

Aspectos agronômicos da ureia tratada com inibidor de urease

Agronomic aspects of urease inhibitor-treated urea

Ricardo Shigueru Okumura^{1(*)}
Daiane de Cinque Mariano²

Resumo

O aproveitamento do nitrogênio aplicado em cobertura na forma de ureia é muito baixo, pois esta forma de adubo sofre grandes perdas por lixiviação, desnitrificação e principalmente por volatilização. É sabido que o processo de volatilização caracteriza-se pela hidrólise da ureia por meio da enzima urease, que é produzida por bactérias e fungos do solo e, que a quantificação da atividade da enzima urease nos fornece uma indicação do potencial do solo em converter nitrogênio orgânico em mineral e, por estar ligada à atividade microbiana os fatores como concentração do substrato, umidade, temperatura e pH do solo afetam a atividade enzimática do solo. Uma alternativa para minimizar as perdas de nitrogênio por volatilização é o tratamento prévio da ureia com inibidores da urease, a qual proporciona diminuição nas perdas de NH_3 volatilizado, pois ela atua ocupando o local ativo da enzima urease, que é responsável pela hidrólise da ureia e, dentre os produtos testados o NBPT [N-(n-butil) tiofosfórico triamida], tem demonstrado boa eficiência na redução das perdas. Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo fazer uma revisão de literatura sobre as possíveis perdas de nitrogênio do fertilizante na forma de ureia e aspectos agronômicos da ureia tratada com inibidor de urease.

Palavras-chave: NBPT; fertilizante nitrogenado; perdas de nitrogênio.

Abstract

The use of nitrogen applied as top dressing in the form of urea is very low, since this form of fertilizer suffers heavy losses due to leaching, denitrification and mainly by evaporation. It is known that the volatilization process is characterized by the hydrolysis of urea by the enzyme urease, which is produced by bacteria and fungi in the soil, and that the quantification of urease enzyme activity gives us an indication of the potential convert nitrogen in the soil mineral and organic, because

1 MSc.; Engenheiro Agrônomo; Doutorando em Agronomia na Universidade Estadual de Maringá, UEM; Endereço: Avenida Colombo, 5.790, Jardim Universitário, CEP: 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil; E-mail: ricardo_okumura@hotmail.com (*) Autor para correspondência.

2 MSc.; Engenheira Agrônoma; Doutoranda em Agronomia na Universidade Estadual de Maringá, UEM; Endereço: Avenida Colombo, 5.790, Jardim Universitário, CEP: 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil; E-mail: daianedecinque@gmail.com

it is linked to microbial activity factors such as substrate concentration, humidity, temperature and pH of soil affect soil enzymatic activity. An alternative to minimize losses of nitrogen through volatilization is the pre-treatment of urea with urease inhibitors, which provides a decrease in losses of NH_3 because it works occupying the active site of the enzyme urease, which is responsible for urea hydrolysis and among the products tested NBPT [N-(n-butyl) thiophosphoric triamide] has shown good performance in reducing losses. Thus, this paper aims to review the literature on possible losses of fertilizer nitrogen as urea and agronomic aspects of urea-treated urease inhibitor.

Key words: NBPT; nitrogen fertilizer; nitrogen losses.

Introdução

O manejo do nitrogênio tem sido uma das práticas agrícolas mais estudadas no sentido de melhorar a sua eficiência de uso (TRIVELIN et al., 2002; COSTA et al., 2003; CARVALHO et al., 2006; CANTARELLA et al., 2008). Essa necessidade existe porque a maior parte do nitrogênio do solo se encontra em combinações orgânicas, sendo essa forma indisponível para os vegetais. Uma alternativa de fornecer esse nutriente para as plantas é através do uso de adubos nitrogenados químicos como a ureia [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$], que é o fertilizante mais utilizado na agricultura (SOUSA; SILVA, 2009), devido o seu elevado teor de nitrogênio (45% de N) e o seu baixo custo por unidade do nutriente (URQUIAGA; MALAVOLTA, 2002).

