

# FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

## RECUPERAÇÃO DO NITROGÊNIO DA MISTURA DE URÉIA E SULFATO DE AMÔNIO POR PLANTAS DO MILHO <sup>(1)</sup>

ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS <sup>(2)</sup>; ANTONIO ENEDI BOARETTO <sup>(3)</sup>;  
LEANDRO JOSÉ GRAVA DE GODOY <sup>(2,4)</sup>; DIRCEU MAXIMINO FERNANDES <sup>(2)</sup>

### RESUMO

A mistura de uréia com fertilizantes de características ácidas aplicada ao solo pode aumentar a concentração de íons H<sup>+</sup> próximos do grânulo e promover a redução da perda de N por volatilização. O experimento foi desenvolvido em vasos com 15 kg de Latossolo Vermelho textura média, sob túnel plástico, em Botucatu (SP), nos quais foram crescidas plantas de milho (duas plantas por vaso) até o pendoamento (66 dias após a emergência - DAE). Como tratamentos foi realizada a adubação (100 mg dm<sup>-3</sup> N), no estádio de cinco folhas (30 DAE) utilizando os seguintes fertilizantes ou misturas físicas: (1) uréia (UR), enriquecida com <sup>15</sup>N; (2) sulfato de amônio (SA), enriquecido com <sup>15</sup>N; (3) sulfúrio (80% de N-UR e 20% de N-SA no mesmo grânulo); (4) mistura de UR (80% N) e SA (20% N e enriquecido com <sup>15</sup>N); (5) mistura de UR (50% N) e SA (50% N), enriquecidos com <sup>15</sup>N; (6) mistura de UR (50% N) e SA (50% N e enriquecido com <sup>15</sup>N), (7) mistura de UR (50% N) e SA (50% N), enriquecido com <sup>15</sup>N, diluídos em água (solução contendo 3% de N) e mais um tratamento que não recebeu N. A mistura de UR e SA não promoveu aumento na recuperação do N da uréia na planta de milho. Do total de <sup>15</sup>N-fertilizante aplicado, aproximadamente, 67% foram recuperados pela planta de milho (29% nas folhas, 25% no caule e 13% nas raízes) e 6% no solo, com uma perda estimada de 27%. O <sup>15</sup>N da uréia foi recuperado em menor quantidade no caule em relação ao N do sulfato de amônio.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L., <sup>15</sup>N, fertilizante nitrogenado, volatilização.

### ABSTRACT

#### NITROGEN RECOVERY OF UREA - AMMONIUM SULPHATE MIXTURES BY CORN PLANTS

The mixture of urea with fertilizers with acid characteristics applied to the soil can increase the ions H<sup>+</sup> concentration close of the granule and promote the reduction of N volatilization losses. The experiment was carried out in pots with 15 kg of a medium textured Red Latossol, under plastic tunnel, in Botucatu, State of São Paulo, in which corn plants were grown (two plants per pot) until tasseling (66 days after emergency - DAE). The treatments comprised application of N-fertilizer (100 mg N dm<sup>-3</sup>), at

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em 15 de dezembro de 2003 e aceito em 10 de janeiro de 2005.

<sup>(2)</sup> Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo, Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Caixa Postal 237, 18603-970 Botucatu (SP). E-mail: rlvboas@fca.unesp.br; legodoy@fca.unesp.br; dmfernandes@fca.unesp.br

<sup>(3)</sup> Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, USP, 13400-961 Piracicaba (SP). E-mail: aeboaret@cena.usp.br

<sup>(4)</sup> Bolsista CAPES.

the five-leaves stage (30 DAE), using the following fertilizers or mixtures: (1) urea (UR) enriched with  $^{15}\text{N}$ ; (2) ammonium sulphate (AS) enriched with  $^{15}\text{N}$ ; (3) "sulfnitro" (80% of N-UR and 20% of N-AS in the same granule); (4) mixture of UR (80% N) and AS (20% N and enriched with  $^{15}\text{N}$ ); (5) mixture of UR (50% N) and AS (50% N) both enriched with  $^{15}\text{N}$ ; (6) mixture of UR (50% N) and AS (50% N and enriched with  $^{15}\text{N}$ ) and (7) mixture of UR (50% N); AS (50% N), both enriched with  $^{15}\text{N}$ , diluted in water (solution containing 3% of N), plus a treatment did not receive N. The mixture UR and AS did not affect N recovery by corn plant. Of the total  $^{15}\text{N}$  applied, about 67% were recovered by the corn plant (29% in the leaves, 25% in the stem and 13% in the roots) and 6% in the soil, with an estimated loss of 27%. The  $^{15}\text{N}$  of urea was recovered in smaller amount in the stem in relation to that from ammonium sulphate.

**Key words:** *Zea mays* L.,  $^{15}\text{N}$ , nitrogen fertilizer, volatilization.

## 1. INTRODUÇÃO

A recuperação do nitrogênio dos fertilizantes nitrogenados, pelas plantas, é relativamente baixa, alcançando em muitos casos menos que 50% (RAO et al., 1992). COELHO et al. (1991) utilizando 60 kg ha<sup>-1</sup> de N obtiveram recuperação de 60% do nitrogênio aplicado como uréia na cultura do milho. No entanto, quando as doses de N são maiores, a recuperação do N tende a diminuir, como observado por MELGAR et al. (1991) e GROVE et al. (1980), que obtiveram 36% e 40% de recuperação do N, aplicado na cultura do milho, na forma de uréia, nas doses de 120 e 140 kg ha<sup>-1</sup> de N respectivamente.

A baixa eficiência de recuperação do N do 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 NH<sub>3</sub> 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 (LARA CABEZAS et al., 1997).

