

SEÇÃO VIII - FERTILIZANTES E CORRETIVOS

VOLATILIZAÇÃO DE N-NH₃ NA CULTURA DE MILHO: I. EFEITO DA IRRIGAÇÃO E SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA URÉIA POR SULFATO DE AMÔNIO⁽¹⁾

W.A.R. LARA CABEZAS⁽²⁾, G.H. KORNDORFER⁽³⁾ & S.A. MOTTA⁽⁴⁾

RESUMO

Foi desenvolvido um experimento em latossolo vermelho-escuro muito argiloso fase cerrado, no Centro de Pesquisas Novartis-Seeds, Uberlândia (MG), para avaliar o efeito da irrigação e do N-uréia, em cobertura no milho, e de sua substituição parcial por sulfato de amônio, nas perdas de N-NH₃ volatilizado. O N foi aplicado aos 25 e 36 dias após plantio, sendo os tratamentos dispostos em blocos casualizados com quatro repetições: testemunha, uréia com irrigação anterior e posterior à aplicação de N nas duas coberturas e uréia + sulfato de amônio (relação N:S = 2,1:1) na primeira cobertura e uréia na segunda com irrigação anterior e posterior à aplicação. Nove amostragens de N-NH₃ volatilizado foram efetuadas em intervalos de quatro a cinco dias, utilizando-se coletores do tipo semi-aberto estático, instalados logo após a primeira aplicação de N. Com irrigação posterior à adubação, as perdas acumuladas de N-NH₃ foram de 40,6 e 23,0 % do N aplicado para os tratamentos com adubação exclusiva de uréia e substituição parcial com sulfato de amônio respectivamente. Com irrigação prévia, as perdas acumuladas foram, respectivamente, de 42,8 e 38,6 % do N aplicado. Embora não tenha havido diferença significativa entre os tratamentos, a substituição da uréia por sulfato de amônio foi positiva quando a irrigação foi efetuada após a adubação. Esse tratamento mostrou também o maior diâmetro de caule, altura de planta e teor foliar de nutrientes. O rendimento de grãos respondeu positivamente à aplicação de N. A correlação das perdas por volatilização de N-NH₃ mostrou um ajuste linear inverso à produtividade dos tratamentos adubados, de tal forma que 19,3 kg ha⁻¹ de grãos deixaram de ser produzidos por quilograma de N volatilizado.

Termos de indexação: volatilização de N-NH₃, cobertura nitrogenada, uréia, sulfato de amônio, milho, irrigação.

SUMMARY: NH₃-N VOLATILIZATION IN CORN CROP: I - EFFECT OF IRRIGATION AND PARTIAL SUBSTITUTION OF UREA BY AMMONIUM SULPHATE

A field experiment was carried out on a dark-red latosol (Oxisol) of the Centro de Pesquisas Novartis-Seeds, in Uberlândia, State of Minas Gerais, Brazil. The objective of this study was to evaluate the effects of irrigation, side-dressed application of urea, and urea partially substituted

⁽¹⁾ Recebido para publicação em maio de 1996 e aprovado em junho de 1997.

⁽²⁾ Pesquisador Visitante Estrangeiro, Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Caixa Postal 593, CEP 38406-067 Uberlândia (MG).

⁽³⁾ Professor Titular, Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Caixa Postal 593, CEP 38406-067 Uberlândia (MG).

⁽⁴⁾ Técnico Agrícola, Centro de Pesquisas Novartis-Seeds, Rodovia BR-452, km 142, Uberlândia (MG).

by ammonium sulphate on losses of $\text{NH}_3\text{-N}$ by volatilization in corn crop. The fertilizers were applied at 25 and 36 days after planting. The treatments, arranged in randomized complete block design, were: (i) control, (ii) urea, with irrigation before the two applications, (iii) urea, with irrigation after the two applications, (iv) urea + ammonium sulphate (rate N:S = 2.1:1) at the first application, and only urea at the second application, with irrigation before the applications, and (v) with irrigation after applications. Nine samples of volatilized $\text{NH}_3\text{-N}$ were taken, using semi-open static collectors, which were installed after the first N application, at intervals of 4 to 5 days. With irrigation after N application the $\text{NH}_3\text{-N}$ gaseous losses were 40.6% for urea and 23.0% for urea with partial substitution by ammonium sulphate. With irrigation before N application the $\text{NH}_3\text{-N}$ gaseous losses were 42.8 and 38.6%, respectively. Even though the N losses did not show significant differences among the treatments, the partial substitution of urea by ammonium sulphate was positive when the irrigation was performed after the N application. This treatment also showed the largest stalk diameter, the greatest plant high and the highest leaf-N concentration. At harvest, only the fertilized treatments increased yield compared to the control. The relationship between $\text{NH}_3\text{-N}$ volatilized and corn yield established by an inverse linear regression showed that 19.3 kg^{-1} of grains were lost per every kilogram of volatilized nitrogen.