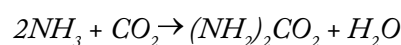
Entretanto, o aproveitamento pela planta do N-ureia aplicado via fertilizante é muito baixo. Isso ocorre devido às grandes perdas por lixiviação, desnitrificação e principalmente por volatilização, que podem acarretar perdas acima de 70% (LARA CABEZAS et al., 1997; CANTARELLA, 2007). Uma opção é o tratamento prévio da ureia com inibidores da urease, os quais proporcionam diminuição nas perdas de NH_3 por volatilização, pois atuam ocupando o local ativo da enzima urease, que é responsável

pela hidrólise da ureia (CANTARELLA, 2007). Dentre os produtos testados o NBPT [N-(n-butyl) tiofosfórico triamida], tem demonstrado boa eficiência na redução das perdas (GANS et al., 2006; CANTARELLA et al., 2008; SCIVITTARO et al., 2010).

Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo fazer uma revisão de literatura sobre as possíveis perdas de nitrogênio do fertilizante na forma de ureia e aspectos agrônômicos da ureia tratada com inibidor de urease.

Ureia

A ureia é um produto sintético de fórmula [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] (DIAS; FERNANDES, 2006; CHAGAS, 2007), cuja composição apresenta unicamente os elementos N, C, H e O, sendo que os três últimos são abundantes na natureza, na forma de diversos compostos, sendo vitais para os seres vivos (CO_2 e H_2O). A ureia apresenta-se na forma granulada e de cor branca, no entanto pode ser rosada conforme o processo de fabricação (MALAVOLTA, 2006). Ela é obtida por reação de amônia e gás carbônico sob alta pressão em presença de catalisador (CHAGAS, 2007), a reação simplificada do processo, é a seguinte:



Do ponto de vista agrícola, a ureia tem como grandes vantagens o teor elevado de N (45%), o baixo custo de transporte, a alta solubilidade, a menor corrosividade, a compatibilidade com inúmeros outros fertilizantes e defensivos, a alta taxa de absorção foliar, ser prontamente disponível para as plantas e de fácil manipulação e, causar menor acidificação no solo (URQUIAGA; MALAVOLTA, 2002; CONTIN, 2007; CANTARELLA et al., 2008; OI, 2008).

A despeito desses aspectos favoráveis, ela apresenta como característica indesejável à elevada higroscopicidade (CONTIN, 2007; OI, 2008) e maior susceptibilidade às perdas de N pelos processos de imobilização, lixiviação e volatilização.

Imobilização

A imobilização de N pela biomassa do solo constitui um dreno importante de N, de caráter transitório (LARA CABEZAS; COUTO, 2007), causando a diminuição da disponibilidade de N na solução do solo, principalmente no SPD, onde cerca de 25-30% do N é imobilizado (YAMADA; ABDALLA, 2000).

A imobilização é influenciada por diversos fatores, tais como temperatura, umidade, presença de O₂, biomassa de solo e os conteúdos de C e N do material orgânico adicionado ao solo (LOPES et al., 2004). De acordo com Burgess et al. (2002), e Lopes et al. (2004), a imobilização ocorre quando a relação C:N excede valores de 20:1 a 25:1.

Lixiviação

Segundo Sangoi et al. (2003a), o nitrato (NO₃⁻) é a forma mineral de nitrogênio predominante nos solos sem

restrição de oxigênio e, devido ao predomínio de cargas negativas na camada arável, a sua adsorção eletrostática é insignificante.

A lixiviação é influenciada pelos fatores que determinam o fluxo de água no solo e pela concentração de NO₃⁻ na solução; o tipo de solo, pois solos argilosos possuem maior capacidade de retenção de N, principalmente na forma de NH₄⁺, do que solos arenosos; o conteúdo de matéria orgânica no solo, em função da maior disponibilidade de nitrogênio decorrente da sua decomposição (SANGOI et al., 2003a), além de que a degradação da matéria orgânica estimula a nitrificação.

Acreditava-se que a principal perda de N do solo era por lixiviação, no entanto, esta perda é pequena. Coelho (1987), em pesquisa desenvolvida em um Latossolo Vermelho-Escuro, cultivado com milho, observou que dos 60 kg ha⁻¹ de N aplicado na forma de ureia tratado com ¹⁵N, apenas 2 kg ha⁻¹ de N (4%) foi perdido por lixiviação, sendo que 34 kg ha⁻¹ de N (56%) foi absorvido pela planta, e 14 kg ha⁻¹ de N (23%) permaneceu no solo na camada de 0-0,9 m, e o restante foi perdido por outros processos.

