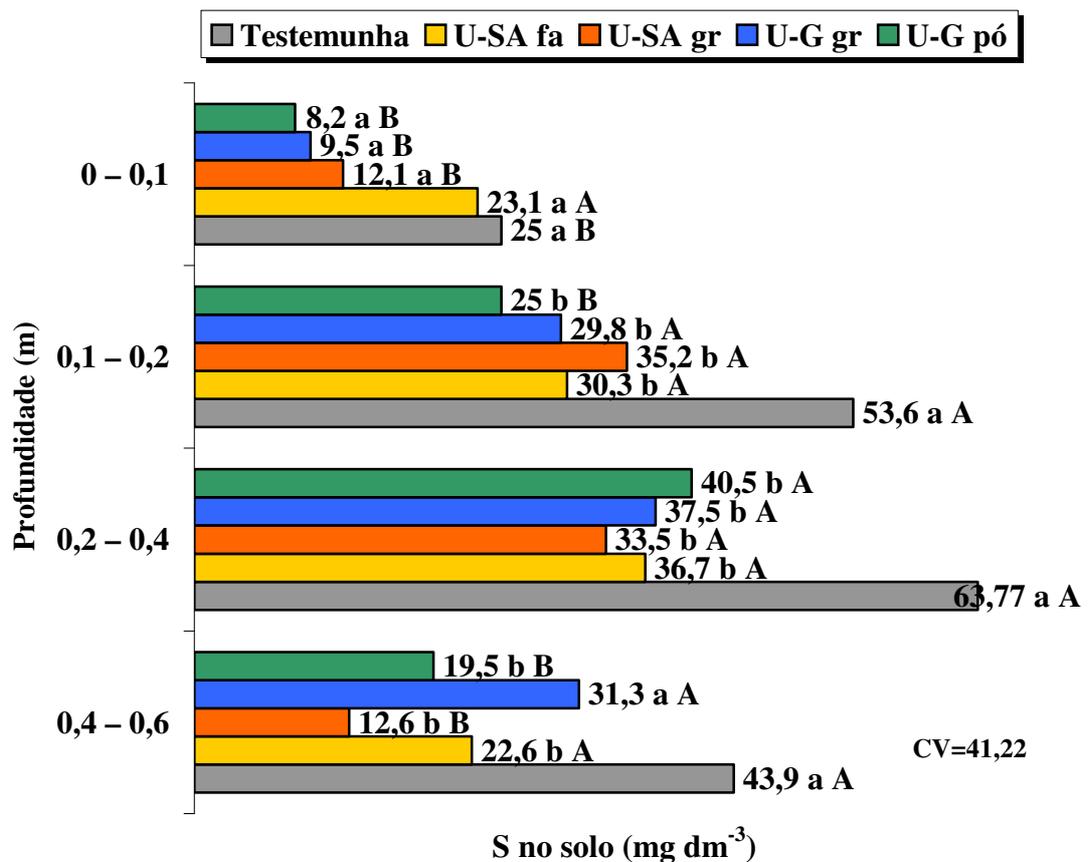
Os diferentes fertilizantes aplicados em cobertura, profundidades de coleta do solo e a interação entre esses fatores apresentaram significância para o teste de F para as concentrações de N e S no solo.

Para os teores de N, observa-se de maneira geral em todos os tratamentos a redução dos teores do nutriente em profundidade (Figura 7). Esta redução em profundidade poder ser explicada pela concentração do nutriente em superfície tanto na semeadura quanto em cobertura e também pela decomposição e conseqüente mineralização do N da matéria orgânica oriunda de resíduos vegetais de cultivos anteriores. Avaliando o efeito de cada fertilizante aplicado em cobertura sobre os teores de N em profundidade, observa-se na Figura 7 que não houve influência significativa dos tratamentos, não apresentando, portanto, variação entre os tratamentos em cada profundidade avaliada.



**Figura 7.** Concentração de N no solo em função da aplicação de diferentes fontes e formulações NKS em cobertura no milho. Letras minúsculas distinguem (Scott Knott 5%) as concentrações de N no solo entre os tratamentos na mesma profundidade e as maiúsculas distinguem (Scott Knott 5%) as concentrações de N no solo entre as profundidades num mesmo tratamento.