Index terms: $\text{NH}_3\text{-N}$ volatilization, nitrogen application, urea, ammonium sulphate, corn, irrigation.

INTRODUÇÃO

Inúmeros estudos visando comparar a eficiência agrônômica de adubos nitrogenados solúveis mostram, salvo exceções, que são similares (Cantarella & Raij, 1985). Entretanto, em termos práticos, o critério de escolha do fertilizante pelo produtor tem-se baseado no custo da unidade de nitrogênio. Nesse sentido, a uréia constitui-se numa das fontes mais vantajosas. Por outro lado, Sengik & Kiehl (1995b) alertam para as perdas por volatilização de amônia da uréia como um dos processos que podem comprometer sua eficiência e, conseqüentemente, sua vantagem econômica. No Brasil, estudos de laboratório têm justificado essa preocupação, mesmo porque estudos de campo são ainda escassos e contraditórios (Anjos & Tedesco, 1976; Cantarella & Raij, 1985; Coelho et al., 1992). A controvérsia pode ser justificada porque, em condições controladas de laboratório, objetiva-se o estudo do potencial de perdas sob a influência de fatores de solo, como pH, poder tampão, CTC e atividade da urease e, em condições de campo (não controladas), as perdas são uma conseqüência de fatores ambientais, como temperatura, conteúdo de água do solo e trocas gasosas (Hargrove, 1988). O aumento da temperatura favorece as perdas à medida que aumenta a atividade da urease e, assim, a taxa de hidrólise da uréia (Chin & Kroontje, 1963). Em solo úmido, próximo da capacidade de campo, as perdas gasosas de amônia acompanham o processo de evaporação de água (Martin & Chapman, 1951; Bouwmeester et al., 1985). Em solo seco, as perdas podem ser significativas somente se a umidade relativa do ar é alta (Black et al., 1987). Esses autores quantificaram perdas significativas de N-uréia após a aplicação de uma carga de 16 mm de água sobre um solo seco, no qual a uréia foi aplicada superficialmente. A umidade foi suficiente para desencadear os processos de hidrólise, mas insuficiente para o transporte da amônia produzida em profundidade.

As perdas por volatilização de amônia podem ser controladas, pela adição de ácidos (H_3PO_4 , H_2SO_4 e HNO_3), sais (de cálcio, magnésio, amônio e potássio) e inibidores da urease (Buresh et al., 1984; Hargrove, 1988). Villas Boas et al. (1993) verificaram aumento na concentração do N-uréia na folha do milho de 3,6 e 4,6%, quando efetuada substituição de 20 e 50% de uréia por sulfato de amônio respectivamente. Em geral, a maior concentração de sulfato de amônio na mistura mostrou tendência favorável na produção de massa seca da folha e do colmo, bem como na recuperação do N no colmo. Watson (1987) verificou um aumento na recuperação do N-uréia em centeio perene quanto maior a participação do sulfato de amônio e nitrato de amônio na mistura com uréia. Na adubação nitrogenada em cobertura, é comum a substituição de parte da uréia por sulfato de amônio, para suprir as necessidades de enxofre na cultura do milho. Por outro lado, onde a irrigação é disponível, recomenda-se a aplicação do adubo em solo previamente umedecido, como uma forma de favorecer sua solubilização e o conseqüente aproveitamento pelas plantas. O objetivo deste estudo foi determinar, em sistema de plantio direto, as perdas de N- NH_3 derivadas da uréia e uréia + sulfato de amônio, com irrigação antes e depois da aplicação dos fertilizantes em cobertura no milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no Centro de Pesquisa Novartis-Seeds, município de Uberlândia (MG), no ano agrícola 1993/94, em latossolo vermelho-escuro distrófico, muito argiloso, fase cerrado. Análises granulométricas e químicas, da camada 0-20 cm de profundidade, revelaram as seguintes características: 630, 250 e 120 g kg^{-1} de argila, silte e areia respectivamente; pH 5,5 (1:2,5) em CaCl_2 0,01 mol L^{-1} ; 52,6 $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de CTC; 62% de saturação de bases; 31,0 g kg^{-1} de matéria orgânica e 2,0 g dm^{-3} de S-SO_4^{2-} .