A volatilização da NH<sub>3</sub> da uréia resulta de alcalinização da solução próxima ao grânulo durante sua hidrólise. RODRIGUES e KIEHL (1992), em estudo de distribuição e nitrificação da amônia proveniente da uréia aplicada ao solo, determinaram na camada próxima à aplicação do fertilizante, aumento do pH de 6,9 para 8,7. Com a elevação do pH, a conversão do NH<sub>3</sub> a NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, torna-se dificultada pela falta de íons H<sup>+</sup>, aumentando a concentração de NH<sub>3</sub> próximo do grânulo de uréia e a chance de ocorrer a volatilização da NH<sub>3</sub>.

A mistura da uréia com fertilizantes de características ácidas, aplicada ao solo pode aumentar a concentração de íons H<sup>+</sup> 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 1,1:1, reduziu as perdas de amônia sem afetar a qualidade da mistura em relação aos atributos físico-químicos.

Em uma mistura de uréia e sulfato de amônio, no mesmo grânulo, respectivamente, nas proporções de 59,6% e 40,4%, LARA CABEZAS et al. (1992) observaram menores perdas de amônia se comparada com uréia de diferentes granulometrias. As perdas menores de NH<sub>3</sub> da uréia ocorreram em virtude, provavelmente, da reação acidificante do sulfato de amônio, próximo do grânulo, que pode neutralizar o efeito local de elevação do pH provocado pela hidrólise da uréia.

Segundo WATSON (1988), o N da uréia quando misturado ao do sulfato de amônio na proporção 1:1 (peso/peso) contendo 68,5% de N-NH<sub>2</sub> e 31,5 de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, foi recuperado pela planta de *Lolium* cerca de 38% a mais em relação à aplicação de uréia sozinha. Por outro lado, na mistura, houve uma redução na recuperação do N do sulfato de amônio em 14% em relação à aplicação somente do sulfato de amônio. Portanto, houve aumento de recuperação do N da mistura de 24%, visto que ocorreu interação entre as fontes nitrogenadas.

Embora haja trabalhos evidenciando a redução nas perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização, quando a uréia é misturada com o sulfato de amônio poucos são os trabalhos que estudam os efeitos dessa mistura na recuperação do N do fertilizante pelos órgãos da planta, no caso o milho.

Nesse contexto da adição de sulfato de amônio em mistura com uréia diminuir as perdas por volatilização realizou-se o presente experimento, com o objetivo de estudar a melhor proporção (20% e 50% de sulfato de amônio) e tipo (mistura física, no mesmo grânulo ou em solução) da mistura sulfato de amônio-uréia, aplicado na superfície do solo, para melhorar a recuperação do nitrogênio por plantas de milho.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em vasos plásticos contendo 15 kg de Latossolo Vermelho textura média, alocados em um túnel plástico (tipo arco com 20 m de comprimento, 7 m de largura e 2,5 m de altura), localizado na Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu, SP (22°51'S, 48°26'W; altitude de 786 m). Um mês após a correção da acidez com a aplicação de calcário, foram observadas no solo as seguintes características químicas, de acordo com RAU et al. (1987): pH (CaCl<sub>2</sub>) de 5,7; 20 g dm<sup>-3</sup> de M.O.; 84 mg dm<sup>-3</sup> de P (resina); 20; 0,1; 43; 20 e 83 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e CTC respectivamente e saturação por bases de 76%.

Foram aplicados ao solo, como adubação de base, o superfosfato simples e o cloreto de potássio para elevar os teores de P e K para 200 e 100 mg dm<sup>-3</sup> respectivamente.

Os vasos foram dispostos em arranjo inteiramente casualizados com três repetições e cada vaso continha duas plantas, constituindo a parcela experimental. Como tratamento, foi realizada a adubação em cobertura utilizando os seguintes fertilizantes: (1) 100% de uréia, enriquecida com <sup>15</sup>N; (2) 100% de sulfato de amônio, enriquecido com <sup>15</sup>N; (3) sulfúrio contendo 80% de N na forma de uréia e 20% na forma de sulfato de amônio, no mesmo grânulo; (4) mistura física de uréia e sulfato de amônio (enriquecido com <sup>15</sup>N), na proporção de 80% do N-uréia e 20% do N-sulfato de amônio; (5) mistura física de uréia e sulfato de amônio (ambos enriquecidos com <sup>15</sup>N), na proporção de 50% do N-uréia e 50% do N-sulfato de amônio; (6) mistura física de uréia e sulfato de amônio (enriquecido com <sup>15</sup>N), na proporção de 50% do N-uréia e 50% do N-sulfato de amônio e (7) mistura física de uréia e sulfato de amônio (ambos enriquecidos com <sup>15</sup>N), na proporção de 50% do N-uréia e 50% do N-sulfato de amônio, diluídos em água (solução contendo 3% de N). Adotou-se mais um tratamento cujas plantas não receberam adubação nitrogenada (testemunha). A uréia e o sulfato de amônio enriquecidos apresentavam, respectivamente, 5,0 e 3,0% de <sup>15</sup>N, provenientes da SHOKO CO. LTDA, Tóquio, Japão. Os fertilizantes e as misturas foram analisados quanto ao teor de N e de S, segundo método de BRASIL (1988), e a abundância de <sup>15</sup>N. Para a semeadura, foi utilizado o milho híbrido XL 678, em espaçamento de 20 cm entre plantas e as linhas de vasos ficaram distantes de 1,0 m. A adubação nitrogenada foi realizada no estádio de cinco folhas, aos 30 dias após a emergência, sobre a superfície do solo, na dose de 1,5g de N por vaso (100 mg dm<sup>-3</sup> de N). Após a adubação, foi aplicada a irrigação com uma lâmina aproximada de 4 mm.