Para os teores de S no solo, observa-se em geral, aumento dos teores no nutriente no solo até 40 cm de profundidade e após observa-se redução (Figura 8). Os maiores valores foram obtidos no tratamento testemunha (Figura 8). Como as plantas desse tratamento não receberam adubação de cobertura, e apresentaram reduzido crescimento (Figura 3), provavelmente absorveu e acumulou menores quantidades de nutrientes refletindo assim, em maiores teores de S no solo (Figura 8).



**Figura 8.** Concentração de S no solo em função da aplicação de diferentes fontes e formulações NKS em cobertura no milho. Letras minúsculas distinguem (Scott Knott 5%) as concentrações de N no solo entre os tratamentos na mesma profundidade e as maiúsculas distinguem (Scott Knott 5%) as concentrações de N no solo entre as profundidades num mesmo tratamento.

Na Tabela 3, observa-se que as maiores exportações de N pela cultura ocorreram nos tratamentos com aplicação de uréia + gesso em pó ou granulado, entretanto pode-se notar na mesma tabela que os valores de N-exportado no tratamento uréia + gesso em pó foram superiores ao tratamento uréia + gesso granulado. Assim, pode-se inferir, que a aplicação de gesso granulado ou em pó com uréia proporcionou maior produtividade da cultura do milho, e a aplicação de gesso em pó ocasionou maior exportação de N pela cultura do milho.

No entanto, não foi verificado nenhum efeito dos fertilizantes aplicados sobre os teores de N presente no solo como verificado por alguns autores (BOUWMEESTER et al., 1985; RODRIGUES; KIEHL, 1986; CABEZAS et al., 1992; CANTARELLA, 1993; VILLAS BOAS, 1995; CABEZAS et al., 1997a, 1997b; VITTI et al., 2002). Então, pode-se concluir que o aumento da produção e acúmulo de N pelo milho com a aplicação do gesso em pó ou granulado está relacionado com os efeitos benéficos de sua aplicação, como por exemplo, o carreamento do cátion amônio impedindo sua volatilização.

Vários são os fatores que podem reduzir as perdas de N por volatilização quando da aplicação de uréia em superfície. A acidificação do fertilizante seria umas das possíveis técnicas, pois ao redor do grânulo da uréia o pH do solo fica em torno de 9,0 (MALAVOLTA, 1981) o que favorece as perdas de N amoniacal na forma de amônia. Com isso a adição do sulfato de amônio em mistura de grânulo ou no grânulo pode reduzir as perdas, pois sua dissolução é ácida (MALAVOLTA, 1981). No entanto, outro possível mecanismo que reduziu as perdas de N amoniacal por volatilização quando aplicado em superfície foi a formação de sulfato de amônio em solução, pois o cátion amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) liberado durante a solubilização da uréia, reagiu com o ânion sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) livre em solução, o que ocasionou menor taxa e volatilização. Não obstante, a possibilidade de formação de sulfato de amônio em solução está diretamente ligada à concentração do ânion sulfato em solução. Assim, a fonte que possuir maior eficiência em aumentar a concentração do ânion sulfato na solução do solo, possivelmente será a mais eficiente em reduzir as perdas de N por volatilização.

Entretanto, como as análises do presente trabalho foram realizadas 30 dias após a aplicação dos tratamentos é difícil avaliar qual foi a fonte mais eficiente, ou seja qual aumentou em maior quantidade a concentração de S no solo, pois, como relatado anteriormente o maior crescimento das plantas com aplicação do gesso, tanto em pó quanto granulado, pode ter proporcionado maior extração desses nutrientes do solo. Nesse sentido, são necessários mais estudos básicos para que se esclareça melhor quais os mecanismos envolvidos na maior eficiência da aplicação do gesso juntamente com a uréia.

## 5 CONCLUSÕES

Nas condições de realização do presente trabalho concluiu-se que:

- a) O efeito da formulação física de cada fonte de enxofre (sulfato de amônio ou gesso) não foi constatado;
- b) O efeito da fonte de enxofre resultou em incrementos significativos, sendo que a aplicação do gesso, tanto em pó quanto granulado, juntamente com a uréia proporcionou maior exportação de N e incremento de produtividade na cultura do milho;
- c) Não houve alteração significativa entre os tratamentos, na mesma profundidade, quanto à distribuição em profundidade do N mineral;
- d) No perfil do solo houve aumento nos teores de enxofre em profundidade.

## REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J. C.; GUIDOLIN J.A.; LOPES, A. S. **Os adubos e a eficiência das adubações**. Boletim Técnico - Agência Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, n. 3, São Paulo,1998. 43p.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n 1, p. 241-248, 2002.
- ANDA, Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**. São Paulo: Anda, 2001. 159p.
- AYALA-OSUNA, J. T. **Genética e Melhoramento do milho tropical**: propostas para aumentar a produtividade. Feira de Santana: UEFS, 2001, 124p.
- BARRETO, H. J.; WESTERMAN, R. L. Soil urease activity in winter wheat residue management systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.53, p.1455-1458, 1989.
- BATISTA, K.; MONTEIRO, F. A. Sistema radicular do capim-Marandu, considerando as combinações de doses de nitrogênio e de enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa , v. 30, n. 5, p. 821-828, 2006.
- BOUWMEESTER, R. J .B.; VLEK, P. L. G.; STUMPE, J. M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from a urea-fertilized soil. **Soil Science Society of America Journal**., Madison, v. 49, p. 376-381, 1985.
- BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, Potafos, 1993. 301p.
- CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O.; BOARETTO, A. E. Efeito do tamanho de grânulo e relação N/S da uréia aplicada em superfície na volatilização de amônia sob diferentes umidades iniciais do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 16, p. 409-413, 1992.
- CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH<sup>3</sup> na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por SA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n 3, p. 481-487, 1997a.
- CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, 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 plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.3, p. 489-496, 1997b.
- 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. **Communication in Soil Science Plant Analysis**, New York, v.30, p.389-406, 2000.

CABEZAS, W. A. R.; SOUZA, M. A. 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**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2331-2342, nov.-dez 2008.

CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n. 2, p.27-34, 1998.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p.315-327, 1999.

CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BULL, L.T.; CANTARELLA, H. (Ed.) **Cultura do milho**. Piracicaba: Potafos, p.148-196, 1993.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O. Determinação de nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor. In: RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H. ; QUAGGIO, J. A. (ed). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. p. 270-284.

CANTARELLA, H.; PROCHNOW, L. I. Determinação de sulfatos em solos. In: RAIJ, B.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (ed). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. p. 225-230.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. **Seja o doutor do seu milho**. Piracicaba, Potafos, 1995. 01p.

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, ESALQ, 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n.4, p. 631-637, 2003.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1982, 526p.

ENSMINGER, L.; FRENEY, J. R. Diagnostic techniques for determining sulfur deficiencies in crops and soils. **Soil Science**, Washington, v.101, p.283-290, 1966.

ERNANI, P. R. Alterações em algumas características químicas na camada arável do solo pela aplicação de gesso agrícola sobre a superfície de campos nativos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.10, p.241-245, 1986.

FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45, 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FURTIN, A. E. N.; TOKURA, A. M.; RESENDE, A. V. **Interpretação de Análise de Solo e Manejo da Adubação**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005.159p.

HILTON, B. R.; FIXEN, P. E.; WOODWARD, H. J. Effects of tillage, nitrogen placement, and wheel compaction on denitrification rates in the corn cycle of a corn-oats rotation. **Journal of Plant Nutrition**, Madison, v.17, p.1341-1357, 1994.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Oxidação do enxofre elementar em solos tropicais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n 3, p. 822-828, mai.-jun 2006.

IBGE. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária. **Produção Agrícola Municipal – Cereais, Leguminosas e Oleaginosas, 2007**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatística/economia/pando/2007/dfauld.shtm>>. Acesso em: 3 mar. 2009.

INSTITUTO FNP. **Anuário da agricultura brasileira**. Agriannual 2008. São Paulo, 2008. 502p.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas: aspectos agrônômicos**. Boletim Técnico – Agência Nacional para Difusão e Corretivos Agrícolas, São Paulo, n.4, 2000, 22p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubações**. São Paulo, 3 ed., 270-282, 1981.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 2 ed., 1997, 320p.

