



Volatilização de amônia em função da época de aplicação de ureia em cobertura no milho⁽¹⁾

Evandro Luiz Schoninger⁽²⁾; Hugo Abelardo González Villalba⁽³⁾; Lucas Peres Miachon⁽⁴⁾; Paulo Cesar Ocheuze Trivelin⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do CNPq e FAPESP.

⁽²⁾ Professor; Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT); Nova Mutum, MT; schoningerel@gmail.com; ⁽³⁾ Doutorando em Ciências (Solos e Nutrição de Plantas); Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ – USP); ⁽⁴⁾ Engenheiro Agrônomo; Fazenda Prata de Goiás; ⁽⁵⁾ Professor; Pesquisador; Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP).

RESUMO: A necessidade de aplicação de altas doses de N na cultura do milho aliada às inúmeras transformações desse nutriente na natureza são fatores que, de maneira geral, limitam a eficiência da adubação nitrogenada. Assim, a adoção de práticas que objetivam aumentar a eficiência de recuperação do N do fertilizante se faz necessária. Dentre estas, a época de aplicação do N em cobertura tem sido amplamente estudada e os resultados têm sido bem variados. Nesse contexto, objetivou-se avaliar as perdas de amônia em função da época de aplicação da ureia em cobertura no milho. O estudo foi desenvolvido em campo, no município de Piracicaba, SP, nas safras 2011/12 e 2012/13, em delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico. Foi avaliada a perda de N por volatilização de NH₃, em função dos tratamentos testados, a saber: cinco épocas de aplicação de ureia (140 kg ha⁻¹ de N) em cobertura nos estádios fenológicos V4, V6, V8, V10 e V12. Os resultados foram submetidos à análise de variância (p≤0,05) e à comparação das médias pelo teste de Tukey. As maiores perdas de N por volatilização de amônia ocorreram quando a ureia foi aplicada nos estádios V12 ou V10, chegando a 35 e 41 % do N aplicado. Embora os fatores climáticos exerçam grande influência no processo de volatilização de NH₃, as características da cultura, como desenvolvimento do dossel, também determinam as perdas de N na forma de amônia.

Termos de indexação: *Zea mays* L., fertilização nitrogenada, perdas de nitrogênio.

INTRODUÇÃO

Dentre as fontes de N empregadas como fertilizantes no Brasil, a ureia é a mais utilizada, principalmente, pelo menor custo por unidade de N em relação às demais fontes sólidas disponíveis no mercado. Quando aplicada ao solo, a ureia sofre hidrólise por ação da enzima urease, convertendo o R-NH₂ para NH₄⁺. Por consumir H⁺ do meio, essa reação promove elevação no pH do solo próximo aos grânulos de fertilizantes, favorecendo a

desprotonação do NH₄⁺ à NH₃, sendo esta uma forma gasosa e passível de perdas por volatilização (SINGH; NYE, 1984; KIEHL, 1989). Segundo Lara Cabezas et al. (2000), a aplicação de ureia em superfície sem incorporação ao solo pode proporcionar perdas de 31 a 78 % do total de N aplicado. Entretanto, se a ureia for incorporada ao solo, as perdas por volatilização de NH₃ diminuem sensivelmente (LARA CABEZAS et al., 2000), pois a amônia ao se difundir do interior do solo em direção a atmosfera, encontra regiões com valores de pH mais baixo em relação aos valores próximos aos grânulos de ureia, sendo novamente protonada a NH₄⁺ (ERNANI, 2008).

A incorporação da ureia ao solo pode ser realizada pela água da chuva ou irrigação, e a lâmina de água considerada adequada para essa incorporação depende de diversos fatores. Dentre estes, podemos destacar a umidade inicial do solo, a cobertura do solo, que interfere nas taxas de evaporação de água do solo, e até mesmo o estágio de desenvolvimento da cultura. Este último é importante porque plantas em estádios vegetativos mais desenvolvidos proporcionarão maior cobertura viva do solo e poderão, além de diminuir a temperatura do solo, direcionar a entrada de água via escoamento pelo colmo, como observado por Parkin e Codling (1990).

