

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
MESTRADO EM MANEJO DO SOLO

FRANCIS ALEX TASCA

VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA A PARTIR DA APLICAÇÃO DE
DUAS FONTES DE NITROGÊNIO, EM LABORATÓRIO

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, para obtenção do título de Mestre em Manejo do Solo.

Orientador: Ph. D. Paulo Roberto Ernani

Co-orientador: Dr. Luciano Colpo Gatiboni

Co-orientador: Dr. Paulo Cezar Cassol

LAGES, SC

2009

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14ª Região
(Biblioteca Setorial do CAV/UDESC)

Francis Alex Tasca

Volatilização de amônia a partir da aplicação de duas
fontes de nitrogênio, em laboratório. / Francis Alex Tasca
Lages, 2009.
50 p.

Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências
Agroveterinárias / UDESC.

1. Uréia. 2. Uréia como inibidor de urease. 3. Amônia.
4. Solos - acidez. I. Título.

CDD – 631.42

FRANCIS ALEX TASCA
Engenheiro Agrônomo

**VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA A PARTIR DA APLICAÇÃO DE
DUAS FONTES DE NITROGÊNIO, EM LABORATÓRIO**

Trabalho de Dissertação de Mestrado aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo pela Universidade do Estado de Santa Catarina

Aprovado em: 29/05/2009
Banca Examinadora:

Homologado em:

Orientador/presidente: Ph.D. Paulo
Roberto Ernani- UDESC/Lages - SC

Dr. Paulo Cezar Cassol
Coordenador Técnico do Curso de Mestrado
em Ciência do Solo e Coordenador do
Programa de Mestrado em Agronomia –
UDESC/Lages – SC

Membro: Dr. Luciano Colpo Gatiboni
UDESC/Lages - SC

Dr. Adil Knackfuss Vaz
Diretor Geral do Centro de Ciências
Agroveterinárias – UDESC/Lages - SC

Membro: Dr. Paulo Cezar Cassol
UDESC/Lages - SC

Membro: Dr. Gilberto Nava- Estação
Experimental de São Joaquim- Epagri -SC

LAGES, SC, 29 de maio de 2009.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, pela saúde e pela luz nos momentos difíceis e de fraqueza.

A minha namorada Deisi Deotti pelo amor, dedicação, carinho e pelas palavras de apoio.

A meus pais Donato Valmor Tasca e Olinda Margarida da Silva Tasca e meus irmãos Fabieli Caroline Tasca e Fernan Júnior Tasca, pelo afeto, acolhimento e aconchego familiar, que me deu força e renovou o ânimo de continuar batalhando.

Ao meu orientador Ph.D. Paulo Roberto Ernani pela atenção, amizade, carinho, dedicação, e orientação e incentivo a busca de novos conhecimentos, sendo um dos alicerces para a conclusão deste trabalho.

Aos amigos e colegas Ederson Gobbi, Joni Erhart, Rodrigo Predebon pela amizade, apoio e companheirismo, em especial ao colega e amigo Douglas Antônio Rogeri pelo desenvolvimento em conjunto de alguns trabalhos.

A todos os colegas e professores do curso de Pós-Graduação, em especial ao professor Jefferson Meireles Coimbra pelo auxílio nas análises estatísticas dos experimentos, e os professores Luciano Colpo Gatiboni e Paulo Cesar Cassol pela co-orientação.

A UDESC pela disponibilização de ensino gratuito e de qualidade.

Ao CNPq pela bolsa de estudos.

A todos que não foram citados, mas de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O nitrogênio é um elemento indispensável para a obtenção de altas produtividades. A uréia é a principal fonte de N utilizada pelos agricultores, porém, em condições adversas pode promover perdas por volatilização. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de fertilizantes nitrogenados em diminuir as perdas de amônia e identificar a melhor maneira de adicioná-los ao solo visando diminuir a volatilização. Foram conduzidos quatro experimentos, em laboratório, nos anos de 2007 e 2008, sobre um Cambissolo Húmico álico. Testaram-se condições de solo, como pH (pH 5,5; 6,3 e 6,8) e umidade (0%, 10% e 20%), temperaturas ambientais (18 e 35° C), além de formas físicas de aplicação dos fertilizantes (sólida ou líquida), bem como métodos de aplicação dos fertilizantes (na superfície ou incorporado ao solo). As unidades experimentais foram constituídas por bandejas plásticas contendo 12 kg de solo, sobre as quais foram instaladas as câmaras coletoras de amônia. Determinaram-se as quantidades de NH_3 volatilizada aos 2, 4, 6, 8, 13, 18, 23 e 28 dias após a aplicação dos tratamentos. A uréia aplicada na forma líquida sobre a superfície do solo apresentou perda máxima de $11 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ a 35° C. A uréia com inibidor de urease perdeu mais quando foi aplicado sólido, sobre a superfície do solo, e na mesma temperatura, tendo ultrapassado $14 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. A incorporação foi sempre a melhor forma de minimizar a volatilização de amônia. A volatilização de amônia foi diretamente proporcional ao pH do solo e aumentou com o aumento da dose de N aplicada ao solo. As perdas acumuladas quando se aplicou 100 kg ha^{-1} foram um terço daquela quando se aplicou 190 kg ha^{-1} de N. As perdas de N por volatilização de amônia diferiram entre os dois fertilizantes nitrogenados apenas nos tratamentos nos quais eles foram aplicados no estado sólido e sobre a superfície do solo, independentemente da umidade existente ($p < 0,05$).

Palavras-chave: Uréia. Uréia com inibidor de uréase. Amônia. Solos- acidez.

ABSTRACT

Nitrogen is an essential nutrient responsible for obtaining high crop yields. Urea is the main source of N used by growers, but in adverse conditions, can promote some volatilization losses. The objective of this study was to evaluate the efficiency of nitrogen fertilizers to reduce ammonia loss as well as to identify the best way to add them to the soil in order to reduce such losses. Four experiments were conducted in laboratory, in the years 2007 and 2008 on a Humic Haplumbrept. Treatments varied according to the experiment and consisted of soil pH (pH 5.5, 6.3 and 6.8), soil humidity (0%, 10% and 20%), environmental temperature (18 and 35° C), nature of fertilizer (urea and super-N), physical forms of fertilizer application (the solid and liquid form) and methods of fertilizer application (soil surface and incorporated into the soil). Experimental units consisted of plastic trays containing 12 kg of soil. Ammonia volatilization was measured at 2, 4, 6, 8, 13, 18, 23 and 28 days after treatments application. The highest loss of ammonia from urea was of 11 kg ha⁻¹ day⁻¹, and occurred at 35 ° C, when the fertilizer was applied in liquid form over the soil surface. The highest loss of ammonia from super-N was of 14 kg ha⁻¹ day⁻¹ and occurred at 35° C, when fertilizer was applied in the solid form over the soil surface. Incorporation of fertilizer into the soil was always the best way to minimize the volatilization of ammonia regardless of temperatures. Ammonia volatilization was directly proportional to the soil pH and to the amount added. The accumulated losses were three times less for a rate of 100 kg ha⁻¹ than for a rate of 190 kg ha⁻¹ N. Losses of N by ammonia volatilization differed between the two nitrogen fertilizers only on treatments in which they were applied in solid form over the soil surface, regardless of soil moisture (p <0.05).

Keywords: Urea. Urea with the urease inhibitor. Ammonia. Soils- acid.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Material para confecção do sistema de captação de NH_3 . 1. Fita de papel filtro, 2,0 x 18 cm; 2. Tubo plástico de centrífuga de 50 mL, graduado; 3. Tampa da garrafa pet; 4. Suporte de arame; 5. Garrafa pet de 2 L cortada na base; 6. Sistema de captação de amônia montado. A extremidade inferior do papel filtro é mergulhada na solução contida no tubo 2.....25
- Figura 2** - Perdas diárias de N por volatilização de NH_3 , a partir da aplicação de uréia(U) e uréia com inibidor de urease (SN) nas formas sólida incorporada (SI), sólida superficial (SS) e líquida superficial (LS), mantidos a 18 e 35 °C. Médias de quatro repetições.....29
- Figura 3** - Perdas acumuladas de N por volatilização de NH_3 , a partir da aplicação de uréia (U) e uréia com inibidor de urease (SN) nas formas sólida incorporada (SI), sólida superficial (SS) e líquida superficial (LS), mantidos a 18 e 35 °C. Médias de quatro repetições das duas fontes, uréia e uréia com inibidor de urease.....31
- Figura 4** - Perdas de N por volatilização de NH_3 , a partir da aplicação de uréia (U) e uréia com inibidor de urease (SN) nas formas sólida incorporada (SI), sólida superficial (SS) e líquida superficial (LS), mantidos a 18 e 35 °C. Médias de quatro repetições e das duas fontes. 31
- Figura 5** - Perdas diárias de N por volatilização de NH_3 , a partir da aplicação de 100 kg. ha^{-1} de N na forma de uréia (U) e uréia com inibidor de urease (SN), acondicionados em temperatura ambiente (18°C). Médias de quatro repetições. 32
- Figura 6** - Perdas acumuladas de N por volatilização de NH_3 , a partir da aplicação de 100 kg. ha^{-1} de N na forma de uréia e uréia com inibidor de urease, acondicionados em temperatura ambiente (18°C). Médias de quatro repetições. Letras diferentes representam diferenças entre perdas acumuladas pelo teste Tukey. 33
- Figura 7** - Perdas de N por volatilização de NH_3 , a partir da aplicação de 100 kg. ha^{-1} de N na forma de uréia e uréia com inibidor de urease, acondicionados em temperatura ambiente (18°C). Letras diferentes representam diferença estatística ($p < 0,05$) entre as fontes para o mesmo pH..... 34

- Figura 8** - Perdas diárias de N por volatilização de NH_3 , a partir da aplicação sólida superficial (SS) e líquida superficial (LS) de duas doses de N na forma uréia (U) e uréia com inibidor de urease (SN). Médias das duas fontes e das quatro repetições de cada fonte.....35
- Figura 9** - Perdas acumuladas de N por volatilização de NH_3 , a partir da aplicação de duas doses de N na forma uréia e uréia com inibidor de urease. Médias das duas fontes com quatro repetições cada. Sólida sup.= aplicação do fertilizante na forma sólida superficial; Líquida sup.= aplicação do fertilizante na forma líquida superficial. Letras iguais não diferiram entre si a 5% de significância ($p<0,05$) para mesma dose aplicada.....36
- Figura 10** - Perdas de N por volatilização de NH_3 , a partir da aplicação de duas doses de N na forma uréia e uréia com inibidor de urease. Médias das duas fontes e das quatro repetições de cada fonte. Sólida sup.= aplicação do fertilizante na forma sólida superficial; Líquida sup.= aplicação do fertilizante na forma líquida superficial. Letras diferentes representam diferença estatística entre as doses de N a 5% de significância ($p<0,05$). 36
- Figura 11** - Perdas diárias de N- NH_3 por volatilização, a partir da aplicação de uréia (U) e uréia com inibidor de urease (SN), nas formas sólida superficial (SS) e líquida superficial (LS), sobre um Cambissolo Húmico álico com três umidades (0, 10 e 20%). Médias das quatro repetições. 37
- Figura 12** - Perdas acumuladas de N- NH_3 por volatilização, a partir da aplicação de uréia (U) e uréia com inibidor de urease (SN), na forma sólida superficial (SS) e líquida superficial (LS), sobre um Cambissolo Húmico álico com três umidades (0, 10 e 20%). Médias das quatro repetições. Letras diferentes indicam diferenças pelo teste Tukey..... 39
- Figura 13** - Perdas de N- NH_3 por volatilização, em porcentagem (%), a partir da aplicação de uréia e uréia com inibidor de urease, nas formas sólida superficial e líquida superficial, sobre um Cambissolo Húmico álico com três umidades. Médias das quatro repetições. Letras diferentes diferenças entre as fontes pelo teste Tukey.....40

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	10
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
1.1 ASPECTOS GERAIS DO NITROGÊNIO	12
1.2 NITROGÊNIO NO SOLO	13
1.2.1 Mineralização.....	14
1.2.2 Nitrificação	15
1.2.3 Desnitrificação	16
1.2.4 Imobilização.....	17
1.2.5 Amonificação.....	18
1.2.6 Volatilização de NH_3	19
1.2.7 Lixiviação	22
1.3 TIOFOSFATO DE N N-BUTILTRIAMIDA (NBPT).....	22
2 MATERIAL E MÉTODOS	24
2.1 EXPERIMENTO 1: INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E FORMA DE APLICAÇÃO DE DUAS FONTES DE N NA VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA	25
2.2 EXPERIMENTO 2: INFLUÊNCIAS DA ACIDEZ DO SOLO E DO TIPO DE FERTILIZANTE NITROGENADO NA VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA	26

2.3 EXPERIMENTO 3: INFLUÊNCIA DA DOSE DE N, DO TIPO E DA FORMA DE APLICAÇÃO DO FERTILIZANTE NITROGENADO NA VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA	26
--	----

2.4 EXPERIMENTO 4 : INFLUÊNCIA DA UMIDADE DO SOLO E DO TIPO DE FERTILIZANTE NITROGENADO NA VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA	27
--	----

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
---------------------------------------	-----------

3.1 EXPERIMENTO 1: INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DA FORMA DE APLICAÇÃO DE DUAS FONTES DE N NA VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA	28
---	----

3.2 EXPERIMENTO 2: INFLUÊNCIA DA ACIDEZ DO SOLO E DO TIPO DE FERTILIZANTE NITROGENADO NA VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA	32
--	----

3.3 EXPERIMENTO 3: INFLUÊNCIA DA DOSE DE N, DO TIPO E DA FORMA DE APLICAÇÃO DO FERTILIZANTE NITROGENADO NA VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA	34
--	----

3.4 EXPERIMENTO 4: INFLUÊNCIA DA UMIDADE DO SOLO, DO TIPO E DA FORMA DE APLICAÇÃO DO FERTILIZANTE NITROGENADO NA VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA	37
--	----

4 CONCLUSÕES	41
---------------------------	-----------

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
---	-----------

INTRODUÇÃO

O nitrogênio é geralmente o nutriente mineral absorvido em maior quantidade pelos vegetais. Por isso, comumente, é necessário sua adição ao solo através de fertilizantes.

A uréia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado no Brasil, devido ao seu menor custo relativamente aos demais. No entanto, em algumas condições, tais como baixa umidade do solo, após aplicação de calcário sem incorporação, altas temperaturas e aplicação do fertilizante na superfície, ela pode ocasionar perda de parte de seu N para a atmosfera na forma gasosa.

A volatilização pode ser a principal forma com que o N é perdido quando a uréia é aplicada ao solo (Lara-Cabezas et al., 1997). Após a aplicação ao solo, a uréia é hidrolisada pela urease, que a desdobra em NH_3 e CO_2 (Sengik, et al, 2001), que podem migrar para a atmosfera.

