



Perdas por volatilização de N-fertilizante em solos brasileiros

Pérdidas por volatilización de N-fertilizantes en suelos brasileños

Losses on n-fertilizer volatilization in Brazilian soils

Waldo Alejandro Ruben Lara Cabezas
waldolar@terra.com.br

Doutor, pesquisador da APTA-SAA Polo Regional Sudoeste Paulista, Brasil

Artículo recibido septiembre 2017, arbitrado octubre 2017 y publicado en enero 2018

RESUMO

Inicialmente se dará ênfase à padronização na medida das perdas gasosas que é de grande importância para a obtenção de medidas realistas e que possibilite a comparação de estudos realizados em diferentes locais. Deve-se ter um fundamento metodológico para dar-se credibilidade à medida. “Medir” perdas gasosas em condições de campo num meio sujeito a variações microclimáticas de umidade relativa do ar, temperatura, pluviosidade e correntes de ar requer dispor de um instrumento conhecido em suas limitações para a validação da medida. A seguir será feita uma breve descrição do processo de volatilização de amônia, principalmente focado no manejo do fertilizante ureia (U) e os fatores que incidem nesse processo, para finalmente discutir-se resultados do uso de inibidores da urease (IU) no controle das perdas e sua projeção a futuro.

Palavras chave: N-fertilizante; estudo realista dos solos

RESUMEN

Inicialmente, se hará hincapié en la estandarización en la medición de pérdidas de gas, que es de gran importancia para obtener mediciones realistas y permitir la comparación de estudios realizados en diferentes lugares. Se debe dar una base metodológica para dar credibilidad a la medida. La "medición" de las pérdidas de gas en condiciones de campo en un medio sujeto a variaciones microclimáticas de humedad relativa, temperatura, lluvia y corrientes de aire requiere un instrumento bien conocido en sus limitaciones para medir la validación. A continuación se presenta una breve descripción del proceso de volatilización de amoníaco, enfocado principalmente en el manejo del fertilizante de urea (U) y los factores que afectan este proceso, para finalmente discutir los resultados del uso de inhibidores de ureasa (UI) en el control de pérdidas y su proyección hacia el futuro.

Palabras clave: N-fertilizante; estudio realista del suelo

ABSTRACT

Initially, emphasis will be given to standardization in the measurement of gas losses, which is of great importance to obtain realistic measurements and to enable the comparison of studies carried out in different locations. A methodological foundation must be given to give the measure credibility. "Measuring" gas losses under field conditions in a medium subject to microclimatic variations in relative humidity, temperature, rainfall and drafts requires a well-known instrument in its limitations for measuring validation. Following is a brief description of the ammonia volatilization process, mainly focused on the management of urea fertilizer (U) and the factors that affect this process, to finally discuss the results of the use of urease inhibitors (UI) in the control of losses and their projection into the future.

Key words: N-fertilizer; realistic soil study

Metodologia para quantificar N-NH₃ volatilizado de fertilizantes nitrogenados

A maioria dos trabalhos para a medida das perdas tem sido desenvolvida em condições de laboratório com condições controladas de temperatura, umidade relativa do ar e fluxo de ar arrastado acima da superfície do solo. Dessa forma se consegue uma medida de valor relativa na quantificação das perdas gasosas, expressando o potencial de perdas, fato que está longe de acontecer em condições de campo. Vários aparelhos têm sido utilizados nessas condições (Bremner y Douglas, 1971; Prasad, 1976; Rao y Batra, 1983). O esquema mostrado na Figura 1 desenvolvido por Mills et al. (1974) mostra uma entrada com fluxo de ar calibrado isento de amônia, numa câmara contendo a terra+tratamento, ao passar previamente por uma solução de ácido sulfúrico 0,5 N. O gás sai da câmara e é retido em ácido e posteriormente titulado em NaOH padronizado.



Figura 1. Esquema do aparelho coletor de N-NH₃ volatilizado desenvolvido por Mills et al. (1974).

Para condições de campo um aparelho do tipo semiaberto estático desenvolvido por Nõmmik (1973) serviu de inspiração para procurar sua adaptação às medidas realizadas em Brasil a partir da década dos 90. Semiaberto estático porque o aparelho está inserido no solo sem restrição da circulação de água e ar, assim como, aberto à atmosfera pela porosidade do poliuretano que permite a livre passagem do ar e estático porque não há fluxo induzido através da câmara e não se desloca na área da medida. O aparelho original constituído por cilindro de acrílico de 25 cm de diâmetro e 15 cm de altura contém dois discos absorvedores de poliuretano ($0,030 \text{ g dm}^{-3}$) aderidos ao acrílico embebidos em solução de H_3PO_4 e glicerol, de forma tal que o absorvedor inferior retém a amônia proveniente do solo e o superior absorve a amônia presente na atmosfera. À coleta das amostras o absorvedor superior é descartado, e utilizado unicamente para evitar a contaminação do absorvedor inferior, para quantificar somente a amônia proveniente do solo. O absorvedor inferior é lavado com água deionizada de forma

forçada num sistema kitassato – funil de Büchner para posteriormente efetuar-se a determinação do N-NH_3 por destilação Kjeldahl.