Volatilização

A perda de N por volatilização de NH₃ para a atmosfera é o principal fator responsável pela baixa eficiência da ureia aplicada sobre a superfície do solo (LARA CABEZAS et al., 1997; COSTA et al., 2003; SANGOI et al., 2003b; DA ROS et al., 2005), sendo essas perdas agravadas em SPD, onde os restos vegetais favorecem a rápida hidrólise do fertilizante, em razão do aumento da presença da enzima urease (LARA CABEZAS et al., 1997) além de que a cobertura vegetal reduz o contato da

ureia com o solo (SANGOI et al., 2003b; DA ROS et al., 2005), diminuindo assim a adsorção de NH_4^+ aos colóides orgânicos e inorgânicos, e com isso facilita a volatilização de amônia.

As perdas variam de 30-70% do N aplicado a lanço, em SPD (LARA CABEZAS et al., 1997), apresentando pico no 6º dia após aplicação em cobertura do fertilizante ureia (SANGOI et al., 2003b), assim como a máxima atividade da enzima urease ocorre entre o 7º e o 8º dia após a aplicação da ureia (LANNA et al., 2010).

O processo de volatilização varia em função das condições climáticas (CANTARELLA et al., 2008), tipo de solo (SANGOI et al., 2003b), teor de matéria orgânica no solo (LANNA et al., 2010), CTC do solo (COSTA et al., 2003) e a capacidade de tamponamento do pH (SANGOI et al., 2003b).

Enzima urease

O processo de volatilização envolve inicialmente a hidrólise da ureia por meio da enzima urease, pertencente ao grupo das hidrolases, que é produzida por bactérias e fungos do solo, sendo uma enzima ubíqua, isto é, encontrada em quase todos os solos e se trata de uma enzima relativamente persistente no solo, devido ao fato de ficar protegida da ação de outras proteases, permanecendo no interior de agregados do solo, onde o substrato (ureia) consegue penetrar, mas não moléculas de maior peso molecular como as proteases (PALUCCI, 2004).

Vale destacar que em decorrência das suas características, a quantificação da atividade da urease pode nos fornecer uma indicação do potencial do solo em converter nitrogênio orgânico em mineral (LANNA

et al., 2010) e, por estar ligada à atividade microbiana os fatores como concentração do substrato, umidade, temperatura e pH do solo afetam a atividade enzimática do solo (ZANTUA; BREMNER, 1977; LONGO; MELO, 2005).

Concentração do substrato

Estudos sobre a concentração de ureia em teste de atividade da urease mostraram que a velocidade de hidrólise da ureia é aumentada com o acréscimo na concentração do substrato, até atingir uma quantidade de ureia adicionada suficiente para saturar a enzima (ZANTUA; BREMNER, 1977). Longo e Melo (2005), estudando a velocidade de hidrólise em dois tipos de solos, sob diferentes concentrações de ureia ($0,039 - 5,0 \text{ g L}^{-1}$), observaram que no Latossolo Vermelho Aluminoférrico a velocidade máxima foi obtida na concentração de $3,30 \text{ g L}^{-1}$, enquanto para o Latossolo Vermelho distrófico típico o valor encontrado foi de $2,5 \text{ g L}^{-1}$.

Umidade

A atividade da urease em solos expostos a umidade ambiente pode ou não alterar a hidrólise da ureia tanto de forma positiva como negativa, sendo que este efeito varia com o tipo de solo estudado (LONGO; MELO, 2005).

Temperatura

Em estudos desenvolvidos por Longo e Melo (2005), estes observaram que o efeito da temperatura de incubação na velocidade de hidrólise da ureia aumentou significativamente dos 5° aos 50°C . Resultados similares foram obtidos por Zantua e Bremner (1977), que relataram que a atividade da urease aumentou significativamente no intervalo de temperatura

de 40° a 70°C, havendo um decréscimo rápido acima dos 71°C.

pH

De acordo com Longo e Melo (2005), existem vários estudos sobre os efeitos de diferentes valores de pH sobre a atividade da enzima urease, no entanto os resultados são muito divergentes. Esses mesmos autores relataram em seu estudo que a velocidade de hidrólise da ureia aumentou significativamente no intervalo de pH 2,2 até o pH 8,0

Matéria orgânica do solo

Segundo Santos e Camargo (1999), a intensidade do efeito da matéria orgânica do solo na atividade da enzima urease depende da sua disponibilidade como fonte energética para os microrganismos e também da facilidade de decomposição microbiana da matéria orgânica.