O potencial de perdas da NH_3 é diretamente proporcional à velocidade da reação de hidrólise, variando desde perdas insignificantes até perdas que comprometem o rendimento das plantas. A temperatura e fatores do solo, como o pH, potencial de água, aeração, textura e quantidade de carbono orgânico (matéria orgânica), poder tampão e CTC, são determinantes da atividade da urease (Sengik, 2001; Van Cleemput, 1998). A forma como o fertilizante é adicionado no solo também pode aumentar ou diminuir a volatilização de amônia. O contato do fertilizante com o solo pode reduzir a velocidade da hidrólise, portanto, a incorporação dos fertilizantes torna-se importante.

Atualmente, estão disponíveis fertilizantes com inibidores da urease, que podem retardar e diminuir a velocidade da reação de hidrólise do fertilizante nitrogenado. O inibidor ocupa o local de atuação da urease e inativa a enzima. Trabalhos desenvolvidos em outras regiões brasileiras com esses fertilizantes mostram resultados promissores, porém nos solos tamponados do sul do Brasil, eles ainda não foram avaliados.

Neste contexto alguns estudos são necessários para elucidar algumas questões como: qual a influência do pH, da umidade do solo, da temperatura do ambiente, da dose de N na volatilização de amônia? Qual a forma de aplicação do N ao solo que promove menor perda

de N? E se aplicarmos os fertilizantes por via líquida, será que as perdas serão minimizadas, pois, o fertilizante será adicionado mais diluído ao solo e, portanto, haverá menor elevação do pH ao redor do grânulo. E ainda, qual o compartimento da uréia com inibidor da urease em relação à uréia tradicional?

Desenvolveu-se então diversos experimentos que tiveram por objetivo responder a todos estes questionamentos. Foi avaliado o efeito do pH e umidade do solo, temperaturas do ambiente, dose e forma de aplicação da uréia e da uréia com inibidor de urease, na volatilização de amônia.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 ASPECTOS GERAIS DO NITROGÊNIO

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes que mais limitam a produção de alimentos no mundo (Coelho et al., 1991). É o elemento mineral empregado em maior quantidade em adubação, mais absorvido e mais exportado pelas espécies vegetais. É o mais lixiviado e pode promover contaminação do lençol freático, caso seja mal manejado. Em solos tropicais, com excessão do cultivo de leguminosas, é indispensável o uso de fertilizantes nitrogenados para manter as produções agrícolas, devido, sobretudo, à baixa eficiência de sua utilização pelas plantas, tanto do nitrogênio oriundo da matéria orgânica do solo como daquele aplicado como fertilizante (Bartholomew, 1975).

O N apresenta grande dinamismo no sistema solo, apresentando muitas combinações, dentre as quais as mais comumente encontradas são aquelas em que ele forma íons com o oxigênio e com o hidrogênio. Existe em diversas formas gasosas (N_2 , NO, NO_2^- , N_2O , NH_3), e, por isso, está sujeito a constantes trocas. Geralmente mediadas por um microrganismo, suas formas inorgânicas possuem elevada solubilidade. Além disso, a forma nítrica ($N-NO_3^-$), por possuir carga negativa e por não ser adsorvida especificamente aos sólidos do solo, torna o elemento extremamente móvel no solo.

Nos vegetais, o nitrogênio participa de importantes processos vitais. É essencial para a estrutura e funções nas células, para todas as reações enzimáticas dos vegetais, faz parte da molécula de clorofila, indispensável para a fotossíntese, é componente das vitaminas biotina, tiamina, niacina, riboflavina, é componente das proteínas e tem função na produção e uso de carboidratos.

O maior reservatório de N é a atmosfera, onde se encontra 78% de seu total. A incorporação do N ao solo se dá através das precipitações, de fixações simbióticas e de fertilizantes nitrogenados produzidos industrialmente. A precipitação pluviométrica pode incorporar ao solo de 6 a 12 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, através de energia dos relâmpagos que promovem a reação do N_2 com O_2 ou H_2 que são carregados pela chuva até o solo. A fixação simbiótica, a qual se dá através de uma relação de simbiose entre alguns gêneros de bactérias

e algumas espécies de plantas, é capaz de fixar até $500 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Já a fixação industrial do N pode ser expressa pela seguinte reação:

$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2 \text{NH}_3$ (amônia anidra: 82% de N), onde:

O N_2 vem da atmosfera e o H_2 pode ser provindo de várias fontes, incluindo gás natural e residual, carvão, nafta, resíduo asfáltico, álcool e hidrólise da água. Trata-se de um processo que requer o uso de alta temperatura (400°C) e elevadas pressões (300 atm.). Por isso, possui custo elevado, onde para se produzir 1 tonelada de NH_3 são necessárias 10.584.000 kcal. A uréia é o fertilizante nitrogenado produzido industrialmente mais conhecido. A quantidade de energia necessária para a produção de 1 kg de nitrogênio, de P_2O_5 e de K_2O respectivamente, é de 16.800 kcal, 3.040 kcal e 2.100 kcal, aproximadamente. Portanto, o custo energético para obtenção de 1 kg de N é 5,5 vezes maior do que para produzir 1 kg de P_2O_5 e 8 vezes maior do que para produzir 1 kg de K_2O .

Cerca de 5% da matéria orgânica do solo (MO) é constituída de N (Bissani, et al, 2004), sendo, portanto, fonte do elemento para as plantas. A taxa de mineralização anual da MO é que irá determinar a quantidade de N fornecida por ela ao solo. No sul do Brasil, estima-se taxa de 2 % ao ano (Bissani, et al., 2004).

1.2 NITROGÊNIO NO SOLO

No solo, o nitrogênio pode ser encontrado na forma elementar (N_2), ou outros gases (NO , NO_2 , N_2O , NH_3) na fase gasosa do solo, em formas iônicas (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-), e na forma orgânica presente na matéria orgânica do solo. A matéria orgânica do solo é constituída por uma enorme quantidade de moléculas orgânicas, no entanto, 98% do N se encontra nos aminoácidos, proteínas, aminoácúcares, amidos e ácidos nucleicos.

O nitrogênio presente no solo está sujeito a diversas transformações como, mineralização, nitrificação, desnitrificação, imobilização, volatilização e lixiviação. Esses processos são influenciados pelas condições químicas, físicas e biológicas do sistema solo, sempre tendendo a voltar à forma original.

A seguir serão abordadas genericamente todas essas reações.

1.2.1 Mineralização

Mineralização consiste na transformação do N orgânico, que está fazendo parte da estrutura dos materiais de origem animal ou vegetal, para a forma mineral. Essa reação é efetuada pelos microrganismos, principalmente por fungos e bactérias, e ocorre em duas etapas (aminização e amonificação), ambas muito influenciadas por vários fatores climáticos e de solo. A mineralização é extremamente importante para a disponibilidade de N, pois aproximadamente 95% do N total do solo se encontram na forma orgânica, o qual tem que ser mineralizado para ser absorvido pelas plantas (Ernani, 2003).

A fração em que o N se encontra determinará a velocidade de mineralização. Ernani et al. (2002a) verificaram que aproximadamente 60% do N contido na palha de aveia passaram para a forma mineral nos primeiros três meses após a aplicação desse material ao solo. A taxa de decomposição dos resíduos vegetais é maior quando eles são incorporados ao solo do que quando são deixados sobre a superfície do solo (Amado et al., 2000).

A quantidade de N mineralizada aumenta com a elevação do pH, da temperatura e do teor de matéria orgânica do solo. A quantificação do N liberado pela mineralização da matéria orgânica é de difícil determinação, entretanto, pode-se fazer um cálculo aproximado. Supondo-se que 5% da matéria orgânica são constituídos de N e que 2% desta matéria orgânica é mineralizada anualmente, um solo que apresenta um teor de 3,5% de matéria orgânica poderá suprir às plantas, num período de 4 meses, aproximadamente 23,3 kg de N ha⁻¹ a partir da camada de solo de zero a 20 cm (Bissani, et al. 2004).

O efeito da calagem em aumentar as quantidades de N mineralizadas tem sido associado à elevação nos valores de pH e nos teores de cátions trocáveis, e à diminuição do Al tóxico, fatores esses que aumentam a atividade de organismos mineralizadores (Dancer et al., 1973; Nyborg & Hoyt, 1978; Silva et al., 1994). Maiores taxas de N mineralizadas em solos com calagem podem estar associadas ainda à maior degradação de compostos fenólicos inibitórios à decomposição da matéria orgânica (Marschner & Wilczynski, 1991). Uma maior presença de frações orgânicas ligadas ao Ca nos solos corrigidos, em comparação com essas mesmas moléculas ligadas ao Al, pode também resultar em maior decomposição da matéria orgânica e, por conseguinte, em maior mineralização do N (Mendonça & Rowell, 1994). Também o aumento do pH deprotona a M.O, diminuindo sua interação com os minerais do solo e facilitando o ataque microbiano.

1.2.2 Nitrificação

É o processo em que o íon de amônio (N-NH_4^+) é transformado no íon de nitrato (N-NO_3^-). Esta transformação depende necessariamente da ação de bactérias dos gêneros *Nitrossomonas* e *Nitrobacter*, também conhecidas como bactérias nitrificadoras, e da presença de oxigênio (O_2) no sistema. Pode-se dividir o processo em duas etapas. Inicialmente, as bactérias do gênero *Nitrossomonas* transformam o cátion NH_4^+ em NO_2^- . Posteriormente as do gênero *Nitrobacter* transformam o N-NO_2^- em N-NO_3^- . Esta última forma de N pode ser facilmente perdida do sistema solo, uma vez que a maioria dos solos normalmente possui carga líquida negativa, o que dificulta a adsorção eletrostática de ânions, tornando-os suscetíveis à lixiviação pela água que percola através do perfil do solo.

A reação global da nitrificação pode ser assim representada:



Essas bactérias são autótrofas, ou seja, utilizam o CO_2 como fonte de carbono e ainda, quimiolitótróficas, pois oxidam compostos inorgânicos nitrogenados para obtenção de energia (Madigan et al., 1997)

A nitrificação é um processo importante na compreensão da dinâmica do nitrogênio no solo. Alguns fatores podem favorecê-la, tais como: temperaturas mais elevadas, próximas a 30°C , pH acima de 5,5, pois a calagem beneficia as bactérias nitrificantes, e solos bem drenados, pois o O_2 , favorece a nitrificação. Outros fatores como baixas temperaturas (menores de 10°C) ou temperaturas acima de 35°C praticamente paralisam os microrganismos nitrificadores, bem como a ausência de O_2 impossibilita a oxidação do N.

As maiores taxas de nitrificação têm sido obtidas nos solos onde se procede a correção da acidez do solo (Haynes, 1986; Hayatsu & Kosuge, 1993; Kreutzer, 1995). A taxa de nitrificação em solos ácidos é menor do que em solos com pH superior a 5,5. Porém, no caso específico da uréia, ela poderá não ser afetada em função da elevação do pH ao redor dos grânulos desse fertilizante no solo, em consequência da hidrólise desse adubo (Melo, 1987; Ernani et. al, 2001).

Avaliando a taxa de nitrificação do N proveniente da uréia e do sulfato de amônio, Melo et al. (1980) não verificaram diferenças acentuadas entre a nitrificação desses dois

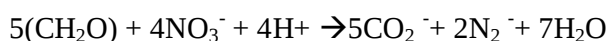
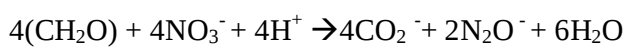
fertilizantes. Entretanto, Arora et al. (1986) observaram que o amônio da uréia nitrificou mais rapidamente do que aquele oriundo do sulfato de amônio, na ausência de carbonato de cálcio.

A nitrificação normalmente é indesejável porque em solos brasileiros predominam cargas negativas nos valores de pH utilizados para produção vegetal, não ocorrendo, portanto, a retenção do N-NO_3^- nas partículas sólidas do solo. Com isso, o nitrato está sujeito ser lixiviado, diferentemente do que ocorre com o N-NH_4^+ que, por possuir carga positiva, pode ser adsorvido eletrostaticamente às cargas negativas dos sólidos do solo (Ernani, 2003).

A redução da perda de nitrato é importante por três razões: a- representa perda de N do solo disponível à planta (Errebhi et al., 1998); b- caso ocorra na forma de N_2O , poderá contribuir para o aquecimento global e, com isso, reduzir também a água disponível, como consequência da maior evapotranspiração e das chuvas mais intensas que escoam; c- o N-NO_3^- lixiviado pode contaminar rios e águas subterrâneas e iniciar o processo de eutrofização em ecossistemas naturais normalmente pobres em N (Primavesi et al., 2002).

1.2.3 Desnitrificação

A desnitrificação consiste na redução do N nítrico para formas gasosas que se perdem para a atmosfera (N_2 e N_2O). Esta reação ocorre somente em solos com baixa disponibilidade de O_2 , porque os microrganismos anaeróbios utilizam o oxigênio do nitrato como receptor de elétrons na cadeia respiratória, demonstrado na reação abaixo:



Solos compactados, solos alagados temporariamente ou permanentemente e solos onde se aplicaram altas doses de esterco, condicionam baixa disponibilidade de oxigênio. Nessas condições, portanto, a aplicação de fertilizantes que contenham nitrato, como nitrato de amônio, nitrato de potássio, nitrato de cálcio deve ser evitada e devem-se aplicar fertilizantes que contenham a forma amoniacal, como sulfato de amônio, ou a amídica, como a uréia (Ernani, 2003). Mesmo em solos normalmente bem drenados, a desnitrificação pode ocorrer como resultado do preparo inadequado, compactando-o e dando origem a áreas encharcadas pelo acúmulo da água das chuvas ou da irrigação (Sousa & Lobato, 2004).

Nos solos saturados, o preenchimento da porosidade total com água modifica as características químicas da solução do solo. Nessas condições, o desaparecimento do O_2

(geralmente em 24 horas) resulta na elevação do pH do solo (Sposito, 1989), favorecendo o desenvolvimento de microrganismos anaeróbicos facultativos que reduziram o NH_4^+ produzido na hidrólise da uréia a NH_3 (Lara-Cabezas et al., 1997). Nesse processo, esses microrganismos provocam o incremento da redução do nitrato a amônio (em 60 horas) e a subsequente perda de N-NH_3 para a atmosfera (Turner e Patrick, 1968). Resultados semelhantes foram obtidos por Bouwmeester et al. (1985) por Silva e Sengik (1994) por Lara-Cabezas et al. (1997) e por Luo et al. (2000).

1.2.4 Imobilização

A imobilização consiste na assimilação do N mineral do solo pela biomassa microbiana com objetivo de satisfazer suas necessidades metabólicas (Ernani, 2003). Essa reação ocorre quando se adicionam ao solo materiais orgânicos com relação carbono/nitrogênio (C/N) maior do que 25:1 a 30:1, ou após a morte de plantas que contenham relação C/N com valores superiores a estes.

