

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

KÉSIA SILVA LOURENÇO

**REAÇÕES DO NITROGÊNIO NO SOLO DECORRENTES DA APLICAÇÃO DE
FERTILIZANTES ORGÂNICOS E MINERAIS.**

LAGES, SC

2013

KÉSIA SILVA LOURENÇO

**REAÇÕES DO NITROGÊNIO NO SOLO DECORRENTES DA APLICAÇÃO DE
FERTILIZANTES ORGÂNICOS E MINERAIS.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de mestre no Curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Orientador: Ph. D. Paulo Roberto Ernani

Co-orientador: Dr. Luciano Colpo Gatiboni

Co-orientador: Dr. Juliano Corulli Corrêa

Co-orientador: Dr. Marcelo Moreira

Co-orientador: Dr. Paulo César Cassol

LAGES, SC

2013

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

Lourenço, Késia Silva
Reações do nitrogênio no solo decorrentes da aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais. / Késia Silva Lourenço; orientador: Paulo Roberto Ernani . – Lages, 2013.
92f.

Inclui referências.
Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias /
UEDESC.

1. Cama de aves. 2. Fertilizantes nitrogenados. 3. Nitrificação.
4. Volatilização de amônia. 5. Mineralização. 6. Adubo organomineral.
I. Título.

CDD – 631.81

KÉSIA SILVA LOURENÇO

**REAÇÕES DO NITROGÊNIO NO SOLO DECORRENTES DA APLICAÇÃO DE
FERTILIZANTES ORGÂNICOS E MINERAIS.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de mestre no Curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina–UDESC.

Banca Examinadora

Orientador: _____

(Ph. D. Paulo Roberto Ernani)

UDESC/CAV-Lages/SC

Co-orientador: _____

(Dr. Luciano Colpo Gatiboni)

UDESC/CAV-Lages/SC

Co-orientador: _____

(Dr. Juliano Corulli Corrêa)

EMBRAPA/CNPSA-Concórdia/SC

Lages/SC, 20/02/2013.

Dedico aos meus pais ELISEU DE BARROS LOURENÇO e CÉLIA SILVA LOURENÇO. Ofereço aos meus irmãos ROBSON DE SOUZA, DAIANE LOURENÇO DE SOUZA e LUCAS SILVA LOURENÇO e à minha linda sobrinha ISABELE LOURENÇO DE SOUZA.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por sempre iluminar meus caminhos e mostrar por onde seguir.

Aos meus pais, Eliseu de Barros Lourenço e Célia Silva Lourenço, pela confiança em minhas decisões e pelo apoio para a realização deste sonho.

Aos meus irmãos Robson, Daiane e Lucas pelo carinho e incentivo, e a toda minha família que de alguma forma apoiou esta conquista.

Ao professor Ph.D. Paulo Roberto Ernani pela orientação, amizade e exemplo de grande mestre ao qual procurarei seguir em minha trajetória profissional.

Aos professores Dr. Luciano Colpo Gatiboni e Dr. Juliano Corulli Corrêa pela orientação, amizade e participação na banca de avaliação.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Manejo do Solo, pela atenção e conhecimento adquirido, e aos funcionários (as) do CAV/UDESC pelo profissionalismo.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação, pela amizade e carinho, em particular à Jaqueline, Ronaldir e Clovisson, pelo auxílio na realização deste trabalho.

À UDESC por disponibilizar ensino de qualidade.

A CAPES pela oportunidade da bolsa e incentivo à pesquisa científica.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização do meu aprimoramento pessoal e profissional.

Mas... não se esqueça... SONHE...

“Há Quem diga que todas as noites são de sonhos.

Mas há também quem garanta que nem todas...

só as de verão.

Mas no fundo, isso não tem muita importância.

O que interessa mesmo não são as noites em si, mas os sonhos.

Sonhos que o homem sonha sempre, em todos os lugares e em todas as épocas do ano, dormindo ou acordado.”

Shakespeare

RESUMO

LOURENÇO, Késia Silva. **Reações do Nitrogênio no solo decorrentes da aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais**. 2013. 92 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, CAV-UDESC. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC. 2013.

Este estudo objetivou avaliar as reações do Nitrogênio (N) no solo decorrente da aplicação de cama de aves, fertilizantes minerais e organomineral, na presença ou não de inibidores da urease. Foram conduzidos quatro ensaios em laboratório. O primeiro teve como objetivo quantificar a volatilização de amônia, através da utilização de cama de aves, fertilizante organomineral e ureia, combinados ou não com o inibidor de urease - tiofosfato de N-n-butiltriamida (NBPT), além de uma testemunha, sem N. O experimento foi conduzido sobre um Nitossolo Vermelho que possuía 79% de argila e 2,3% de matéria orgânica. As unidades experimentais tinham 1,0 kg de solo, e a dose aplicada de N foi de 200 mg kg⁻¹. Para avaliar a volatilização de amônia, os fertilizantes foram aplicados sobre a superfície do solo, e utilizaram-se coletores de esponja impregnados com ácido fosfórico e glicerina. A volatilização de amônia foi pequena para cama e cama + NBPT, e representaram 2,5 e 2,1% do N total aplicado ao solo, respectivamente. Os tratamentos com ureia, ureia + NBPT e fertilizante organomineral, com ou sem NBPT, perderam, respectivamente, 22, 14, 8 e 9% do N aplicado. Os demais experimentos avaliaram as perdas de N por volatilização de amônia e lixiviação de N, além de quantificar a mineralização, decorrentes da aplicação de cama de aves e ureia, combinados ou não com NBPT, além de KNO₃, adubo revestido e uma testemunha, sem N. Os experimentos foram conduzidos em condições semelhantes ao anterior. Nos experimentos que avaliaram a lixiviação e a mineralização do N, os tratamentos foram incorporados ao solo, e as avaliações foram realizadas semanalmente. As perdas de amônia por volatilização foram de 4,3 e 2,4% do N total aplicado para cama e cama + NBPT; naqueles com ureia, ureia + NBPT e adubo revestido a volatilização atingiu, respectivamente, 34, 17 e 18% do N aplicado. A lixiviação de N foi pequena para os tratamentos com cama, totalizando, respectivamente, 12 e 15 % do N aplicado, na ausência e presença de NBPT; nos tratamentos com KNO₃, ureia e ureia + NBPT, entretanto, a lixiviação atingiu, respectivamente, 97, 89 e 83% do N aplicado. Após 77 dias de contato dos fertilizantes com o solo, o NBPT não teve influencia no N mineral, apresentando 12 e 95% do N nesta forma para a cama e ureia (média de com e sem NBPT) e 56% para o adubo revestido. A utilização do inibidor da urease não foi eficiente em retardar a volatilização e a lixiviação de N, e não influenciou o N mineral do solo a partir da adição de cama de aves granulada. Diferentemente, a combinação do NBPT com ureia retardou a volatilização de amônia, mas não influenciou a lixiviação e o N mineral do solo. A utilização do adubo revestido com polímeros poderá ser uma alternativa para aumentar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados, contudo, a mineralização líquida é baixa quando comparado com a ureia. A volatilização e a mineralização líquida do N presente na cama de aves são baixas, disponibilizando pequenas quantidades de N nos períodos subsequentes à adição ao solo.

Palavras-chave: Cama de aves. Fertilizantes nitrogenados. Nitrificação. Volatilização de amônia. Mineralização. Adubo organomineral.

ABSTRACT

LOURENÇO, Késia Silva. **Reactions of nitrogen in the soil due to the application of organic and mineral fertilizers.** 2013. 92 f. Dissertation (Master in Soil Management) – University of the State of Santa Catarina, CAV-UDESC. Graduate Program in Agricultural Sciences, Lages, SC.2013.

This study aimed to evaluate the reactions of N in the soil after application of organic and mineral fertilizers in the presence or absence of urease inhibitors. Four trials were conducted in the laboratory. One aimed to quantify the ammonia volatilization and the treatments consisted of poultry litter (PL), organomineral fertilizer (OM) and urea, combined or not with urease inhibitor - tiosfato de N-n-butiltriamida (NBPT), and a control without N. Other experiments evaluated various reactions of N in the soil influenced by the application of poultry litter and urea, combined or not with NBPT, in addition to KNO_3 , a fertilizer coated with polymers and a control without N. The experiments were carried out in an Oxisol that had 79% clay and 2.3% organic matter. All experimental units had 1.0 kg of soil, and the amount of N applied was 200 mg kg^{-1} . To evaluate the volatilization of ammonia, fertilizers were applied to the soil surface and the gas was trapped by foam collectors impregnated with phosphoric acid and glycerin. In the experiment designed to evaluate N leaching and mineralization, treatments were incorporated into the soil and evaluations were performed weekly. Ammonia volatilization was small in the soil treated with PL, regardless of NBPT, and accounted for < 2.6 of the total N applied; volatilization from treatments with urea, urea + NBPT, OM and OM + NBPT lost respectively 22, 14, 9 and 8% of the N applied. The ammonia volatilization losses in the second experiment were 4.3 and 2.4% of total N applied from PL and PL + NBPT; losses from urea, urea + NBPT, and coated fertilizer volatilization reached, respectively, 34, 17 and 18% of the N applied. Leaching of N was small for treatments with PL, totaling, respectively, 12 and 15% of the N applied in the absence and presence of NBPT; in the treatments with KNO_3 , urea and urea + NBPT, however, leaching reached respectively 97, 89 and 83% of the N applied. After 77 days, the NBPT had not influence on the soil N mineral, and this form contained 12 and 95% of N applied as PL or urea (averaged across NBPT levels) and 56% for the coated fertilizer. The use of urease inhibitor was not effective in delaying both leaching and volatilization of N, as well as had no influenced soil N mineral from the addition of granulated PL. In contrast, the combination of NBPT with urea delayed ammonia volatilization, but had no influenced N leaching and soil mineral N. The use of fertilizer coated with polymer may be an alternative to increase the efficiency of applied N, however, its net mineralization is low relatively to urea. Net volatilization and mineralization of N present in PL are low, which provide small amounts of N to the plants in periods subsequent to addition of this material to the soil.