Juntamente com a adubação de semeadura, foi aplicado o sulfato de cálcio nos vasos que não receberam enxofre nos tratamentos ou cuja quantidade foi inferior à recebida no tratamento com sulfato de amônio.

O teor de água no solo foi mantido em 70% do total retido a tensão de 0,033 MPa, regulada por pesagens diárias de vasos sem tratamento, específicos para esse objetivo.

As plantas foram cortadas rente ao solo, no pendoamento (66 dias após a emergência), separando a parte aérea em folhas e colmo. O solo e as raízes foram espalhados em um plástico, no qual o solo foi homogeneizado para a retirada de uma amostra para determinar o teor de N e a abundância de <sup>15</sup>N, e as raízes separadas do solo por peneiramento e lavagem com água. Todo o material vegetal foi lavado e seco em estufa para avaliação da fitomassa seca.

Nas folhas e no colmo foram determinados os teores de N e S, segundo método adaptado de MALAVOLTA et al. (1997). O teor de N total no solo foi determinado pelo método modificado de macroKjeldahl, utilizando permanganato de potássio e ferro reduzido em solução digestora de ácido sulfúrico, para incluir nitrito e nitrato, de acordo com BURESH et al. (1982) e STUMPE et al. (1985).

Nas amostras de planta e solo dos tratamentos com fertilizante enriquecido com <sup>15</sup>N foram realizadas as determinações de abundância de <sup>15</sup>N (% de átomos), de acordo com o método de RITTEMBERG descrito por TRIVELLIN et al. (1973), em espectrômetro de massa pertencente ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP).

A recuperação (%) do N-fertilizante marcado com <sup>15</sup>N foi calculado pelas equações:

$$R = (Q_{nppf} / Q_{naf}) \times 100 \quad (1)$$

$$Q_{nppf} = [(A - C) / (B - C)] \times NT \quad (2)$$

em que: R é a recuperação porcentual do N-fertilizante marcado com <sup>15</sup>N; Q<sub>nppf</sub>, quantidade de N da planta proveniente do fertilizante marcado (<sup>15</sup>N) (mg vaso<sup>-1</sup>); Q<sub>naf</sub>, a dose de fertilizante (mg vaso<sup>-1</sup>); A e B, abundância de <sup>15</sup>N da planta e do fertilizante (% de átomos) respectivamente; C, a abundância natural de <sup>15</sup>N (% de átomos) e NT, a quantidade de N na planta (mg vaso<sup>-1</sup>). Os resultados foram submetidos à análise de variância utilizando o teste F a 5%, e para as causas de variação em que o F apresentou valor significativo, realizou-se o teste de Tukey (p = 0,05) para comparação das médias dos tratamentos. Aplicou-se a análise de regressão linear adotando como variável independente à porcentagem de N-amídico (0%, 50%, 80% e 100%) no fertilizante ou na mistura física de fertilizante. Todas as análises foram processadas no programa ESTAT versão 2.0 (UNESP, 1994).

### 3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

A falta de resposta à adubação nitrogenada na produção de fitomassa seca total nos diferentes órgãos (Tabela 1), talvez tenha sido devido à contribuição do N do solo (Figura 1) cujo teor de matéria orgânica era de 20 mg dm<sup>-3</sup>. De acordo com a figura 1, a contribuição do N no solo, de 43%, em média, foi semelhante ao obtido por ULLOA et al. (1982), mas acima do obtido por MIRANDA FLORES (1986), de 33%. Provavelmente, o N do solo tenha sido suficiente para atender a demanda de N pela planta até o pendoamento (66 dias após a emergência - DAE). Embora a absorção do N seja mais intensa no período entre 40 e 60 DAE, a planta de milho assimila cerca de 50% do N que necessita após o início do florescimento (CANTARELLA, 1993).

No fim do experimento, a deficiência de nitrogênio nas plantas do tratamento testemunha pode ser comprovada pelo teor de N na parte aérea (folha

+ caule) de 0,5 g kg<sup>-1</sup> de N, bem abaixo das plantas dos outros tratamentos que apresentaram um teor de 1,0 g kg<sup>-1</sup> de N semelhante ao encontrado por ANDRADE et al. (1975) aos 65 DAE e REICHARDT et al. (1979) aos 77 DAE. Possivelmente, diferenças no acúmulo de fitomassa seca, em relação à testemunha, ocorreriam se o experimento se prolongasse por um tempo maior.

No entanto, quando se comparou a porcentagem de N-amídico no fertilizante aplicado em cobertura (0%, 50%, 80% e 100%) e a fitomassa seca de folha e caule do milho, obteve-se uma relação significativa e negativa, ou seja, à medida que se aumentou a proporção de uréia, foi obtida menor fitomassa seca de folha e caule (Tabela 1 e Figura 2). Essa relação sugere que o N do sulfato de amônio teve maior influência sobre a produção de fitomassa seca da parte aérea do que o N da uréia, talvez por ser menos perdido por volatilização e proporcionar maior disponibilidade de N para o acúmulo de fitomassa, como observado por VITTI et al. (2002).