Utilizou-se delineamento de blocos ao acaso, com cinco tratamentos e quatro repetições. Cada unidade experimental constituiu-se de oito linhas, espaçadas de 0,8 m, com 10 m de comprimento. O híbrido, três vias, G-85, precoce, foi semeado em 30/9/93, em sistema de plantio direto sobre palhada de aveia-preta (*Avena strigosa*), numa densidade de seis sementes por metro linear (75.000 plantas ha⁻¹). As parcelas foram adubadas com 500 kg ha⁻¹ do formulado 04-24-16 no sulco de plantio. Na cobertura, 25 dias após plantio (d.a.p.), incorporaram-se, a 2-3 cm de profundidade, ao lado da linha de plantio (15 cm), cerca de 50 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia e da mistura uréia + sulfato de amônio (relação N/S de 2,1:1), seguido de irrigação por aspersão de 28 mm (Quadro 1). Aos 27 d.a.p., efetuou-se a cobertura nos dois tratamentos com irrigação anterior e, aos 36 d.a.p., a segunda cobertura, somente com uréia e irrigação anterior e posterior à adubação.

A coleta do N-NH₃ volatilizado foi efetuada, instalando-se três unidades de coletores do tipo semi-aberto estático, modificado de Nommik (1973), em cima do sulco de adubação, em três das quatro repetições de cada tratamento. Detalhes sobre o coletor podem ser obtidos em Lara Cabezas & Trivelin (1990). Nove amostragens foram efetuadas a intervalos de quatro a cinco dias, durante 42 dias, com disco absorvedor embebido em H₂SO₄ 0,25 mol L⁻¹ + glicerina (30 mL L⁻¹) para posterior determinação do N-NH₃ retido. A extração do N-NH₃ do disco foi efetuada mediante lavagem forçada com água destilada, através de um sistema funil de Büchner-kitassato, até um volume aproximado de 350 mL. O extrato foi acidulado com H₂SO₄ 0,05 mol L⁻¹ e concentrado a volume aproximado de 50 mL. Aliquotas dos extratos foram, a seguir, destiladas num sistema micro-Kjeldahl, sendo o destilado recolhido em solução de H₃BO₃ 20 g L⁻¹ e, posteriormente, titulado com H₂SO₄ 0,25 mol L⁻¹ padronizado.

A estimativa da perda real do N-NH₃ volatilizado foi calculada segundo procedimentos descritos por Lara Cabezas et al. (1997). A eficiência (E, %) do coletor semi-aberto estático foi definida pela relação

entre a quantidade de N-NH₃ volatilizado do fertilizante retido pelo coletor (NVa) e a quantidade volatilizada em condições naturais, determinada pelo método de balanço-¹⁵N. A eficiência depende da taxa de perdas de N-NH₃ (TmNVa, mg d⁻¹ de N-NH₃). Para taxas superiores ou iguais a 0,37 mg d⁻¹, calculou-se a eficiência do coletor com base no modelo $E = 37,06 \times (TmNVa)^{0,12}$; $r = 0,53^{**}$, e, para taxas inferiores a 0,37 mg d⁻¹ de N-NH₃, pelo modelo $E = 148,58 \times (TmNVa)^{1,52}$; $r = 0,77^{**}$.

A perda real de N-NH₃ (NVt, miligrama por coletor) foi determinada conforme a seguinte expressão para cada intervalo de coleta:

$$NVt = (NVa \times 100)/E \quad (1)$$

e efetuada a transformação para mg m⁻² de N-NH₃, de acordo com a seguinte expressão:

$$NVt = (NVt \times 1,25)/0,145 \quad (2)$$

onde 1,25 corresponde à equivalência de metros lineares por metro quadrado de área e 0,145, ao diâmetro do coletor, expresso em metros. As perdas acumuladas foram expressas como porcentagem do N aplicado. As taxas médias de perdas de N-NH₃ foram calculadas pela diferença das perdas acumuladas entre períodos consecutivos de coleta e expressas como mg m⁻² d⁻¹.

Decorridos 48 dias do plantio, somente nos tratamentos com adubação de cobertura e irrigação posterior (como indicativo da adubação com enxofre) e na testemunha, foi medido o diâmetro menor do colmo de 30 plantas (quatro repetições por tratamento) a 15 cm da superfície do solo, bem como altura de plantas desde a superfície até a primeira folha com inserção visível da bainha, nas quatro linhas centrais de cada parcela. Aos 68 dias do plantio, nesses mesmos tratamentos, foi efetuada amostragem composta, de 50 folhas (folha + 4) nas quatro linhas centrais. O terço médio das folhas sem nervura central foi previamente lavado e seco em estufa a 60°C até peso constante. A produção de grãos foi avaliada pela colheita de espigas das quatro linhas centrais, corrigindo a umidade para 130 g kg⁻¹.