Neste sentido, objetivou-se avaliar as perdas de amônia em função da época de aplicação (diferentes estádios de desenvolvimento) da ureia em cobertura no milho.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram desenvolvidos no município de Piracicaba, SP, e as análises laboratoriais realizadas no Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da Universidade de São Paulo (CENA/USP), no mesmo município. Foram desenvolvidos dois experimentos em campo (safras 2011/12 e 2012/13), em delineamento experimental de blocos ao acaso e quatro repetições. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (54 % de argila). Os



tratamentos constaram de cinco épocas de aplicação de ureia fertilizante em cobertura na cultura do milho, equivalentes aos estádios fenológicos V4, V6, V8, V10 e V12. As parcelas foram compostas por dez linhas de milho com 10 m de comprimento, espaçadas em 0,5 m entre si, totalizando uma área de 50 m².

O híbrido de milho utilizado foi o 30F35HR, da Pioneer®. Antes da semeadura do milho, nos meses de outubro de 2011 e novembro de 2012, o solo da área experimental recebeu a aplicação de calcário visando à elevação da saturação por bases para 70 %, com posterior incorporação por meio de duas gradagens. Em dezembro de 2011 e de 2012 foi realizada a semeadura manual do milho objetivando a população final de 60.000 plantas por hectare. Em ambas as safras, foi realizada a adubação de base com a aplicação de 750 kg ha⁻¹ do formulado 04-14-08 em todas as parcelas. Para a adubação nitrogenada de cobertura foram aplicados 140 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia. No estádio V4 foram aplicados 60 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio, na entrelinha e sem incorporação. Essas doses de N e de K₂O foram definidas objetivando-se alta produtividade de grãos (10 - 12 Mg ha⁻¹), conforme recomendado por Cantarella et al. (1997).

A aplicação do nitrogênio em cobertura foi realizada no centro da entrelinha da cultura, em filete contínuo, sem incorporação ao solo. As épocas de aplicação equivalentes a cada tratamento foram representadas pelos estágios vegetativos V4, V6, V8, V10 e V12, conforme descrito por Ritchie et al. (1993). Os tratamentos culturais realizados no milho foram executados conforme a necessidade da cultura.

A quantidade de amônia volatilizada foi mensurada com o uso de coletores semi-abertos estáticos, seguindo o modelo descrito por Nömmik (1973) e calibrado por Lara Cabezas et al. (1999), com a mudança de bases entre amostragens como proposto por Cantarella et al. (2003). Os coletores foram alocados nas parcelas imediatamente após a aplicação do fertilizante nitrogenado.

Os resultados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$), e quando o teste F mostrou-se significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As maiores perdas de N por volatilização de amônia ocorreram quando a ureia foi aplicada nos estádios V12 ou V10, chegando a 35 e 41 % do N aplicado, nas safras 2011/12 e 2012/13, respectivamente (Figura 1). Quando o N foi aplicado em V8, ocorreram perdas intermediárias (até 20 %). Com a aplicação do N em V6, na primeira safra, houve perdas de aproximadamente 11 %, enquanto

na segunda safra, as perdas não ultrapassaram 1,5 %. Para a aplicação do N no estádio V4, as perdas por volatilização foram mínimas, não ultrapassando 0,5 %.