Os microrganismos possuem relação C/N de aproximadamente 10 a 12:1. Quando um material orgânico com relação maior que 30:1 é adicionado ao solo, a população de microrganismos aumenta e eles utilizam o N mineral do solo, competindo com as plantas; quando a relação for menor que 30:1 ocorrerá o inverso, ou seja, o processo de decomposição irá liberar N mineral para o solo.

O processo de imobilização de N mineral é temporário, com duração de algumas semanas. À medida que o material orgânico é decomposto, a relação C/N é diminuída. Atingindo valores abaixo de 30:1, o N mineral incorporado às células bacterianas é liberado. Diferente do que ocorre no ecossistema natural, onde os processos de mineralização e imobilização estão em equilíbrio, no sistema agrícola convencional a mineralização é freqüentemente superior a imobilização, exceto após o preparo do solo, enquanto quer sobre o plantio direto, a imobilização poderá ser prolongada em relação ao modelo convencional, devido à persistência do resíduo na superfície com decomposição mais lenta do que quanto incorporado (Ernani, 2003). A princípio, a imobilização não deve ser motivo de maiores preocupações, pois não há grandes dificuldades para contornar a carência provisória do nutriente, bastando para tanto fornecer nitrogênio em quantidade adequada e suficiente na implantação da cultura, reforçando a tese da necessidade de maior suplementação do elemento durante a semeadura. Essa conclusão pode ser estendida para o sistema convencional, considerando nesse caso a mineração será amplificada pela incorporação do

resíduo no solo, aumentando a superfície de contato entre ambos, bem como a aeração do ambiente, favorecendo grandemente a atividade microbiana.

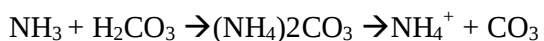
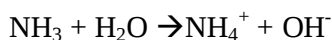
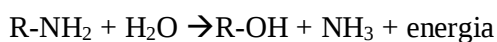
O efeito da imobilização sobre o rendimento vegetal depende, entretanto, da quantidade de N imobilizada, da disponibilidade de N no solo, e da época de maior imobilização relativamente à demanda vegetal, e esses fatores são influenciados por muitas variáveis (Ernani, et. al, 2005). Deve-se evitar que a imobilização ocorra na mesma época da máxima demanda de N pelas plantas para que o desenvolvimento vegetal não seja prejudicado. O fornecimento de 30 kg/ha de nitrogênio já é suficiente para eliminar a carência inicial devido a imobilização, diminuindo os problemas causados pela decomposição dos resíduos de aveia, por exemplo, que possuem elevada relação C/N (Sá, 1995).

1.2.5 Amonificação

O nitrogênio contido na forma orgânica é transformado pelos organismos amonificadores na forma de amônia (NH_3) produzindo concomitantemente uma grande quantidade de ânions orgânicos (R-COO^-).

Nos solos tropicais, naturalmente ácidos, esta condição propicia a reação de formação de NH_4^+ , bem como a disponibilidade de umidade permite a continuidade do ciclo do nitrogênio, não ocorrendo acúmulo da forma NH_3 , que por sua vez é um gás volátil. Devido à reação que ocorre entre a amônia e a água, o NH_3 passa para a forma amoniacal (NH_4^+), liberando no ambiente íons hidroxila (OH^-), que reagem com os hidrogênios (H^+) da solução do solo promovendo elevação do pH. O aumento do pH diminui a velocidade de reação de amonificação, o que não é interessante do ponto de vista de perdas de N por volatilização de amônia.

A amonificação é um processo inevitável, que ocorre em quaisquer condições ecológicas, pois resulta da intervenção de uma grande diversidade de microorganismos, entre os quais se destacam várias espécies de bactérias, actinomicetos e fungos. A amonificação propriamente dita correspondente a uma desaminação hidrolítica. Abaixo seguem as reações básicas da amonificação:



As condições ideais para que o processo de amonificação ocorra envolve umidade entre 50-75% da capacidade de campo, temperatura de 40 a 60°C e pH de 4 a 7. No entanto, a microfauna amonificante se manifesta mesmo sob baixas temperaturas (Hilger, 1963).

1.2.6 Volatilização de NH₃

A volatilização de amônia é a reação na qual o N do solo migra para a atmosfera na forma de gás amônia (NH₃). Essa reação pode assumir grande importância quando se aplica uréia na superfície do solo, sem incorporação, e também quando se adicionam fertilizantes amoniacais em solos com pH maior que 7,0 (Ernani, 2003).

As formas mais comuns de adicionar N ao solo são através de adubos orgânicos (principalmente dejetos animais) e fertilizantes inorgânicos. O N é um dos nutrientes encontrados em maior proporção no dejetos líquido de suínos (Basso, et al., 2004). As perdas acumuladas de N por volatilização de NH₃ durante seis dias após a aplicação do dejetos variaram de 19 a 39 % nos meses de fevereiro, outubro e dezembro (Basso, et al., 2004).

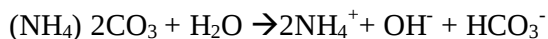
Além das características do solo como capacidade de troca catiônica, pH, teor de matéria orgânica, temperatura e outras, a volatilização do N é influenciada pelas condições climáticas como velocidade dos ventos, temperatura, umidade relativa do ar e precipitação (Sommer e Hutchings, 2001). Gould et al. (1973) verificaram que a atividade da urease na faixa de 2°C a 45°C pode ser descrita adequadamente como uma função linear da temperatura. O'Connor e Hendrickson (1987) verificaram que a hidrólise da uréia foi completa com 1, 4, 6, 7 e 8 dias para as temperaturas de 35° C, 25° C, 15° C, 10° C e 5° C, respectivamente. O uso de irrigação logo depois da adubação também é uma prática efetiva na redução das perdas de N-NH₃ do sistema solo-planta (Bouwmeester et al., 1985; Black et al., 1987).

A uréia é considerada como um dos mais importantes fertilizantes nitrogenados devido ao seu baixo custo relativo, à alta solubilidade em água e pela boa assimilação dos produtos de sua hidrólise pelas plantas (Cantarella, 1992). Esse fertilizante apresenta, no entanto, limitações quanto às perdas do N, que podem comprometer sua eficiência (Sengik e Kiehl, 1995a e b) em determinadas situações.

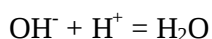
A volatilização da amônia ocorre quando a urease hidrolisa a uréia no solo a carbonato de amônio, conforme a seguinte reação:



O carbonato de amônio formado é instável e se transformam rapidamente em amônio, bicarbonato e hidroxila, conforme reação abaixo:

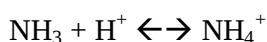


As moléculas de carbonato e hidroxila reagem com átomos de hidrogênio, formando água e CO₂, elevando, com isso, o pH ao redor dos grânulos, de acordo com reações abaixo:



A hidrólise da uréia é diretamente proporcional à presença e atividade da urease, e quanto mais intensa for, maior o potencial de volatilização da amônia. Fatores climáticos, como temperatura, e fatores do solo, como pH, potencial de água, aeração, textura e quantidade de carbono orgânico (matéria orgânica), poder tampão e CTC, são determinantes da atividade da urease (Sengik, 2001; Van Cleemput, 1998). A diminuição do potencial de perdas ocorre quando esse gás (NH₃) passa para o íon NH₄⁺, que depende do pH em torno do grânulo da uréia e da umidade do solo (Da Ros et al., 2005).

A forma de aplicação dos adubos nitrogenados, orgânicos ou inorgânicos, também exerce grande influência na volatilização de amônia, pois está diretamente relacionada com a área de contato com o solo. A incorporação da uréia praticamente elimina a volatilização de amônia (Anjos & Tedesco, 1974, 1976; Cantarella et al., 1999; Rodrigues & Kiehl, 1986; Silva et al., 1995; Lara Cabezas et al., 2000) porque aumenta o contato entre o fertilizante e o solo, favorecendo a adsorção de NH₄⁺ às cargas negativas, conforme a equação a seguir (Sangoi et al., 2003):



Em um experimento realizado por Scharlau et al, (2007), em que avaliaram a volatilização de amônia a partir da aplicação de 98 e 140 kg ha⁻¹ de N utilizando as fontes uréia, uréia com inibidor de urease e nitrato de amônio, o maior percentual de NH₃ volatilizada (18,51%) foi obtido no solo adubado com uréia e com a maior dose (140 kg ha⁻¹ de N). Enquanto que, com essa mesma dose, o percentual obtido no tratamento com uréia com inibidor de urease (7,53%). Quando a uréia foi incorporada ao solo, apenas 4,9% do N

aplicado perdeu-se como amônia (Scharlau et al, 2007). A maior perda de amônia foi registrada no 3º dia no Neossolo Quartzarênico, representando 53% da perda total detectada ao final do experimento (Sangoi, et. al, 2003). Duarte et. Al. (2007) encontraram os maiores picos de emissão de N-NH_3 para a atmosfera entre 34 e 48 horas após a aplicação da uréia no solo.

Nos solos saturados com água, o preenchimento da porosidade total dos poros modifica as características químicas da solução do solo (Costa, 2004). Nessas condições, o desaparecimento do O_2 resulta na elevação do pH do solo (Sposito, 1989). A reação de hidrólise consome prótons (H^+) e provoca a elevação do pH ao redor das partículas. Assim, mesmo, em solos ácidos, a uréia pode provocar perdas de N por volatilização de NH_3 (Cantarella & Marcelino, 2006). Em solos secos, a uréia pode permanecer estável (Volk, 1966). No entanto, a taxa de hidrólise aumenta conforme o teor de umidade do solo se eleva até que este atinja próximo de 20%, a partir deste ponto, a taxa de hidrólise é pouco afetada pelo teor de água (Bremner & Mulvaney, 1978). Portanto, a aplicação de uréia em solo seco é preferível à sua adição em solo excessivamente úmido (Terman, 1979; Lara Cabezas et al., 1992). O orvalho noturno pode equivaler a uma precipitação de até 0,5 mm (Kong et al., 1991; Freney et al., 1992) e pode desencadear a hidrólise da uréia até que o solo seque novamente.

A hidrólise da uréia aumenta com a elevação da temperatura até 40°C (Bremner & Mulvaney, 1978), mas a hidrólise e as perdas por volatilização de NH_3 decrescem rapidamente com o abaixamento da temperatura. Ernst & Massey (1960) observaram que a 8° e a 16°C as perdas de NH_3 foram reduzidas em 71 e 56%, respectivamente, em relação ao observado a 32°C.

O uso de inibidores na uréia mostrou-se eficiente em mitigar as perdas de N por volatilização, uma vez que 62% das perdas foram reduzidas quando se aplicou a uréia mais o inibidor da urease (45% N; 1% NBPT); 22% quando se utilizou uréia com inibidor de nitrificação (46 % N; dicianodiamida +1H-1, 2,4-Triazole) e 98% quando se aplicou sulfonitrato de amônio (30% N), respectivamente, comparados a aplicação apenas com uréia (Barth, et al, 2006).

1.2.7 Lixiviação

A lixiviação consiste na descida do nitrogênio no perfil do solo até profundidades abaixo daquelas exploradas pelas raízes. É a reação mais importante que ocorre com o nitrogênio em áreas com alta precipitação pluviométrica.

A significância da lixiviação depende da quantidade do nutriente na solução do solo e da percolação da água. Para o N, a lixiviação tem grande relevância, pois ele é um nutriente exigido em altas quantidades pelas plantas, e principalmente porque os solos brasileiros possuem essencialmente cargas elétricas negativas na camada arável e a quase totalidade do N mineral do solo encontra-se na solução e na forma de nitrato (NO_3^-) (Ernani, 2003). Como o nitrato possui o mesmo tipo de carga das partículas do solo ele não é adsorvido à fase sólida, lixiviando sempre que houver percolação de água no solo. A lixiviação também é responsável pela inexistência do efeito residual de N no solo.

Em anos de precipitação pluviométrica bem distribuída, a lixiviação pode não ser um problema, porém em anos que ocorrem precipitações intensas e concentradas em um curto período de tempo, torna-se preocupante, indicando-se a aplicação parcelada do fertilizante nitrogenado. O N lixiviado poderá atingir o lençol freático e contaminar as águas subterrâneas, deixando-as impróprias para o consumo humano e animal. O nível crítico de nitrato na água potável é de 10mg/L (Ministério da Saúde, 2004).

Ernani et al. (2002), mostraram que quando há percolação de água no solo, as perdas de N por lixiviação são altas, independentemente do manejo da adubação nitrogenada. Quando o pH do solo é baixo e quando o fertilizante nitrogenado é aplicado sobre a superfície do solo, a lixiviação é retardada, e isso facilita a absorção do N pelas plantas. Mostraram ainda que a lixiviação não seja um fenômeno imediato, pois a máxima intensidade foi atingida após seis a oito chuvas simuladas, dependendo do pH do solo e do método de aplicação da uréia.

1.3 TIOFOSFATO DE N N-BUTILTRIAMIDA (NBPT)

O NBPT (tiofosfato de N-n-butiltriamida) não é inibidor direto da urease. Ele tem que ser convertido ao seu análogo de oxigênio (fosfato de N-n-butiltriamida)- NBPTO- que é o verdadeiro inibidor (Bremmner & Ahmad, 1995). O inibidor ocupa o local de atuação da urease e inativa a enzima (Mobley & Hausinger, 1989; Kolodziej & Martins, 1992). Assim, retarda o início e reduz o grau e a velocidade de volatilização de N-NH_3 . O atraso na hidrólise reduz a concentração de N-NH_3 presente na superfície do solo, diminui o potencial de

volatilização de N-NH_3 e permite o deslocamento da uréia para horizontes mais profundos do solo (Christianson et al., 1990). A velocidade da hidrólise da uréia é inversamente proporcional à concentração do inibidor da urease (Vittori Antisari, 1996).

Há dúvidas quanto à estabilidade do NBPT após sua aplicação à uréia, pois o inibidor tende a perder eficiência com o aumento do tempo de armazenamento. O fabricante do Agrotain (tiofosfato de N-n-butiltriamida) sugere que a uréia tratada com o produto pode ser armazenada por até 6 semanas antes da aplicação ao solo, sem degradação significativa (Agrotain, 2006). Depois de aplicado ao solo, o NBPT tende a ser menos eficiente em altas temperaturas, onde há maior atividade de urease, maior dissolução dos grânulos e maior evaporação da solução do solo, que provoca a movimentação da uréia e da NH_3 em direção à superfície (Rawluk et al., 2001). Nessas condições, maiores concentrações de NBPT são requeridas para alcançar os mesmos índices de inibição que seriam alcançados a temperaturas menores (Carmona et al., 1990).

Em ensaios de campo realizados nos Estados Unidos com uréia e uran foram demonstrados incrementos médios na produção de milho pela adição de NBPT. O uran é adubo fluído obtido da mistura do nitrato de amônio com uréia; (NH_4NO_3 (44,3%) + $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (35,4%) = H_2O (20,3%)), apresentando 32% N (14% NH_2 ; 9% NH_4 e 9% NO_3) com densidade de $1,356 \text{ g.cm}^{-3}$. No entanto, a magnitude da resposta à adição de NBPT, que é um inibidor de urease, a fertilizantes contendo uréia depende dos riscos de perdas de N por volatilização de NH_3 , os quais, por outro lado, estão associados às condições climáticas prevalentes no local e ao manejo da área (Cantarella, 2007).