A comparação entre médias acumuladas das perdas de N-NH₃ volatilizado foi efetuada pelo teste de t (Student) ao nível de 5%. Avaliou-se o efeito dos tratamentos no diâmetro do colmo, altura de planta e produtividade por meio da análise da variância (teste F), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5%. A correlação entre a produção relativa dos tratamentos adubados e as perdas acumuladas de N-NH₃ (kg ha⁻¹ de N) foi efetuada por ajuste de regressão linear.

Quadro 1. Tratamentos de cobertura nitrogenada para a cultura de milho com irrigação anterior e posterior à adubação

Tratamentos		N aplicado			
		1ª cobertura		2ª cobertura	
Fontes de N	Irrigação	25	27	36	37
		kg ha ⁻¹			
Testemunha	Sim	-	-	-	-
Uréia	Posterior	52,5	-	52,6	-
U + AS	Posterior	51,1	-	52,6	-
Uréia	Anterior	-	52,7	-	52,6
U + AS	Anterior	-	51,3	-	52,6

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As perdas acumuladas de N-NH₃ até os 42 dias, provenientes da aplicação de N-uréia exclusiva e de N-uréia + sulfato de amônio na primeira cobertura, com irrigação posterior à aplicação, encontram-se na figura 1a.

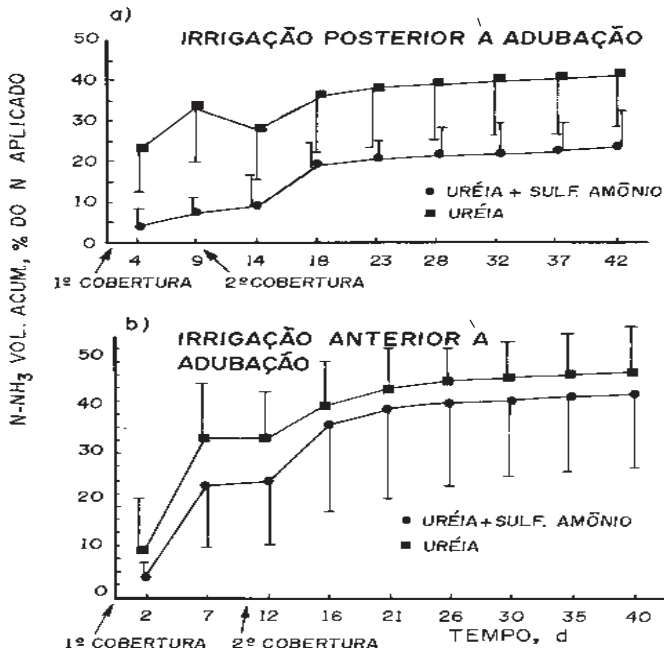
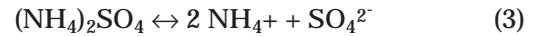


Figura 1. Perdas acumuladas de N-NH₃ volatilizado provenientes da aplicação exclusiva de uréia e de uréia + sulfato de amônio na primeira cobertura e aplicação de uréia na segunda (a) com irrigação posterior e (b) com irrigação anterior à adubação. * Intervalo de confiança ao nível de 5% (teste de t, Student).

Até a segunda coleta (nove dias depois de efetuada a primeira cobertura), as perdas de N-NH₃ da aplicação exclusiva de uréia foram maiores (32,8% do N total aplicado), comparadas com as ocorridas pela aplicação conjunta da uréia + sulfato de amônio (7,0% do N aplicado). Nessa condição, como seria esperado, a irrigação efetuada após a adubação e a pluviosidade de 60 mm ocorrida, no dia seguinte, não se mostraram efetivas em inibir a volatilização do N-NH₃ hidrolisado da uréia. A alternância de espaços de tempo sem chuva, embora tenha sido intensa para um dia, provavelmente não se traduziu em transporte efetivo da uréia em profundidade. A ocorrência simultânea de alguns eventos poderia explicar o observado, como, por exemplo, o transporte à superfície da uréia e do N-NH₄⁺, produto da hidrólise, através da corrente de evaporação de água do solo (Stanley & Smith, citados por Ferguson & Kissel, 1986), associada à alta temperatura (31 a 39°C) do local do experimento, o aumento do pH no sítio da hidrólise, pelo baixo poder tampão do solo (Koelliker & Kissel, 1988) e a maior atividade da urease na superfície, pela presença da palhada de aveia-preta (Mello, 1987).