Os solos que suportam densas comunidades vegetais tendem a apresentar altos níveis de atividade dessa enzima, que é modificada significativamente quando há uma alteração no tipo de vegetação. Foi verificado, também, que existe maior atividade da enzima urease no sistema plantio direto em comparação ao convencional, uma vez que o sistema plantio direto promove incrementos no teor de matéria orgânica do solo, devido a manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo, evidenciando uma correlação positiva entre atividade de urease com o teor de matéria orgânica do solo (LANNA et al., 2010).

Hidrólise da ureia

Como resultado da hidrólise da ureia pela enzima urease, tem-se a formação de carbonato de amônio, que em seguida desdobra-se em gases NH₃ e CO₂, além da

água (OLIVEIRA; CAIRES, 2003), como mostrado na reação a seguir:



Parte do NH₃ formado reage com íons H⁺ da solução do solo e com íons H⁺ dissociáveis do complexo coloidal, resultando no cátion NH₄⁺ (COSTA et al., 2003). Entretanto, a neutralização da acidez potencial determina a elevação do pH, que pode atingir valores de 8,7 na região próxima aos grânulos do fertilizante aplicado (RODRIGUES; KIEHL, 1992).

É sabido da importância do umedecimento do solo após a aplicação de ureia em cobertura, devido o NH₄⁺ e o OH⁻, resultantes da hidrólise enzimática da ureia, serem transportados pela água para o interior do solo (LARA CABEZAS et al., 1997), onde será convertido a NO₂ e, posteriormente, para NO₃⁻. Além de ocorrer adsorção do OH⁻ pelo solo durante o processo de hidrólise, interrompendo assim a formação de NH₃. Este processo é mais efetivo quando o pH do solo é baixo, que é característica dos solos brasileiros.

Alternativa para minimizar as perdas de nitrogênio

Uma alternativa, de minimizar as perdas de ureia por volatilização e aumentar assim a sua eficiência, é o tratamento prévio desse fertilizante com inibidores da urease (CANTARELLA et al., 2008; SCIVITTARO et al., 2010; CIVARDI et al., 2011), que atuam sobre a molécula da ureia por um período pré-determinado, minimizando a volatilização de NH₃, pois agem retardando as reações que levam a volatilização de NH₃, até que a ureia possa ser incorporada pela chuva. Dentre os produtos testados como inibidor da urease, o NBPT

vem obtendo bons resultados (BREMNER; CHAI, 1986).

NBPT [n-(n-butil) triamida tiofosfórica]

O NBPT é um composto que apresenta teor de N, solubilidade e difusividade similares à da ureia (WATSON, 2000). Ele não é um inibidor direto da urease, haja vista que uma vez aplicado ao solo o NBPT tem que ser convertido ao seu análogo de oxigênio [N-(n-butil) fosfórico triamida] – NBPTO – que é o verdadeiro inibidor da atividade (CHRISTIANSON et al., 1990). A conversão do NBPT em NBPTO é rápida em solos bem arejados, ocorrendo em alguns minutos ou horas, porém pode levar vários dias em condições de solos inundados (WATSON, 2000).

O NBPT atua inibindo a atividade da enzima urease, pois ela ocupa o local ativo, ocasionando uma desaceleração na atividade da enzima (CHRISTIANSON et al., 1990), e refletindo em menor perda de NH_3 por volatilização (CANTARELLA et al., 2008). Além de que, o atraso na hidrólise reduz a concentração de NH_3 presente perto da superfície do solo, o que reduz o potencial de volatilização e aumenta a possibilidade da chuva incorporar a ureia no perfil do solo (RAWLUK et al., 2001).