2 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi composto por quatro experimentos. Todos eles foram conduzidos no laboratório de Química e Fertilidade do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina, CAV/UEDESC, em Lages, SC, nos anos de 2007 e 2008. Em todos eles foi utilizado um Cambissolo Húmico álico (Embrapa, 1999), com 50 g kg⁻¹ de matéria orgânica, 400 g kg⁻¹ de argila e pH natural 4,0. No conjunto de todos os experimentos, testaram-se a influência das fontes de N, formas de aplicação dos fertilizantes, doses do fertilizante nitrogenado, pH, umidade do solo e temperatura ambiente na volatilização de amônia. Em todos eles, o delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com quatro repetições. As unidades experimentais foram constituídas por bandejas de plástico com dimensões de 23 x 51 x 17 cm de largura, comprimento e altura, respectivamente. Cada uma delas continha 12 kg de solo, exceto para o experimento de umidade no qual se utilizou individualmente frascos plásticos para cada repetição. Esses frascos tinham a mesma área superficial de modo que não interferiu na metodologia de captação.

A metodologia de captação de amônia (NH₃) baseou-se na retenção do gás em ácido sulfúrico (H₂SO₄), através da reação:



Para isso, usaram-se garrafas tipo “pet” de 2 L, cortadas na base, cujo diâmetro era de 10 cm, dentro da qual foi pendurado um tubo plástico de centrífuga de 50 mL, por meio de um suporte de arame (Figura 1). Dentro do tubo de centrífuga, colocou-se solução de H₂SO₄ (0,3 mol/L) mais glicerina (2 %v/v) e duas fitas de papel filtro (2 x 20cm) com finalidade de aumentar a superfície de contato da NH₃ com o H₂SO₄, conforme metodologia adaptada de Miyazawa (2007). A quantidade de NH₃ volatilizada foi determinada por arraste de vapor, em aparelho semi-micro-Kjeldahl, de acordo com Tedesco et al. (1995).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, com significância de 5%. A partir destes resultados fez-se análise de regressão para as variáveis onde houve significância.

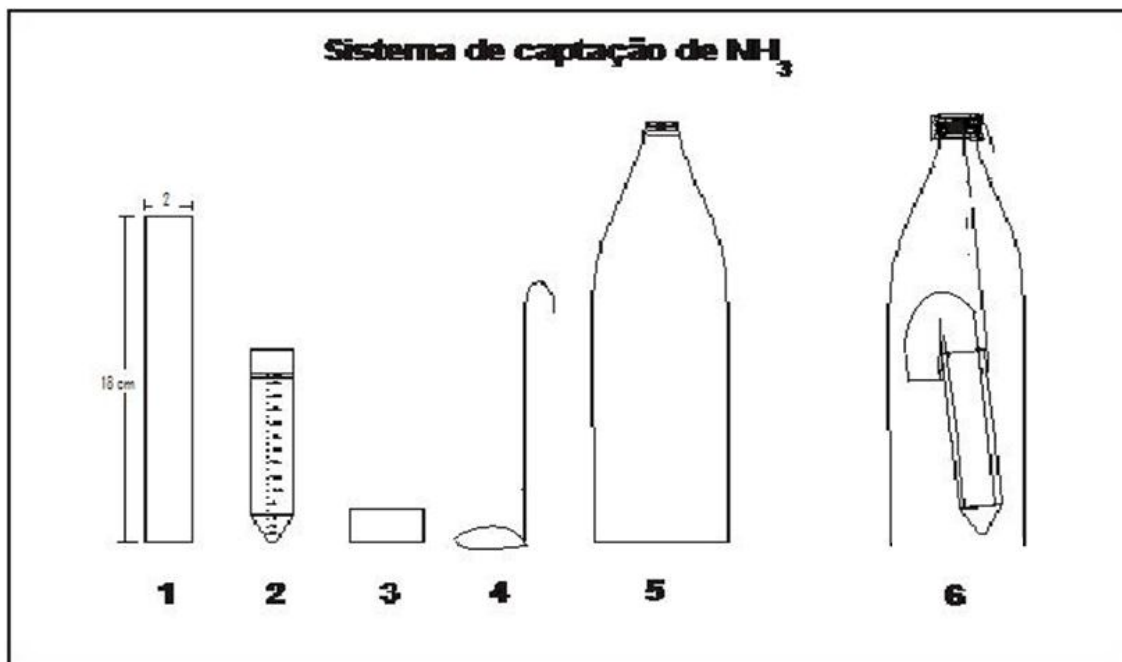


Figura 1 - Material para confecção do sistema de captação de NH₃. 1. Fita de papel filtro, 2,0 x 18 cm; 2. Tubo plástico de centrífuga de 50 mL, graduado; 3. Tampa da garrafa pet; 4. Suporte de arame; 5. Garrafa pet de 2 L cortada na base; 6. Sistema de captação de amônia montado. A extremidade inferior do papel filtro é mergulhada na solução contida no tubo 2.

2.1 EXPERIMENTO 1: INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E FORMA DE APLICAÇÃO DE DUAS FONTES DE N NA VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA

Neste experimento, testaram-se formas de aplicação de diferentes fontes de N submetidas a duas temperaturas ambientais. Os tratamentos resultaram da combinação de três formas de aplicação do fertilizante nitrogenado (sólida superficial, SS, sólida incorporada, SI, e líquida superficial, LS), duas fontes de N (uréia, U, e uréia com inibidor de urease, UI), ambas com 45% de N, e duas temperatura (18 e 35° C).

Os fertilizantes foram aplicados ao solo em uma área circular de 78,5 cm². Na aplicação dos fertilizantes na forma sólida superficial, fez-se a distribuição uniforme deles na superfície do solo, na área considerada. Na forma sólida incorporada, os fertilizantes foram incorporados ao solo até a profundidade de dois centímetros, de maneira que nenhum grânulo ficasse na superfície do solo. Para aplicação na forma líquida superficial, diluiu-se 16,67 gramas de cada fertilizante em água destilada, e aplicaram-se 20 mL desta solução, na área considerada. Os tratamentos que não receberam fertilizante na forma líquida receberam 20

mL de água destilada para padronizar a umidade. Usou-se também um tratamento testemunha (TEST), onde não foi aplicado nenhum fertilizante.

Em todos os tratamentos, à exceção da testemunha, aplicou-se a dose de 100 kg de N ha⁻¹. A quantidade de amônia volatilizada foi quantificada de acordo com Tedesco et. al., (1995) aos 2, 4, 6, 8, 13,18, 23 e 28 dias após a aplicação dos tratamentos.

2.2 EXPERIMENTO 2: INFLUÊNCIAS DA ACIDEZ DO SOLO E DO TIPO DE FERTILIZANTE NITROGENADO NA VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA

Neste experimento, testou-se o efeito de diferentes níveis de acidez do solo na volatilização de amônia a partir da adição de uréia e de uréia com inibidor de urease sobre a superfície do solo.

Os tratamentos consistiram da combinação das duas fontes com quatro valores de pH, totalizando oito tratamentos. Utilizaram-se uréia e uréia com inibidor de urease, ambos com 45% de N. Os pHs testados foram: pH natural (pH 4,0); pH 5,5, pH 6,3 e pH 6,8.

A dose de N utilizada nos tratamentos equivaleu a 100 kg de N ha⁻¹. As unidades experimentais foram mantidas na temperatura ambiente média de 18°C. Os fertilizantes foram aplicados somente na superfície do solo.

Determinaram-se as quantidades de NH₃ volatilizada de acordo com Tedesco et al. (1995), aos 2, 4, 6, 8, 13,18, 23 e 28 dias após a aplicação dos tratamentos.

2.3 EXPERIMENTO 3: INFLUÊNCIA DA DOSE DE N, DO TIPO E DA FORMA DE APLICAÇÃO DO FERTILIZANTE NITROGENADO NA VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA

Neste experimento testaram-se duas doses de N, duas formas de aplicação dos fertilizantes e de duas fontes de N.

Os tratamentos consistiram da aplicação de uréia e uréia com inibidor de urease, ambas as fontes com 45% de N, nas doses de 80 e 150 mg de N numa área de 78,5 cm², correspondente a 100 e 190 kg N ha⁻¹. Os fertilizantes foram aplicados superficialmente no solo, na forma sólida e líquida. Quando aplicado sólido, o fertilizante foi distribuído uniformemente na superfície da área. Na forma líquida, fez-se uma solução para cada fertilizante, e aplicou-se o volume de 20 mL na área do tratamento. Naqueles tratamentos em que se aplicou o fertilizante sólido, foram distribuídos 20 mL de água destilada para uniformizar a umidade. O experimento foi acondicionado à temperatura ambiente (18° C).

As volatilizações de amônia foram quantificadas aos 2, 4, 6, 8, 13,18, 23 e 28 dias após a aplicação dos tratamentos.

2.4 EXPERIMENTO 4 : INFLUÊNCIA DA UMIDADE DO SOLO E DO TIPO DE FERTILIZANTE NITROGENADO NA VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA

Neste experimento foram avaliados a influência da combinação de fertilizantes nitrogenados e do teor de umidade do solo na volatilização de amônia.

Os tratamentos consistiram de um fatorial envolvendo três umidades do solo, duas fontes de N e duas formas de aplicação do fertilizante. Utilizou-se apenas uma dose, equivalente a 100 kg de N ha⁻¹. As umidades gravimétricas do solo corresponderam a 0%, 10% e 20%, aproximadamente 0, 14 e 28% da capacidade de campo (CC) do solo. As fontes utilizadas foram uréia e uma fonte de liberação lenta, o uréia com inibidor de urease, ambas com 45% de N. Os fertilizantes foram aplicados na superfície do solo na forma sólida e líquida.

Inicialmente o pH do solo foi corrigido para 5,5. Depois o solo foi seco em estufa a 65° C por 72 horas e posteriormente adicionou-se água para atingir a umidade desejada.

Os fertilizantes sólidos foram aplicados superficialmente no solo para as três umidades. Na forma líquida, aplicaram-se os fertilizantes para as umidades 10 e 20%. Eles foram diluídos em água destilada, de maneira que a quantidade de fertilizante aplicado e a quantidade de água correspondessem à dose e umidades do solo que se desejou estudar.

Para todas as umidades do solo fez-se um tratamento testemunha no qual não se aplicou fertilizante.

Aos 2, 4, 6, 8, 13,18, 23 e 28 dias após a aplicação dos tratamentos, determinaram-se as quantidades de amônia volatilizada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 EXPERIMENTO 1: INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DA FORMA DE APLICAÇÃO DE DUAS FONTES DE N NA VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA

A temperatura e a forma de aplicação dos fertilizantes nitrogenados influenciaram a volatilização de amônia (Figura 2). Apesar de não ter havido diferença na volatilização entre as fontes, a quantidade de amônia volatilizada no decorrer do experimento variou. A uréia apresentou perda máxima aos 2 dias após a aplicação do adubo ao solo no tratamento com temperatura de 18° C; naquele com 35° C, o pico ocorreu aos 4 dias. A uréia com inibidor de urease apresentou atraso na volatilização de amônia em relação à uréia, pois as perdas máximas ocorreram aos 4 e aos 6 dias após a aplicação do fertilizante, respectivamente para as temperaturas de 35 e 18° C. As perdas se tornaram constantes após transcorridos 18 dias da aplicação dos fertilizantes ao solo (Figura 2). Normalmente, a máxima perda de amônia por volatilização concentra-se nos primeiros seis dias após a aplicação da uréia sobre a superfície do solo (Al-Kanani et al., 1991; Sengik & Kiehl, 1995a e 1995b; Sangoi et al., 2003).

A uréia aplicada na forma líquida sobre a superfície do solo (ULS) apresentou uma perda máxima de 11 kg ha⁻¹ dia⁻¹ a 35° C. A uréia com inibidor de urease perdeu mais quando aplicado sólido superficial e na mesma temperatura de 35° C, ultrapassando os 14 kg ha⁻¹ dia⁻¹, ou seja, esta foi a perda máxima ocorrida em um dia, decrescendo em seguida. As perdas máximas diárias de N por volatilização de amônia nos tratamentos com uréia foram 2 a 3 vezes maiores quando a temperatura foi aumentada de 18 para 35° C. Para a uréia com inibidor de urease, o incremento na volatilização ocasionado pelo aumento na temperatura ambiente foi ainda maior, atingindo 3 a 4 vezes, evidenciando o efeito negativo do incremento da temperatura na volatilização de amônia Ernst & Massey (1960) determinaram incremento de 1% na volatilização de N-NH₃ por cada 8° C de aumento, avaliando numa faixa de 7 a 32° C. Temperaturas mais altas aceleram a hidrólise da uréia o que contribui para o incremento nas perdas por volatilização. A atividade da urease no solo mostra dependência significativa do fator temperatura do solo (Zantua e Bremner, 1975; Dalal, 1975; Moyo *et al.*, 1989; Kissel,

1988). Gould *et al.* (1973) verificaram que a atividade da urease na faixa de 2° C a 45° C pode ser descrita adequadamente como uma função linear da temperatura. O'Connor e Hendrickson (1987) verificaram que a hidrólise da uréia foi completa com 1, 4, 6, 7 e 8 dias para as temperaturas de 35° C, 25° C, 15° C, 10° C e 5° C, respectivamente. Os mesmos autores identificaram ainda que a perda mais rápida ocorreu a 35° C, onde 70% do nitrogênio aplicado foram volatilizados em sete dias.