No tratamento da aplicação conjunta da uréia com sulfato de amônio na primeira cobertura (Figura 1a), as perdas (7,0% do N total aplicado) foram significativamente controladas, antes da segunda cobertura. O sulfato de amônio em solo ácido estaria contribuindo com uma fonte adicional de prótons ao meio, pela hidrólise do sal, como indicado por Du Plessis & Kroontje (1964):



neutralizando o efeito alcalinizante da hidrólise da uréia e, conseqüentemente, reduzindo as perdas provenientes desse adubo, além do próprio processo de nitrificação e arraste de bases (Ca²⁺ e Mg²⁺) em profundidade pelo SO₄²⁻. A adição conjunta de outros compostos à uréia, tais como CaCl₂, Ca(NO₃)₂, MgSO₄ (Fenn et al., 1981), fosfato monocalcico (Sengik & Kiehl, 1995a) e superfosfato simples e triplo, fosfatomonoamônico, sulfato ferroso e cloreto férrico (Sengik & Kiehl, 1995b), tem-se mostrado efetiva em controlar as perdas de amônia da uréia, em vista da formação de compostos estáveis do NH₄⁺ com os ânions do sal acompanhante.

Da importância prática desses resultados, pode-se verificar que a substituição de parte da uréia aplicada na cobertura nitrogenada por um sal acidificante (ainda que em grânulos separados) pode contribuir de forma mais significativa para diminuir as perdas (economia de N) que o manejo da irrigação, cuja efetividade seria mais dependente das condições ambientais no momento de efetuar a cobertura. A adição conjunta de uréia + sulfato de amônio, também na segunda cobertura, provavelmente teria diminuído mais efetivamente as perdas gasosas.

A queda nas perdas acumuladas no tratamento com aplicação exclusiva de uréia, após a segunda cobertura seguida de irrigação (terceira coleta, figura 1a), explica-se porque, a partir desse momento, o cálculo de N volatilizado tomou como base a aplicação de cerca de 100 kg ha⁻¹ de N. As perdas acumuladas até os 42 dias, após a segunda cobertura, foram acrescidas em 7,8 e 16,0% nos tratamentos com aplicação exclusiva de uréia e uréia + sulfato de amônio respectivamente. Essas perdas foram proporcionalmente menores do que as observadas após a primeira cobertura, reforçando a prática do parcelamento nitrogenado como uma forma de aumentar a eficiência do adubo. Embora as perdas totais acumuladas não tenham apresentado diferenças significativas entre os tratamentos (alta variação da medida), a tendência se mostrou claramente favorável à uréia aplicada junto com o sulfato de amônio.

Quando a irrigação foi realizada antes da adubação (Figura 1b), as perdas registradas sete dias após a primeira aplicação da uréia + sulfato de amônio foram de 21,1% do N aplicado, e as da aplicação simples de uréia foram de 30,3%, não apresentando diferença significativa entre os tratamentos. Cabe ressaltar que as perdas quantificadas desses tratamentos correspondem a menor intervalo de tempo (sete dias), visto que as coletas de todos os tratamentos foram efetuadas no mesmo dia. Em solos de pH ácido ou levemente ácido (abaixo de 6,0), é sabido que o sulfato de amônio está sujeito a desprezível volatilização de N (Matocha, 1976). As perdas acumuladas até os 40 dias após a segunda cobertura foram acrescidas em 12,5 e 17,5% do N aplicado nos tratamentos de aplicação exclusiva

de uréia e uréia + sulfato de amônio respectivamente. A tendência das perdas se mostraram similares ao que aconteceu no caso da irrigação depois da adubação.

Nas figuras 2a e 2b são mostradas as respectivas taxas médias de perdas de N-NH₃ dos quatro tratamentos, associadas aos eventos hídricos transcorridos. Quando a irrigação foi posterior (Figura 2a), as taxas de perdas de N-NH₃ foram decrescentes nos primeiros dias após a primeira cobertura, mostrando a tendência da uréia a aprofundar sob o efeito da irrigação. Esse efeito não se observa após a segunda cobertura, devido, provavelmente, ao aumento do nitrogênio no local de aplicação e conseqüente aumento no potencial de volatilização de N-NH₃. Por outro lado, quando a irrigação foi anterior à adubação (Figura 2b), a tendência geral das taxas de perdas foi crescente, mostrando que as perdas gasosas foram favorecidas pela corrente de evaporação de água do solo.