**Tabela 1.** Fitomassa seca e a quantidade de N e S acumulada nos órgãos de duas plantas de milho, no pendoamento (66 dias após a emergência), em função do fertilizante ou mistura de fertilizantes nitrogenados

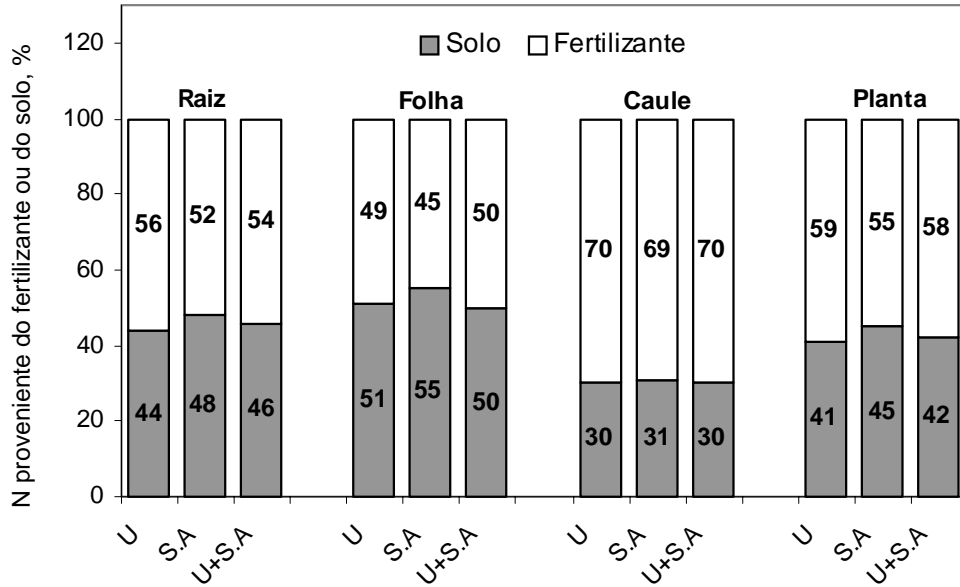
Tratamentos	Fitomassa seca				Nitrogênio				Enxofre		
	Folha	Caule	Raiz	Total	Folha	Caule	Raiz	Total	Folha	Caule	Total
	g vaso <sup>-1</sup> (duas plantas de milho)				mg vaso <sup>-1</sup> (duas plantas de milho)						
Testemunha (s/ N)	63	114	119	296	463 b <sup>1</sup>	386 b	569	1418 b	48 c	28	76 c
Uréia - U (100% <sup>15</sup> N)	64	126	144	334	988 a	680 a	678	2348 a	81 b	26	107 b
Sulf. de Amônio - SA (100% <sup>15</sup> N) Sulfnitro (80%N+20% N) <sup>1</sup>	72	144	127	343	976 a	755 a	521	2272 a	119 a	34	153 a
U+SA (80%N+20% <sup>15</sup> N)	64	137	127	328	916 a	749 a	656	2312 a	81 b	26	107 b
U+SA (50% <sup>15</sup> N+50% <sup>15</sup> N)	68	133	207	408	935 a	710 a	905	2550 a	80 b	27	107 b
U+SA (50% <sup>15</sup> N+50% <sup>15</sup> N)	68	138	11	317	941 a	690 a	550	2181 a	78 b	29	107 b
U+SA (50% <sup>15</sup> N+50% <sup>15</sup> N)	68	138	180	386	951 a	732 a	812	2495 a	85 b	32	117 b
U+SA (50% <sup>15</sup> N+50% <sup>15</sup> N) <sup>2</sup>	64	138	122	324	966 a	744 a	622	2332 a	91 b	29	120 b
Média	66	134	142	342	892	683	664	2240	83	29	112
Teste F	n.s. <sup>3</sup>	n.s.	n.s.	n.s.	** <sup>1</sup>	**	n.s.	**	**	n.s.	**
DMS Tukey 5%	18	39	123	149	193	166	575	650	23	10	26
CV%	9	10	30	15	8	9	31	10	10	12	8
Reg. Linear (teste t) <sup>4</sup>	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

(<sup>1</sup>) Valores entre parênteses significam a % do N como uréia + a % do N como sulfato de amônio.

(<sup>2</sup>) Fertilizantes aplicados diluídos em água.

(<sup>3</sup>) n.s. = não significativo; \*\* = significativo a 1%. Médias nas colunas seguidas das mesmas letras ou sem letras não diferem entre si.

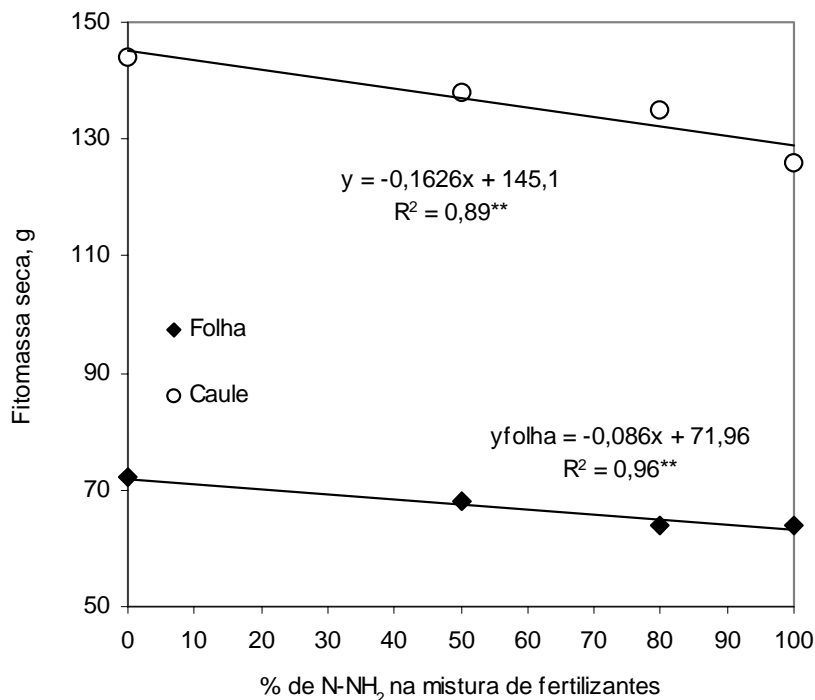
(<sup>4</sup>) Foi utilizado como variável independente à porcentagem de N-NH<sub>2</sub> [0 (100% SA), 50 (50% SA e 50% U), 80 (20% SA e 80% U) e 100%(100% U)] no fertilizante ou na mistura física de fertilizante.