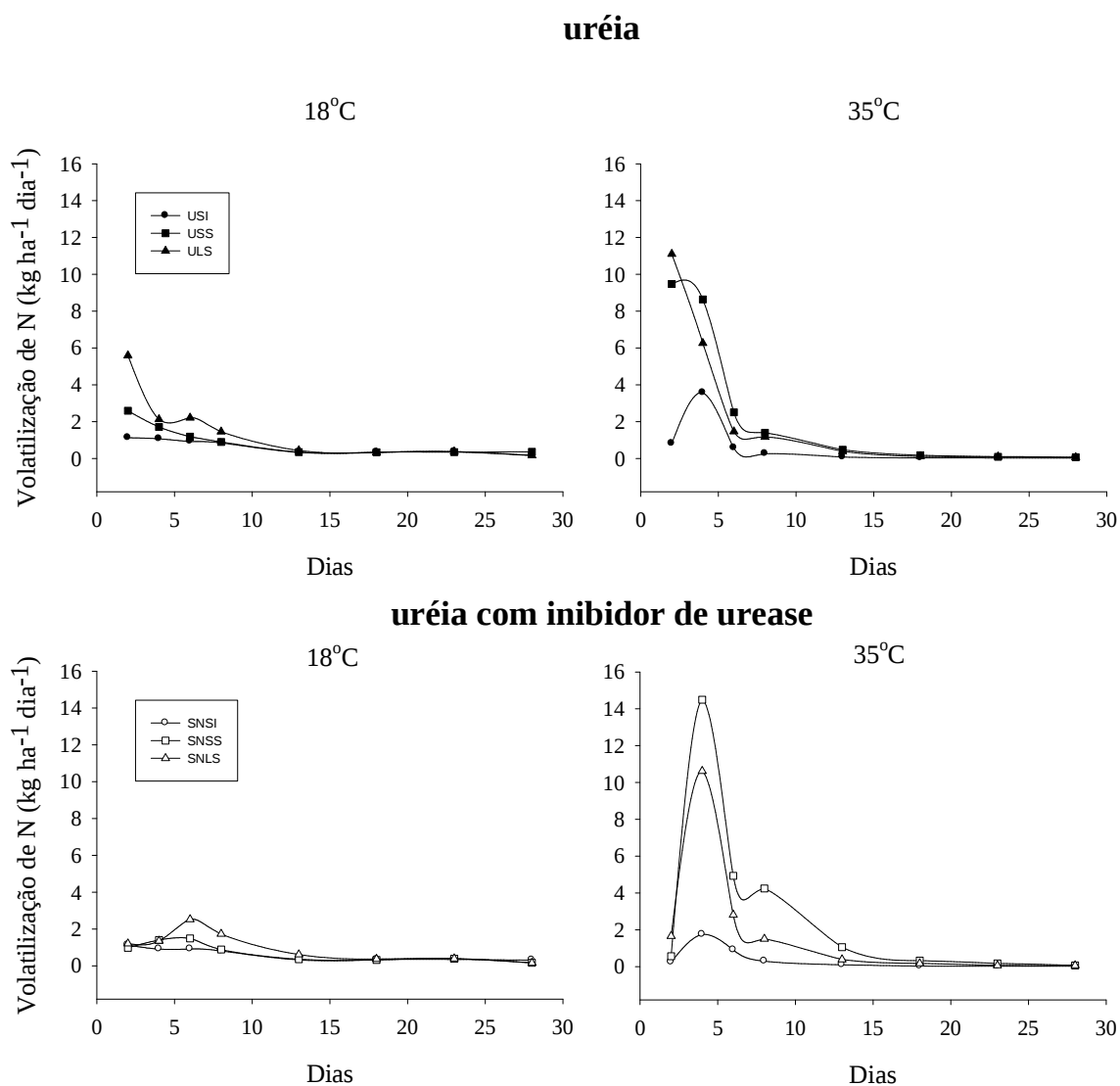


Figura 2 - Perdas diárias de N por volatilização de NH₃, a partir da aplicação de uréia(U) e uréia com inibidor de urease (SN) nas formas sólida incorporada (SI), sólida superficial (SS) e líquida superficial (LS), mantidos a 18 e 35 °C. Médias de quatro repetições.

A incorporação dos fertilizantes reduziu as perdas por volatilização de amônia. Na maior temperatura ocorreram as maiores perdas (Figura 3) para ambas as formas de aplicação dos fertilizantes, porém na aplicação sólida incorporada (SI) as perdas ocorridas não diferiram estatisticamente. A aplicação a certa profundidade, ou a incorporação da uréia na camada superficial do terreno, são práticas que conduzem a menores perdas que a aplicação à superfície, porque aumentam a chance de o gás ser retido no solo (Rodrigues e Kiehl, 1986). Estudos realizados em diversos países mostram que o enterrio da uréia ou sua mistura com a camada superficial do terreno podem reduzir a volatilização ou até mesmo torná-la desprezível (Ernst & Massey, 1960; Overrein & Moe, 1967, e Connell et al, 1979). Lara Cabezas et. al. (2000) estimaram em um experimento a campo, em 2002/03, em um Argissolo Vermelho distrófico arênico, que pode haver redução no rendimento de grãos de milho devido à volatilização de N-NH_3 na proporção de 10 kg ha^{-1} de grãos para cada 1% de N volatilizado.

O efeito do aumento da temperatura na volatilização da amônia variou com a forma física em que os fertilizantes foram aplicados sobre a superfície do solo. Na temperatura de 18°C as maiores perdas acumuladas ocorreram quando o fertilizante (média da uréia e da uréia com inibidor de urease) foi aplicado por via líquida na superfície do solo (Figura 4). No entanto, com o aumento da temperatura para 35°C , a aplicação sólida superficial foi a que mais volatilizou amônia (Figura 4). As perdas totais de N ultrapassaram os 50 kg ha^{-1} na temperatura de 35°C , o que representa mais de 50% de perdas, no entanto, as perdas foram inferiores a 30 kg ha^{-1} na temperatura de 18°C , menos de 30% de perdas. A incorporação foi a melhor forma de minimizar a volatilização de amônia para ambas as temperaturas. Nessa forma de aplicação, os valores de N perdidos ficaram abaixo de 15 kg ha^{-1} em qualquer dos tratamentos, ou seja, as perdas foram inferiores a 15% do total de N aplicado. Trivelin, et al. (2002), no ciclo de cana-soca, encontraram as maiores perdas do N-uréia no sistema solo-planta quando o fertilizante foi aplicado na superfície, pois a palha em superfície diminui o contato do fertilizante com o solo e o deixa exposto à insolação, além de reduzir drasticamente a chance do gás ser retido no solo. Na temperatura de 35°C , mais de 50% do N aplicado ao solo foi perdido por volatilização de amônia quando se aplicou os fertilizantes na forma sólida sobre a superfície do solo, ou seja, mais do que o dobro da quantidade perdida na temperatura de 18°C , comprovando a influência da temperatura na volatilização de amônia.

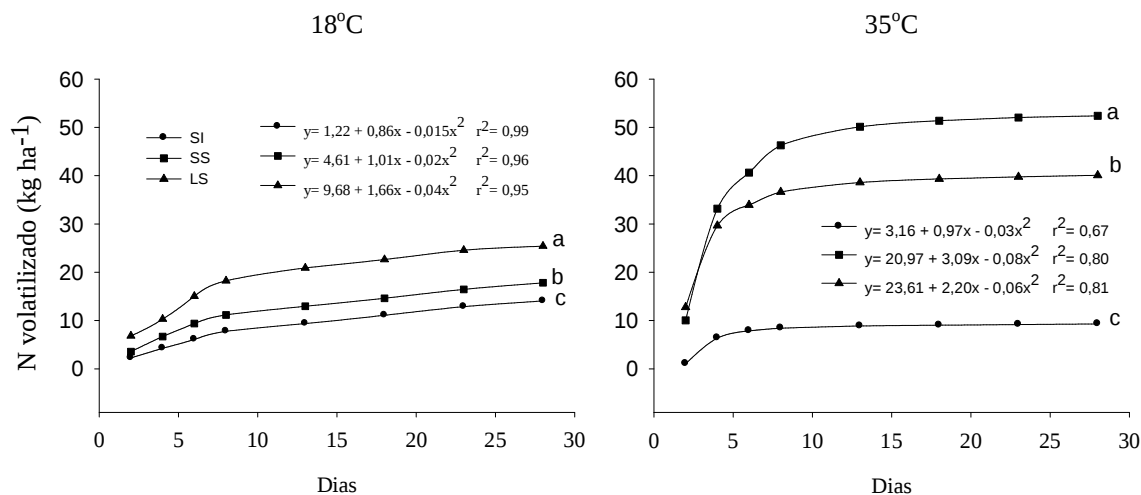


Figura 3 - Perdas acumuladas de N por volatilização de NH₃, a partir da aplicação de uréia e uréia com inibidor de urease nas formas sólida incorporada, sólida superficial e líquida superficial, mantidos a 18 e 35 °C. Médias de quatro repetições das duas fontes, uréia e uréia com inibidor de urease. SI= sólida incorporada; SS= sólida superficial; LS= líquida superficial.

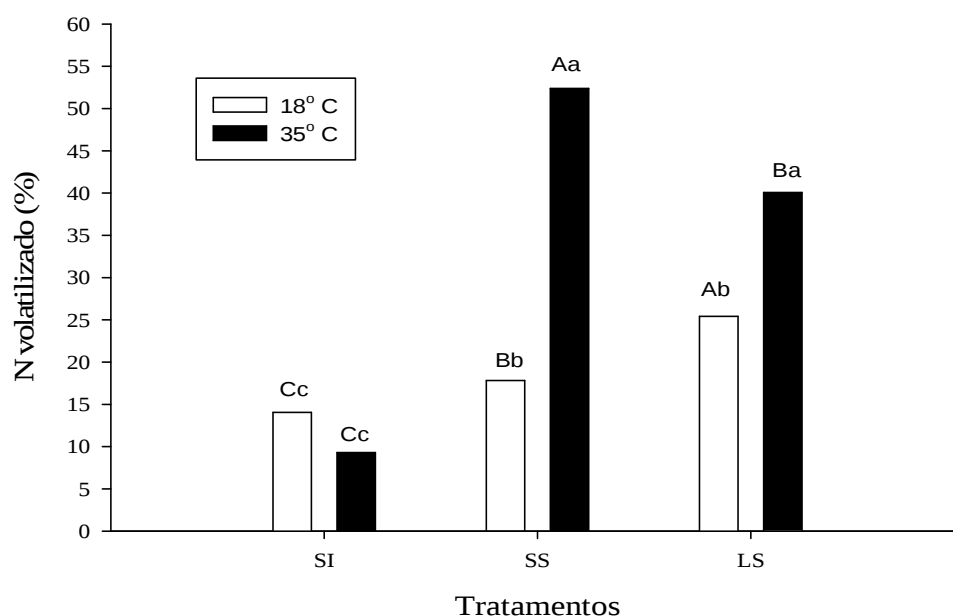


Figura 4 - Perdas de N por volatilização de NH₃, a partir da aplicação de uréia (U) e uréia com inibidor de urease (SN) nas formas sólida incorporada (SI), sólida superficial (SS) e líquida superficial (LS), mantidos a 18 e 35 °C. Médias de quatro repetições e das duas fontes.

Em relação à quantidade aplicada, as perdas foram inferiores a 15% quando os fertilizantes foram incorporados ao solo, para ambas as temperaturas (Figura 4). O tratamento onde os fertilizantes foram aplicados na forma sólida, sobre a superfície do solo (SS), foi onde

houve a maior influência da temperatura na volatilização, sendo que com 35° C as perdas foram 30 pontos percentuais maiores do que em 18° C. Na maior temperatura a aplicação dos fertilizantes por via líquida perdeu quantidades menores em relação à aplicação sólida superficial, no entanto, na menor temperatura perdeu mais.

3.2 EXPERIMENTO 2: INFLUÊNCIA DA ACIDEZ DO SOLO E DO TIPO DE FERTILIZANTE NITROGENADO NA VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA

O pH do solo influenciou a volatilização de amônia diferentemente para as duas fontes de N estudadas. As maiores perdas diárias de amônia ocorreram entre o quarto e o oitavo dia de experimentação para as duas fontes nitrogenadas, porém os picos para a uréia aconteceram antes do que os picos do uréia com inibidor de urease. Além disso, os valores máximos diários de amônia volatilizada nos tratamentos com uréia foram superiores aos volatilizados do solo tratado com uréia com inibidor de urease, fato que se repetiu durante todo o experimento. No quarto dia após a aplicação dos fertilizantes, a uréia volatilizou mais de 1,5 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de N no solo com pH 6,8, enquanto que para o uréia com inibidor de urease, o valor ficou abaixo de 1,2 kg ha⁻¹ dia⁻¹ (Figura 5). As perdas se estabilizaram próximas de zero aos quinze dias após a aplicação dos fertilizantes.

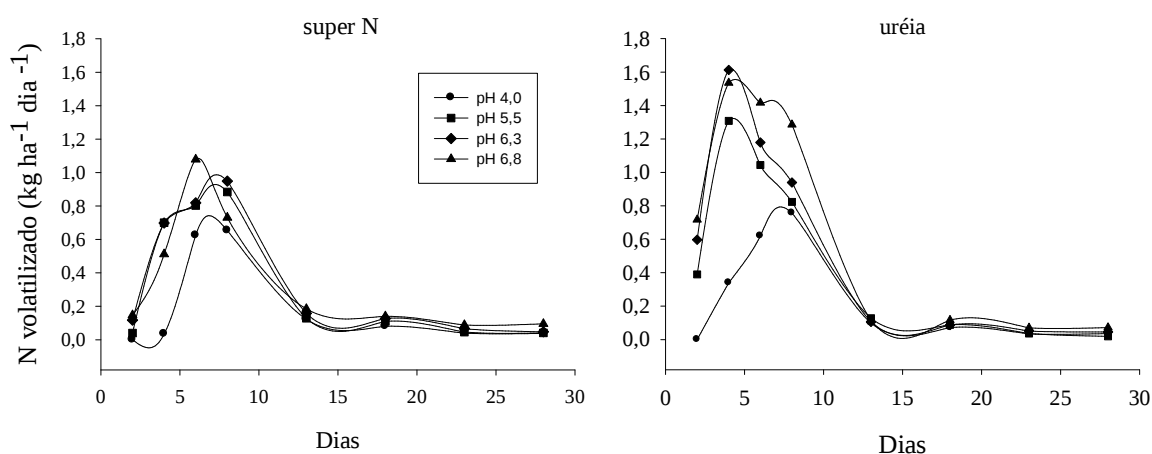


Figura 5 - Perdas diárias de N por volatilização de NH₃, a partir da aplicação de 100 kg. ha⁻¹ de N na forma de uréia (U) e uréia com inibidor de urease (SN), acondicionados em temperatura ambiente (18°C). Médias de quatro repetições.

As quantidades acumuladas de amônia perdida por volatilização foi diretamente proporcional ao pH do solo (Figura 6). Isso está diretamente ligado à hidrólise da uréia, pois quanto menos ácido for o solo maior é a velocidade da reação e maior é a formação de amônia

(Sengik, et al., 2001), predispondo o N a se perder para a atmosfera. A diminuição do potencial de perdas de amônia ocorre quando esse gás passa para amônio, que depende do pH em torno do grânulo da uréia e da umidade do solo (Da Ros et al., 2005). A elevação temporal do pH na zona de aplicação afeta o equilíbrio entre NH_3 e NH_4^+ no solo ($\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \leftrightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$), sendo que quanto maior o valor de pH alcançado na zona de aplicação menor proporção de N-NH_4^+ e maior o potencial de volatilização (Leguizamón, et al., 2007). Os maiores valores de pH coincidiram com as maiores perdas diárias de amônia, fenômeno também encontrado por Sengik, et al. (2001). Embora valores elevados de pH favoreçam a volatilização de amônia (Watkins et al., 1972; Fenn e Kissel, 1976) a diferença de pH entre os solos estudados por Rodrigues e Kiehl (1986) parece não ter exercido efeito sobre as perdas, pois no solo ácido LVd (pH 5,8) elas foram maiores do que as observadas no solo levemente alcalino PV (pH 7,1). Provavelmente, a condição de acidez do LVd na tenha sido fator importante na retenção de amônia por que esta, ao ser produzida pela decomposição da uréia, eleva o pH do meio (Overrein & Moe, 1967; Watkins et al., 1972 e Kiehl et al., 1981). A uréia apresentou maior volatilização de amônia do que a uréia com inibidor de urease, em todos os valores de pH avaliados (Figura 6).