A adaptação desse aparelho no Brasil foi incentivada pela facilidade de transporte ao local experimental, de fácil manuseio e instalação e pelo seu baixo custo de elaboração (US\$ 25,00 por unidade). Para abaratar-se os custos foram feitas adaptações da câmara construída a partir de PVC transparente (viseira de capacete de moto) e suporte de tubo de PVC branco, coberto com um “chapéu” de PVC transparente para evitar-se o molhamento dos discos pela chuva e tirantes ancorados ao solo para evitar-se a queda o arraste do aparelho por ventos (Figura 3). Vários trabalhos têm sido publicados utilizando o aparelho calibrado com algumas modificações (Lara Cabezas et al., 2000; Port et al., 2003; Costa et al., 2003; Martha Junior et al., 2004; Lara Cabezas et al., 2004; Lara Cabezas y Souza, 2008; Duarte et al., 2007; Vitti et al., 2007; Lara Cabezas et al., 2008; Rojas et al., 2012), entre outros.

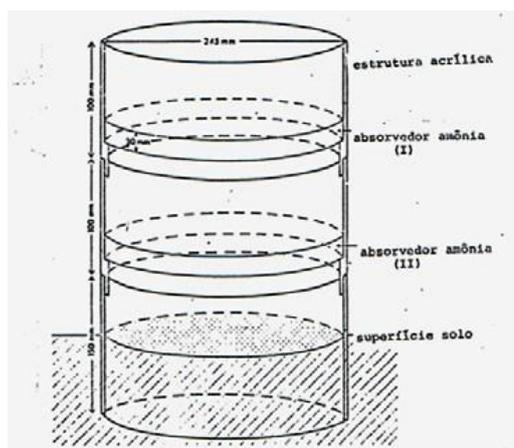


Figura 2. Sistema coletor semiaberto estático utilizado por Nõmmik (1973)



Figura 3. Sistema coletor semiaberto estático adaptado de Nõmmik (1973), utilizado em pesquisa de volatilização de amônia em Brasil a partir dos anos 90 (Lara Cabezas et al., 1999).

Obviamente que o aparelho apresenta limitações ao gradiente natural de deslocamento do gás amoniacal em vista que o simples fato de colocar-se uma barreira (coletor) ao fluxo de gás volatilizado do solo há restrição na circulação do ar, aumento de temperatura ao interior da câmara e envasamento das paredes da câmara por condensação de água nas suas paredes. Essas condições alterando o fluxo de amônia verificadas nos primeiros trabalhos levou a avaliar-se a limitação do aparelho e estudar-se qual era a resposta do aparelho em função de diferentes taxas de perdas gasosas. O objetivo desse trabalho foi estimar perdas reais, como se o aparelho não estivesse presente. Durante três anos foram realizados experimentos com tratamentos de diferentes fontes nitrogenadas, condições de pH de solo diferentes, variação de temperatura (verão e outono/inverno) e diferentes doses sendo relacionado o N-NH₃ absorvido pelo coletor em relação ao método de balanço de ¹⁵N (método de referência), no qual a perda de N-NH₃ foi quantificada entre a quantidade de ¹⁵N aplicado ao solo e o ¹⁵N residual

após um determinado período, tomando-se o devido cuidado de controlar-se perdas por desnitrificação e por lixiviação. Dessa forma foi possível determinar-se a eficiência (*E*) do coletor em reter a amônia em função da taxa de N-NH₃ volatilizado (mg dia⁻¹) de acordo a seguinte expressão:

Onde *NVa* = N-volatilizado absorvido pelo coletor e *NVt* = N-volatilizado total absorvido, determinado pelo método de balanço ¹⁵N. Maiores detalhes do procedimento de calibração do aparelho são encontrados em Lara Cabezas et al. (1999). Na Figura 4 se mostram os modelos de ajuste de *E* em função da taxa média de *NVa* para perdas registradas inferiores a 0,37 mg dia⁻¹ de N-NH₃ e superiores a 0,37 mg dia⁻¹. Comparando-se os valores estimados pelo ajuste e os valores determinados pelo método do balanço ¹⁵N não houve diferença significativa nas medidas. Desta forma foi possível utilizar-se o coletor para estimar-se perdas reais em condições de campo. Note-se que para baixas taxas de perdas de N-NH₃ há um acréscimo significativo na *E* do coletor a qual atinge um patamar máximo em torno de 50 %, evidenciando a limitação da

câmara no registro da perda gasosa. A calibração desse coletor veio a explicar inúmeras medidas efetuadas em campo sem calibração que estariam subestimando as perdas e induzindo a conclusões erradas

como esta afirmação: “Se a diferença de produtividade entre a ureia e outras fontes não é significativa se conclui que as perdas por volatilização do N-ureia não são significativas”.

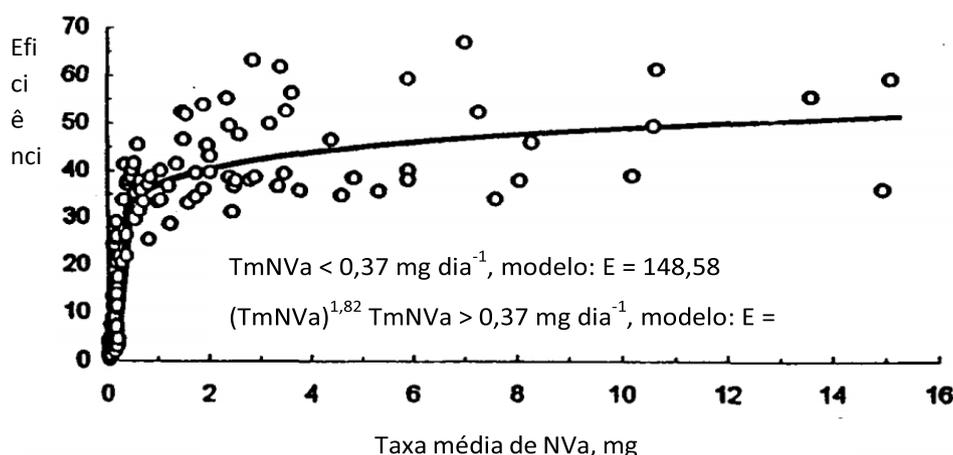


Figura 4. Eficiência do coletor semiaberto estático adaptado de Nommik (1973) em função da taxa média de N-NH₃ volatilizado absorvido pelo coletor.