A eficácia do NBPT na redução da volatilização de NH_3 depende não apenas da quantidade de enzima, mas também da taxa de conversão de NBPT a seu oxigênio análogo (NBPTO) em contato com o solo e também das taxas de degradação dos dois compostos.

O inibidor é dependente das condições climáticas. Onde há ocorrência de chuvas, suficientes para incorporar a ureia ao solo, em um intervalo de 3 - 7 dias após a adubação é a condição que mais favorece a eficiência do NBPT em reduzir as perdas por volatilização

de NH_3 , porém, mesmo na ausência de chuvas, alguma redução na volatilização tem sido observada (CANTARELLA; MARCELINO, 2007). Entretanto, não se pode presumir que uma redução da volatilização de NH_3 se traduzirá em um aumento no rendimento agrícola, em decorrência da produtividade da cultura ser influenciada por diversos outros fatores, além da nutrição por N.

Segundo Watson et al. (1994), o uso de NBPT é mais vantajoso quando as condições são favoráveis à alta volatilização de NH_3 da ureia, como solos arenosos com elevada atividade da urease e da acidez, baixa CTC e MO. Esses mesmo autores relatam que sua eficiência é negativamente correlacionada com os teores de carbono orgânico ($r = -0,70$), de N total ($r = -0,76$) e de argila ($r = -0,63$), além da CTC ($r = -0,67$) e da área de superfície ($r = -0,66$), e é positivamente correlacionada com o conteúdo de areia ($r = 0,61$), mas não é significativamente correlacionado com o pH, conteúdo de silte, atividade da urease e com o CaCO_3 .

Independente da condição ser favorável ou não, a ureia se hidrolisa rapidamente, tornando-se suscetível às maiores perdas por volatilização de NH_3 logo na primeira semana após sua aplicação, sendo exatamente nesse período que a atuação de NBPT é mais evidente (RAWLUK et al., 2001; AGROTAIN®, 2001). O produto age retardando a hidrólise e ocasionando uma diminuição na taxa de volatilização, favorecendo assim a difusão do fertilizante para o interior do solo. Além disso, devido à hidrólise mais lenta, a elevação do pH ao redor do grânulo do fertilizante não é tão rápida (MIKKELSEN, 2009).

O NBPT tende a ser menos eficiente em altas temperaturas, devido à ocorrência de

maior atividade da urease, ocasionando a maior dissolução dos grânulos e consequentemente maior evaporação da solução do solo, provocando a movimentação da NH_3 em direção à superfície e também porque, em temperaturas elevadas a taxa de hidrólise pode ultrapassar a taxa de conversão de NBPT para NBPTO (RAWLUK et al., 2001).

Bremner e Chai (1986) observaram diminuição da eficiência do NBPT com a elevação da temperatura de 10° a 40°C, e esse efeito foi maior nas leituras realizadas no período de 14 dias após a aplicação de N em comparação com os de 3 e 7 dias. Resultados similares foram relatados por Carmona et al. (1990), que verificaram aumento da hidrólise da ureia com a elevação da temperatura e com o passar dos dias, no entanto ela é maior na ausência e/ou diminuição da concentração do inibidor, verificando que após 6 dias e a uma temperatura de 32°C a hidrólise da ureia foi de 99,3%, já a da ureia tratada com NBPT (0,10%) apresentou 60,7%, em consequência a volatilização de NH_3 nesse mesmo período originou valores de 41,6% (ureia) e 9,9% (ureia tratada com NBPT).

Assim, em condições adversas e longo período de exposição do inibidor, são necessárias maiores concentrações de NBPT para alcançar os mesmos índices de inibição que seriam obtidos em condições favoráveis (WATSON et al., 1994; CARMONA et al., 1990; BREMNER; CHAI, 1986; SCHLEGEL et al., 1986).

No solo a eficiência do inibidor varia consideravelmente dependendo do tipo de solo, das condições edafoclimáticas e do crescimento da planta, verificando que em uma temperatura de 25° a 32°C, após 6-7 dias de aplicado o fertilizante, mais de 50% do N proveniente da ureia é perdido por volatilização na forma de NH_3 , e quando a ureia é tratada com NBPT percebe-

se que essa perda é inferior a metade do apresentado pela ureia, ou seja, apenas 10-20% é volatilizado (ZHENGPIPING et al., 1996; CARMONA et al., 1990). Além de retardar a hidrólise da ureia, ela também influencia na distribuição das diferentes formas de N, onde o NH_4^+ acumulado após 7 dias é de apenas 12%, e, com, isso proporciona baixos teores de NO_3^- e NO_2 durante esses primeiros dias (ZHENGPIPING et al., 1996).