Keywords: Poultry house litter. Nitrogen fertilizers. Nitrification. Ammonia volatilization. Mineralization. Organomineral fertilizer.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Temperatura média (° C) em Lages, SC, durante 56 dias de experimento, de 07/09/2011 a 01/11/2012. Fonte: Epagri, 2012.24
- Figura 2. Volatilização de amônia (% do aplicado dia⁻¹) decorrente da aplicação superficial de 200 mg kg⁻¹ de N a partir de fertilizantes nitrogenados, na presença ou não de tiofosfato de N-n-butiltriamida (NBPT), relativamente ao teor de N total contido nos fertilizantes orgânicos e minerais. Médias de quatro repetições com valores subtraídos daqueles volatilizados do tratamento que não recebeu N (testemunha). * CA = Cama de aves, OM = Adubo organomineral.26
- Figura 3. Volatilização acumulada de amônia em relação a formas do N aplicado decorrente da adição superficial de 200 mg coluna⁻¹ de solo de N a partir de fertilizantes nitrogenados, na presença ou não de tiofosfato de N-n-butiltriamida (NBPT). Os valores foram subtraídos daqueles volatilizados do tratamento que não recebeu fertilizante (testemunha). Médias de quatro repetições. A= relativamente ao teor de N total aplicado; B = relativamente ao teor de N solúvel aplicado; *CA = Cama de aves; OM = Adubo organomineral.30
- Figura 4. Percentagem de NH₄⁺ e NO₃⁻ no solo em relação ao N aplicado, aos 56 dias após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados, em presença ou não de tiofosfato de N-n-butiltriamida (NBPT). Letras maiúsculas comparam os valores de NH₄ e letras minúsculas os de NO₃⁻. Valores nas colunas seguidos de mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5 % de significância. As barras nas colunas indicam o erro do teste de médias. Médias de quatro repetições. *CA = Cama de aves; OM = Adubo organomineral.32
- Figura 5. Temperatura média (°C) em Lages, SC, durante 77 dias de experimento, de 21/11/2011 a 06/02/2012. Fonte: Epagri, 2012.44

- Figura 6. Volatilização diária de amônia ($\text{mg coletor}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) decorrentes da aplicação superficial de 200 mg de nitrogênio por unidade experimental, sobre a superfície de amostras de solo (400 kg ha^{-1} de N), relativamente ao teor de N total contido nos fertilizantes orgânicos e minerais. Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento fertilizante revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.49
- Figura 7. Perdas acumuladas de N por volatilização de amônia (% do aplicado), decorrente da aplicação superficial de 200 mg de N por unidade experimental (400 kg ha^{-1}), relativamente ao teor de N total (A) e N solúvel (B) e contido na cama de aves e fertilizantes minerais. Com valores subtraídos daqueles volatilizados do tratamento que não recebeu fertilizante (testemunha). Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento fertilizante revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.52
- Figura 8. Teores de NH_4^+ e NO_3^- no solo (Nitrogênio mineral), em mg kg^{-1} de N, aos 77 dias de experimento, decorrente da aplicação superficial de 400 kg ha^{-1} de Nitrogênio (200 mg de N por unidade experimental), em função da adição de diferentes tipos de fertilizantes. Letras maiúsculas se referem aos teores de NH_4 e letras minúsculas aos teores de NO_3^- . As barras nas colunas indicam o erro do teste de médias. Valores nas colunas seguidos de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de significância. Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento fertilizante revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.54
- Figura 9. Perda acumulada de N por lixiviação de amônio, decorrente da incorporação de 400 kg ha^{-1} de Nitrogênio ($200 \text{ mg coluna}^{-1}$ de N), relativamente ao teor de N total contido nos fertilizantes orgânicos e minerais. Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.55
- Figura 10. Perda semanal de N, em cada percolação, por lixiviação de amônia, decorrente da incorporação de 400 kg ha^{-1} de Nitrogênio ($200 \text{ mg coluna}^{-1}$ de N), relativamente ao teor de N total contido nos fertilizantes orgânicos e minerais.

Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.....56

Figura 11. Teores de NH_4^+ e NO_3^- no solo (Nitrogênio mineral), em mg kg^{-1} do N aplicado ao solo, aos 77 dias de experimento, decorrente da aplicação de 400 kg ha^{-1} de Nitrogênio ($200 \text{ mg coluna}^{-1}$ de N), em função da adição de diferentes tipos de fertilizantes. Letras maiúsculas se referem aos teores de NH_4 e letras minúsculas aos teores de NO_3^- . As barras nas colunas indicam o erro do teste de médias. Valores nas colunas seguidos de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de significância. Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento fertilizante revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.57

Figura 12. Perda acumulada de N por lixiviação de nitrato, decorrente da incorporação de 400 kg ha^{-1} de Nitrogênio ($200 \text{ mg coluna}^{-1}$ de N), relativamente ao teor de N total contido nos fertilizantes orgânicos e minerais. Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.58

Figura 13. Perda semanal de N, em cada percolação, por lixiviação de nitrato, decorrente da aplicação superficial de 400 kg ha^{-1} de Nitrogênio ($200 \text{ mg coluna}^{-1}$ de N), relativamente ao teor de N total contido nos fertilizantes orgânicos e minerais. Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.....59

Figura 14. Perda acumulada de N por lixiviação de nitrato + amônio (mg coluna^{-1}), decorrente da incorporação de 400 kg ha^{-1} de Nitrogênio ($200 \text{ mg coluna}^{-1}$ de N), relativamente ao teor de N total volatilizado dos diferentes fertilizantes. Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.....61

Figura 15. Mineralização do N- NH_4^+ (amônio) em mg kg^{-1} de solo coleta⁻¹, decorrente da incorporação ao solo de 400 kg ha^{-1} de Nitrogênio ($200 \text{ mg coluna}^{-1}$ de N), relativamente ao teor de N total volatilizado dos diferentes fertilizantes.

Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida..... 62

Figura 16. Nitrificação (mg kg^{-1} coleta⁻¹ de N-NO_3^-), decorrente da incorporação ao solo de 400 kg ha^{-1} de Nitrogênio ($200 \text{ mg coluna}^{-1}$ de N), relativamente ao teor de N total volatilizado dos diferentes fertilizantes. Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida..... 65

Figura 17. Nitrogênio mineral recuperado no solo ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$), em mg kg^{-1} , no decorrer do período de incubação, decorrente da incorporação ao solo de 400 kg ha^{-1} de Nitrogênio ($200 \text{ mg coluna}^{-1}$ de N), relativamente ao teor de N total contido nos fertilizantes orgânicos e minerais. Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida. 65

Figura 18. Nitrogênio mineral recuperado no solo relativo à fração solúvel ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$), em % do aplicado ao solo, no decorrer do período de incubação, decorrente da incorporação ao solo de 400 kg ha^{-1} de Nitrogênio ($200 \text{ mg coluna}^{-1}$ de N), relativamente ao teor de N solúvel contido nos fertilizantes orgânicos e minerais. Com valores subtraídos daqueles volatilizados do tratamento que não recebeu fertilizante (testemunha). Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento fertilizante revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida..... 66

Figura 19. Perdas acumuladas de N por volatilização de amônia e lixiviação de $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$ (% do aplicado), decorrente da aplicação de 200 mg de N por unidade experimental (400 kg ha^{-1}), contido na cama de aves e fertilizantes minerais. Com valores subtraídos daqueles volatilizados do tratamento que não recebeu fertilizante (testemunha). Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento fertilizante revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida..... 69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química dos fertilizantes aplicados ao solo, em base natural.....	24
Tabela 2. Composição química da cama de aves, com e sem NBPT (tiofosfato de N-n-butiltriâmina), aplicada ao solo, em base natural.	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	15
2	CAPITULO I - A ADIÇÃO DE INIBIDOR DA UREASE NÃO INFLUENCIA A VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA EM FERTILIZANTES ORGÂNICOS E ORGANOMINERAIS.....	18
	2.1 RESUMO	18
	2.2 INTRODUÇÃO	18
	2.3 MATERIAL E MÉTODOS	23
	2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
	2.5 CONCLUSÕES.....	33
3	CAPÍTULO II – INFLUÊNCIA DO INIBIDOR DA UREASE NAS REAÇÕES DO NITROGÊNIO NO SOLO DECORRENTES DA APLICAÇÃO DE CAMA DE AVES E FERTILIZANTES MINERAIS EM COMPARAÇÃO COM FERTILIZANTE REVESTIDO.	34
	3.1 RESUMO	34
	3.2 INTRODUÇÃO	35
	3.3 MATERIAL E MÉTODOS	43
	3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
	3.4.1 Experimento I - Volatilização de Amônia (N-NH ₃).....	48
	3.5.2 Experimento II - Lixiviação do N mineral (N-NO ₃ ⁻ + N-NH ₄ ⁺).....	55
	3.4.2.1 Lixiviação de amônio	55
	3.4.2.2 Lixiviação de nitrato.....	57
	3.4.2.3 Lixiviação de amônio + nitrato	60
	3.4.3 Experimento III – Mineralização	61
	3.4.4 Perdas totais do N - Volatilização de NH ₃ + Lixiviação de NO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺	68
	3.5 CONCLUSÕES.....	70
4	CONCLUSÕES GERAIS.....	71
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
6	APÊNDICES.....	81

1 INTRODUÇÃO GERAL

O nitrogênio (N) é geralmente o nutriente mineral absorvido em maior quantidade pelos vegetais e o que mais limita a produção de alimentos no mundo (COELHO et al., 1991). Contudo, é o nutriente mais difícil de ser manejado nos solos de regiões tropicais e subtropicais, em função do grande número de reações que ocorrem com esse elemento no solo e da rapidez de algumas dessas transformações. Além disso, o N pode sair do sistema solo-planta por vários mecanismos de perdas, principalmente a lixiviação de nitrato (NO_3^-) e a volatilização de amônia (NH_3) que, normalmente, são as maiores responsáveis pela baixa eficiência de utilização dos fertilizantes nitrogenados aplicados ao solo (TRIVELIN et al., 2002; COSTA et al., 2003).