Segundo Faria (2013) o coletor citado para estimar perdas reais é um dos métodos mais difundidos, porém a alteração para uso móvel, ou seja, com mudanças da base do coletor em local e tempo pré-determinados poderia reduzir a influência das condições microclimáticas. Avaliando a equivalência entre medidas feitas pelo coletor de modo móvel e estático, a autora testou doses de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N-U aplicadas em superfície. Foram efetuadas amostras de discos inferiores a cada quatro dias até o 20^o dia após a aplicação dos fertilizantes. A comparação das medidas de perdas de N-NH₃ foi estatisticamente equivalente, sendo adequado a aplicação da curva de calibração mostrada na Figura 4. Portanto, o coletor pode ser usado tanto de forma estática como móvel.

Perdas por volatilização de N-NH₃ da ureia

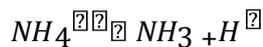
A U é o principal fertilizante sólido no

mercado mundial. No Brasil esse produto responde por cerca de 60 % dos fertilizantes nitrogenados comercializados. Há uma clara preferência da indústria pela fabricação da ureia em comparação com outras fontes sólidas de nitrogênio devido ao menor custo e maior facilidade de produção, menor preço por unidade de N, alta concentração de N o que reduz o custo de transporte e da aplicação, alta solubilidade, menor corrosividade, compatibilidade com um grande número de outros fertilizantes e defensivos e alta taxa de absorção foliar (Cantarella y Marcelino, 2006). A principal desvantagem da U é a possibilidade de altas perdas de N por volatilização de NH₃. Quando aplicada ao solo, a U sofre hidrólise enzimática liberando N amoniacal. Em solos com pH menor do que 6,3 – maioria dos casos dos solos brasileiros - a reação predominante é:

Em solos com pH mais elevado ($\geq 6,3$) a reação é:



A reação de hidrólise consome prótons (H^+) e provoca a elevação do pH ao redor das partículas; assim, mesmo em solos ácidos, a ureia está sujeita a perdas de N por volatilização de NH_3 . Overrein y Moe (1967)⁴ citado por Cantarella y Marcelino (2006) e outros pesquisadores notaram que o pH do solo ao redor das partículas de fertilizantes subiu de 6,5 para 8,8 três dias após a adubação. A volatilização de NH_3 ocorre quando fertilizantes que contém ou produzem NH_4^+ são aplicados a solos com reação alcalina, situação em que a reação abaixo tende para a direita:



Portanto, em solos ácidos, como os que predominam no Brasil, ao contrário do que ocorre com a ureia, outros fertilizantes nitrogenados contendo N amoniacal, tais como o sulfato de amônio e o nitrato de amônio, tendem a manter a maior parte do N na forma NH_4^+ , que é estável.

Perdas de N- NH_3 de fertilizantes usando coletor semiaberto estático

A partir do ano de 1997, a agroindústria sucroalcooleira no estado de São Paulo - Brasil, principal estado produtor, passou a praticar a colheita de cana sem queima prévia para atender às restrições ambientais. Nesse sistema espessa camada de palha fica sobre o solo, variando de 13 a 20 Mg ha^{-1} de matéria seca. Costa et al. (2003) quantificaram as perdas por volatilização de N- NH_3 na região canavieira de Piracicaba (SP), em dose de 100 kg ha^{-1} de N nas formas de U, U+Sulfato de amônio (SA), uran (UR) e resíduo líquido produto da fermentação glutâmica (*Ajifer*) de relação C/N 6,0. As maiores perdas acumuladas foram da U e a mistura U+SA: 36 e 35 % do N aplicado, sendo que o UR e *Ajifer* apresentaram perdas de 15 e 9 %, afetando a produtividade da soqueira. Ver figura 5.

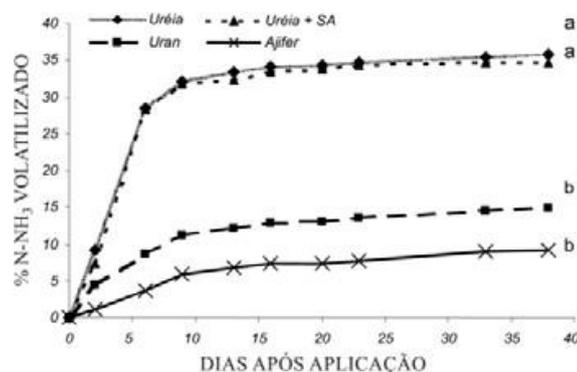


Figura 5. Perdas acumuladas de N- NH_3 provenientes de fontes nitrogenadas aplicadas sobre palha de cana-de-açúcar.