Resultados de pesquisa

A ureia com NBPT vem sendo utilizada em diversas culturas, como no milho, arroz, trigo e azevém, com efeitos benéficos sobre o desenvolvimento dessas. Na cultura do milho, Schlegel et al. (1986), observaram que os teores de N no tecido vegetal com o uso do NBPT foi de 28,7 e 28,2 g kg^{-1} de N na concentração de NBPT à 2,0% e 0,5%, respectivamente, e a ureia foi de 25,6 g kg^{-1} de N, refletindo em aumento da produtividade pelo uso do inibidor e do aumento da dose.

Watson et al. (1994) pesquisando a eficiência na cultura do azevém (*Lolium perenne* L.), observaram uma diminuição da volatilização de NH_3 com a utilização do inibidor de urease, verificando que houve um acréscimo na produção de matéria seca com o uso do NBPT, e esse aumento foi de 9% quando comparado à somente ureia.

Edmeades (2004) estudou a aplicação em cobertura de NBPT em pastagem, os resultados mostram efeitos benéficos sobre a redução da lixiviação (53%), volatilização (69%) e no aumento da resposta do N pela pastagem (69%).

Scivittaro et al. (2010), com estudo a campo, cultivando arroz irrigado, obtiveram que a aplicação de ureia tratada com NBPT no período de 10 dias antes da entrada de

água, proporcionou o maior acúmulo de N na parte aérea da planta, sendo de 153,7 kg ha⁻¹ em relação a 132,0 kg ha⁻¹ pela U. Essa maior concentração refletiu na produtividade da cultura, podendo observar que o tratamento submetido com a ureia tratada com NBPT produziu 700 kg ha⁻¹ a mais que a U.

Gioacchini et al. (2002), com a cultura do trigo, observaram que o NBPT foi capaz de reduzir significativamente as perdas por volatilização tanto no solo argiloso como no arenoso em 89 e 47%, respectivamente. Entretanto, o inibidor não foi capaz de aumentar o teor de N na planta e no grão.

Em estudo com cana-de-açúcar colhida sem despalha, Barth et al. (2006), observaram perdas de NH₃ de cerca de 24% do N aplicado com ureia e de 10% do N aplicado com ureia tratada com NBPT, uma redução das perdas de mais de 50% com o uso do inibidor. Resultado semelhante foi relatado por Cantarella et al. (2008), que verificaram uma volatilização de 25% com o uso de U e de 15% com o inibidor. Esses resultados indicam que a adição de NBPT é capaz de reduzir as

perdas de N, proporcionando incrementos na produção da cultura.

Deve se considerar também a possibilidade de fitotoxicidade associada ao uso de NBPT (WATSON, 2000), pois esta é causada pela absorção de ureia por plantas, o que provoca queima na ponta das folhas. Não sabendo se esta é uma consequência direta da toxicidade da ureia ou um efeito indireto, no entanto, é transitória e ocorre em situações em que altas doses de ureia e inibidores são utilizados.

Considerações finais

Os estudos desenvolvidos no Brasil e em outros países mostram que o NBPT não é capaz de controlar completamente as perdas de NH₃, no entanto, o inibidor minimiza as perdas resultantes da aplicação em cobertura de ureia.

O potencial de ganho econômico usando a ureia tratada com NBPT é maior onde o risco da perda de amônia é alto e a cultura responde ao nitrogênio conservado no solo pelo inibidor.