No Brasil atualmente importa-se aproximadamente 78% da demanda interna de fertilizantes nitrogenados (ANDA, 2010). Com o aumento do consumo interno, cresce a demanda por importações, tornando o suprimento do produto vulnerável aos meios externos e isso reforça a necessidade de reciclar fontes orgânicas e da otimização do uso do N. A cama de aves é uma importante fonte de nutrientes para as culturas, principalmente nas regiões próximas aos centros produtores de aves confinadas, podendo substituir uma parcela expressiva dos fertilizantes inorgânicos utilizados nestes locais. Entretanto, as quantidades de N disponibilizadas às plantas em curto prazo são variáveis, uma vez que tanto as reações que disponibilizam N (mineralização), quanto às reações que levam à perda do N aplicado (volatilização, lixiviação e desnitrificação), ocorrem simultaneamente.

O uso de cama de aves associada aos fertilizantes minerais é uma alternativa, criando os chamados fertilizantes organominerais, cujo objetivo é aumentar o teor de nutrientes dos materiais orgânicos e a eficiência dos fertilizantes minerais. A eficiência econômica e agrônômica dos organominerais depende da composição do dejetos animal, das doses a serem aplicadas, do sistema de preparo do solo, do tipo de solo, da espécie vegetal e do custo de transporte até a lavoura, e, principalmente, das quantidades dos nutrientes presentes e da taxa de liberação para as plantas, da mesma forma que ocorre para o fertilizante orgânico puro (SCHERER, 2005; KONZEN & ALVARENGA, 2005). Contudo, há poucos estudos que determinem a capacidade de liberação dos nutrientes às plantas e as principais formas de perdas do N do solo quando está na forma de fertilizante organomineral.

Para que o N possa ser disponibilizado às plantas a partir de fontes amídicas, inicialmente ocorre a hidrólise enzimática da fonte nitrogenada por meio da urease, resultando na formação de NH_4^+ , bicarbonato (HCO_3^-) e hidroxila (OH^-) (RAIJ, 1991; ERNANI, 2002).

As moléculas de hidroxila e bicarbonato reagem com átomos de hidrogênio e elevam o pH ao redor dos grânulos do fertilizante (RODRIGUES & KIEHL, 1992, SANGOI et al., 2003). Dessa forma, parte do amônio se converte em amônia que, sendo um gás, pode se perder para a atmosfera, caso a ureia não seja incorporada ao solo. A nitrificação consiste na passagem do N amoniacal (NH_4^+) para a forma nítrica (NO_3^-) e sua taxa de nitrificação irá condicionar a quantidade de nitrato no solo, o qual poderá ser lixiviado no perfil e/ou ser utilizado como receptor final de elétrons por bactérias desnitrificadoras e transformar-se em N_2O e N_2 (FRANCHI, 2001).

Nas fontes orgânicas o N que se encontra na forma solúvel, principalmente, como NH_4^+ e ácido úrico, está susceptível à volatilização na forma de amônia, como nos fertilizantes amídicos, tanto nos locais de armazenamento dos dejetos como após a aplicação dos mesmos ao solo (SCHERER et al., 1996), caso não sejam incorporados. A ureia, por estar presente em quantidades expressivas nesses materiais, tem capacidade de elevar o pH nas imediações da região fertilizada, após ser hidrolisada, favorecendo a formação de NH_3 . A incorporação da cama de aves ao solo evita a volatilização de amônia (LARA CABEZAS et al., 2000; SANGOI et al., 2003; SILVA et al., 1995), independente de sua origem, pois ao difundir para regiões com pH ácido se transforma em NH_4^+ . Este, por sua vez, pode adsorver-se às cargas negativas do solo, ser nitrificado, imobilizado, ou absorvido pelas plantas.

Com objetivo de solucionar e/ou mitigar as perdas de N por volatilização de NH_3 decorrente da hidrólise da ureia, vários compostos com potencial de atuar como inibidores da urease têm sido avaliados. Ao prevenir a rápida hidrólise, os inibidores aumentam as chances de que chuvas, irrigação, ou operações mecânicas incorporem a ureia ao solo. Além disso, há uma redução no pico de alcalinização, permitindo maior tempo para o deslocamento do NH_4^+ para horizontes mais profundos do solo, com redução nas perdas gasosas. Entre os produtos testados como inibidor da urease, o NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) é o que vem proporcionando os melhores resultados (BREMNER & CHAY, 1986; SCHLEGEL et al., 1986; BEYROUTY et al., 1988; BRONSON et al., 1989; WATSON, 2000, TASCA et al., 2011).

Singh et al. (2009) avaliaram a volatilização de amônia em aviário após a aplicação do inibidor da urease e verificaram que reduziu a volatilização de amônia ao longo do tempo, contudo, não afetou a volatilização de N- NH_3 quando aplicado em cama de aves com baixo teor de umidade (13 a 17%). Cantarella et al. (2008) avaliaram o efeito da adição de 80 ou 100 kg ha^{-1} de N na forma de ureia, aplicados superficialmente em experimento a campo com cana-de-açúcar e encontraram perdas de N por volatilização de amônia que variaram de 1%,

quando ocorreram dias chuvosos após a adubação, até 25% do N aplicado. O uso de NBPT proporcionou reduções de 15 a 78% nas perdas por volatilização, dependendo das condições climáticas nos dias posteriores à aplicação de N.

Além da utilização do inibidor da urease os fertilizantes nitrogenados revestidos com polímeros podem ser outra alternativa para otimizar o uso do N, já que liberam o N-fertilizante lentamente às plantas (SHAVIV et al., 2000; BONO et al., 2008). Entretanto o seu uso é muito restrito devido, principalmente, ao custo elevado que este insumo apresenta quando comparado com os adubos nitrogenados convencionais (GOLDEN et al., 2009). Pereira et al. (2009) observaram que os adubos de liberação lenta e ureia com inibidor da urease proporcionaram redução de aproximadamente 50% na volatilização de NH_3 em relação à ureia comum, tanto na primeira como na segunda cobertura nitrogenada na cultura de milho, refletindo em maiores produtividades.

Existem poucas pesquisas no Brasil com o propósito de estudar a magnitude das reações ocorridas com o N proveniente da adição de cama de aves, fertilizantes revestidos e organominerais ao solo. Sendo assim, é necessário empenho para intensificar trabalhos nesta área, visando potencializar o efeito fertilizante e diminuir possíveis impactos ambientais negativos. Este trabalho teve por objetivo quantificar as reações do nitrogênio no solo decorrente da aplicação de cama de aves, fertilizantes minerais e organomineral, na presença ou não do inibidor de urease, além de um fertilizante revestido. Para isso, foram realizados quatro experimentos, em laboratório, os quais são apresentados em dois capítulos.

2 CAPITULO I - A ADIÇÃO DE INIBIDOR DA UREASE NÃO INFLUENCIA A VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA EM FERTILIZANTES ORGÂNICOS E ORGANOMINERAIS.

2.1 RESUMO

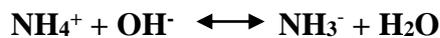
A volatilização de amônia decorrente da aplicação ao solo de camas de aves e fertilizantes organominerais tem sido pouco avaliada nas condições brasileiras. Este trabalho teve por objetivo quantificar as perdas de N por volatilização de amônia decorrente da aplicação de cama de aves granulada e fertilizante organomineral sobre a superfície do solo, na presença ou não do inibidor de urease, em comparação com fertilizantes minerais. O experimento foi conduzido em laboratório, em temperatura ambiente, sobre um Nitossolo Vermelho que possuía 79% de argila e 2,3% de matéria orgânica. Os tratamentos consistiram da utilização de cama de aves, fertilizante organomineral e ureia, combinados ou não com o inibidor de urease tiofosfato de N-n-butiltriamida (NBPT), além de uma testemunha, sem N. Os fertilizantes foram aplicados sobre a superfície das amostras de solo, sem incorporação, na dose de 200 mg kg⁻¹ de N. As unidades experimentais foram constituídas por canos de PVC preenchidos com 1,0 kg de solo. Para avaliar a volatilização de amônia, foram utilizados coletores de esponja impregnados com ácido fosfórico mais glicerina. Os teores de N volatilizados foram determinados aos 2, 4, 6, 8, 16, 24, 32, 40, 48 e 56 dias após a aplicação dos fertilizantes ao solo. Os picos de volatilização de amônia variaram de acordo com o fertilizante utilizado. A volatilização foi pequena para os tratamentos com cama e cama + NBPT e representou, respectivamente, apenas 2,5 e 2,1% do N total aplicado ao solo. Os tratamentos com ureia, ureia + NBPT e fertilizante organomineral, na ausência ou presença do NBPT perderam, respectivamente, 22, 14, 9 e 8% do N aplicado. A utilização do inibidor da urease não foi eficiente em retardar a volatilização de N-NH₃ a partir da adição ao solo de cama de aves granulada e de fertilizante organomineral, diferentemente de sua combinação com ureia.

Palavras-Chave: Cama de aves. Amônia. Fertilizantes nitrogenados. Adubação superficial.

2.2 INTRODUÇÃO

O nitrogênio é o nutriente essencial às plantas mais difícil de ser manejado nos solos de regiões tropicais e subtropicais, em função do grande número de reações que ocorrem com esse elemento no solo e da rapidez de algumas dessas transformações. Além disso, o N pode sair do sistema solo-planta por vários mecanismos de perdas, principalmente por lixiviação de nitrato (NO₃⁻) e volatilização de amônia (NH₃) que, normalmente, são as maiores responsáveis pela baixa eficiência de utilização dos fertilizantes nitrogenados aplicados ao solo (TRIVELIN et al., 2002; COSTA et al., 2003).