Vitti et al. (2007) aplicando 70 kg ha⁻¹ nas formas de SA, nitrato de amônio (NA), UR e U em área total de soqueira com presença de palha verificaram perdas acumuladas de N-NH₃ de 3; 4,2; 9,3 e 26,0 % do N aplicado, com produtividade de colmos respectivas de 76,0; 65,6; 63,7 e 57,0 Mg ha⁻¹, afetando portanto a produtividade. Duarte et al. (2007) aplicando 100 kg ha⁻¹ de N-U em superfície de solo seco, úmido, saturado e com lamina de água detectaram perdas baixas (até 16 % do N aplicado). Este fato pode ser parcialmente atribuído, segundo comentam os autores, ao método empregado na captura da amônia, sem uso de curva de calibração para estimar-se perdas reais, no qual o dispositivo semiaberto estático, que permanece isolado da ação do vento durante o período de avaliação, pode subestimar a perda real de N por

volatilização de amônia. Lara Cabezas et al. (2000) verificaram perdas de N-NH₃ significativas quando aplicaram em superfície na entrelinha da cultura de milho em cobertura, fertilizantes mostrados na Figura 6. Em ordem decrescente, para as fontes aplicadas em superfície, as perdas foram de 54, 41, 17 e 14 % do N aplicado (100 kg ha⁻¹ de N), para a U, U + KCl, UR e UR + KCl, respectivamente. Cabe salientar que as maiores perdas mostraram relação com a maior concentração do N-amídico no fertilizante (U 45% e UR 14%). A incorporação das fontes (5-7 cm de profundidade), mostrou ser a forma mais eficiente de controlar as perdas (5,0 e 3,5 % do N aplicado, para as fontes U e UR, respectivamente). Diversos autores têm demonstrado claramente que a incorporação da U diminui efetivamente as perdas de amônia.

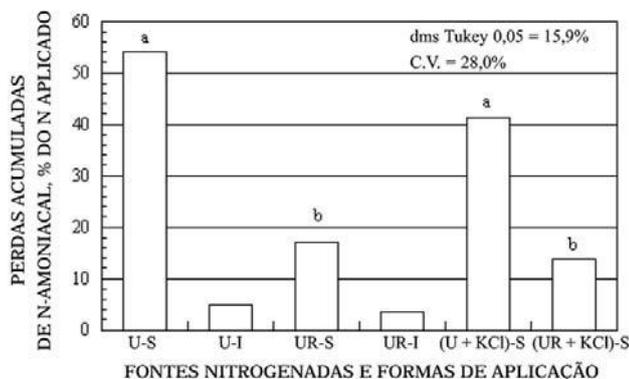


Figura 6. Perdas de N-NH₃ de diferentes fontes nitrogenadas aplicadas em superfície e incorporadas.

Considerando os valores estimados pelo ajuste (Figura 7), pode-se estimar uma redução de 9,9 kg ha⁻¹ de grãos para cada 1 % de N volatilizado. Portanto, para uma perda por volatilização de 50 % do N aplicado na superfície, a redução na produtividade seria, em média, de 495,0 kg

ha⁻¹ de grãos (8,3 sacas de milho) (Lara Cabezas et al., 2000). Em trabalhos anteriores, realizados em diferentes épocas e condições experimentais, foram obtidos resultados similares (Lara Cabezas et al., 1997a,b).

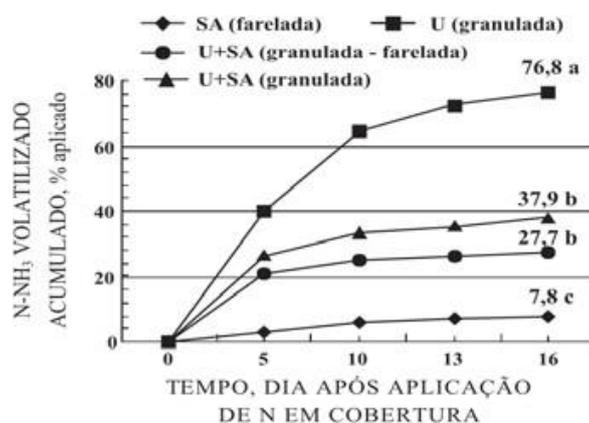


Figura 8. Perdas de N-NH₃ volatilizado acumulado de misturas de grânulos utilizados em cobertura nitrogenada, Uberlândia (MG).

Rojas et al. (2012) comprovaram que as perdas de N por volatilização pela aplicação superficial de U são superiores no sistema plantio direto em comparação ao preparo convencional, o que pode estar relacionado à maior atividade da urease na camada superficial do solo. As maiores taxas de volatilização no sistema plantio direto ocorrem nos primeiros cinco dias após a aplicação da U e são altamente influenciadas pelo volume de chuvas nesse período. A utilização de diferentes plantas de cobertura de solo antecedendo o milho não altera as perdas de N por volatilização no sistema plantio direto.

Martha Junior et al. (2004) estimaram as perdas de N-NH₃ por volatilização em pastagem de capim-Tanzânia adubada com U durante um ciclo de pastejo de verão. A combinação de elevada umidade de solo, ausência de chuvas durante o primeiro dia

depois da adubação e altas temperaturas determinou elevadas perdas de amônia, 44 % do N aplicado em média das adubações com 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N-U, sendo maiores nas doses mais elevadas.

Economia da aplicação da ureia incorporada ou em superfície

Na Tabela 1 se apreciam os custos diretos da aplicação superficial e incorporada da U, com base no cálculo para 100 ha, considerando-se o valor do fertilizante e a aplicação (maquinário, mão de obra (MO) e combustível). Como esperado, a incorporação da U apresenta um custo de 2,67 vezes a mais que a aplicação superficial. A incorporação requer maquinário de maior potência e maior tempo em relação a aplicação superficial, o qual é de conhecimento do produtor. De aí a sua escolha pela aplicação menos onerosa.

Tabela 1. Custos (US\$) da fertilização de 100 ha de milho numa dose de 100 kg ha⁻¹ de N.