Mesmo ocorrendo chuvas poucos dias após a aplicação da ureia em praticamente todos os tratamentos e ambas as safras (Figura 2), exceto no estádio V12 na safra 2011/12, a volatilização ocorreu de forma acentuada com a aplicação mais tardia do N em cobertura (Figura 1). A ocorrência de chuvas em quantidades consideráveis (> 20 mm) no primeiro dia após a aplicação da ureia em superfície foi um dos fatores responsáveis pela redução da perda de amônia por volatilização, justificando as pequenas perdas observadas no tratamento V4 na primeira safra, e no V6 na segunda. Na safra 2012/13, as perdas de amônia no estádio V4 também foram mínimas, mesmo a primeira chuva tendo ocorrido apenas no segundo dia após a aplicação do fertilizante, que foi de 15 mm. Após esta precipitação pluvial, passaram-se mais três dias sem chuvas, o que poderia ter favorecido a perda de amônia. Contudo, como a ureia foi aplicada sobre o solo seco (no dia da aplicação já haviam se passado três dias da última chuva), é provável que a hidrólise do fertilizante tenha sido limitada, permanecendo na forma de ureia e, após a chuva de 15 mm, esta foi incorporada a uma profundidade suficiente para reduzir a perdas de amônia. Zhengping et al. (1996) observaram que, aumentando a umidade do solo de 10 para 20 %, o tempo necessário para que metade da ureia fosse hidrolisada diminuiu de quatro para dois dias, demonstrando a importância da umidade no processo de hidrólise. Black et al. (1987) aplicaram ureia em solo seco e relataram que 73 % do N aplicado permaneceu na forma não hidrolisada por 30 dias após a aplicação.

Por ser uma molécula não iônica, a ureia é mais móvel no solo em relação ao NH₄⁺, necessitando de menor lâmina de água para ser incorporada ao solo. A maior mobilidade no solo da ureia em relação ao NH₄⁺, juntamente com a possibilidade de ser hidrolisada em camadas mais profundas do solo, podem justificar a baixa perda de amônia quando o N foi aplicado no estádio V4 na segunda safra, mesmo com a ocorrência de uma única chuva de 15 mm nos cinco dias subsequentes à aplicação do fertilizante.

Embora em outros estádios (por exemplo, V8 na primeira safra e V12 na segunda) também tenham ocorrido chuvas de até 9 mm no primeiro dia após a aplicação, foi observada perda significativa de N por volatilização. Nestes casos, a chuva não foi suficiente para impedir a volatilização, provavelmente, porque a aplicação do fertilizante foi realizada sobre o solo úmido, situação que favoreceu a hidrólise da ureia com consequente formação de NH₄⁺, que é menos móvel no solo, como comentado anteriormente.



Ademais, também é interessante considerar a possibilidade de interferência da interceptação de água pelas folhas e do fluxo preferencial de água da chuva em plantas mais velhas sobre a volatilização de amônia. Deste modo, é provável que as chuvas ocorridas em estádios mais avançados da cultura do milho, neste estudo, tenham sido menos eficientes em incorporar o fertilizante nitrogenado no solo, após sua aplicação na entre linha.

Por outro lado, como a perda de amônia por volatilização é dependente da evaporação de água do solo, torna-se necessária a compreensão desse fenômeno. O processo de evaporação de água do solo pode ser dividido em três fases (FEDDES, 1971). Na fase 1, a taxa de evaporação de água do solo é limitada apenas pela quantidade de energia disponível para vaporizar a água na camada mais superficial do solo (FEDDES, 1971), e inicia-se logo após o término das chuvas ou irrigações. Na fase 2, a diminuição da umidade do solo na camada superficial e as características hidráulicas do solo são os fatores que determinam a transferência de líquido e vapor para a superfície (FEDDES, 1971). Nesta fase, a evaporação ocorre abaixo da superfície e o vapor d'água alcança a superfície por difusão molecular e por fluxo de massa (JENSEN et al., 1990). A fase 3 é determinada principalmente pelas características físicas e adsorptivas do solo, sendo a taxa de evaporação de pouca importância (VENTURA et al., 2006).