**Figura 1.** Contribuição do N do solo e do fertilizante no N acumulado nas folhas, caule e raízes de plantas de milho, no pendoamento (66 dias após a emergência), em função do fertilizante, enriquecido com <sup>15</sup>N, utilizado; U = uréia; SA = sulfato de amônio.

Não houve correlação entre a porcentagem de N-amídico (uréia) e a quantidade de N nos órgãos e, portanto, a relação negativa existente entre a proporção de uréia e a fitomassa seca da folha e do caule (Figura 2) não pode ser atribuída à quantidade de N nesses órgãos, uma vez que, a quantidade de

nitrogênio diferiu apenas entre as plantas que receberam N em cobertura e a testemunha (Tabela 1). Logo, as várias misturas de uréia e sulfato de amônio não promoveram incremento na quantidade de nitrogênio absorvido pela planta de milho em relação ao uso somente de uréia.



**Figura 2.** Fitomassa seca acumulada nas folhas e caule de duas plantas de milho, no pendoamento (66 dias após a emergência) em função da porcentagem de N-amídico (N-NH<sub>2</sub>) na mistura física de fertilizantes.



De acordo com CANTARELLA E RAIJ (1986) as diferenças observadas ocasionalmente entre as fontes de nitrogênio podem estar relacionadas a outros elementos nos fertilizantes, como é o caso do enxofre no sulfato de amônio, ou ao efeito que alguns fertilizantes nitrogenados exercem sobre o solo.

A quantidade de enxofre na planta foi maior em plantas que receberam somente sulfato de amônio em relação às plantas que receberam uréia, e as misturas dos dois fertilizantes, que por sua vez foi maior que nas plantas da testemunha (Tabela 1). Verifica-se que o sulfato de amônio foi mais eficiente que o sulfato de cálcio no fornecimento de enxofre para a planta, em virtude, provavelmente, de o sulfato de cálcio apresentar menor solubilidade ( $2,1\text{g L}^{-1}$ ) que o sulfato de amônio ( $754\text{g L}^{-1}$ ) (MELGAR et al., 1999) e por ter sido misturado ao solo, enquanto o sulfato de amônio foi aplicado em cobertura (maior concentração de S). Além disso, a concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  no solo, elevada pela calagem, pode ter reduzido ainda mais a solubilização do gesso.

As plantas do tratamento testemunha também receberam a aplicação do sulfato de cálcio, mas a quantidade de enxofre na planta de milho foi significativamente menor em relação à dos demais tratamentos, sugerindo que a falta de nitrogênio afetou a absorção de S como observado também por DAIGGER e FOX (1971).

Também não houve correlação entre a porcentagem de N-amídico (uréia) e a quantidade de S nos órgãos (Tabela 1). A tendência de maior fitomassa seca de folhas e caule com a maior porcentagem de N-amoniaco (vindo do sulfato de amônio) na mistura de fertilizantes (Figura 2) não ocorreu, em virtude da maior assimilação de S. SEGUNDO ANTI et al. (2001), o amônio é assimilado mais rapidamente (menor energia) que o nitrato e ou a uréia, sobrando mais energia (carboidrato) para ser utilizada no acúmulo de fitomassa do caule e da folha, podendo ser uma das causas de haver uma relação negativa entre a porcentagem de N-amídico (uréia) e a fitomassa seca de folha e caule.

A quantidade de  $^{15}\text{N}$  aplicada foi suficiente para marcar de modo adequado os órgãos da planta de milho, pois as porcentagens de átomos de  $^{15}\text{N}$  em excesso foram maiores às consideradas naturais para as condições estudadas (Tabela 2).

Embora pouco significativo, ocorreu o enriquecimento de  $^{15}\text{N}$  nas plantas do tratamento testemunha, provavelmente, devido à perda de  $^{15}\text{N}$  na forma gasosa nos tratamentos marcados e que esses gases foram reabsorvidos pela folhagem do milho. A disposição das plantas distantes 20 cm na linha e 1,0 m na entrelinha, a aplicação do

fertilizante espalhado na superfície do solo do vaso, além das plantas estarem em um ambiente fechado (estufa) podem ter favorecido essa reabsorção. CATCHPOOLE et al. (1993) encontraram cerca de 5% de  $^{15}\text{N}$  nas plantas ao redor das microparcelas onde foi aplicado o  $^{15}\text{N}$  em faixa de 10 cm.

Do N aplicado, em média, 29% foi encontrado nas folhas, 25% no caule e 13% na raiz (Tabela 2). O aproveitamento do N dos fertilizantes pela planta variou de 63% a 71%, sendo esses valores semelhantes aos obtidos por MIRANDA FLORES (1986), em condições de vaso. No entanto, esses valores foram maiores que os observados em experimentos em campo, talvez por não levarem em conta a contribuição do sistema radicular devido à dificuldade de avaliação (ULLOA et al., 1982; VILLAS BÔAS, 1990).