Modo de aplicação	----- Custos (US\$) -----		
	Fertilizante	Aplicação	Total
Ureia superficial	6.787	150,6	6.937,60
Ureia incorporada	6.787	401,7	7.188,70

Ureia (45 % N), R\$ 0,73/kg, 1 US\$ = R\$ 2,39 (22/09/2014)

Aplicação superficial: R\$ 3,60/há (Maquinário, MO e diesel Fonte: CERETTA, C.A. Nitrogênio. Aula 05, 2009.

<http://w3.ufsm.br/solos/antigo/PDF/fertilidade%20do%20solo/Aula%20N-05%20maio-2009.pdf>, acesso em 25/09/2014.

Entretanto a situação muda quando considerado o valor das perdas de N-NH₃ e como afetam o rendimento esperado (Tabela 2). Com base nas perdas mostradas na Figura 6 de 54 % para a U à superfície e 4 % incorporada e que para cada quilo de N-volatilizado são deixados de produzir 9,9 kg de grãos (Figura 7), para 100 ha são deixados de produzir 53.460 kg de grãos (891 sacas de 60 kg cada) e 3.960 kg de grãos (60 sacas), respectivamente. Desta

forma 759 e 1.584 sacas para 100 ha são produzidas para U em superfície e incorporada, respectivamente. O que anteriormente se mostrava favorável a aplicação em superfície da U se reverte para a incorporação quando consideradas as perdas gasosas. Este paradigma deverá ainda cair. A U deve ser incorporada considerando os fatores técnicos, econômicos e ambientais.

Tabela 2. Lucro direto da aplicação superficial e incorporada de U (100 kg ha⁻¹ de N) considerando o N- volatilizado para 100 ha de milho.

Modo de aplicação	N-volatilizado % do aplicado	N-ureia potencial	Acréscimo estimado	
		recuperado na planta kg ha ⁻¹	Sacas/100 ha ⁽¹⁾	US\$/100 ha ⁽²⁾
Superfícia	54,0	46,0	759	7.013,16
Incorporado	4,0	96,0	1.584	14.636,16

(1) Sacas produzidas pelo N-U recuperado, com base na produção de 9,9 kg ha⁻¹ de grãos para cada quilo de N.

(2) Valor saca 60 kg; US\$ 9,24 (24/09/2014).

A margem líquida para U em superfície seria de Tabelas 1 e 2, US\$ 75,56 e para incorporada US\$ 7.447,46.

Controle de perdas de N-NH₃ pela adição de inibidor de urease à U

Em 2006, a participação da U na matriz de nitrogenados tanto no Brasil como no mundo alcançou 52 %. Pelo fato de possuir teor de N mais alto comparado aos demais fertilizantes nitrogenados, proporciona um preço mais atrativo por tonelada de N, apresentando o mais baixo custo de transporte e estocagem por unidade de N

(Facre, 2007). A urease é produzida por bactérias e fungos do solo, podendo ser gerada por resíduos de plantas e animais, e sua atividade fornece uma indicação do potencial do solo em converter N orgânico em mineral. Por estar ligada à atividade microbiana, os fatores como concentração do substrato, umidade, temperatura e pH do solo afetam a atividade enzimática (Dharmakeerthi y Thenababu, 1996;

Okumura y Mariano, 2012). Aumentos de temperatura entre 10 °C a 40 °C aumentam a atividade enzimática (Lai y Tabatabai, 1992), com sua inativação a temperaturas acima de 70 °C (Pettit et al., 1976). Apresenta maior atividade em solos a pH neutro ou ligeiramente alcalinos (Perez-Matoes y Gonzalez-Carcedo, 1988). A atividade da urease aumenta até o ponto de capacidade de campo, diminuindo tanto para uma condição de maior umidade, assim como perto do ponto de murchamento permanente (Vlek y Carter, 1983; Sahrawat, 1984). Aumento na quantidade de substrato (ureia) favorece a sua atividade (Overrein y Moe, 1967), assim como a incorporação de material orgânico que promove a atividade microbiana no solo (Balasubramaniun et al., 1972).

Novas tecnologias têm sido implementadas para retardar a rápida hidrólise da U no solo: U granulada com materiais de recobrimento com baixa solubilidade em água; derivados da U mais lentamente hidrolisados pela urease e atualmente de forma mais promissora, a utilização de inibidores da urease (Dharmakeerthi y Thenababu, 1996), entre os quais se sobressai o NBPT (Tiofosfato de N-n-Butiltriâmidato) o qual é um inibidor indireto da urease, visto que deve ser convertido ao seu análogo de oxigênio (Fosfato de N-n-Butiltriâmidato) -NBPTO- que é o verdadeiro inibidor (Cantarella y Marcelino, 2007). Byrnes y Freney (1995) assinalam que o inibidor de urease deve atender aos seguintes requisitos: a) o inibidor deve mover-se com a U sem ser absorvido pelo solo, b) deve ser estável nos solos, mas ser, em última instância degradado para evitar resíduos, c) deve ser barato para competir com outras opções de manejo de N, d) deve ser compatível com métodos de produção de U e ser estável em

mistura com U, e) dever ter grande demanda para garantir sua comercialização e f) o N não volatilizado não deve estar sujeito a outros mecanismos de perda.