A volatilização de amônia é a reação na qual o N migra do solo, na forma de gás, para a atmosfera. Essa reação pode assumir grande importância agrônômica e econômica, principalmente quando se adicionam adubos nitrogenados em solos alcalinos e quando os fertilizantes, a exemplo da ureia e dos resíduos de origem animal, são aplicados sobre a superfície do solo, sem incorporação (SANGOI et al., 2003). Um fator agravante para as perdas de N por volatilização é o crescente aumento das áreas com plantio direto e cultivo mínimo. As perdas por volatilização de amônia em solos dependem, basicamente, da existência simultânea de íons amônio (NH_4^+) e pH elevado. O equilíbrio entre o amônio e a amônia, é dado pela seguinte reação:



A volatilização de amônia após a aplicação ao solo de fontes amídicas (ureia) envolve, inicialmente, a hidrólise enzimática da ureia por meio da enzima urease, resultando na formação de carbonato de amônio. O carbonato de amônio resultante da hidrólise não é estável e desdobra-se em NH_4^+ , bicarbonato (HCO_3^-) e hidroxila (OH^-) (RAIJ, 1991; ERNANI, 2002). As moléculas de hidroxila e bicarbonato reagem com átomos de hidrogênio e elevam o pH ao redor dos grânulos do fertilizante. Dessa forma, parte do amônio se converte em amônia que, sendo um gás, pode se perder para a atmosfera, caso a ureia não seja incorporada com solo. Portanto, a neutralização da acidez potencial eleva o pH, que pode atingir valores acima de sete nas regiões próximas aos grânulos do fertilizante aplicado (RODRIGUES & KIEHL, 1992, SANGOI et al., 2003). Valores elevados de pH conduzem a volatilização de NH_3 , devido à baixa formação de íons NH_4^+ em outras regiões do solo.

Diversos fatores de solo podem afetar a volatilização de amônia, tais como: capacidade de troca catiônica, pH, poder tampão, teor de matéria orgânica, atividade da urease e textura (COSTA et al., 2004), assim como algumas condições climáticas, tais como: velocidade dos ventos, temperatura ambiente, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica (SOMMER e HUTCHINGS, 2001, TASCA et al., 2011). Os mesmos fatores que afetam a volatilização do N- NH_3 também influenciam diretamente na atividade dos microrganismos presentes no solo e na palha. Como a urease é uma enzima extracelular produzida por bactérias, actinomicetos, fungos do solo e, provavelmente, também se origina de restos vegetais, sua atividade no solo é afetada pelos mesmos fatores que afetam a volatilização de NH_3 . Portanto a atividade da urease provoca grande variação na taxa de hidrólise para diferentes solos e condições climáticas (REYNOLDS et al., 1987, SOMMER & HUTCHINGS, 2001, TASCA et al., 2011).

Além dos adubos minerais, a cama de aves é uma importante fonte de nutrientes para as culturas, principalmente nas regiões próximas aos centros produtores de aves confinadas, podendo substituir uma parcela expressiva dos fertilizantes inorgânicos utilizados nestes locais. O uso indiscriminado desse material, sem embasamento técnico, pode ocasionar sérios problemas ambientais, principalmente relacionados aos recursos hídricos. Os estercos eram tidos como fertilizantes dentro da propriedade, mas atualmente estão sendo considerados como dejetos que necessitam ser tratados para que sejam adequadamente dispostos no meio ambiente. Sendo assim, deixam de ser vistos apenas como uma fonte de nutrientes e passam a ser definidos também como resíduos potencialmente poluidores e que precisam ser utilizados de forma racional.

A fim de decidir ou não pela aquisição de cama de aves, os agricultores precisam conhecer a eficiência agronômica das mesmas em relação aos fertilizantes minerais, além dos possíveis problemas ambientais. Em relação ao N, as quantidades disponibilizadas às plantas, em curto prazo, são variáveis, uma vez que tanto a mineralização quanto as reações que levam às perdas (volatilização, lixiviação e desnitrificação) ocorrem simultaneamente.

A composição mineral da cama de aves apresenta frações com solubilidade distintas, algumas prontamente disponíveis às plantas e outras na forma orgânica, e estas dependem da atividade biológica do solo para serem mineralizadas. Para o N, estima-se que 60 % estejam na forma orgânica, 30 % como amônio e 10 % na forma nítrica e amídica (MAHIMAIRAJA et al., 1990, SIMS & WOLF, 1994; KPOMBLEKOU-A, 2006). Sommer & Hutchings (2001) avaliaram vários trabalhos e estimaram que a cama de aves tenha uma composição média de 2,71% de N, e que desse total 24,0% está na forma amoniacal (N-NH_4^+) e 28% na forma de ácido úrico, que posteriormente se transforma em ureia. Portanto, o N que se encontra na forma solúvel, principalmente como N-NH_4^+ e ácido úrico, estão susceptíveis à volatilização na forma de amônia, tanto nos locais de armazenamento dos dejetos como após a aplicação dos mesmos ao solo (SCHERER et al., 1996), caso não sejam incorporados ao mesmo.

A ureia, por estar presente em quantidades expressivas na cama de aves, tem capacidade de elevar o pH próximo à região fertilizada após ser hidrolisada (SANGOI et al., 2003), favorecendo a formação de N-NH_3 . A incorporação da cama de aves ao solo evita a volatilização de amônia (LARA CABEZAS et al., 2000; SANGOI et al., 2003; SILVA et al., 1995), independente de sua origem, pois parte do N-NH_3 formado pode reagir com íons H^+ da solução do solo e com íons dissociáveis do complexo coloidal, resultando em N-NH_4^+ . Este, por sua vez, pode adsorver-se às cargas negativas do solo, ser nitrificado, ou absorvido pelas plantas. A liberação de amônia é pequena quando o pH da cama é ácido, mas é alta quando o

pH está acima de 8,0, pois a decomposição do ácido úrico ($C_5H_4N_4O_3$) é favorecida em condições de pH alcalino (TERZICH, 1997).

Outra possibilidade de uso da cama-de-aves é sua associação com adubos minerais, resultando nos fertilizantes denominados organominerais. O objetivo dessa mistura é aumentar o teor de nutrientes dos materiais orgânicos e a eficiência dos fertilizantes minerais. Apesar de a aplicabilidade ser restrita a poucas situações, porque só se consegue produzir essas misturas com concentrações relativamente baixas, tanto do componente orgânico como do mineral, contudo, seu uso vem crescendo atualmente.

A magnitude das perdas de nitrogênio por volatilização de amônia após aplicação de dejetos animais ao solo é um processo complexo que depende de vários fatores relacionados com o clima, condições edáficas e com as características intrínsecas do próprio resíduo orgânico. Sharpe et al. (2004) avaliaram a volatilização de amônia decorrente da adição de cama de aves a sistemas de preparo do solo e encontraram perdas de N equivalente a 3,3 e 24 % do N total aplicado durante o inverno e o verão, respectivamente, com maiores perdas nas condições de altas temperaturas, períodos de seca e vento. Também verificaram que as perdas se concentraram na primeira semana após a aplicação do resíduo orgânico ao solo, e que uma precipitação pluviométrica de 17 mm diminuiu significativamente a volatilização. Em experimento a campo, Lau et al. (2008) avaliaram a volatilização de amônia durante 21 dias e verificaram que, nas três estações de cultivo (primavera-outono-primavera), 82% do N total volatilizado já havia sido perdido na forma de $N-NH_3$ até o sétimo dia. Tewolde et al. (2009) aplicaram $6,4 \text{ t ha}^{-1}$ cama de aves, incorporada ao solo ou sobre a superfície do mesmo, e obtiveram aumento de 7 % no rendimento de fibras de algodão no tratamento com cama foi incorporada próxima à linha de semeadura. Este acréscimo foi creditado a possíveis reduções nas perdas de N por volatilização de amônia.

Com objetivo de solucionar e/ou mitigar as perdas de N por volatilização de NH_3 decorrente da hidrólise da ureia, vários compostos com potencial de atuar como inibidores da urease têm sido avaliados. Ao prevenir a rápida hidrólise, os inibidores aumentam as chances de que chuvas, irrigação ou operações mecânicas incorporem a ureia ao solo. Além disso, há uma redução no pico de alcalinização, permitindo maior tempo para o deslocamento do $N-NH_4^+$ para horizontes mais profundos do solo, com redução nas perdas gasosas. Entre os produtos testados como inibidor da urease, o NBPT (N-(n-butil) tiossulfônico triamida) é o que vem proporcionando os melhores resultados (BREMNER & CHAY, 1986; SCHLEGEL et al., 1986; BEYROUTY et al., 1988; BRONSON et al., 1989; WATSON, 2000, TASCA et al.,

2011). Uma formulação comercial está disponível no mercado para misturar à ureia previamente fabricada, chamada Agrotain.

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 (BREMNER & AHMAD, 1995). A inibição da urease ocorre por substituição da enzima no local de atuação, onde o inibidor ocupa o local de atuação e inativa a enzima (MOBLEY & HAUSINGER, 1989). Assim, retarda o início e reduz o grau e a velocidade de volatilização de NH_3 . O atraso na hidrólise reduz a concentração de N- NH_3 presente na superfície do solo, diminui o potencial de volatilização de NH_3 e permite o deslocamento da ureia para horizontes mais profundos do solo (CHRISTIANSON et al., 1990). Vale ressaltar que o NBPT não tem mostrado efeito sobre as propriedades biológicas do solo (BANERJEE et al., 1999), além de ser eficiente em concentrações baixas (WATSON et al., 1994).

Cantarella et al. (2008) avaliaram o efeito da adição de 80 ou 100 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, aplicados superficialmente em experimento a campo com cana-de-açúcar, e encontraram perdas de N por volatilização de amônia que variaram de 1%, quando ocorreram dias chuvosos após a adubação, até 25% do N aplicado. O uso de NBPT proporcionou reduções de 15 a 78% nas perdas por volatilização, dependendo das condições climáticas nos dias posteriores à aplicação de N. Sanz-Cobena et al. (2008) avaliaram em um Calcaric Fluvisol a aplicação superficial de 170 kg ha⁻¹ de ureia e ureia + NBPT submetidos à irrigação, e encontraram perdas respectivamente de 10 e 5,9% do N total aplicado, em 36 dias. Com a utilização do NBPT a atividade da urease foi reduzida durante nove dias, resultando numa redução de 42% na emissão de N- NH_3 .

Gioacchini et al. (2002), ao estudarem o efeito da aplicação da ureia em solo com inibidor da urease (NBPT) e inibidor da nitrificação (DCD), compararam três tratamentos: somente ureia (controle), ureia + NBPT e ureia + NBPT + DCD. A menor perda de N- NH_3 por volatilização foi observada na presença do NBPT em comparação ao controle, enquanto que a presença de DCD não implicou em redução adicional na volatilização de N- NH_3 , ao contrário, proporcionou maior valor médio em comparação à adição exclusiva de NBPT. Estudos realizados no Brasil com NBPT adicionado à ureia aplicada em lavoura de cana colhida sem despalha a fogo mostraram que o inibidor reduziu pela metade as perdas de N por volatilização (CANTARELLA et al., 2002). No entanto, não houve diferença entre o rendimento de colmos obtidos com ureia e ureia tratada com NBPT. Os benefícios da mistura ureia + NBPT são dependentes das mesmas variáveis que controlam a volatilização da amônia

e ainda não se pode assumir que a redução das perdas de N-NH₃ será convertida em aumento de produção de culturas (HENDRICKSON, 1992; WATSON et al., 1998).