Com base nessa distinção entre as fases de evaporação de água do solo, é possível que a maior área foliar da cultura nos estádios mais avançados possa ter contribuído para as diferenças nas perdas por volatilização. Em primeira análise, a maior cobertura do solo impedindo a incidência direta dos raios solares reduziria a quantidade de energia incidente e, conseqüentemente, a evaporação de água do solo na fase 1 (DALMAGO et al., 2010), podendo então reduzir as perdas de amônia. No entanto, a maior cobertura também aumenta o período de atuação da fase 1 de evaporação de água do solo (DALMAGO et al., 2010) mantendo maior umidade na superfície e favorecendo a ocorrência de diversas reações que contribuem para as perdas por volatilização (por exemplo, hidrólise e conversão de NH_4^+ para NH_3). Por outro lado, quando a cobertura do solo é inexistente ou pouco expressiva (por exemplo, estádios V4 e V6), a duração da fase 1 de evaporação será reduzida, dando-se início à fase 2 mais cedo do que nos demais estádios fenológicos do milho (V8, V10 e V12, por exemplo). Nesta segunda fase de evaporação, como a água passa da forma líquida para vapor ainda alguns centímetros abaixo da superfície do solo (JENSEN et al., 1990), pouco interfere nas reações químicas envolvidas no processo de perdas de amônia (hidrólise, conversão de NH_4^+ para NH_3 , e arraste do NH_3 em solução via evaporação).

CONCLUSÕES

A volatilização de amônia ocorreu de forma mais acentuada com a aplicação mais tardia do N em cobertura (estádios V10 e V12).

Embora os fatores climáticos exerçam grande influência no processo de volatilização de NH_3 , as características da cultura, como desenvolvimento do dossel, também determinam as perdas de N na forma de amônia.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo suporte financeiro ao projeto (Processo 480225/2011-7) e à FAPESP pela concessão de bolsa de estudo ao primeiro autor (Processo 2011/07176-1).

REFERÊNCIAS

- 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. *Journal of Soil Science*, 38:679-687, 1987.
- CANTARELLA, H.; MATTOS JÚNIOR, D.; QUAGGIO, J.A.; et al. Fruit yield of Valencia sweet orange fertilized with different N sources and the loss of applied N. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 67:215-223, 2003.
- CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C.E.O. Cereais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. rev. Campinas: IAC. 1997. p. 45-71. (Boletim Técnico, 100).
- CONTE, M.L.; LEOPOLDO, P.R. Estimativa da retenção de água de chuva pela cultura do milho. *Engenharia Agrícola*, 10:47-55, 1986.
- DALMAGO, G.A.; BERGAMASCHI, H.; KRÜGER, C.A.M.B.; et al. Evaporação da água na superfície do solo em sistemas de plantio direto e preparo convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45:780-790, 2010.
- ERNANI, P.R. *Química do solo e disponibilidade de nutrientes*. Lages: O Autor, 2008. 230 p.
- FEDDES, R.A. *Water, heat and crop growth*. 1971. 184 p. Thesis (Ph.D.) - Institute of Land and Water Management Research, Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands, 1971.
- HAYNES, J.L. Ground rainfall under vegetative canopy of crops. *Agronomy Journal*, 32:176-184, 1940.
- JENSEN, M.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. *Evapotranspiration and irrigation water requirements*. New York: ASCE, 1990. 332 p. (Manuals and reports on engineering practice, 70).
- KIEHL, J.C. Distribuição e retenção da amônia no solo após aplicação de ureia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 13:75-80, 1989.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLLI, J.A.; et al. Calibration of a semi-open

static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizers. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 30:389-406, 1999.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; KONDÖRFER, G.H.; et al. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho, em sistema plantio direto no triângulo mineiro (MG). Revista Brasileira de Ciência do Solo, 24:363-376, 2000.

NÖMMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. Plant and Soil, 39:308-318, 1973.

PARKIN, T.B.; CODLING, E.E. Rainfall distribution under a corn canopy: Implications for managing agrochemicals. Agronomy Journal, 82:1166-1169, 1990.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. How a corn plant develops. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1993. 21 p. (Cooperative Extension Service. Special Report, 48).

SINGH, R.; NYE, P.H. The effect of soil pH and high urea concentrations on urease activity in soil. Journal of Soil Science, 35:519-527, 1984.