Essa figura mostra também que as taxas de perdas significativas ocorreram até 18 dias após a primeira aplicação de N. Esses resultados concordam com o observado por Rodrigues & Kiehl (1986), que verificaram, com a uréia enterrada até 5 cm de profundidade no solo, atraso na emissão das perdas gasosas. Indiretamente, isso está indicando que as fontes podem ter aprofundado no solo, mas que retornaram à superfície. Os eventos hídricos ocorridos após a aplicação não afetaram, significativamente, as perdas gasosas. Cabe salientar, também nessa figura, que, após a segunda cobertura, independentemente do manejo da irrigação, os maiores picos de perdas de N-NH₃ dos tratamentos ocorreram com diferença de quatro dias, o que estaria refletindo o efeito residual acidificante do sulfato de amônio, retardando temporariamente as perdas.

O quadro 2 mostra os efeitos da adubação nitrogenada de cobertura sobre os parâmetros de crescimento, teor de nutrientes e produtividade do milho. O nitrogênio aumentou significativamente o diâmetro de colmo, altura de planta e produtividade.

Entre os tratamentos adubados, não se observou diferença significativa de produtividade. Entretanto, em relação à testemunha, verificaram-se acréscimos de produtividade de 38,7 e 45,2% nos tratamentos com irrigação posterior à adubação de cobertura exclusiva de uréia e de uréia + sulfato de amônio na primeira cobertura respectivamente. Nos outros dois tratamentos, com irrigação prévia à adubação, na mesma ordem, houve acréscimos de produtividade de 34,0 e 38,0% respectivamente. O maior valor de produtividade (5,85 t ha⁻¹) coincide com o registro de menores perdas de N-NH₃ acumuladas (23,0% do N aplicado) para o tratamento com adubação conjunta de uréia + sulfato de amônio e irrigação posterior. Existe tendência na literatura (Coelho et al., 1992) de associar a recuperação aparente do N fertilizante (método da diferença) com as perdas aparentes de N-volatilizado dos adubos. Nesse estudo, os autores verificaram recuperação aparente total de N no milho de 94,6 e 101,0 kg ha⁻¹ nos tratamentos com aplicação à superfície de 60 kg ha⁻¹ de N-uréia e sulfato de amônio respectivamente. Como esses valores não foram significativamente diferentes, os autores concluíram que as perdas por volatilização do N-uréia seriam pequenas e, portanto, a eficiência relativa da uréia seria similar à observada para o sulfato de amônio. Entretanto, este estudo, por meio de medidas diretas das perdas gasosas de N-NH₃ em campo, coloca em evidência o comportamento muito diferente dessas fontes. Em primeiro lugar, as perdas do nitrogênio aplicado em cobertura foram significativas, ainda quando se tratou de incorporar mais profundamente a uréia via irrigação e, em segundo lugar, os resultados discutidos mostram que as perdas gasosas devem ter sido provenientes fundamentalmente da uréia. Se as fontes apresentam esse comportamento diferenciado, como se podem explicar os resultados de produtividade similares? Segundo Jansson & Persson (1982), a aplicação de adubos nitrogenados estimulando o "priming effect", o desenvolvimento radicular e a dinâmica do processo mineralização-imobilização no solo, estariam

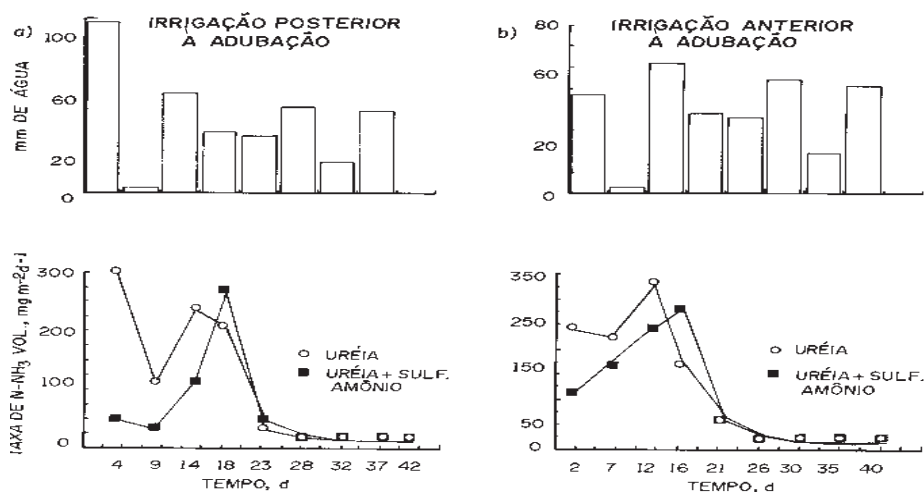


Figura 2. Taxas de N-NH₃ volatilizado provenientes da aplicação exclusiva de uréia e de uréia + sulfato de amônio na primeira cobertura e aplicação de uréia na segunda (a) com irrigação posterior e (b) com irrigação anterior à adubação.