A escassez de estudos no Brasil relacionados à quantificação da magnitude das reações ocorridas com o N proveniente da adição de cama de aves ao solo, isolada ou fazendo parte de fertilizantes organominerais, bem como de seu potencial poluidor, indica a necessidade de quantificar as perdas de N no sistema. Sendo assim, é necessário empenho para intensificar trabalhos nesta área visando práticas que potencializem o efeito fertilizante e amenizem possíveis impactos negativos sobre o ambiente. Este trabalho teve por objetivo quantificar as perdas de N por volatilização de amônia, decorrente da aplicação superficial de cama de aves granulada e fertilizante organomineral, na presença ou não do inibidor de urease, em comparação com fertilizantes minerais.

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no laboratório de Química e Fertilidade do Solo, no Centro de Ciências Agroveterinárias, CAV-UDESC, no ano de 2011, nos meses de setembro a novembro, sob condições ambientais, sujeito as variações de temperatura normais durante o período de condução (Figura 1). Foi utilizado um Nitossolo Vermelho distroférico, coletado na camada de 0-30 cm em uma área de vegetação nativa. O solo possuía 79% de argila, pH 4,6, 2,3% de MO, 6,7 mg kg⁻¹ de P e 64 mg kg⁻¹ de K. Após a coleta, o pH foi elevado para 6,5, segundo recomendação do Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2004), numa dose de 12 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico. Após a mistura do calcário, o solo foi umedecido até atingir 80 % capacidade de campo, e mantido em incubação durante dois meses.

Os tratamentos consistiram da utilização de fertilizantes orgânicos, organomineral e mineral, ou seja, cama de aves, cama de aves + NBPT (tiofosfato de N-n-butiltriamida), fertilizante organomineral, fertilizante organomineral + NBPT, ureia e ureia + NBPT, além da testemunha, sem N. Os tratamentos foram aplicados sobre a superfície das amostras de solo, sem incorporação, na dose de 200 mg de N por unidade experimental, que equivale a 400 kg ha⁻¹ de N. A umidade do solo foi mantida na capacidade de campo durante todo o período experimental, nos dias de coleta da amônia volatilizada as unidades experimentais foram pesadas e a umidade corrigida, através da adição de água destilada.

As camas utilizadas foram provenientes de granjas produtoras de frangos de corte, utilizadas durante a produção de seis lotes de aves. A composição da cama de aves (média

com e sem NBPT) e do organomineral (média com e sem NBPT) estão na tabela 1. Os demais fertilizantes possuíam 45% de N na forma amídica. As amostras de cama de aves foram compostadas durante 80 dias, sendo posteriormente granuladas, com aquecimento entre 35-40 °C durante o processo, e posteriormente os grânulos foram embebidos ou não no inibidor da urease - NBPT, a quantidade de inibidor adicionado foi a mesma utilizada no fertilizante comercial com ureia, 4 litros do produto comercial Agrotain por Mg de cama de aves ou organomineral.

Figura 1. Temperatura média (°C) em Lages, SC, durante 56 dias de experimento, de 07/09/2011 a 01/11/2012.

Fonte: Epagri, 2012.

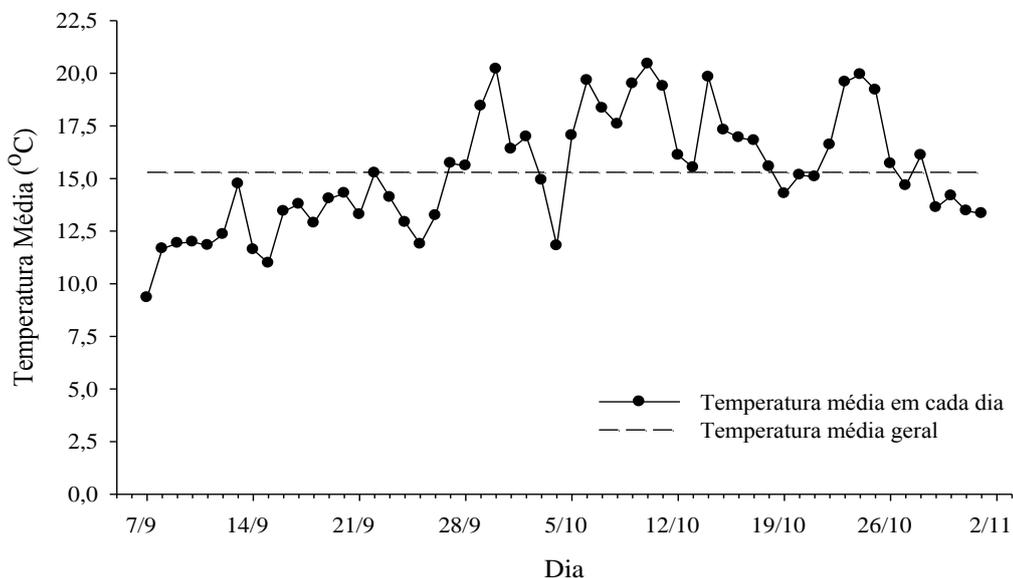


Tabela 1. Composição química dos fertilizantes aplicados ao solo, em base natural.

Composição	Cama de aves	Organomineral
	----- % -----	
N total	2,00	6,50
N solúvel total	0,40	4,20
N-NH ₄ ⁺	0,15	3,45
N-NO ₃ ⁻	0,00	0,47
N-ureia	0,10	2,15
Umidade	81	87
Relação C:N	13:1	-

As unidades experimentais foram constituídas por canos de PVC preenchidos com 1,0 kg de solo (base seca). Para coletar a amônia volatilizada, foram usados tubos de PVC com 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura. Os tubos foram envoltos em plástico na parte inferior,

formando uma espécie de câmara. Para avaliar a volatilização de amônia, foram colocados discos de espuma (esponja) comercial, com 2,5 cm de espessura e densidade 24 kg m^{-3} . Um dos discos foi colocado a 15 cm em relação ao solo, e o outro foi colocado na parte superior do tubo, para evitar a contaminação por amônia proveniente da atmosfera. Antes de serem utilizadas, as esponjas foram lavadas com água e em seguida com ácido fosfórico $0,73 \text{ mol L}^{-1}$, sequencialmente foram enxaguadas com água destilada e secas ao ar. Após isso, as espumas receberam 20 ml de ácido fosfórico $0,73 \text{ mol L}^{-1}$ contendo 30% de glicerina.

As esponjas foram trocadas aos 2, 4, 6, 8, 16, 24, 32, 40, 48 e 56 dias após a aplicação dos fertilizantes ao solo. Após serem retiradas dos tubos, as esponjas foram acondicionadas em sacos plásticos vedados e guardadas em geladeira até o momento das análises. Para a extração do fosfato de amônio formado, cada esponja foi saturada com 100 ml de KCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$, e após 12 horas em repouso foram espremidas manualmente para a retirada da solução. A concentração de amônia volatilizada foi determinada em destilador semi-micro Kjeldahl, conforme Tedesco et al. (1995).

Ao término das coletas, o volume de solo de cada unidade experimental foi homogeneizado e foram coletadas amostras para quantificação das quantidades de amônio e nitrato remanescentes. Estas formas foram extraídas do solo com KCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ e determinadas conforme Tedesco et al. (1995).

O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os dados obtidos foram submetidos à Análise de Variância, através do procedimento GLM do SASTM (2008) pelo teste F ($p < 0,05$). Quando foi atingido o nível de significância, as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando o comando LSMEANS. As tabelas com a análise estatística dos dados estão nos apêndices, para obtenção dos valores em mg coletor^{-1} basta multiplicar os valores em % do N aplicado por dois.

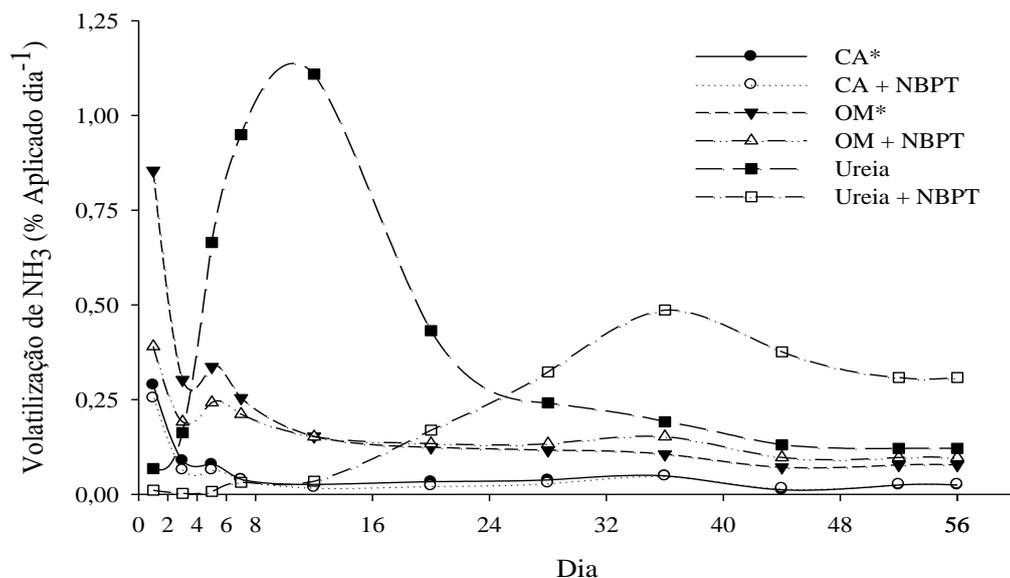
2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As taxas diárias de volatilização de NH_3 oscilaram de acordo com o fertilizante nitrogenado utilizado (Figura 2, Apêndice B). Os maiores valores diários de N-NH_3 volatilizado ocorreram para o tratamento onde foi aplicado N exclusivamente na forma de ureia, entre o 8º e 16º dia após a aplicação do fertilizante ao solo, sendo 93 % maior que os demais fertilizantes durante esses oito dias de alta volatilização. Neste período, oito dias, o teor médio volatilizado foi de $2,22 \text{ mg coletor}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de N-NH_3 , o que corresponde $1,1 \text{ \% dia}^{-1}$

do N total aplicado ao solo. Para o tratamento com ureia + NBPT (tiofosfato de N-n-butiltriamida ou N-n-butiltriamida do ácido tiofosfórico), as maiores taxas de perdas diárias ocorreram entre o 32° e 40° dia, ou seja, aproximadamente três semanas após o tratamento com ureia, com valores de 0,5 % dia⁻¹ do N total aplicado ao solo, durante esses oito dias.