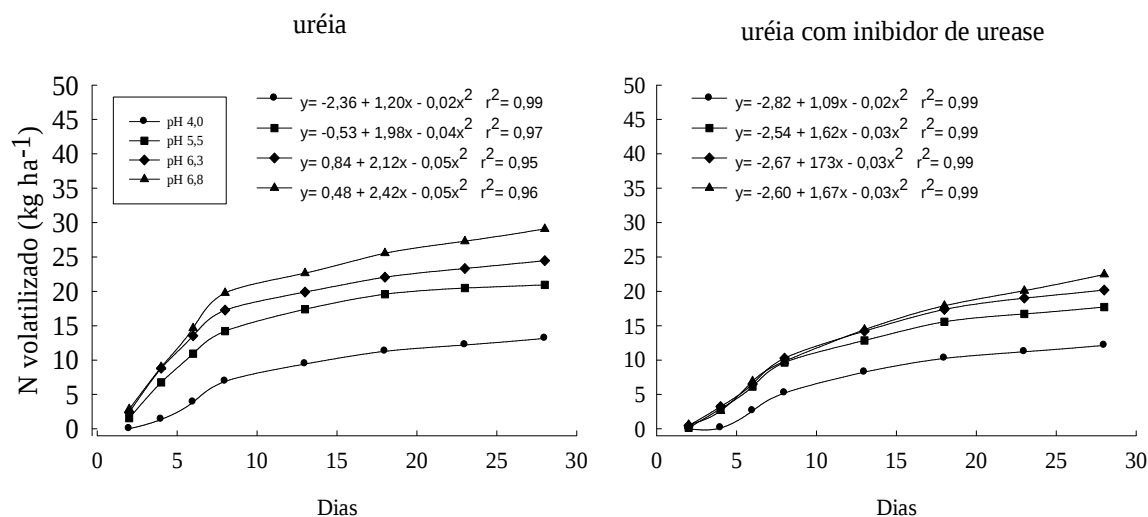


Figura 6 - Perdas acumuladas de N por volatilização de NH_3 , a partir da aplicação de 100 kg. ha^{-1} de N na forma de uréia e uréia com inibidor de urease, acondicionados em temperatura ambiente (18°C). Médias de quatro repetições. Letras diferentes representam diferenças entre perdas acumuladas pelo teste Tukey.

As perdas acumuladas de amônia a partir da uréia superficial superaram os 29 kg ha^{-1} , enquanto que a partir da uréia com inibidor de urease foram perdidos menos de 23 kg ha^{-1} . Nos tratamentos com uréia, o incremento na volatilização de amônia foi maior do que nos

com uréia com inibidor de urease, ou seja, para a mesma variação do pH, onde se aplicou uréia volatilizou mais amônia do que onde se aplicou uréia com inibidor de urease. No tratamento com pH mais elevado (pH 6,8), a adição de uréia apresentou perdas próximo de 30% (Figura 7) do total de N adicionado ao solo. Na faixa de pH de 5,5 a 6,3, a volatilização de amônia variou entre 17 e 20% onde foi aplicado uréia com inibidor de urease e entre 20 e 24% onde foi aplicada uréia.

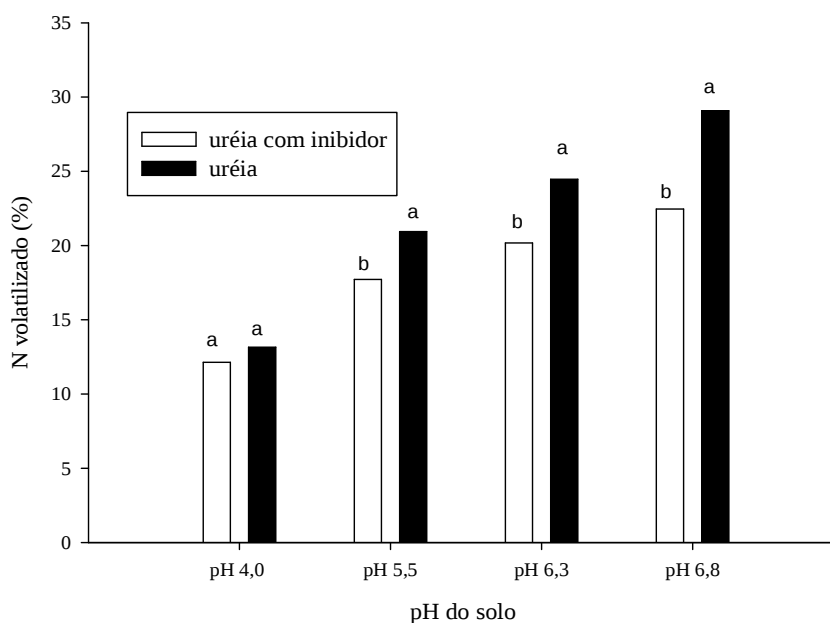


Figura 7 - Perdas de N por volatilização de NH_3 , a partir da aplicação de 100 kg. ha^{-1} de N na forma de uréia e uréia com inibidor de urease, acondicionados em temperatura ambiente (18°C). Letras diferentes representam diferença estatística ($p < 0,05$) entre as fontes para o mesmo pH.

3.3 EXPERIMENTO 3: INFLUÊNCIA DA DOSE DE N, DO TIPO E DA FORMA DE APLICAÇÃO DO FERTILIZANTE NITROGENADO NA VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA

As perdas diárias de amônia aumentaram com a dose de N aplicada ao solo (Figura 8). Os valores foram três vezes maiores na dose de 190 kg ha^{-1} do que na dose de 100 kg ha^{-1} . Na maior dose do fertilizante, a volatilização foi de 15 e $21 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de N para a aplicação sobre a superfície do solo das formas líquida e sólida, respectivamente. As maiores perdas diárias de amônia ocorreram quatro dias após a implantação do experimento para as duas doses avaliadas (Figura 8). Duarte et. al. (2007) encontraram os maiores picos de emissão de

N-NH₃ para a atmosfera entre 34 e 48 horas após a aplicação da uréia no solo, num estudo conduzido com solo Planossolo Hidromórfico nas condições úmido e saturado.

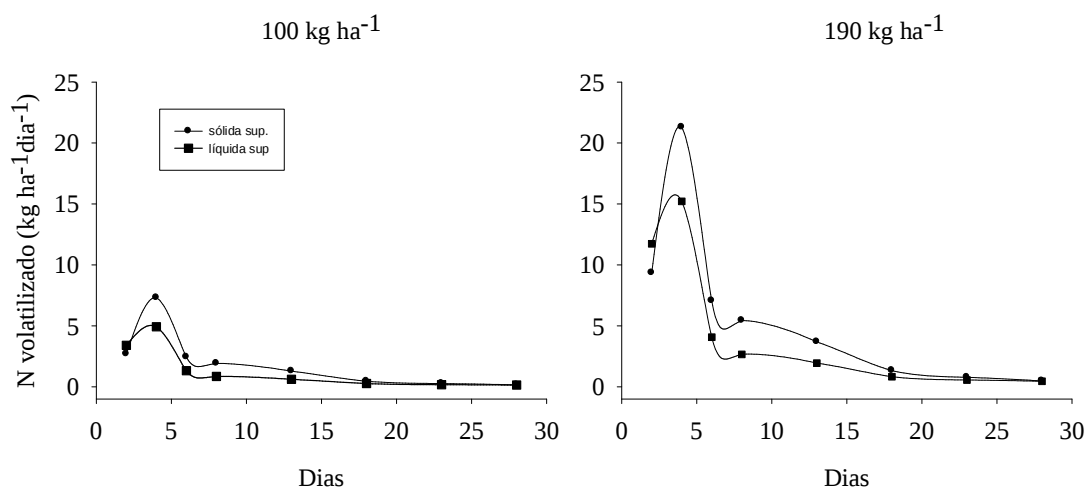


Figura 8 - Perdas diárias de N por volatilização de NH₃, a partir da aplicação sólida superficial (SS) e líquida superficial (LS) de duas doses de N na forma uréia (U) e uréia com inibidor de urease (SN). Médias das duas fontes e das quatro repetições de cada fonte.

As perdas acumuladas de amônia aumentaram com a dose de N aplicada ao solo (Figura 9). Para a dose de 100 kg ha⁻¹ de N as perdas corresponderam a um terço da ocorrida na dose de 190 kg ha⁻¹ de N, fenômeno também encontrado por Volk (1959) e por Overrein e Moe (1967). Na maior dose, quando o fertilizante foi aplicado sólido sobre a superfície do solo, volatilização de N ultrapassou os 49 kg ha⁻¹, representando 26,3% do total adicionado ao solo (Figura 10), porém menor do que os 78% encontrados por (Lara Cabezas et. al., 1997). Scharlau, et. al. (2007) encontraram o maior percentual de NH₃ volatilizada (18,51%) no solo adubado com uréia e com a maior dose (140 kg de N ha⁻¹), enquanto que a perda da uréia com inibidor de urease (7,53%) foi bem menor. A maior perda ocorrida na maior dose se deve provavelmente ao efeito alcalino na região próxima ao grânulo da uréia, resultante da hidrólise da uréia e da conversão de N amídico em NH₃ (Villas Boas et al., 2005).

Na dose de 190 kg ha⁻¹ de N as perdas de N-NH₃ diferiram com a forma em que o fertilizante foi aplicado ao solo. Quando os fertilizantes foram aplicados sobre a superfície do solo, na forma líquida houve redução de 11 kg ha⁻¹ nas perdas em relação à forma sólida, ou seja, foram reduzidas de 26 para 19%. Na menor dose (100 kg ha⁻¹), as perdas de amônia foram semelhantes entre as formas de aplicação (sólida superficial e líquida superficial).

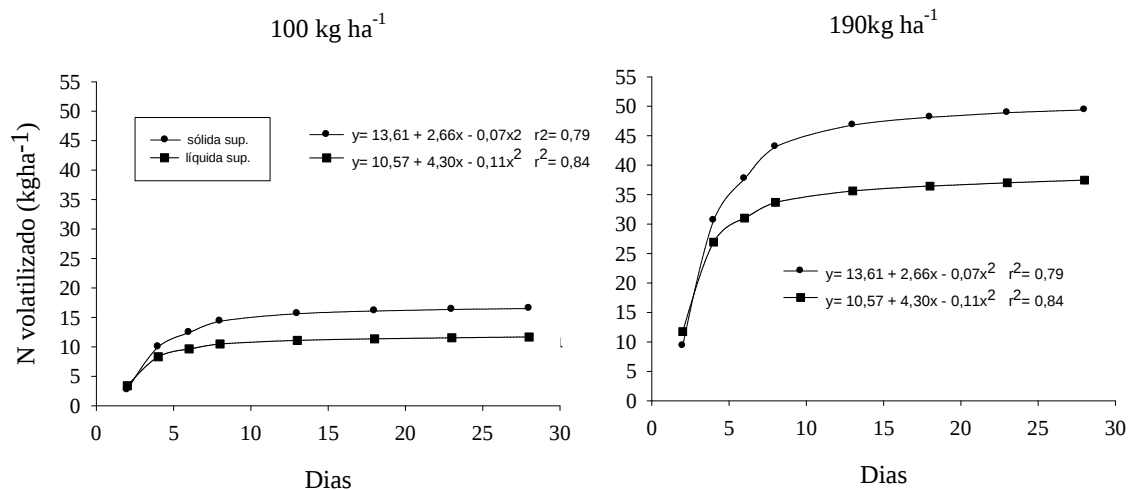


Figura 9 - Perdas acumuladas de N por volatilização de NH₃, a partir da aplicação de duas doses de N na forma uréia e uréia com inibidor de urease. Médias das duas fontes com quatro repetições cada. Sólida sup.= aplicação do fertilizante na forma sólida superficial; Líquida sup.= aplicação do fertilizante na forma líquida superficial. Letras iguais não diferiram entre si a 5% de significância (p<0,05) para mesma dose aplicada.

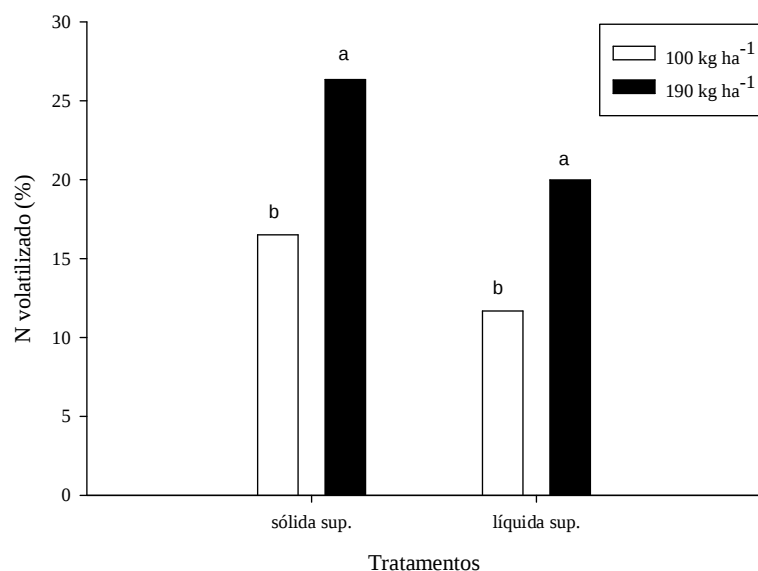


Figura 10 - Perdas de N por volatilização de NH₃, a partir da aplicação de duas doses de N na forma uréia e uréia com inibidor de urease. Médias das duas fontes e das quatro repetições de cada fonte. Sólida sup.= aplicação do fertilizante na forma sólida superficial; Líquida sup.= aplicação do fertilizante na forma líquida superficial. Letras diferentes representam diferença estatística entre as doses de N a 5% de significância (p<0,05).

3.4 EXPERIMENTO 4: INFLUÊNCIA DA UMIDADE DO SOLO, DO TIPO E DA FORMA DE APLICAÇÃO DO FERTILIZANTE NITROGENADO NA VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA

O estado físico (sólido ou líquido) em que os fertilizantes foram aplicados influenciou as perdas de N por volatilização de amônia. Nos tratamentos em que os adubos foram aplicados na forma sólida, sobre a superfície do solo, foi onde ocorreram as maiores perdas tanto diárias quanto acumuladas (Figura 11). As máximas perdas diárias onde foi aplicada uréia ocorreram entre quatro e seis dias após a aplicação do fertilizante, enquanto que para a uréia com inibidor de urease isto ocorreu aos seis dias, havendo, portanto, um pequeno atraso no pico de volatilização deste adubo (Figura 11). A máxima volatilização diária de NH_3 nos tratamentos com uréia foi de aproximadamente de $6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e aconteceu quando o fertilizante foi aplicado no estado sólido, sobre a superfície do solo que tinha 10% de umidade. Para a uréia com inibidor de urease, a perda foi menor do que $4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, para o estado sólido sobre a superfície do solo. Depois de transcorridos 10 dias da aplicação dos fertilizantes ao solo, as perdas diárias de N-NH_3 diminuíram para menos de $1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, o que é considerado baixo quando comparado com as que podem ser atingidas em condições adversas, tal como altas temperaturas.