NODVIN, S.C.; DRISCOLL, C.T.; LIKENS, G.E. The effects of pH on surface adsorption by a forest soil. **Soil Science**, Washington, v.142, p.69-75.1986b.

OCEPAR. Organização das Cooperativas do Estado de Paraná. Programa de Pesquisa. **Efeitos das fontes e doses de nitrogênio aplicados em cobertura nas culturas de trigo, milho e algodão. Eficiência de aplicação do SA e uréia nas culturas de milho e algodão**. Cascavel, 1995. 48p.

PUPO, N. I. H. **Manual de pastagens e forrageiras: formação, conservação, utilização**. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, Campinas-SP, 1979. 343p.

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**, Viçosa, v.6, n.3, p.189-194, 1982.

RAIJ, V. van. **Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas – ANDA, 1988. 88p.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubações**. Piracicaba: Ceres/Potafos, 2 ed. 1991.343p.

RODRIGUES, M. B.; KIEHL, J. C. Volatilização de amônia após emprego de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.10, p.37-43, 1986.

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. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n 4, p.687-692, ago. 2003.

SENGIK, E.; KIEHL J. C. Controle da volatilização de amônia em terra tratada com uréia e turfa pelo emprego de sais inorgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, n.3, p. 455-461, 1995.

SILVA, D. J.; ALVAREZ, V. H.; RUIZ, H. A. Fluxo de massa e difusão de enxofre para raízes de milho em solos ácidos de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n.1, p. 109-114, 1998.

SOBRINHO, A. C. P. L.; AMARAL, A. J. R.; DANTAS, J. O. C.; DANTAS, J. R. A. **Gipsita**. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/gipsita.pdf>> Acesso em: 25 abr. 2007.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Cátions hidrossolúveis na parte aérea de culturas anuais mediante aplicação de calcário e gesso em superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p.1200-1207, 2007.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 675-688, 2008.

SPINOLA, M. C. M.; CICERO, S. M.. Qualidades física e fisiológica de sementes de amendoim submetidas a gesso agrícola: I. Área com calagem. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p.13-119, 2000.

VALE, F.R. do; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, R.; PAIVA, P. J. R. Efeito do enxofre no crescimento e assimilação de nitrogênio em milho. **Ciência e Prática**, Lavras, v.17, n.4, p. 343-350, out./dez. 1993.

VILLAS BOAS, R. L. **Recuperação do nitrogênio da uréia pelo milho**: efeito da mistura com sulfato amônio, da dose e do modo de aplicação. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1995. 128p. (Tese de Doutorado)

VILLAS BOAS, R. L; BOARETTO, A. E.; BULL, L. T.; GUERRINI, I. A. Parcelamento e largura da faixa de aplicação da uréia na recuperação do nitrogênio pela planta de milho. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p.1177-1184, 1999.

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

VITTI, G. C.; FERREIRA, M. E.; MALAVOLTA, E. O gesso agrícola como fonte de cálcio e enxofre - respostas de culturas anuais e perenes. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, Brasília, 1985. **Anais ...**Brasília: EMBRAPA DDT, 1986. p.17-43.

VITTI, G. C. **Uso eficiente do gesso agrícola na agropecuária**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2000. 30p.

VITTI, G. C.; TAVARES, J. E.; LUZ, P. H. C.; FAVARIN, J. L.; COSTA, M. C. G. Influência da mistura de sulfato de amônio com uréia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.663-671, 2002.

VITTI, G. C.; HEINRICHS, R. Formas alternativas de obtenção e utilização do N e S: Uma visão holística. In: SIMPÓSIO NITROGÊNIO E ENXOFRE NA AGRICULTURA, Piracicaba, 2006. **Anais...** Piracicaba, GAPE/FEALQ/ ESALQ, 2006. CD-ROM.

VOLK, M. G. Volatile loss of ammonia following surface application of urea to turf of bare soils, **Agronomy Journal**, Madison, v.51, p.746-749, 1959.

WERNER, J. C.; MONTEIRO, F. A. Respostas das pastagens a aplicação de enxofre. In: SIMPÓSIO SOBRE ENXOFRE E MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1988, Londrina. **Anais...** Londrina: [s.n.], p. 87-99,1988.