Diferentemente dos tratamentos com ureia, as maiores perdas diárias de volatilização de N-NH₃ no tratamento com fertilizante organomineral ocorreram nos primeiros dois dias após a aplicação do fertilizante ao solo, com perdas diárias menores, 0,85 % dia⁻¹ do N aplicado (Figura 2, Apêndice B). A adição de NBPT ao fertilizante organomineral diminuiu a volatilização nos primeiros dois dias para 0,4% do N total aplicado, o que representou perdas 50% menores que o organomineral puro. Para a cama de aves, as maiores taxas de perdas diárias também ocorreram nos primeiros dois dias após a aplicação do fertilizante ao solo, semelhantemente ao fertilizante organomineral (com ou sem NBPT), contudo, com perdas de 0,3 % dia⁻¹ de N-NH₃, para a cama de aves pura. A cama + NBPT não apresentou diferença estatística ao longo das datas de avaliação, exceto nos primeiros dois dias com perdas de N iguais a cama de aves pura (0,55 mg coletor⁻¹ dia⁻¹).

Figura 2. Volatilização de amônia (% do aplicado dia⁻¹) decorrente da aplicação superficial de 200 mg kg⁻¹ de N a partir de fertilizantes nitrogenados, na presença ou não de tiofosfato de N-n-butiltriamida (NBPT), relativamente ao teor de N total contido nos fertilizantes orgânicos e minerais. Médias de quatro repetições com valores subtraídos daqueles volatilizados do tratamento que não recebeu N (testemunha). * CA = Cama de aves, OM = Adubo organomineral.



No último dia avaliado, aos 56 dias após a aplicação dos fertilizantes ao solo, as perdas diárias diferiram entre os fertilizantes demonstrando diferença quanto à estabilização do processo de volatilização (Figura 2, Apêndice B). Para a cama de aves e os fertilizantes

organominerais, a adição do NBPT não influenciou na volatilização de NH_3 na última coleta. As perdas ficaram próximas a $0,9 \text{ \% dia}^{-1}$ do N aplicado ao solo para o organomineral (com ou sem NBPT), o que equivale a uma perda diária de $0,10 \text{ kg ha}^{-1}$ de N-NH_3 , enquanto que para a cama de aves (com ou sem NBPT), foi de $0,07 \text{ kg ha}^{-1}$ de N-NH_3 . Contudo, para a ureia, houve diferença estatística quanto à adição do NBPT. A ureia + NBPT apresentou maiores valores de volatilização nos últimos dias de coleta, devido ao atraso da volatilização de N-NH_3 , resultado da ação efetiva do inibidor da urease, com perda diária de $0,3 \text{ \%}$ do N aplicado ao 56º dia.

A alternância dos picos das perdas diárias de N-NH_3 para a ureia, observada no experimento, difere da maioria dos estudos com volatilização de amônia, onde as perdas se concentram nos primeiros dias (3 a 7 dias) após aplicação ao solo, com posterior diminuição e estabilização (SANGOI et al., 2003; SHARPE et al., 2004, TASCA et al., 2011). Em nosso experimento as maiores perdas ocorreram entre o 8º e 16º e 32º e 40º dia para ureia e ureia + NBPT, respectivamente. Esse retardamento no presente estudo provavelmente se deve à baixa temperatura em praticamente todo o período avaliado, com temperaturas médias de 15° C , diminuindo a atividade da urease (Figura 1). Apenas no 20º dia a temperatura aumentou para valores próximos a 20° C .

O efeito do incremento da temperatura na volatilização de NH_3 se deve à aceleração na hidrólise da ureia pelo aumento da atividade da urease (MOYO et al., 1989; CLAY et al., 1990). Tasca et al. (2011) avaliaram o efeito da temperatura e da forma de aplicação da ureia e ureia + NBPT ao solo. Os autores verificaram que a adição de inibidor da urease à ureia não influenciou a volatilização total de NH_3 , apenas retardou o pico de perda máxima, contudo a volatilização de amônia foi dependente da temperatura, as perdas foram 30% maiores na temperatura de 35° C , em relação a 18° C . O'Connor & Hendrickson (1987) verificaram que a hidrólise da ureia foi totalmente concluída 1, 4, 6, 7 e 8 dias após a aplicação do fertilizante e associada às temperaturas de 35, 25, 15, 10 e 5° C , respectivamente. Esses autores observaram que, na maior temperatura (35° C), 70 % do N aplicado foi volatilizado em sete dias.

As perdas por volatilização de amônia maiores nos primeiros dias após a aplicação da cama de aves ao solo se deve provavelmente à presença da forma amoniacal nesse material e ao aumento do pH do solo por ele proporcionado (SOMMER & HUTCHINGS, 2001). Contudo, as perdas foram baixas quando comparadas a outros experimentos (LOCKYER & PAIN, 1988, SCHILKE-GARTLEY & SIMS, 1992, LAU et al., 2008), e esse comportamento diferenciado pode estar relacionado a características ambientais e/ou metodológicas inerentes a cada experimento ou mesmo intrínsecas ao resíduo orgânico. A cama de aves, por possuir

um menor conteúdo de umidade, tem uma taxa mais lenta de liberação de amônia do que os dejetos animais líquidos e os fertilizantes nitrogenados amídicos. No entanto, essas perdas podem se estender por vários dias ou semanas. Chambers et al. (1997), encontraram taxas lineares de perdas de amônia durante as primeiras três semanas após a aplicação de cama de aves ao solo. O tempo necessário para atingir o pico de perdas de N-NH₃ também pode estar associado ao período de adaptação dos microrganismos.

A adição de NBPT à cama de aves não afetou a volatilização de amônia após a aplicação do fertilizante ao solo. As perdas do N-NH₃ volatilizada foram caracterizadas por pequenos acréscimos, porém contínuos no decorrer do período avaliado para os tratamentos com cama e cama + NBPT. Contudo, a característica dos experimentos com volatilização de amônia, de apresentarem grandes perdas na primeira semana, não foi verificada em nosso estudo, devido, provavelmente, a um menor teor de N solúvel e à utilização de cama de aves granulada, o que possivelmente retardou o processo de mineralização do N.

O comportamento diferenciado quanto ao pico da volatilização de NH₃ decorrente da aplicação de ureia + NBPT em relação às outras fontes nitrogenadas e também a outros experimentos utilizando o mesmo fertilizante podem estar relacionadas a características ambientais ou metodológicas inerentes a cada experimento (SANZ-COBENA et al., 2008, CANTARELLA et al., 2008, TASCA et al., 2011). Nosso experimento foi conduzido em laboratório, sem controle de temperatura, estando sujeito às condições climáticas da região. Um atraso de 24 dias na volatilização de amônia indica que o inibidor da urease, para as condições do planalto catarinense nos meses avaliados, foi efetivo em retardar as perdas de N. Cantarella et al. (2007), em experimento conduzido a campo com aplicação de ureia e ureia + NBPT sobre a palhada da cana-de-açúcar, verificaram que o uso de NBPT proporcionou reduções de 15 a 78% nas perdas por volatilização, dependendo das condições climáticas nos dias posteriores à aplicação de N. A adição de NBPT à ureia ajudou a controlar as perdas de amônia, mas o inibidor foi menos efetivo quando chuvas suficientes para incorporar a ureia no solo ocorreram somente 10 a 15 dias, ou mais, após a aplicação dos fertilizantes. A ureia tratada com NBPT reduziu a atividade da urease em, aproximadamente, sete dias após a aplicação ao solo.

As quantidades acumuladas de amônia volatilizada apresentaram comportamento diferenciado dependendo do fertilizante utilizado (Figura 3, Apêndice A). A adição do inibidor da urease a ureia foi eficiente em retardar a volatilização de NH₃, diferentemente da cama de aves e do fertilizante organomineral. O tratamento com ureia apresentou maiores perdas acumuladas de N comparado aos demais, seguido do tratamento ureia + NBPT, organomineral

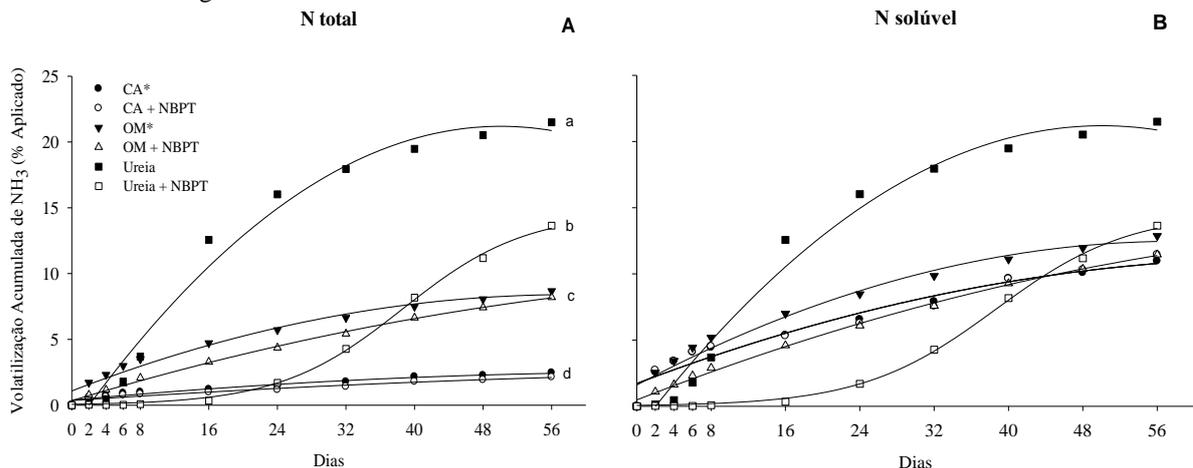
(com ou sem NBPT) e cama de aves (com ou sem NBPT). A utilização do NBPT foi eficiente em retardar a volatilização de amônia na ureia em aproximadamente 16 dias (figura 3), após a aplicação ao solo. Contudo, apresentou grandes perdas após esse período: no 56º dia, 14% do N aplicado havia sido perdido por volatilização de amônia, um aumento de 40 vezes em relação ao 16º dia, o que equivale a 15,4 kg ha⁻¹ de N-NH₃. Quando se utilizou apenas ureia como fonte de N essas perdas foram de 22% (24,3 kg ha⁻¹ de N-NH₃) do N total aplicado ao solo, com perdas significativas a partir dos primeiros dias. Portanto a adição do inibidor da urease a ureia reduziu as perdas por volatilização de N-NH₃ em 36% do N total volatilizado.