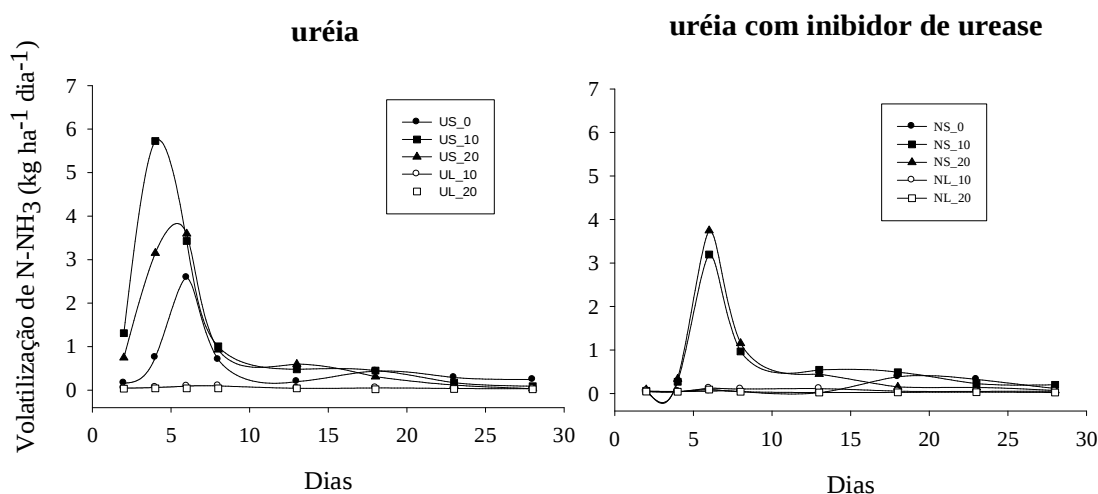


Figura 11 - Perdas diárias de N-NH_3 por volatilização, a partir da aplicação de uréia (U) e uréia com inibidor de urease (SN), nas formas sólida superficial (SS) e líquida superficial (LS), sobre um Cambissolo Húmico álico com três umidades (0, 10 e 20%). Médias das quatro repetições.

As fontes de nitrogênio utilizadas se comportaram de maneira diferente quando variou a umidade do solo. As perdas de N por volatilização de amônia diferiram entre os dois

fertilizantes nitrogenados apenas nos tratamentos nos quais eles foram aplicados no estado sólido sobre a superfície do solo, independentemente da umidade existente. A uréia apresentou maior volatilização de amônia do que a uréia com inibidor de urease, em todas as umidades do solo avaliadas, sendo que com 10% de umidade no solo ocorreu a maior emissão de amônia, tendo atingido mais de 28 kg ha^{-1} . As perdas totais acumuladas durante todo o período experimental foram inferiores a 2 kg ha^{-1} quando os fertilizantes foram aplicados no estado líquido, independentemente do conteúdo de água do solo, não tendo havido, portanto, diferenças entre os fertilizantes e as umidades do solo (Figura 12).

O teor de umidade do solo influenciou a volatilização de amônia somente quando os fertilizantes foram aplicados na forma sólida sobre a superfície do solo. O teor de umidade do solo é um fator importante na hidrólise da molécula uréia, pois a adição de água promove o aumento da difusão da uréia e, conseqüentemente, maior contato com a urease existente no solo (Volk, 1959; Savant et. al., 1987). A ausência de umidade no solo praticamente inibiu a volatilização de amônia, uma vez que ela foi menor do que nos tratamentos com solo úmido (Duarte et. al., 2007). O solo seco (0% umidade) promoveu menores perdas de N do que as demais umidades avaliadas. Uma possível explicação para isto pode ser que para o desencadeamento da reação de hidrólise da uréia seja necessário a presença de um mínimo de umidade no solo. Esta possibilidade nos dá uma hipótese para um estudo futuro, onde sejam testados níveis de umidade no solo desde 0 até 10%.

No tratamento onde o fertilizante foi aplicado sobre a superfície do solo na condição de 10% de umidade do solo, a volatilização de amônia a partir da aplicação da uréia ultrapassou 25% do N total aplicado ao solo (Figura 13). Lara Cabezas et. al. (1997; 2000) encontraram perdas que variaram de 42 a 50% do N aplicado quando a uréia foi adicionada sobre a superfície, sem incorporação com o solo. Nas condições deste experimento, a aplicação dos fertilizantes no estado líquido demonstrou ser uma forma eficiente na redução das perdas de N por volatilização.

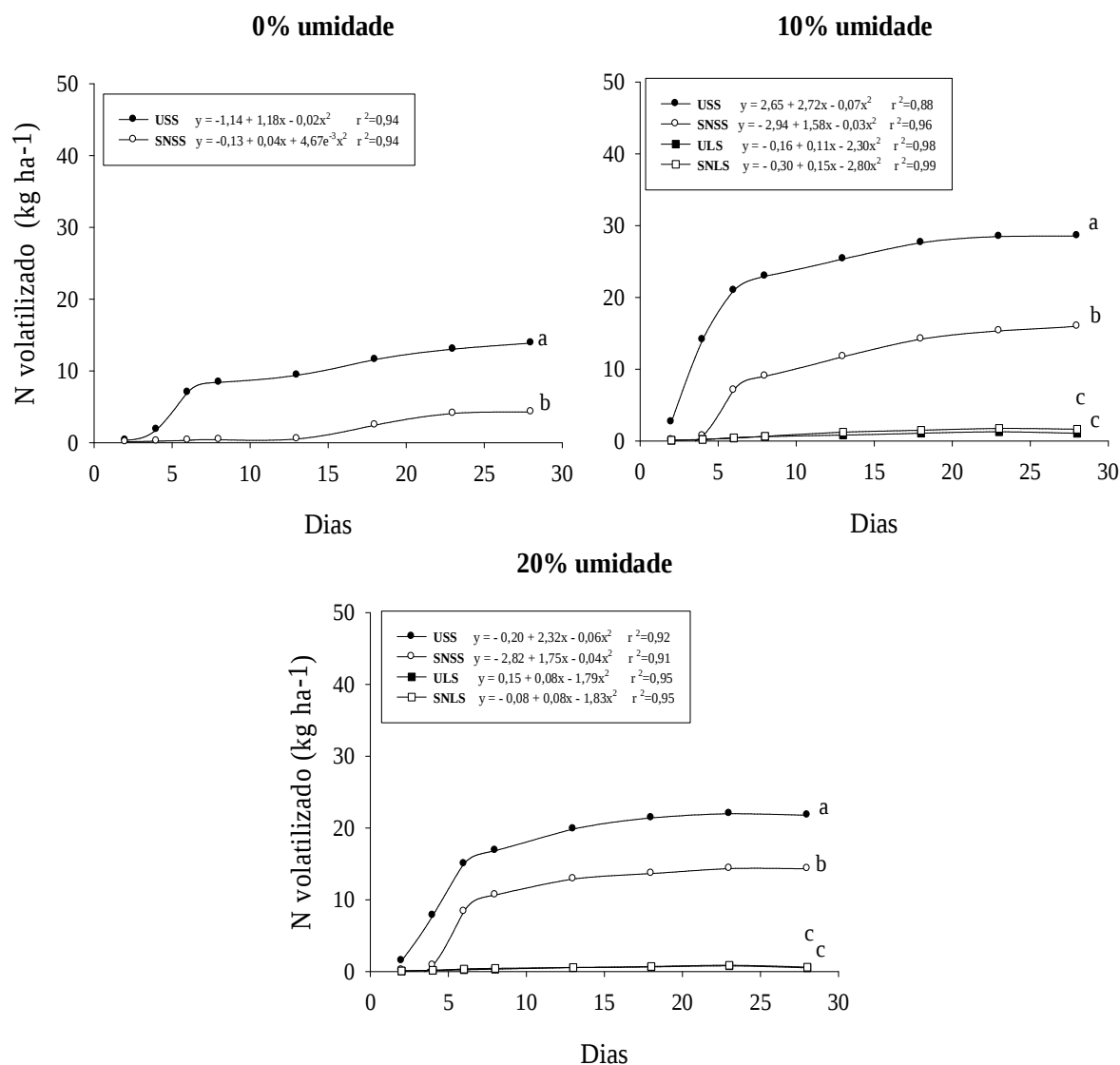


Figura 12 - Perdas acumuladas de N- NH₃ por volatilização, a partir da aplicação de uréia (U) e uréia com inibidor de urease (SN), na forma sólida superficial (SS) e líquida superficial (LS), sobre um Cambissolo Húmico álico com três umidades (0, 10 e 20%). Médias das quatro repetições. Letras diferentes indicam diferenças pelo teste Tukey.

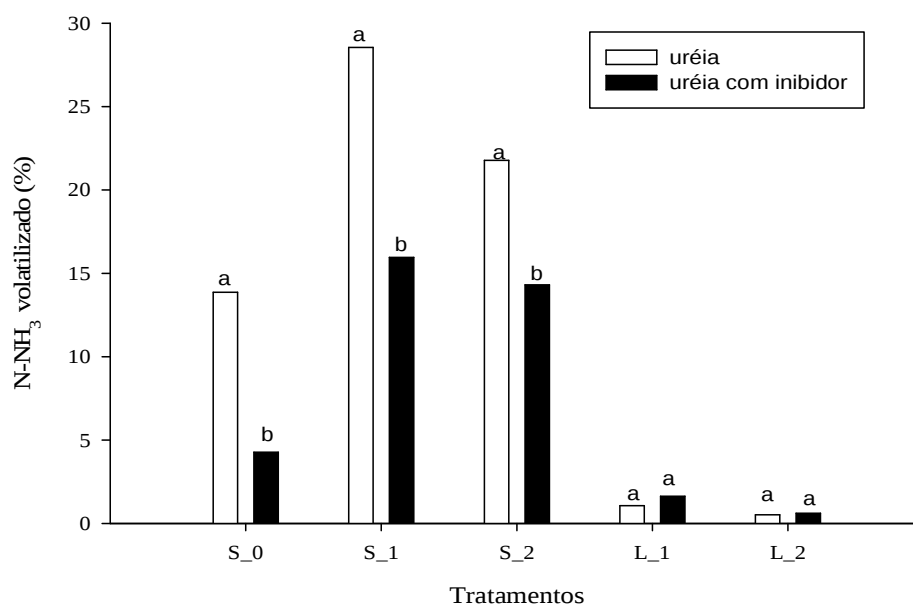


Figura 13 - Perdas de N- NH₃ por volatilização, em porcentagem (%), a partir da aplicação de uréia e uréia com inibidor de urease, nas formas sólida superficial e líquida superficial, sobre um Cambissolo Húmico álico com três umidades. Médias das quatro repetições. Letras diferentes diferenças entre as fontes pelo teste Tukey.

4 CONCLUSÕES

A incorporação dos fertilizantes ao solo foi a forma mais eficiente de reduzir as perdas de N por volatilização, apesar de a aplicação por via líquida também diminuir as perdas. A aplicação sólida superficial das fontes de N ao solo foi a forma de aplicação dos fertilizantes que apresentou as maiores perdas.

A temperatura de 35° C volatilizou maior quantidade de amônia do que a temperatura de 18° C para ambas as fontes de N avaliadas, ou seja, quanto mais elevada a temperatura do ambiente, maior a perda de N por volatilização de amônia.

O pH do solo teve relação direta com a volatilização de amônia. Quanto menor a acidez do solo, maior foi a perda de N, porém nos tratamentos onde se aplicou o uréia com inibidor de urease as perdas aumentaram em menor proporção do que nos tratamentos que receberam uréia. Portanto, em solos com pH mais elevado a aplicação de uréia com inibidor de urease pode ser uma maneira de reduzir as perdas de N por volatilização de amônia.

Quanto mais N foi adicionado ao solo, maior foi a volatilização de amônia, ou seja, dose e volatilização de amônia tiveram relação diretamente proporcional.

A fonte de N utilizada não influenciou a perda de N quando se avaliou os pHs do solo, exceto no pH natural do solo, sendo que a uréia volatilizou maior quantidade de amônia do que a uréia com inibidor de urease. Quando se testou as diversas umidades do solo a uréia com inibidor de urease volatilizou menor quantidade de amônia em relação a uréia sem inibidor.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROTAIN. Manual técnico do fabricante, setembro, 2006. Disponível em: <http://www.agrotain.com/labels/AgrotainLabel092006.pdf>. Acessado em 01/03/2007
- ALEXANDER, M. Nitrification. In: BARTHOLOMEW, W.V.; CLARK, F.E. (Ed.). Soil nitrogen. Madison : **American Society of Agronomy**, 1965. p.307-343.
- AL-KANANI, T. et al. Soil water and ammonia volatilization relationships with surface-applied nitrogen fertilizer solutions. **Soil Science American Journal**, Madison, v.55, p.1761-1766, 1991.
- AMADO, T.J.C.; MILENICZUK, J.; FERNANDES, S.B.V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.179-189, 2000.
- ANJOS, J.T. & TEDESCO, M.J. Perdas de nitrogênio, por volatilização de amônia, proveniente da uréia aplicada em solos cultivados. Congr. Bras. Ciência do Solo, 14º., Santa Maria, 1973. **Anais**. Campinas, SBCS, 1974. p. 232-241.
- ANJOS, J.T., TEDESCO, M. J. Volatilização de amônia proveniente de dois fertilizantes nitrogenados aplicados em solos cultivados. **Científica**, Jaboticabal, v.4, n.1, p.49-55, 1976.
- ARORA, Y.; MULONGOY, K.; JUO, A.S.R. Nitrification and mineralization potentials in a limed Ultisol in the humid tropics. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.92, p.153-157, 1986.
- BARTH, G.; VITTI, G.C.; CANTARELLA, H.; VITTI, A.C. Volatilização de N-NH₃ quanto as fontes e doses de nitrogênio aplicadas sobre a palhada de cana-de-açúcar. **Fertbio 2006**, Bonito, MS (19 a 21/9/2006). CD-Rom (4 p.).
- BARTHOLOMEW, W.V. El nitrogeno y la matéria orgánica de los suelos. In: DROSDOFF, M. et al. (eds.) **Suelos de las regiones tropicales húmedas**. Buenos Aires: Marymar, 1975. p.85- 107.

BASSO, C. J et. al. Perdas de nitrogênio de dejetos líquidos de suínos por volatilização de amônia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n.6, p.1773-1778, nov-dez, 2004.