A porcentagem do N do fertilizante que permaneceu no solo foi, em média, de 6%, totalizando, portanto, uma recuperação solo-planta de 73%, o que permite estimar a perda média de nitrogênio aplicado de 27% (Tabela 2). Uma vez que o experimento foi realizado em vaso, condição em que perdas por lixiviação não devem ocorrer, a diferença do nitrogênio aplicado em relação ao recuperado pode ser atribuído às perdas gasosas.

As perdas por volatilização, quando da utilização do sulfato de amônio, são em torno de 4% a 10% do N aplicado na superfície em sistema de plantio convencional e direto respectivamente (LARA CABEZAS et al., 1997). No entanto, 23% do N aplicado, na forma de sulfato de amônio, foi perdido do sistema solo-planta. A recuperação incompleta do  $^{15}\text{N}$  aplicado em experimentos em vasos foi atribuída ao processo de desnitrificação de acordo com CLOUGH et al. (2001) que recuperaram 96,9% do  $^{15}\text{N}$  aplicado na forma de nitrato de potássio e destes 23% do  $^{15}\text{N}$  foi recuperado na forma de N e  $\text{N}_2\text{O}$ .

A perda do  $^{15}\text{N}$  do sistema solo planta pode ocorrer também pela volatilização de amônia das folhas em virtude da redução na síntese das enzimas responsáveis pela assimilação da amônia no metabolismo do N (HOLTAN-HARTWIG e BOCKMAN, 1994). No entanto, esse tipo de perda, provavelmente, não ocorreu no presente experimento, pois, foi conduzido até o pendoamento. Segundo SHARPE e HARPER (1997) esta perda ocorre quando as folhas entram na senescência, da antese até a colheita, variando de 10% a 23% do  $^{15}\text{N}$  aplicado através da folhagem das plantas de milho.

Ao contrário do que tem sido observado na literatura (COELHO et al., 1992; Lara Cabezas et al., 1997) não houve diferença entre a recuperação, pelas plantas de milho, do N fornecido como uréia ou sulfato de amônio (Tabela 2). Um dos principais fatores que

podem ter contribuído para não haver diferença foi a irrigação realizada após a adubação, na qual foi aplicada uma lâmina de 4 mm (250 ml por vaso). A aplicação de uma lâmina de 4 m de água até 3 horas após a aplicação de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de uréia, aplicado na superfície de pasto, pode reduzir a volatilização da amônia para 8% do N aplicado (HAYNES, 1986). Segundo HOFF et al. (1981) a aplicação do adubo em área total seguido de irrigação, como foi realizado no experimento, pode reduzir a concentração de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo diminuindo as chances de perdas por volatilização. Como o experimento foi realizado em ambiente fechado, a ausência de vento também pode ter contribuído para menor perda por volatilização da uréia. Além disso, a incorporação do gesso nos tratamentos com uréia, para complementar a quantidade de S aplicada nos tratamentos que receberam sulfato de amônio, pode ter diminuído também a volatilização de N-NH<sub>3</sub> da uréia. Segundo

ZIA et al. (1999) em um estudo de incubação utilizando fontes de N, no Paquistão, a incorporação de gesso reduziu significativamente as perdas de amônia por volatilização.

Somente no caule puderam ser observadas diferenças na recuperação do <sup>15</sup>N pela planta, principalmente entre as plantas que receberam somente sulfato de amônio e aquelas que receberam a mistura de sulfato de amônio (20%) com uréia (80%) (Tabela 2). A relação negativa existente entre a porcentagem de N-amídico (uréia) e a recuperação de N no caule sugerem uma melhoria na recuperação do nitrogênio pela planta quanto maior a proporção de N-amoniaco (Figura 3). Provavelmente, esse efeito foi observado no caule porque 70% do N acumulado neste órgão foram provenientes do fertilizante (Figura 1), além do que, aos 66 DAE, parte do N foi transportado para as inflorescências que foram computadas como fitomassa do caule.

**Tabela 2.** Átomos de <sup>15</sup>N em excesso e recuperação do N-fertilizante marcado com <sup>15</sup>N nos órgãos de duas plantas de milho, no pendoamento (66 dias após a emergência), em função do fertilizante ou mistura de fertilizantes nitrogenados

Tratamentos	Átomos de <sup>15</sup> N em excesso				Recuperação do <sup>15</sup> N aplicado					
	Folha	Caule	Raiz	Solo	Folha	Caule	Raiz	Planta	Solo	Total
Testemunha (s/ N)	0,023	0,060	0,043	0,001	—	—	—	—	—	—
Uréia (100% <sup>15</sup> N)	2,031	2,358	1,373	0,041	29	23 b <sup>2</sup>	14	66	6	72
Sulf. de Amônio (100% <sup>15</sup> N)	1,258	1,441	0,802	0,021	31	29 a	11	71	6	77
Sulfnitro (80%N+20% N) <sup>1</sup>	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—
U+SA (80%N+20% <sup>15</sup> N)	0,224	0,242	0,138	0,03	27	22 b	16	65	4	69
U+SA (50% <sup>15</sup> N+50% <sup>15</sup> N)	1,646	1,779	1,082	0,035	29	23 b	11	63	7	70
U+SA (50%N+50% <sup>15</sup> N)	0,624	0,677	0,375	0,010	30	25 ab	15	71	5	76
U+SA (50% <sup>15</sup> N+50% <sup>15</sup> N) <sup>3</sup>	1,632	1,866	1,096	0,032	29	26 ab	13	68	6	74
Sulfnitro <sup>4</sup>	0,394	0,386	0,386	0,371	29	25	13	67	6	73
Teste F	-	-	-	-	-n.s. <sup>2</sup>	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
DMS Tukey 5%	-	-	-	-	6	4	13	14	3	11
CV%	-	-	-	-	7	6	30	7	205	
Reg. Linear (teste t) <sup>5</sup>	-	-	-	-	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