As perdas absolutas de N para os fertilizantes orgânicos foram muito pequenas relativamente às quantidades totais de N adicionadas e a adição do NBPT não afetou as perdas totais (Figura 3, Apêndice A). As perdas acumuladas variaram de 2,4 a 2,1 % do N total aplicado nos tratamentos com cama e cama + NBPT, respectivamente. Em relação à proporção de N solúvel (22% e 18%) presente na cama e cama + NBPT, as perdas foram respectivamente de 11,0 e de 11,5% para os mesmos tratamentos, e isso corresponde a uma perda total de 2,8 e 2,4 kg ha⁻¹ de N-NH₃. Essas perdas são menores do que as encontradas em outros estudos. As perdas de N-NH₃ dependem de muitas características ambientais, manejo do solo e dos fertilizantes, mas geralmente as médias variam de 20 a 45 % do N solúvel aplicado (CHAMBERS, et al. 1997; MARSHALL et al., 1998). Lockyer et al., (1989) em experimento conduzido a campo em um solo franco arenoso, cultivado com pastagem de azevém, encontraram perdas de 7% do N total aplicado, onde se utilizou cama de aves com 2,95% de N total e 0,57 % de N-NH₄⁺. As baixas perdas em nosso experimento se deve à utilização de cama de aves granulada que diminui a área de contato, dificultando o ataque dos microrganismos, e conseqüentemente diminuindo a mineralização do fertilizante orgânico, além da cama de aves possuir, provavelmente, em sua maior proporção N de difícil liberação (Paungfoo-Lonhienne et al., 2012).

Para o fertilizante organomineral a adição do NBPT também não afetou a volatilização de NH₃ e apresentou comportamento intermediário quanto às perdas de N-NH₃ quando comparamos com os demais fertilizantes utilizados. A diferença na volatilização se deve provavelmente ao N orgânico proveniente da cama de aves, que necessita ser mineralizado, além da granulação do fertilizante, que atrasa as perdas por volatilização. No 56º dia de experimento as perdas médias do organomineral (com ou sem NBPT) foram de 8,4 % do total de N aplicado ao solo (9,6 kg ha⁻¹ de N). Em relação à proporção do N solúvel presentes no organomineral e organomineral + NBPT (67 % e 72 %, respectivamente), que representa a fração prontamente disponível às plantas, as perdas representaram 13% e 11% do

total de N, respectivamente. Comportamento muito semelhante ao da ureia + NBPT e cama de aves (com ou sem NBPT) (Figura 3, Apêndice A).

Figura 3. Volatilização acumulada de amônia em relação a formas do N aplicado decorrente da adição superficial de 200 mg coluna⁻¹ de solo de N a partir de fertilizantes nitrogenados, na presença ou não de tiofosfato de N-n-butiltriamida (NBPT). Os valores foram subtraídos daqueles volatilizados do tratamento que não recebeu fertilizante (testemunha). Médias de quatro repetições. A= relativamente ao teor de N total aplicado; B = relativamente ao teor de N solúvel aplicado; *CA = Cama de aves; OM = Adubo organomineral.



As pequenas quantidades de N volatilizadas neste estudo podem, ainda, estar relacionadas com características inerentes ao manejo prévio da cama de aves. As amostras de camas utilizadas no experimento foram previamente compostadas durante 80 dias, e armazenadas por um longo período, com atividade microbiológica reduzida a níveis baixos. O reumedecimento das mesmas ocorreu apenas no momento da aplicação ao solo. Durante o processo de compostagem e armazenagem, pode ter havido volatilização das frações nitrogenadas mais propensas a isso, reduzindo a perda posterior. Desta forma, a secagem e a paralisação da atividade biológica antes da aplicação ao solo possivelmente podem ter contribuído para a subestimação do potencial de perda de N por volatilização de amônia. Em estudos com a aplicação de cama de aves fresca e compostada ao solo, Brinson et al. (1994) constataram que aos 21 dias após a aplicação ao solo, 17,0 a 31,0 % e 0 a 0,2 % do N aplicado haviam volatilizado na forma de N-NH₃, respectivamente, dependendo do tipo de solo. A baixa taxa de volatilização para a cama de aves compostada foi atribuída à baixa taxa de mineralização desse resíduo. López-Mosquera et al. (2007) avaliaram o efeito da secagem e peletização nas propriedades da cama de aves e verificaram diminuição no teor de umidade e N-total, e aumento da relação C:N, com diminuição de 4% do C e 20% do N-total, mostrando que as frações do N mais facilmente mineralizadas já haviam se perdidos antes da aplicação ao solo.

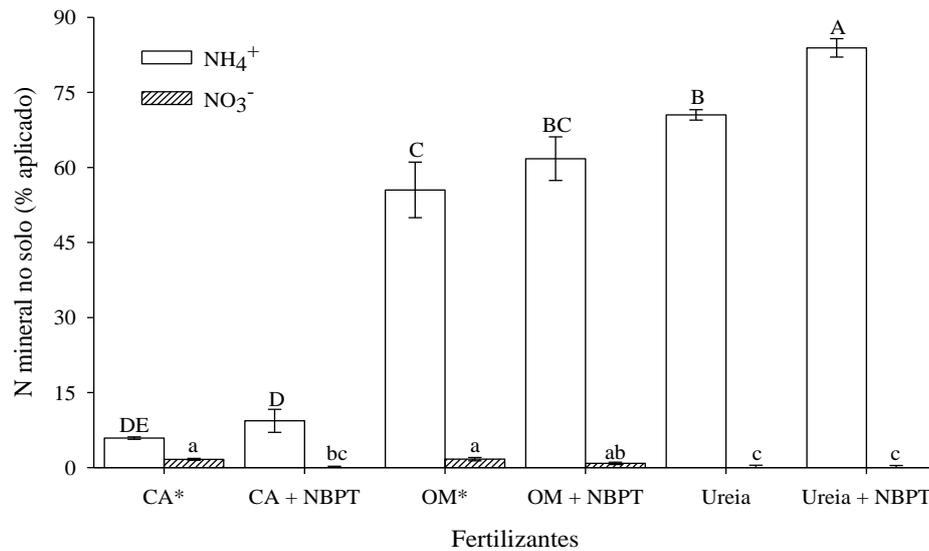
O maior teor de amônio no solo (N-NH_4^+), nas amostras coletadas após 56 dias de experimento, ocorreu no tratamento onde foi aplicado N exclusivamente na forma de ureia + NBPT (Figura 4). Neste, o teor de N-NH_4^+ foi de 168 mg kg^{-1} (descontado o valor da testemunha, 84% do N aplicado), seguido do tratamento ureia com 141 mg kg^{-1} de NH_4^+ remanescente no solo; naqueles com camas de aves (com ou sem NBPT), o teor médio foi de 15 mg kg^{-1} de N-NH_4^+ (8 % do N aplicado), sem diferença entre a adição do NBPT. Nos tratamentos com fertilizante organomineral, o amônio do solo não diferiu pela presença de NBPT, contudo, o fertilizante organomineral + NBPT não diferiu do tratamento com ureia, nos quais o teor médio foi de 111 e 123 mg kg^{-1} , respectivamente. O teor médio de amônio remanescente no solo ao final do experimento no tratamento com camas de aves (com ou sem NBPT) foi de apenas 8 % do N total aplicado ao solo, em contraste com 70 e 84% para os tratamentos ureia e ureia + NBPT (Figura 4). Apesar de o amônio ser a principal forma de N presente nas camas de aves, representando aproximadamente 30 % do N total (SOMMER et al., 2001), mais da metade do N aplicado pelos dejetos animais não foi inicialmente disponibilizado para o solo uma vez que ele faz parte de compostos orgânicos estáveis que precisam ser decompostos pelos microrganismos.

Nas amostras de solo coletadas após 56 dias de experimento, o teor de N-NO_3^- foi baixo em todos os tratamentos. Os maiores teores de N-NO_3^- foram encontrados nos tratamentos onde se aplicou cama de aves (com ou sem NBPT) e fertilizante organomineral (com ou sem NBPT), com valores de aproximadamente 1,6 e 1,7 % do N aplicado, respectivamente (Figura 4). Nos tratamentos que receberam N mineral, não foi detectado nitrato. Os baixos valores de N-NO_3^- no solo pode estar relacionado à baixa circulação de ar nas câmaras coletoras, causando déficit de O_2 , conseqüentemente inibindo a nitrificação e causando anaerobiose, além da proliferação de fungos que ocorreram na superfície do solo durante a condução do experimento. Durante o período experimental, as câmaras foram abertas a cada 8 dias, e esse período provavelmente foi insuficiente para que ocorressem trocas gasosas e permitisse a aeração do sistema.

A concentração de N mineral total (amônio + nitrato) nas amostras coletadas logo após a aplicação dos fertilizantes foi maior naqueles solos que receberam ureia em relação àqueles com cama de aves e organomineral (Figura 4). Como todos os tratamentos, exceto a testemunha, receberam a mesma quantidade total de N (200 mg kg^{-1}), as diferenças entre os fertilizantes orgânicos, organominerais e minerais em aumentar os teores de amônio e nitrato do solo está relacionada principalmente com as formas em que o N estava presente em cada um desses fertilizantes. Na ureia, o N está na forma amídica $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ enquanto que nas

camas de aves ele está predominantemente na forma orgânica estável, mas também como amida, ácido úrico amônio e nitrato (THOMSEN, 2004). As formas orgânicas têm que ser mineralizadas para liberar o N para as plantas.