Quadro 2. Diâmetro do colmo, altura de planta, teor foliar de nutrientes e produtividade de grãos no milho⁽¹⁾

Tratamentos		Diâmetro colmo	Altura planta	Teor foliar				Produtividade
Fontes de N	Irrigação			N	P	K	S	
		mm	m	g kg ⁻¹				t ha ⁻¹
Testemunha		19	1,12	24,6	1,7	15,6	1,5	4,03
Uréia	Posterior	22	1,47	28,4	2,4	19,9	1,6	5,59
U + AS	Posterior	25	1,51	29,3	2,3	17,9	1,8	5,85
Uréia	Anterior	... ⁽²⁾	5,40
U + AS	Anterior	...	...	...	...	...	...	5,56
dms (Tukey 5%)		4	0,07	... ⁽³⁾	0,95
CV (%)		7,9	2,3	...	...	...	...	8,0

⁽¹⁾ Na mesma coluna, médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5%. ⁽²⁾ Tratamentos não avaliados.

⁽³⁾ Parâmetros não analisados.

contribuindo para maior recuperação do N nativo do solo pela planta. Nesse sentido, o tratamento testemunha apresentou uma produtividade razoável (4,03 t ha⁻¹ de grãos). O N nativo do solo estaria compensando a menor eficiência de utilização do adubo, que, em termos práticos, não afetou a produtividade. Esse fato explica porque, quando se comparam eficiências de adubos nitrogenados pelo método da diferença e isotópico com ¹⁵N, os resultados, na maioria dos casos, mostram uma superestimativa, se comparados com o primeiro método (Westerman & Kurtz, 1973).

Na figura 3, encontra-se a correlação entre a produtividade relativa dos quatro tratamentos, tomando como base 100 a maior produtividade (5,85 t ha⁻¹), e as respectivas perdas acumuladas de N-NH₃.

Considerando os valores estimados pelo ajuste, pode-se apreciar uma perda de 19,8 kg ha⁻¹ de N-fertilizante (diferença entre a maior e a menor perda dos tratamentos), para uma queda de produção de 382 kg ha⁻¹ de grãos, ou 19,3 kg de grão por quilograma de N volatilizado.

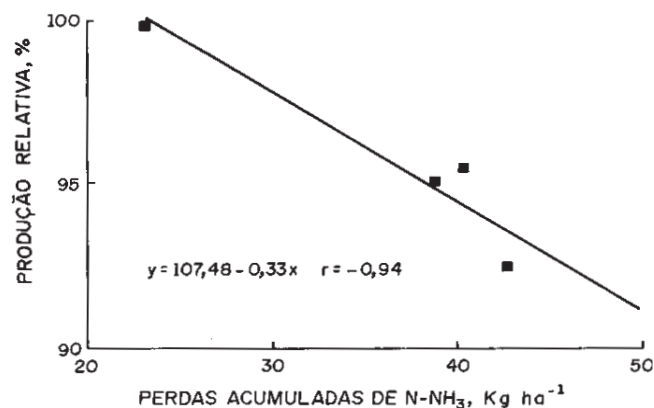


Figura 3. Efeito das perdas gasosas de N-NH₃ volatilizado das fontes nitrogenadas aplicadas em cobertura antes e depois da irrigação, na produtividade da cultura de milho.

CONCLUSÕES

1. O sulfato de amônio contribuiu significativamente para diminuir as perdas por volatilização de N-NH₃.
2. A irrigação após a adubação nitrogenada de cobertura não diminuiu as perdas por volatilização.
3. A produtividade do milho se correlacionou inversamente com as perdas de N-NH₃ volatilizado.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Wilhelmus Vitdewilligen, Diretor do Centro de Pesquisa Novartis-Seeds, pelas facilidades concedidas na instalação do experimento. Aos alunos de Graduação do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, Srs. Davi de Oliveira e Aquiles da Cunha, pela participação na execução do estudo.