Referências

- AGROTAIN. **Agrotain**: product information guidebook. Saint Louis, 2001. 55p. (AGROTAIN®).
- BARTH, G.; VITTI, G. C.; CANTARELLA, H.; VITTI, A. C. Volatilização de N-NH₃ quanto às fontes e doses de nitrogênio aplicadas sobre a palhada de cana-de-açúcar. In: Fertbio 2006, 2006, Bonito. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 1 CD-ROM. 4p.
- BREMNER, J. M.; CHAI, H. S. Evaluation of N-butyl phosphorothioic triamide for retardation of urea hydrolysis in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.17, n.3, p.337-351, 1986.
- BURGESS, M. S.; MEHUYS, G. R.; MADRAMOOTOO, C. A. Nitrogen dynamics of decomposing corn residue components under three tillage systems. **Soil Science Society of America Journal**, v.66, p.1350-1358, 2002.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p.375-470.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. Uso de inibidor de uréase para aumentar a eficiência da ureia. In: SIMPÓSIO SOBRE INFORMAÇÕES RECENTES PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA, 2007, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: IAC, 2007. 1 CD-ROM. 19p.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; CONTIN, T. L. M.; DIAS, F. L. F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R. B.; QUAGGIO, J. A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.65, n.4, p.397-401, 2008.

CARMONA, G.; CHRISTIANSON, C. B.; BYRNES, B. H. Temperature and low concentration effects of the urease inhibitor N-(n-butyl)thiophosphoric triamide (nBTPT) on ammonia volatilization from urea. **Soil Biology and Biochemistry**, v.22, n.7, p.933-937, 1990.

CARVALHO, A. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; KOZOVITS, A. R.; MIRANDA, L. N.; VIVALDI, L. J.; SOUSA, D. M. Nitrogen oxides emission related to urea broadcasting fertilization under conventional and no-tillage systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.4, p.679-685, 2006.

CHAGAS, A. P. The ammonia synthesis: some historical aspects. **Química Nova**, São Paulo, v.30, n.1, p.240-247, 2007.

CHRISTIANSON, C. B.; BYRNES, B. H.; CARMONA, G. A comparison of the sulfur and oxygen analogs of phosphoric triamide urease inhibitors in reducing urea hydrolysis and ammonia volatilization. **Fertilizer Research**, v.26, n.1-3, p.21-27, 1990.

CIVARDI, E. A.; SILVEIRA NETO, A. N.; RAGAGNIN, V. A.; GODOY, E. R.; BROD, E. Slow-release urea applied to surface and regular urea incorporated to soil on maize yield. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiás, v.41, n.1, p.52-59, 2011.

COELHO, A. M. **Balço de nitrogênio (¹⁵N) na cultura do milho (*Zea mays* L.) em um Latossolo Vermelho-Escuro fase cerrado**. 1987. 142 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1987.

CONTIN, T. L. M. **Urea treated with uréase inhibitor NBPT on sugarcane harvested without burning**. 2007. 55 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) - Instituto Agrônomo de Campinas, IAC, Campinas, 2007.

COSTA, M. C. G.; VITTI, G. C.; CANTARELLA, H. N-NH₃ losses from nitrogen sources applied over unburned sugarcane straw. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n.4, p.631-637, 2003.

DA ROS, C. O.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Ammonia volatilization after urea surface applied in corn no-tillage. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.4, p.799-805, 2005.

DIAS, V. P.; FERNANDES, E. **Fertilizantes: uma visão global sintética**. In: BNDES Setorial, Rio de Janeiro: BNDES, 2006. n.24, p.97-138

EDMEADES, D. C. **Nitrification and Urease Inhibitors. Environment Bay of Plant**. New Zealand, 2004. 32p.

GANS, W.; HERBST, F.; MERBACH, W. Nitrogen balance in the system plant-soil after urea fertilization combined with urease inhibitors. **Plant Soil Environment**, v.52, Special Issue, p.36-38, 2006.

GIOACCHINI, P.; NASTRI, A.; MARZADORI, C.; GIOVANNINI, C.; ANTISARI, L. V.; GESSA, C. Influence of urease and nitrification inhibitors on N losses from soils fertilized with urea. **Biology and Fertility of Soils**, v.36, n.2, p.129-135, 2002.

LANNA, A. C.; SILVEIRA, P. M.; SILVA, M. B.; FERRARESI, T. M.; KLIEMANN, H. J. Urease activity as influenced by planting system and plant cover in soil under common bean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.6, p.1933-1939, 2010.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da ureia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.3, p.481-487, 1997.