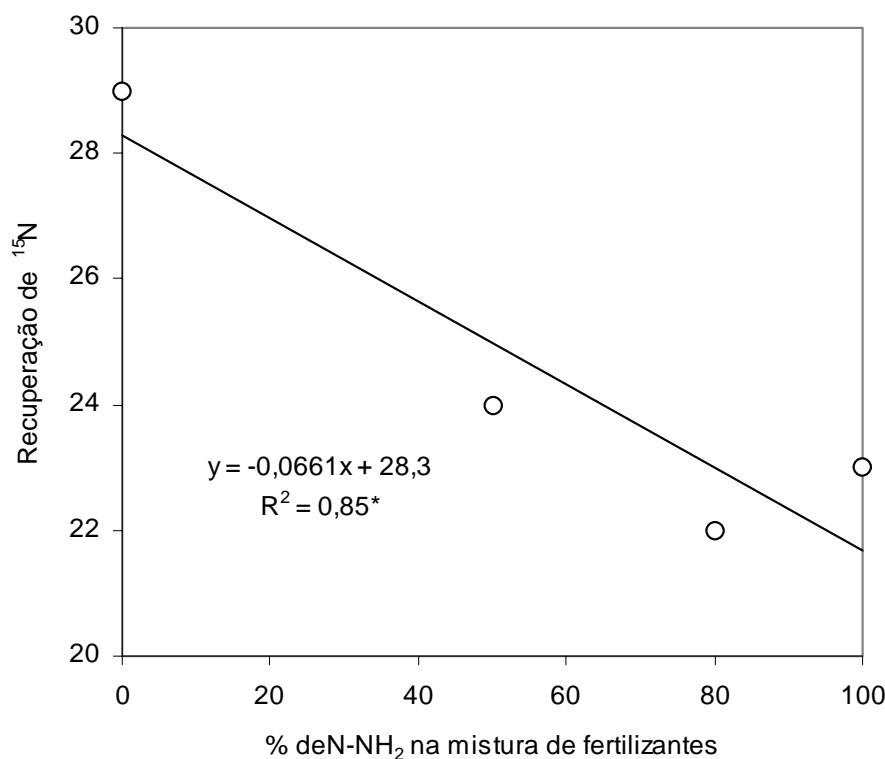
(<sup>1</sup>) Valores entre parênteses significam a % do N como uréia + a % do N como sulfato de amônio.

(<sup>2</sup>) n.s., \*\*, \* = não significativo, significativo a 1 e 5%, respectivamente. Médias nas colunas seguidas das mesmas letras ou sem letras não diferem entre si.

(<sup>3</sup>) Fertilizantes aplicados diluídos em água.

(<sup>4</sup>) Valores obtidos no tratamento com sulfnitro expressam a abundância natural considerada para cada parte da planta de milho e no solo para o presente experimento.

(<sup>5</sup>) Foi utilizado como variável independente à porcentagem de N-NH<sub>2</sub> [0 (100% SA), 50 (50% SA e 50% U), 80 (20% SA e 80% U) e 100%(100% U)] no fertilizante ou na mistura física de fertilizante.



**Figura 3.** Recuperação do N-fertilizante marcado com <sup>15</sup>N pelo caule de plantas de milho, no pendoamento (66 dias após a emergência) em função da porcentagem de N-amídico (N-NH<sub>2</sub>) na mistura física de fertilizantes.

Os valores de recuperação do <sup>15</sup>N nas plantas que receberam todo o N enriquecido foram muito próximos, porém, diferentes em relação aos órgãos da planta.

A distribuição percentual do N recuperado do fertilizante (média dos três tratamentos com todo N enriquecido) nos órgãos da planta de milho e no solo foi em média de 40% nas folhas, 34% no caule, 17% nas raízes e 9% no solo.

#### 4. CONCLUSÕES

1. A mistura de uréia e sulfato de amônio não promoveu aumento na recuperação do N da uréia determinado na planta de milho.

2. Do total de <sup>15</sup>N aplicado, aos 66 dias após a emergência (pendoamento), aproximadamente, 67% foi recuperado pela planta de milho (29% nas folhas, 25% no caule e 13% nas raízes) e 6% no solo, com uma perda estimada de 27%.

3. O <sup>15</sup>N da uréia foi recuperado em menor quantidade no caule em relação ao N proveniente do sulfato de amônio.

#### REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A.G.; HAAG, H.P.; OLIVEIRA, G.D. Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays* L.) I. Acumulação de micronutrientes. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v.32, p.115-149, 1975.
- ANDA, Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**. São Paulo: Anda, 2001. 159p.
- ANTI, A.B.; MORTATTI, J.; TRIVELIN, P.C.O.; BANDASSOLLI, J.A. Radicular uptake kinetics of <sup>15</sup>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO(<sup>15</sup>NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, and <sup>15</sup>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> in whole rice plant. **Journal of Plant Nutrition**, Madison, v.24, n.11, p.1695-1710, 2001.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais**. Brasília, 1988. 104p.
- BURESH, R.J.; AUSTIN, E.R.; CRASWELL, E.T. Analytical methods in <sup>15</sup>N research. **Fertilizer Research**, The Hague, v.3, p.37-62, 1982.
- CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BULL, L.T.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.148-96.