VENTURA, F.; SNYDER, R.L.; BALI, K.M. Estimating evaporation from bare soil using soil moisture data. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 132:153-158, 2006.

ZHENGPING, W.; CLEEMPUT, O.V.; BAERT, L. Movement of urea and its hydrolysis products as influenced by moisture content and urease inhibitors. Biology and Fertility of Soils, 22:101-108, 1996.

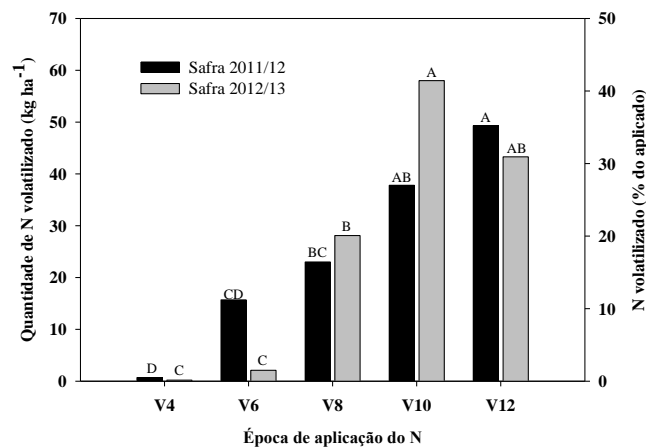


Figura 1 - Quantidade e porcentagem de N volatilizado a partir da ureia aplicada em cobertura em estádios fenológicos do milho. Em cada safra, colunas com letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Os coeficientes de variação para as safras 2011/12 e 2012/13 foram de 28 e 39 %, respectivamente.

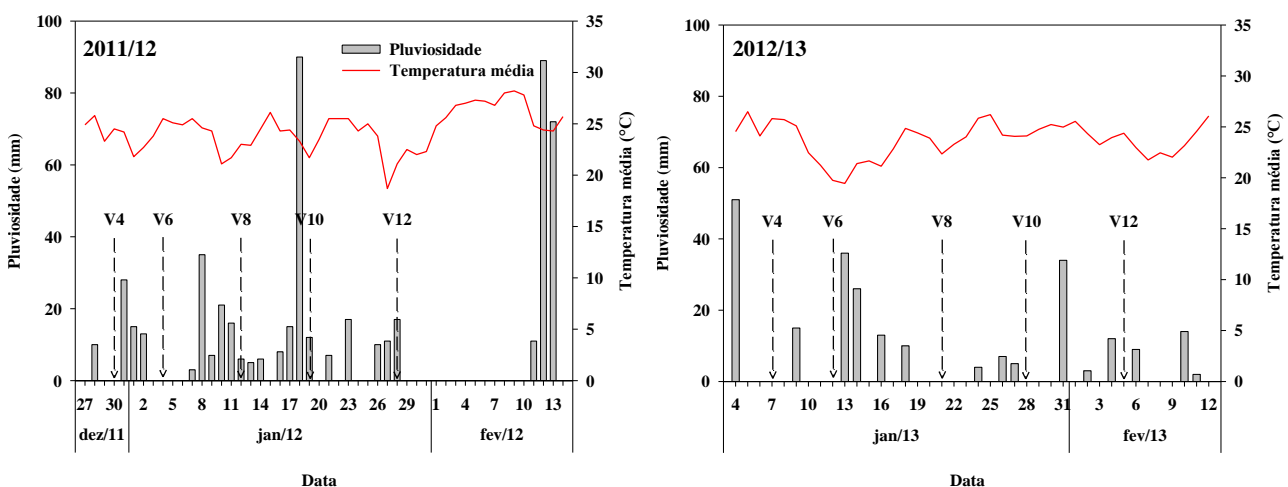


Figura 2 - Pluviosidade e temperatura média nas épocas de aplicação da ureia em cobertura na cultura do milho nas safras 2011/12 e 2012/13. Setas indicam a data de aplicação dos tratamentos e os respectivos estádios fenológicos da cultura.