LARA CABEZAS, W. A. R.; COUTO, P. A. Nitrogen immobilization of urea and ammonium sulphate applied to maize before planting or top-dressing in a no-till system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.4, p.739-752, 2007.

LONGO, R. M.; MELO, W. J. Urea hydrolysis in oxisols: effects of substrate concentration, temperature, pH, incubation time and storage conditions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.4, p.651-657, 2005.

LOPES, A. S.; WIETHOLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. **Sistema plantio direto: Bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA, 2004. 115p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Editora Ceres, 2006. 631p.

MIKKELSEN, R. Ammonia emissions from agricultural operations: fertilizer. **Better Crops**, v.93, n.4, p.9-11, 2009.

OI, W. M. **Manejo do solo e da adubação nitrogenada em arroz de terras altas irrigado por aspersão**. 2008. 43f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, São Paulo, 2008.

OLIVEIRA, J. M. S.; CAIRES, E. F. Nitrogen fertilization as top dressing for the corn following Black oats under a no-tillage system. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.25, n.2, p.351-357, 2003.

PALUCCI, J. A. **Biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo degradado pela exploração de cassiterita adubado com compostos de diferentes granulometrias.** 2004. 113f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, UNESP, Jaboticabal, 2004.

RAWLUK, C. D. L.; GRANT, C. A.; RACZ, G. J. Ammonia volatilization from soils fertilized with urea and varying rates of urease inhibitor NBPT. **Canadian Journal of Soil Science**, v.81, p.239–246, 2001.

RODRIGUES, M. B.; KIEHL, J. C. Distribuição e nitrificação da amônia proveniente da ureia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.16, n.3, p.403–408, 1992.

SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; LECH, V. A.; RAMPAZZO, C. Nitrogen leaching as affected by urea application method and oat residue management in soils with contrasting textures. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.1, p.65–70, 2003a.

SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; LECH, V. A.; RAMPAZZO, C. Volatilization of N-NH₃ influenced by urea application forms, residue management and soil type in lab conditions. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.4, p.687–692, 2003b.

SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Gênese, 1999. 491p.

SCHLEGEL, A. J.; NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Field evaluation of urease inhibitors for corn production. **Agronomy Journal**, v. 78, p. 1007–1012, 1986.

SCIVITTARO, W. B.; GONÇALVES, D. R. N.; VALE, M. L. C.; RICORDI, V. G. Nitrogen losses by ammonia volatilization and lowland rice response to NBPT urease inhibitor-treated urea. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.6, p.1283–1289, 2010.

SOUSA, R. A.; SILVA, T. R. B. Typic Hapludox acidification with the application of nitrogen arising from urea, ammonium sulfate and sulfammo. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v.2, n.3, p.78–83, 2009.

TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. W.; VITTI, A. C.; GAVA, G. J. C.; BENDASSOLLI, J. A. Nitrogen losses of applied urea in the soil-plant system during two sugar cane cycles. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.2, p.193–201, 2002.

URQUIAGA, S.; MALAVOLTA, E. Ureia: um adubo orgânico de potencial para a agricultura orgânica. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.19, n.2, p.333–339, 2002.

WATSON, C. J.; MILLER, H.; POLAND, P.; KILPATRICK, D. J.; ALLEN, M. B. D.; GARRET, M. K.; CHRISTIANSON, C. B. Soil properties and the ability of the urease inhibitor N-(n-butyl)thiophosphoric triamide (nBTPT) to reduce ammonia volatilization from surface-applied urea. **Soil Biology and Biochemistry**, v.26, n.9, p.1165–1171, 1994.

WATSON, C. J. **Urease activity and inhibition** – Principles and practice. London: The International Fertilizer Society. Proceedings n.454, 2000. 40p.

YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. Como melhorar a eficiência da adubação nitrogenada do milho? **Informações Agronômicas**, Piracicaba: POTAFOS, n.91, p.1-5, 2000.

ZANTUA, M. I.; BREMNER, J. M. Stability of urease in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.9, n.2, p. 135-140, 1977.

ZHENGPING, W.; VAN CLEMPUT, O.; BAERT, L. Movement of urea and its hydrolysis products as influenced by moisture content and urease inhibitors. **Biology and Fertility of Soils**, v.22, n.1-2, p.101-108, 1996.