LITERATURA CITADA

- ANJOS, J.T & TEDESCO, M.J. Volatilização de amônia proveniente de dois fertilizantes nitrogenados aplicados em solos cultivados. Científica, Jaboticabal, 4:49-55, 1976.
- BLACK, A.S.; SHERLOCK, R.R. & SMITH, N.P. Effect of timing of simulated rainfall on ammonia volatilization from urea, applied to soil of varying moisture content. J. Soil Sci., Oxford, 38:679-687, 1987.
- BOUWMEESTER, R.J.B.; VLEK, P.L.G. & STUMPE, J.M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from a urea-fertilized soil. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 49:376-381, 1985.
- BURESH, R.J.; VLEK, P.L.G. & STUMPE, J.M. Labeled nitrogen fertilizer research with urea in the semi-arid tropic. I Greenhouse studies. Plant Soil, The Hague, 80:3-19, 1984.

- CANTARELLA, H. & RAIJ, B. van. Adubação nitrogenada no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO SOBRE ADUBAÇÃO NITROGENADA NO BRASIL, Ilhéus, 1985. Anais. Ilhéus, CEPLAC/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1985. p.47-79.
- CHIN, W. & KROONTJE, W. Urea hydrolysis and subsequent loss of ammonia. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 27:316-318, 1963.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A.F.C. & GUEDES, G.A.A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 16:61-67, 1992.
- Du PLESSIS, M.C.F. & KROONTJE, W. The relationship between pH and ammonia equilibria in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 28:751-754, 1964.
- FENN, L.B.; TAYLOR, R.M. & MATOCHA, J.E. Ammonia losses from surfaced-applied nitrogen fertilizer as controlled by soluble calcium and magnesium: general theory. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 45:777-781, 1981.
- FERGUSON, R.B. & KISSEL, D.E. Effects of soil drying on ammonia volatilization from surface-applied urea. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 50:485-490, 1986.
- HARGROVE, W.L. Soil, environmental and management factors influencing ammonia volatilization under field conditions. In: BOCK, B.R. & KISSEL, D.E., eds. Ammonia volatilization from urea fertilizers. Alabama, National Fertilizer Development Center, 1988. p.17-36.
- JANSSON, S. L. & PERSSON, J. Mineralization and immobilization of soil nitrogen. In: STEVENSON, F.J., ed. Nitrogen in agricultural soils. 2 ed. Madison, American Society of Agronomy, 1982. p.229-252.
- KOELLIKER, J.K. & KISSEL, D.E. Chemical equilibria affecting ammonia volatilization. In: BOCK, B.R. & KISSEL, D.E., eds. Ammonia volatilization from urea fertilizers. Alabama, National Fertilizer Development Center, 1988. p.37-52.
- LARA CABEZAS, W.A.R. & TRIVELIN, P.C.O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado da uréia aplicada ao solo. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 14:345-352, 1990.
- MARTIN, J.P. & CHAPMAN, H.D. Volatilization of ammonia from surface fertilized soils. *Soil Sci.*, Baltimore, 71:25-34, 1951.
- MATOCHA, J.E. Ammonia volatilization and nitrogen utilization from sulfur-coated ureas and conventional nitrogen fertilizers. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 40:597-601, 1976.
- MELLO, F.A.F. Ureia fertilizante. 1. ed. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 192p.
- NOMMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. *Plant Soil*, The Hague, 39:309-318, 1973.
- RODRIGUES, M.B. & KIEHL, J.C. Volatilização de amônia após emprego de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 10:37-43, 1986.
- SENGIK, E. & KIEHL, J.C. Efeito de resíduos orgânicos e do fosfato monocalcico na volatilização de amônia em terra tratada com uréia. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 19:321-326, 1995a.
- SENGIK, E. & KIEHL, J.C. Controle da volatilização de amônia em terra tratada com uréia e turfa pelo emprego de sais inorgânicos. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 19:455-461, 1995b.
- VILLAS BOAS, R.L.; FERNANDES, D.M.; BOARETTO, A.E. & TRIVELIN, P.C.O. Efeito da uréia, do sulfato de amônio e da mistura de ambos na recuperação de N pelo milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., Goiânia, 1993. Resumos. Goiânia, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. p.37-38. v.2.
- WATSON, C. The comparative effect of a mixed urea, ammonium nitrate, ammonium sulphate granular formulation on the efficiency of N recovery by perennial ryegrass. *Fert. Res.*, The Netherlands, 14:193-204, 1987.
- WESTERMAN, R.L. & KURTZ, L.T. Isotopic and nonisotopic estimations of fertilizer nitrogen uptake by sudangrass in field experiments. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 38:107-109, 1973.