BISSANI, C. A, et al. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. 1ª Ed. Porto Alegre, RS. UFRGS. 2004. 328p.

BLACK, A.S.; SHERLOCK, R.R.; SMITH, N.P. Effect of timing of simulated rainfall on ammonia volatilisation from urea applied to soil of varying moisture content. **Journal of Soil Science**, v.38, n.4, p.679-688, 1987.

BOUWMEESTER, R.J.B.; VLEK, P.L.G.; STUMPE, J.M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from ureafertilized soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.49, n.2, p.376-381, 1985.

BREMNER, J.M. & MULVANEY, R.L. Urease activity in soils. In: BURNS, R.G. (ed.) *Soil Enzymes*. **Academic Press**, Londres, 1978. p.149-196.

BREMNER, J.M. & AHMAD, N. Recent research on problems in the use of urea as a nitrogen fertilizer. **Nitrogen Economy in Tropical Soils**, 42:321-329, 1995.

CANTARELLA, H. & MARCELINO, R. O uso de inibidor de urase para aumentar a eficiência da uréia. 2006. Disponível em:
[http://www.ipni.org.br/ppiweb/pbrazil.nsf/1c678d0ba742019483256e19004af5b8/d212a714b4fe482f032572bb006c3908/\\$FILE/Anais%20Heitor%20Cantarella.doc](http://www.ipni.org.br/ppiweb/pbrazil.nsf/1c678d0ba742019483256e19004af5b8/d212a714b4fe482f032572bb006c3908/$FILE/Anais%20Heitor%20Cantarella.doc). Acessado em 20/11/2008.

CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R. ; BARBOSA, W. ; PENNA, M. J; RESENDE, L.C.L. . Perdas de N por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada em sistema de colheita de cana sem queima prévia. In: 7. **CONGRESSO NACIONAL DA STAB**, 1999, Londrina. Anais do VII Congresso Nacional da STAB. Piracicaba: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 1999. p. 82-87.

CANTARELLA, H. Perdas de nitrogênio por volatilização podem comprometer a adubação. **Petrofértil Rural**, n.13, 1992.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.375-470.

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 Biol. Biochem.** 22:1519-1526, 1990.

COELHO, A.M.; FRANCA, G.E.; BAHIA, A.F.C.; GUEDES, G.A.A. Balanço de nitrogênio (15N) em um Latossolo Vermelho-escuro, sob vegetação de cerrado cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.15. n.2, p.187-193, 1991.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFSRS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.

CONNELL, J.H; MEYER, R.D.; MEYER, J.L. & CARLSON, R.M. Gaseous ammonia losses following nitrogen fertilization. **Calif. Agric.**, Berkeley, 33: 11-12, 1979.

COSTA, S.N.da; MARTINEZ, M.A.; MATOS, A.T. de; RAMOS, V.B.N. Mobilidade do nitrato em colunas de solo sob condições de escoamento não permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.2, p.190-194, 1999.

DALAL, R.C. Urease activity in some trinidad soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Oxford, v. 7, p. 5-8, 1975.

DANCER, W.S.; PETERSON, L.A.; CHESTERS, G. Ammonification and nitrification of N as influenced by soil pH and previous N treatments. **Soil Science Society of America. Proceedings**, Madison, v.37, n.1, p.67-69, 1973.

DA ROS, C. O., AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Volatilização de amônia com aplicação de uréia na superfície do solo, no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.4, p.799-805, jul-ago, 2005.

DUARTE, F. M. et al. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia com aplicação de uréia em solo de várzea com diferentes níveis de umidade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n. 3, p. 705-711, mai-jun, 2007.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

ERNANI, P.R.; SANGOI, L. & RAMPAZZO, C. Lixiviação e imobilização de nitrogênio num Nitossolo como variáveis da forma de aplicação da uréia e da palha de aveia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:993-1000, 2002

ERNANI, P.R. **Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada para macieira**. Lages: Grafel, 2003. 76p.

ERNANI, P.R.; SANGOI, L.; LECH, V. A.; RAMPAZZO, C. A forma de aplicação da uréia e dos resíduos vegetais afeta a disponibilidade de nitrogênio. **Ciência Rural**, v.35, n.2, mar-abr, 2005.

ERNANI, P.R.; STECKLING, C. & BAYER, C. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:939-946, 2001.

ERNST, J.W. & MASSEY, H.F. The effects of several factors on volatilization of ammonia formed from urea in soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.24, p.87-90, 1960.

ERREBHI, M.; ROSEN, C.J.; GUPTA, S.C. et al. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. **Agronomy Journal**, v.90, n.1, p.10-15, 1998.

FENN, L. B. & KISSEL, D. E. The influence of cation exchange capacity and depth of incorporation on ammonia volatilization from ammonium compounds applied to calcareous soils. **Soil. Sci. Soc. Am. J.**, Madison, 40:394-398, 1976.

FRENEY, J.R.; DENMEAD, O.T.; WOOD, A.W.; SAFFIGNA, P.G.; CHAPMAN, L.S.; HAM, G.J.; HERNEY, A.P.; STEWART, R.L. Factors controlling ammonia loss from trash covered sugarcane fields fertilized with urea. **Fertilizer Research** 31:341-349, 1992.

GOULD, W.D. et al. Factors affecting urea hydrolysis in several Alberta soils. **Plant Soil**, The Hague, p. 38, p. 393- 401, 1973.

HAYATSU, M.; KOSUGE, N. Effects of urea fertilization and liming on nitrification in Cerrados soils (Brazil). **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.39, p.367-371, 1993.

HAYNES, R.J. Nitrification. In: (Ed.). **Mineral nitrogen in the plant-soil system**. Madison : Academic, 1986. p.127-164.

KIEHL, J. C.; MELLO, F. A. F. & ARZOLLA, S. Efeito acidificante de alguns solos do Município de Piracicaba. **O Solo**, Piracicaba, 73: 19-24, 1981.

KISSEL, D.E. (Ed.). **Ammonia volatilization from urea fertilizers**. Alabama: National Fertilizer Development Center, 1988. cap. 3, p. 37-52.

KONG, W.P.; WOOD, A.W.; PRAMMANEE, P.; SAFFIGNA, P.G.; SMITH, J.W.B.; FRENEYU, J.R. Ammonia loss of urea/potassium chloride mixtures applied to sugarcane trash. Proceedings of the Australian Society of Sugarcane Technologists, **Conferência 1991**, p. 59-65, 1991.

KREUTZER, K. Effects of forest liming on soil processes. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.168/169, p.447- 470, 1995.

LARA-CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; BOARETTO, A.E.. Efeito do tamanho do grânulo e relação N/S da uréia aplicada em superfície na volatilização de amônia sob diferentes umidades iniciais do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.409-413, 1992.

LARA-CABEZAS, W.A.R. et al. Volatilização de nitrogênio da amônia na cultura de milho – Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, Viçosa, v.21, p.481- 487, 1997.

LARA-CABEZAS, W.A.R. et al. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluída de cobertura na cultura de milho, em sistema de plantio direto no triangulo mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.363-476, 2000.

LEGUIZAMÓN, R. C.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V. Volatilização de amônia na adubação de cobertura do milho com uréia em sistemas de preparo de longa duração. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2007, Gramado. **Anais 2007**, Gramado, RS, 2007.

LUO, J.; TILLMAN, R.W.; BALL, P.R. Nitrogen loss through denitrification in a soil under pasture in New Zealand. **Soil Biol. Biochem.**, Cambridge, v.32, p.497-509, 2000.

MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M. & PARKER, J.. **Brock biology of microorganisms**. 8a Ed. Caps. 15, 16 e 17. New Jersey: Prentice-Hall. p. 606-768. 1997.

MARSCHNER, B.; WILCZYNSKI, A.W. The effect of liming on quantity and chemical composition of organic matter in pine forest in Berlin, Germany. **Plant and Soil**, The Hague, v.137, n.2, p.229-236, Nov. 1991.

MARTIKAINEN, P.J. Nitrification in forest soil of different pH as affected by urea, ammonium sulphate and potassium sulphate. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.17, p.363-367, 1985.

MELO, F.A.F. **Uréia fertilizante**. Campinas : Fundação Cargill, 1987. 192p.

MELO, F.A.F.; POSSÍDIO, E.L.; ARAÚJO, J.P.; ABRAMOFÉ, L.; COSTA, O.A.; KIEHL, J.C. Efeito da adição de uréia e do sulfato de amônio sobre a nitrificação em solo ácido. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 14., Cuiabá, 1980. **Anais**. Campinas : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1980. p.77-81.

MENDONÇA, E.S.; ROWELL, D.L. Dinâmica do alumínio e de diferentes frações orgânicas de um latossolo argiloso sob cerrado e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.3, p.295-303, maio/ago. 1994.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria n.º 518, de 25 de março de 2004**. Disponível em <http://www.saneago.com.br/novasan/leis/port518.pdf>. Acesso em: 13 de jan. de 2009.

MIYAZAWA, M. **Método de captação da amônia volatilizada do solo**. Londrina: IAPAR, Instituto Agrônômico do Paraná, 2007. 2p.

MOYO, C.C. et al. Temperature effects on soil urease activity. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, v. 21, p. 935-938, 1989.

MUCHOVEJ, R.M.C.; REICHEGL, J.E. Impacts of nitrogen fertilization of pastures and turfgrasses on water quality. In: LAL, R.; STEWART, B. A. (ed.) **Soil processes and water quality**. Lewis Publication, 1994, p. 91-135.

NYBORG, M.; HOYT, P.B. Effects of soil acidity and liming on mineralization of soil nitrogen. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.58, p.331-338, 1978.

O'CONNOR, M-J.; HENDRICKSON, L.L. Effect of phenylphosphorodiamidate on ammonia volatilization as affected by soil temperature and rates and distribution of urea. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 51, p. 1062-1066, 1987.

OLIVEIRA, F.C. Percolação de nitrato em Latossolo Amarelo Distrófico afetada pela aplicação de composto de lixo urbano e adubação mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.731-741, 2001.

OVERREIN, L.N & MOE, P.G. Factors affecting urea hydrolysis and ammonia volatilization in soil. **Proc. Soil Sci. Soc. Am.**, Madison, 31: 57-61, 1967.

PRIMAVESI, O.; FREITAS, A.R.; PRIMAVESI, A.C. et al. Water quality of the Canchim's creek watershed, in São Carlos, SP, Brazil, occupied by beef and dairy cattle activities. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.45, n.2, p.209-217, 2002.

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** 81:239-246, 2001.

REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; URQUIAGA, S.C. Fate of fertilizer nitrogen in soil-plant systems with emphasis on the tropics. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (ed.). **Agrochemicals: fate in food and the environment**. Viena, 1982. p.277-290.

RODRIGUES, M.B.; KIEHL, J.C. Volatilização de amônia após emprego de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, p.37-43, 1986.

ROSOLEM, C. A.; PEREIRA, H. F. M.; BESSA, M. A.; AMARAL, P. G. Nitrogen in soil and cotton growth as affected by liming and nitrogen fertilizer. In: WRIGHT, R. J. (Ed.). **Plant-soil interactions at low pH**. Dordrecht: Kluwer, 1991. p. 321-325.

ROSELEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; OLIVEIRA, R. H. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 301-309, fev. 2003.

SÁ, J. C. M. Nitrogênio: Transformações no solo, mobilização e imobilização. In: **CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**. (1.: Castro: 1995) Anais. Castro: Fundação ABC, 1995. p.204-210.

SANGOI, L. et al. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, v.33, p.87-692, 2003.

SAVANT, N.K. et al. Effect of amounts and sequence of additions of urea and water on hydrolysis of surface-applied granular urea in unsaturated soils. **Fertilizer Research**, v.11, p.231-234, 1987.

SCHARLAU, A. V. et. al. Volatilização de amônia em solo com uréia, uréia com inibidor de urease e nitrato de amônio. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2007, Gramado. **Anais 2007**, Gramado, RS, 2007.

SENGIK, E. et al. Perdas de amônia em solo e de resíduos orgânicos autoclavados e tratados com uréia. **Acta scientiarum**, v.23, n.5, p. 1099-1105, 2001.

SENGIK, E.; KIEHL, J.C. Efeito de resíduos orgânicos e do fosfato monocálcico na volatilização de amônia em terra tratada com uréia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.455-461, 1995b.

SILVA, C.A.; VALE, F.R.; GUILHERME, L.R.G. Efeito da calagem na mineralização do nitrogênio em solos de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.3, p.471-476, set./dez. 1994.

SILVA, C.C.; SENGIK, E. Influência da adição de água sobre a volatilização de amônia proveniente de uréia aplicada na superfície de amostras de solo. **Revista Unimar**, Maringá, v.16, p.243-251, 1994.

SILVA, A. J. da et al. Perdas de amônia por volatilização proveniente da uréia aplicada a solos dos trópicos úmidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, p.141- 144, 1995.

SILVA, M.S.; COSTA, L.A. de M.; BENINCASA, M.; LUCAS JR., J. de. Avaliação das perdas de nitrato em solo irrigado e submetido à diferentes intensidades de radiação solar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.1, p.82-88, 1999.

SILVA, C. A.; DO VALE, F. R. Disponibilidade de nitrato em solos brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.12, p.2461-2471, dez. 2000.

SOMMER, S.G.; HUTCHINGS, N.J. Ammonia emission from field applied manure and its reduction: invited paper. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.15, n.1, p.1-15, 2001.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004. p.129-146.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1989.

TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre : UFRGS, Faculdade de Agronomia, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

TERMAN, G.L. Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments, and crop residues. **Adv. Agron.**, 31:189-223, 1979.

TRIVELIN, P. C. O. et al. Perdas do nitrogênio da uréia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.2, p. 193-201, fev. 2002.

TURNER, F.T.; PATRICK, W.H. Chemical changes in waterlogged soils as a result of oxygen depletion. In: Transactions of the IX International Soil Science Congress. Riga 1968. Proceedings. Riga:International Soil Science Society, 1968. v.4, p.53-65.

VILLAS BOAS, R.L., BOARETTO, A.E., GODOY, L.J.G.. Nitrogen recovery of urea - Ammonium Sulphate Mixtures by Corn Plants. **Bragantia**, 2005, vol.64, nº.2, p.263-272.

VOLK, G.M. Volatile loss of ammonia following surface application of urea to turf of bare soils. **Agronomy Journal**, v.51, p.746-749, 1959.

VOLK, G.M. Efficiency of urea as affected by method of application, soil moisture and lime. **Agronomy Journal**, 58:249-252, 1966.

WATKINS, S. H.; STRAND, R. F.; DeBELL, D. S. & ESCH Jr., J. Factors influencing ammonia losses from urea applied to north-western forest soils. **Proc. Soil Sci. Soc. Am.**, Madison, 36: 354-357, 1972.

ZANTUA, M.I.; BREMNER, J.M. Preservation of soil samples for assay of urease activity. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Oxford, v. 7, p. 297-299, 1975.