A formulação comercial contendo de 20 % a 25 % de NBPT, patenteada com o nome Agrotain® está disponível no mercado para ser misturada com fertilizantes nitrogenados já fabricados. O inibidor ocupa o sítio de reação da urease inativando-a, retardando o início e reduzindo a velocidade da volatilização amoniacal por aproximadamente 14 dias (Martins et al., 2010). A formulação comercial em uso é empregada em concentrações de inibidor de NBPT entre 500 a 1000 mg kg⁻¹ de ureia, sendo que no Brasil a dose que vem sendo usada é de cerca de 530 mg kg⁻¹. Watson (2005) citando outros autores assinala que a avaliação de concentrações crescentes de inibidor NBPT: 100, 500, 1.000, 2.500 e 5.000 mg kg⁻¹ de U em pastagem reduziu as perdas de N-NH₃, sendo eficaz o inibidor numa concentração de 1.000 mg kg⁻¹ de U. Em condições tropicais talvez seja necessário usar maiores concentrações de inibidor uma vez que em altas temperaturas o inibidor é menos eficaz. Sanz-Cobena et al. (2008) aplicando ureia na dose de 170 kg ha⁻¹ de N-U com inibidor (1.400 mg kg⁻¹ de U) e sem inibidor NBPT, verificaram perdas acumuladas de N-NH₃ de 10,0 kg ha⁻¹ e 17,3 kg ha⁻¹ respectivamente, após 36 dias de efetuada a adubação. Rawluk et al. (2001) utilizando concentrações de NBPT de zero, 500; 1.000 e 1.500 mg kg⁻¹ de U aplicada na dose de 100 kg ha⁻¹ de N em solo argiloso e arenoso verificaram após 21 dias, que as perdas gasosas de N-NH₃ foram maiores em solo arenoso que argiloso e que o uso de inibidor na concentração de 500 mg kg⁻¹ de ureia foi suficiente para reduzir as perdas.

Diversos trabalhos são encontrados na literatura comparando o efeito de inibidores da urease adicionados a U em relação a U exclusiva, nas perdas gasosas de volatilização de N-NH₃ em diversas culturas e de manejo das fontes submetidas a diferentes condições ambientais de solo e clima (Schlegel et al., 1986; Watson et al., 1990; Cantarella et al., 2008; Pereira et al., 2009; Bart, 2009; Fontanetto et al., 2010; Scudeler et al., 2011; Grohs et al., 2011; Tasca et al., 2011; Kaneko et al., 2013; Ventimiglia y Baudrix, 2013; Prando et al., 2013; Bernardes et al., 2014).

Pereira et al. (2009), avaliando U, U + NBPT e U revestida com polímeros, na dose de 80 kg ha⁻¹ de N no cultivo de milho safrinha no Cerrado, entretanto, não observaram diferença significativa na produtividade de milho safrinha entre as fontes, embora constatado maior perda por volatilização de N-NH₃ pela aplicação da U exclusiva. Bernardes et al. (2014) também não observaram diferença significativa na produção de feijoeiro irrigado comparando diferentes fontes de U aditivada com inibidores. Grohs et al. (2011) tampouco observaram diferença de produtividade em feijoeiro irrigado em sistema plantio direto e convencional. Bart (2009) observou comportamento similar das fontes de U com e sem inibidor em soqueira de cana-de-açúcar. O efeito principal do inibidor parece portanto estar mais estreitamente relacionado com efetiva redução da volatilização de N-NH₃ acumulada, com atraso na expressão da taxa de perdas o que não significa que isso venha a refletir-se em aumentos de produtividade. Aparentemente a produtividade está relacionada mais estreitamente com as condições ambientais (clima e solo) posterior à aplicação das fontes e não à presença do inibidor (Zhengping et al.,

1991). O SA (Fontanetto et al., 2014) e NA (Cantarella et al., 2008) tem sido utilizadas como fontes testemunhas, visto que é sabido que apresentam perdas insignificantes de N-NH₃ volatilizado. Como verificado por Vitti et al. (2002) o SA utilizado como fonte de N e de enxofre (S), não sofre volatilização de N-NH₃ quando o pH do solo é inferior a 7, mesmo sendo aplicado sobre restos de cultura. No experimento desses autores, a mistura de U (330 mg) com SA (300 mg) reduziu significativamente as perdas de N-NH₃ sem afetar a qualidade da mistura em relação aos atributos físico-químicos. Considerando tal característica desse sal, verificou-se que a recuperação de N é mais eficiente quando a aplicação de U é realizada em mistura com SA no mesmo grânulo, como já registrado por Villas Bôas, (1995).

Segundo assinalam Cantarella y Marcelino (2006) é pouco provável que a U venha a ser substituída por outro fertilizante em curto prazo, se é que o será no futuro. Assim, o NBPT, embora venha apresentando eficiência apenas relativa para reduzir o principal problema associado ao emprego da U, é uma alternativa que não pode ser desconsiderada. A economicidade do uso deste composto dependerá dos preços relativos da U com o de outras fontes não sujeitas a perdas por volatilização de NH₃ em solos ácidos, do preço da U tratada com o inibidor e das condições de uso, que podem favorecer em diferentes graus a eficiência do uso do inibidor.