- CANTARELLA, H.; RAIJ, B. Adubação nitrogenada no estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO SOBRE ADUBAÇÃO NITROGENADA NO BRASIL., 1., 1985, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CEPLAC/SBCS, 1986. p.47-79.
- CATCHPOLE, V.R.; OXEMHAM, D.J.; HARPER, L.A. Transformation and recovery of urea applied to a grass pasture in southeastern Queensland. **Australian Journal Experimental Agriculture and Animal**, Melbourne, v.23, p.80-86, 1983.
- CLOUGH, T.J.; SHERLOCK, R.R.; CAMERON, K.C.; STEVENS, R.J.; LAUGHLIN, R.J.; MÜLLER, C. Resolution of the  $^{15}\text{N}$  balance enigma? **Australian Journal Soil Research**, Collingwood, v.39, p.1419-1431, 2001.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; BAHIA, A.F.C.; GUEDES, G.A.A. Balanço de nitrogênio  $^{15}\text{N}$  em um Latossolo Vermelho-Escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p.187-193, 1991.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; BAHIA, A.F.C.; GUEDES, G.A.A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, p.61-67, 1992.
- DAIGGER, L.A.; FOX, R.L. Nitrogen and sulfur nutrition of sweet corn in relation to fertilization and water composition. **Agronomy Journal**, Madison, v.63, p.729-730, 1971.
- GROVE, L.T.; RITCHEY, K.D.; NADERMAN JUNIOR, G.C. Nitrogen fertilization of maize on Oxisol of the cerrado of Brasil. **Agronomy Journal**, Madison, v.27, p.261-265, 1980.
- HARGROVE, W.L. Soil, environmental, and management factors influencing ammonia volatilization under field conditions. In: BOCK, B.R.; KISSEL, D.E., (Ed.). **Ammonia volatilization from urea fertilizers**. Alabama: NFDC, TVA, 1988. p.17-36.
- HAYNES, R.J. **Mineral nitrogen in the plant-soil system**. Londres: Academic Press, 1986. 483p.
- HILTON, B.R.; FIXEN, P.E.; WOODWARD, H.J. Effects of tillage, nitrogen placement, and wheel compactation on denitrification rates in the corn cycle of a corn-oats rotation. **Journal of Plant Nutrition**, Madison, v.17, p.1341-1357, 1994.
- HOFF, J.C.; NELSON, D.W.; SUTTON, A.L. Ammonia volatilization from liquid manure applied to cropland. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.10, p.90-95, 1981.
- HOLTAN-HARTWIG, L.; BOCKMAN, O.C. Ammonia exchange between crops and air. **Norwegian Journal Agricultural Science**, Aas, v.14, p.1-41, 1994. (Supplemen).
- LARA 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**, Campinas, v.16, p.409-413, 1992.
- LARA-CABEZAS, W.A.R.; KORNDORFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de  $\text{N-NH}_3$  na cultura do milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluídas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.489-496, 1997.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.
- MELGAR, R.; CAMOZZI, M.E.; FIGUEROA, M.M. **Guia de fertilizantes, enmiendas y productos nutricionales**. Pergamino: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuária, 1999. 260p.
- MELGAR, R.J.; SMYTH, T.J.; CRAVO, M.S.; SÁNCHEZ, P.A. Doses e épocas de aplicação de fertilizante nitrogenado para milho em Latossolo da Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p.289-296, 1991.
- MIRANDA FLORES, L. **Avaliação quantitativa da eficiência de utilização de duas fontes de nitrogênio,  $\text{CO}(\text{NH}_2)$  e  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  pela cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 1986, 103f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, Piracicaba.
- RAIJ, B.van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.
- RAO, A.C.S.; SMITH, J.L.; PARR, J.F.; PAPENDICK, R.I. Considerations in estimating nitrogen recovery efficiency by the difference and isotopic dilution methods. **Fertilizer Research**, The Hague, v.33, p.209-217, 1992.
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; VICTÓRIA, R.L.; VIEGAS, G.P. Dinâmica do nitrogênio num solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, p.13-17, 1979.
- RODRIGUES, M.B.; KIEHL, J.C. Distribuição e nitrificação da amônia proveniente da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.403-408, 1992.
- SHARPE, R.R.; HARPER, L.A. Apparent atmospheric nitrogen loss from hydroponically grown corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, p.605-609, 1997.
- STUMPE, J.M.; CRISTIANSON, C.B.; BURESH, R.J. An aluminum block digestion procedure for determination of total N in soils containing  $^{15}\text{N}$ . **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.16, p.1-14, 1985.
- TRIVELIN, P.C.; SALATI, E.; MATSUI, E. **Preparo de amostras para análise de  $^{15}\text{N}$  por espectrometria de massa**. Piracicaba: CENA, 1973. 41 p. (Boletim técnico, 2).
- ULLOA, A.M.C.; LIBARDI, L.P.; REICHARDT, K. **Utilização do nitrogênio por dois híbridos de milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1982.66p.
- UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO". Departamento de Ciências Exatas. **ESTAT**. Versão 2.0. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1994.
- VILLAS BÔAS, R.L. **Alternativas para aumento da recuperação do nitrogênio da uréia pelo milho (*Zea mays* L.)**. 1990. 78f. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura - USP, Piracicaba.

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.

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.

WATSON, C.J. An assessment of granular urea/ammonium sulphate and urea/potassium nitrate fertilizers on nitrogen recovery by ryegrass. **Fertilizer Research**, The Hague, v.18, p.19-29, 1988.

ZIA, M.S.; ASLAM, M.; RAHMATULLAH, T.; ARSHAD, M.; AHMED, T. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers with and without gypsum. **Soil Use and Management**, Aberdeen, v.15, p.133-135, 1999.