REFERÊNCIAS

- Balasubramaniun, A.; Siddaramappa, R.; Rangaswami, G. (1972). Effect of organic manuring on the activities of the enzymes hidrolising sucrosa and

- urea on soil aggregation. *Plant and Soil*, 37: 319- 328
- Bart, G. (2009). Inibidores de urease e de nitrificação na eficiência de uso de adubos nitrogenados. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 78p
- Bernardes, T.G.; Da Silveira, P.M.; Mesquita, M.A.; Da Cunha, P.C. (2014). Resposta do feijoeiro de outono-inverno a fontes e doses de nitrogênio em cobertura. *Biosci. J.*, 30:458-468
- Bremner, J.M.; Douglas, L.A. (1971). Decomposition of urea phosphate in soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 35:575-578
- Byrnes, B.H.; Freney, J.R. (1995). Recent developments on the use of urease inhibitors in the tropics. *Fertilizer Research* 42:251-259
- Cantarella, H.; Marcelino, R. O. (2006). Uso do inibidor de urease para aumentar a eficiência da ureia. In: *Simpósio Sobre Informações Recentes Para Otimização Da Produção Agrícola*, 1, Piracicaba, 2006. Anais... Piracicaba: IPNI
- Cantarella, H.; Marcelino, R. O. (2007). Uso de inibidor de uréase para aumentar a eficiência da ureia. In: *Simpósio Sobre Informações Recentes Para Otimização Da Produção Agrícola*, Piracicaba, 2007. Anais. Piracicaba, IPNI, CD-ROM
- Cantarella, H.; Trivelin, P.C.O.; Contin, T.L.M.; Dias, F.L.F.; Rossetto, R.; Marcelino, R.; Coimbra, R.B.; Quaggio, J.A. (2008). Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. *Sci. Agric.*, 65:397-401
- Costa, M.C.G.; Vitti, G.C.; Cantarella, H. (2003). Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar sem despalha a fogo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:631-637
- Dharmakeerthi, R.S.; Thenabadu, M.W. (1996). Urease activity in soils: a review. *J. Natn. Sci. Coun. Sri Lanka*, 24: 159-195
- Duarte, F.M.; Pocojeski, E.; Silva, L.S.; Graupe, F.A.; Britzke, D. (2007). Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia com aplicação de ureia em solo de várzea com diferentes níveis de umidade. *Ciência Rural*, 37: 705-711
- Faria, L.A. (2013). Dinâmica do nitrogênio proveniente de ureia combinada a tecnologias redutoras de volatilização. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALq/USP).. 101p. (Tese de Doutorado)
- Facre, W.R. (2007). Três formas de fertilizantes nitrogenados e o futuro. In: IPNI-Brasil. *Informações Agronômicas*, 120. Piracicaba, IPNI-Brasil, p. 5-6
- Fontanetto, H.; Keller, O.; Giailevra, D.; Negro, C.; Belotti, Y. (2014). Fuentes nitrogenadas en trigo: su efecto sobre los rendimientos y las pérdidas de nitrógeno por volatilización. <<http://www.agrositio.com.uy/vertext/vertext.asp?id=19690ys e=12>>, acesso em 26/05/2014.
- Grohs, M.; Marchesan, E.; Santos, D.S.; Massoni, P.F.; Sartori, G.M. Ferreira, R. B. (2011). Resposta do arroz irrigado ao uso de inibidor em plantio direto e convencional. *Ci. Agrotec.*, 35:336- 345
- Kaneko, F.H.; Leal, A.J.F.; Anselmo, J.L.; Buzetti, S.; Tosta, F.S. (2013). Fontes e manejos da adubação nitrogenada em algodoeiro. *Pesq. Agropec. Trop.*, 43:57-63
- Lai, C.M.; Tabatabai, M.A. (1992). Kinetic parameters of immobilized urease. *Soil Biol. Biochem.*, 24: 225- 228
- Lara Cabezas, W.A.R.; Korndörfer, G.H.;

- Motta, S.A. (1997a). Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: I Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. R. Bras. Ci. Solo, 21:481-487, 1997a.
- Lara Cabezas, W.A.R.; Korndörfer, G.H.; Motta, S.A. (1997b). Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema plantio direto e convencional. R. Bras. Ci. Solo, 21:489-496
- Lara Cabezas, W.A.R.; Trivelin, P.C.O.; Bendassolli, J.A.; Santana, D.G.; Gascho, G.J. (1999). Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizers. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 30:389-406
- Lara Cabezas, W.A.R.; P. C. O. Trivelin, P.C.O.; Kondörfer, G.H.; Pereira, S. (2000). Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluída de cobertura na cultura de milho, em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro (MG). R. Bras. Ci. Solo, 24:363-376
- Lara Cabezas, W.A.R.; Alves, B.J.R.; Caballero, S.S.U.; Santana, D.G. (2004). Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado. Ciência Rural, 34:1005-1013
- Lara Cabezas, W.A.R.; Souza, M.A. (2008). Volatilização de amônia, lixiviação de nitrogênio e produtividade de milho em resposta à aplicação de misturas de ureia com sulfato de amônio ou com gesso agrícola. R. Bras. Ci. Solo, 32:2331-2342
- Lara Cabezas, W.A.R.; Moreno, L.S.B. (2014). Volatilização de N-NH₃ da ureia aplicada em cobertura: I Efeito da concentração do inibidor de urease na produtividade de milho na região Noroeste Paulista. R. bras. Ci. Solo
- Martha Jr, G.B.; Corsi, M.; Trivelin, P.C.O.; Vilela, L.; Pinto, T.L.F.; Teixeira, G.M.; Manzoni, C.S.; Barioni, L.G. (2004). Perda de amônia por volatilização em pastagem de Capim- Tanzânia adubada com ureia no verão. R. Bras. Zootec., 33:2240-2247, (Supl. 3)
- Martins, F. C.; Alovisi, A. M. T.; Martinelli, W. A. (1974). Resposta da Cultura do Milho Irrigado a Aplicação de Diferentes Fontes de Nitrogênio. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO 28, Goiânia, 2010. Anais. Goiânia, Associação Brasileira de Milho e Sorgo. CD-ROM. MILLS, R.A.; BARKER, A.V.; MAYNARD, D.N. Ammonia volatilization from soils. Agron. J., 66:355-358
- Nõmmik, H. (1973). The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. Plant and Soil, 39:309-318
- Okumura, R. S.; mariano, D. C. (2012). Aspectos agronômicos da ureia tratada com inibidor de urease. Ambiência Guarapuava (PR), 8:403 - 414
- Overrein, L.N.; moe, P.G. (1967). Factors affecting urea hidrolisis and ammonia volatilization. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 31: 56-57
- Pereira, H.S.; Leão, A.F.; Verginassi, A.; Carneiro, M.A.C. (2009). Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. R. Bras. Ci. Solo, 33:1685-1694
- Perez-Matoes, M. y Gonzalez-Carcedo, S. (1988). Assay of urease activity in soil columns. Soil Biol. Biochem., 20: 567-572
- Pettit, M.N.; Smith, A.R.J.; Freedman, R.B.; Burns, R.G. (1976). Soil urease: activity, stability and kinetic parameters. Soil

- Biol. Biochem., 8: 479-484
- Prando, A.M.; Zucareli, C.; Fronza, V.; De Oliveira, F.A.; Oliveira Júnior, A. (2013). Características produtivas do trigo em função de fontes e doses de nitrogênio. *Pesq. Agropec. Trop.*, 43:34-41
- Prasad, M. (1976). Gaseous loss of ammonia from sulfur-coated urea, ammonium sulfate, and urea applied to calcareous soils. *Soil Sc. Soc. Am. J.*, 40:130-134
- Port, O.; Aita, C. y Giacomini, S.J. (2003). Perda de nitrogênio por volatilização de amônia com o uso de dejetos de suínos em plantio direto. *Pesq. Agropec. bras.*, 38:857-865
- Rawluk, C.D.L.; Grant, C.A.; Racz, G.J. (2001). Ammonia volatilization from soils fertilized with urea and varying rates of urease inhibitor NBPT. *Can. J. Soil Sci.*, 81:239-246
- Rao, D.L.; Batra, L. (1983). Ammonia volatilization from applied nitrogen in alkali soils. *Plant and Soil*, 70:219-228
- Rojas, C.A.L.; Bayer, C.; Fontoura, S.M.V.; Weber, M.A.; Vieiro, F. (2012). Volatilização de amônia da Ureia alterada por sistemas de preparo de solo e plantas de cobertura invernais no Centro-Sul do Paraná. *R. Bras. Ci. Solo*, 36:261-270
- Sahrawat, K.L. (1984). Effect of temperature and moisture on urease activity in semi-acid tropical soils. *Plant and Soil*, 78:401-408
- Sanz-Cobena, A.; Misselbrook, T.H.; Arce, A.; Mingot, J.I.; Diez, J.A.; Vallejo, A. (2008). An inhibitor of urease activity effectively reduces ammonia emissions from soil treated with urea under Mediterranean conditions. *Agric. Ecos. y Environ.*, 126:4243-4249
- Schlegel, A.J.; Nelson, D.W.; Sommers, L.E. (1986). Field evaluation of urease inhibitors for corn production. *Agron. J.*, 78:1007-1012
- Scudeler, F.; Venegas, F.; Cordeiro, R.N.; Lima, E. S. (2011). Avaliação técnica e econômica de fontes de nitrogênio em plantio e cobertura na cultura de milho (*Zea Mays* L.). *Ens. Ci. Biol. Agr. Saúde*, 15:67-75
- Tasca, F.A.; Ernani, P.R.; Rogeri, D.A.; Gatiboni, L.C.; Cassol, P.C. (2011). Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. *R. bras. Ci. Solo*, 35:493-502
- Ventimiglia, L.; Baudrix, L.T. (2013). Mejores prácticas de manejo de la fertilización de trigo: dos experiencias de INTA 9 de Julio - Buenos Aires, Argentina. *IAH 9 - Março*. P. 8-11. [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/C637ECC931E69D9C85257B340054D540/\\$FILE/8.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/C637ECC931E69D9C85257B340054D540/$FILE/8.pdf) acesso em 26/05/2017.
- Villas Bôas, R.L. (1995). Recuperação do nitrogênio da ureia pelo milho: efeito da mistura com sulfato de amônio, da dose e do modo de aplicação. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 128p. (Tese de Doutorado)
- Vitti, G.C.; Tavares Jr., J.E.; Luz, P.H.C.; Favarin, J.L.; Costa, M.C.G. (2002). Influência da mistura de sulfato de amônio com ureia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:663-671
- Vitti, A.C.; Trivelin, P.C.O.; Gava, G.J.C.; Franco, H.C.J.; Bologna, I.R.; Faroni, C.E. (2007). Produtividade de cana-de-açúcar relacionada à localização de adubos nitrogenados aplicados sobre resíduos culturais em canavial sem queima. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:491-498

- Vlek, P.L.G.; Carter, M.F. (1983). The effect of soil environment and fertilizer modifications on the rate of urea hydrolysis. *Soil Sci.*, 136: 56-63
- Watson, C.J.; Stevens, R.J.; Laughlin, R.J. (1990). Effectiveness of the urease inhibitor NBPT (N-(n-butyl) thiophosphoric triamide) for improving the efficiency of urea for ryegrass production. *Fertilizer Research*, 24:11-15
- Zhengping, W.; Van Cleemput, O.; Liantie, L.; Baert, L. (1991). Effect of organic matter and urease inhibitors on urea hydrolysis and immobilization of urea nitrogen in an alkaline soil. *Biol. Fert. Soils.*, 11:101-104