Figura 4. Percentagem de NH_4^+ e NO_3^- no solo em relação ao N aplicado, aos 56 dias após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados, em presença ou não de tiofosfato de N-n-butiltriamida (NBPT). Letras maiúsculas comparam os valores de NH_4^+ e letras minúsculas os de NO_3^- . Valores nas colunas seguidos de mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5 % de significância. As barras nas colunas indicam o erro do teste de médias. Médias de quatro repetições. *CA = Cama de aves; OM = Adubo organomineral.



A utilização do sistema fechado e estático usado como metodologia de captação de amônia também pode ter contribuído para subestimação das perdas de N-NH_3 . Lara Cabezas e Trivelin (1990) aplicaram ureia marcada com ^{15}N no solo, mediram a volatilização de amônia utilizando um sistema coletor semiaberto estático durante 37 dias, e verificaram que, na presença da câmara coletora, houve redução na volatilização de amônia proveniente da ureia em 29 % em relação ao tratamento sem câmara. Além disso, a ausência de circulação de ar pode provocar considerável diminuição da evaporação de água da superfície do solo que, juntamente a um ambiente com elevada umidade relativa do ar, favorece o desenvolvimento de fungos na superfície de solos tratados com dejetos animais, que dificultam a difusão do gás para a atmosfera. Em trabalho de calibração, utilizando a técnica do balanço do isótopo ^{15}N , em condições semelhantes às que ocorrem no campo, Araújo et al. (2009) determinaram a eficiência de recuperação da amônia volatilizada do solo, através do uso de uma câmara elaborada a partir de garrafas de politereftalato de etileno (PET). Os autores verificaram que o uso câmara subestima a quantidade de NH_3 volatilizada, sendo encontrada uma eficiência de 57 %.

Os coletores com circulação de ar são mais eficientes em captar a amônia volatilizada do que o dispositivo semiaberto estático, o qual permanece isolado da ação do vento durante o período de avaliação e, por isso, pode subestimar a perda real de N por volatilização de amônia, além de provocar anaerobiose. Sommer e Hutchings (2001) verificaram que há uma relação direta entre taxas de perdas de amônia e velocidade do vento, a qual afeta a atmosfera imediatamente acima da região onde foi aplicado o fertilizante, aumentando a taxa de difusão de amônia para a atmosfera.

2.5 CONCLUSÕES

1. A utilização do inibidor da urease não foi eficiente em retardar a volatilização de NH_3 a partir da adição ao solo de cama de aves granulada e fertilizante organomineral. Contudo, quando utilizado ureia como fonte de N, o inibidor da urease é uma alternativa para aumentar a eficiência desse fertilizante.
2. A ureia mais o inibidor de urease retarda os picos de volatilização de N-NH_3 , os quais aconteceram na quinta semana após a aplicação dos fertilizantes sobre a superfície do solo.
3. A volatilização de N-NH_3 é baixa quando decorrente da aplicação ao solo de cama de aves granulada e que previamente passou por um período de compostagem, combinada ou não com NBPT.
4. As perdas máximas acumuladas de N-NH_3 atingiram 2, 8 e 22 % do N total aplicado para cama de aves, fertilizante organomineral e ureia, respectivamente. Quando adicionado o inibidor da urease a ureia as perdas foram reduzidas em 36 %.

3 CAPÍTULO II – INFLUÊNCIA DO INIBIDOR DA UREASE NAS REAÇÕES DO NITROGÊNIO NO SOLO DECORRENTES DA APLICAÇÃO DE CAMA DE AVES E FERTILIZANTES MINERAIS EM COMPARAÇÃO COM FERTILIZANTE REVESTIDO.

3.1 RESUMO

Este trabalho teve por objetivo quantificar várias reações do N no solo influenciadas pela aplicação de cama de aves e adubos minerais, na presença ou não de inibidores de urease. Os tratamentos consistiram da utilização de cama de aves e ureia, combinados ou não com NBPT (tiofosfato de N-n-butiltriamida), além de KNO_3 , de um adubo revestido com polímeros e de uma testemunha, sem N. Este estudo foi composto por três experimentos, todos conduzidos em laboratório, concomitantemente, durante 77 dias, sobre um Nitossolo Vermelho. As unidades experimentais tinham 1,0 kg de solo, e a dose aplicada de N foi de 200 mg kg^{-1} . Para avaliar a volatilização de amônia, os fertilizantes foram aplicados sobre a superfície do solo, e os coletores utilizados foram de esponja impregnada com ácido fosfórico e glicerina. Os teores de N volatilizados foram determinados aos 4, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70 e 77 dias após a aplicação dos fertilizantes ao solo. Nos experimentos para avaliar a lixiviação e a mineralização do N, os tratamentos foram incorporados ao solo, e as avaliações foram realizadas semanalmente. As perdas de amônia por volatilização foram pequenas para os tratamentos com cama de aves e cama + NBPT, tendo representado 4,3 e 2,4% do N total aplicado, respectivamente; naqueles com ureia, ureia + NBPT, e adubo revestido a volatilização atingiu, respectivamente, 34, 17 e 18% do N aplicado. A lixiviação de N foi pequena para os tratamentos com cama de aves, totalizando, respectivamente, 12 e 15 % do N aplicado, na ausência e presença de NBPT; nos tratamentos com KNO_3 , ureia e ureia + NBPT, entretanto, a lixiviação atingiu, respectivamente, 97, 89 e 83% do N aplicado. Aos 77 dias o NBPT não teve influência no N mineral do solo, apresentando 12 e 95% do N na forma mineral para a cama e ureia (média, com e sem NBPT) e 56% para o adubo revestido. A utilização do inibidor da urease não foi eficiente em retardar a volatilização e a lixiviação de N, e não influenciou o N mineral do solo a partir da adição de cama de aves granulada. Diferentemente, a combinação do NBPT com ureia retardou a volatilização de NH_3 , mas não influenciou a lixiviação e o N mineral do solo. A utilização do adubo revestido com polímeros poderá ser uma alternativa para aumentar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados, contudo, a mineralização líquida é baixa quando comparado com a ureia. A volatilização e a mineralização líquida do N presente na cama são baixas, independentemente da adição do NBPT. A cama de aves disponibiliza pequenas quantidades de N nos períodos subsequentes à adição ao solo.

Palavras-Chave: Volatilização de amônia. Fertilizantes nitrogenados. Lixiviação. Nitrificação. Mineralização.

3.2 INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é geralmente o nutriente mineral absorvido em maior quantidade pelos vegetais e o que mais limita a produção de alimentos no mundo (COELHO et al., 1991). É o elemento mineral empregado em maior quantidade em adubação e o mais exportado pelas espécies vegetais. Contudo, é o nutriente mais difícil de ser manejado nos solos de regiões tropicais e subtropicais, em função do grande número de reações que ocorrem com esse elemento no solo e da rapidez de algumas dessas transformações, muitas delas responsáveis por perdas do sistema solo-planta. Entre as diversas, destacam-se: mineralização, nitrificação, desnitrificação, imobilização, volatilização e lixiviação.

O N apresenta grande dinamismo no solo, encontrando-se em diversas formas, dentre as quais as mais comumente são aquelas em que ele forma íons com o oxigênio e hidrogênio. No solo, o N pode ser encontrado na fase gasosa, na forma elementar (N_2) ou outros gases (NO , NO_2^- , N_2O , NH_3), em formas iônicas (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-) e na forma orgânica presente na matéria orgânica do solo. Geralmente as reações são mediadas por microrganismos, e suas formas inorgânicas possuem elevada solubilidade.

O N pode sair do sistema solo-planta por vários mecanismos de perdas, dentre eles a volatilização de amônia e a lixiviação de nitrato. A volatilização é a reação na qual o N migra do solo, na forma de gás, para a atmosfera. Essa reação pode assumir grande importância agrônômica e econômica, principalmente quando se adicionam adubos nitrogenados a solos alcalinos, e quando os fertilizantes, a exemplo da ureia e dos resíduos de origem animal, são aplicados sobre a superfície do solo, sem incorporação (ERNANI, 2002). Um fator agravante para as perdas de N por volatilização de amônia é o crescente aumento das áreas com plantio direto e cultivo mínimo. As perdas por volatilização de amônia em solos dependem, basicamente, da existência simultânea de íons amônio e pH elevado.

O processo de volatilização de amônia oriundo de fertilizantes amídicos envolve, inicialmente, a hidrólise enzimática da fonte nitrogenada por meio da urease, resultando finalmente, na formação de NH_4^+ , bicarbonato (HCO_3^-) e hidroxila (OH^-) (RAIJ, 1991; ERNANI, 2002). As moléculas de hidroxila e bicarbonato reagem com átomos de hidrogênio e elevam o pH ao redor dos grânulos do fertilizante (RODRIGUES & KIEHL, 1992, SANGOI et al., 2003). Dessa forma, parte do amônio se converte em amônia que, sendo um gás, pode se perder para a atmosfera, caso a ureia não seja incorporada ao solo. Entretanto, parte da NH_3 formada reage com íons H^+ da solução do solo e com íons dissociáveis do complexo coloidal, resultando em cátions NH_4^+ . Assim, diversos fatores afetam a

volatilização de amônia, destacando-se a capacidade de troca catiônica, pH, poder tampão, teor de matéria orgânica, atividade da urease e textura do solo (COSTA et al., 2004), além de algumas condições climáticas, como velocidade do vento, temperatura, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica (SOMMER & HUTCHINGS, 2001, TASCA et al., 2011).

A lixiviação é outra reação importante que consiste no movimento vertical do N no perfil do solo para profundidades abaixo daquelas exploradas pelas raízes. É a reação mais importante que ocorre com o N nos solos brasileiros. A importância da lixiviação depende da quantidade do nutriente na solução do solo e da percolação da água, seja da chuva ou de irrigação. 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 NO_3^- possui o mesmo tipo de carga da maioria das partículas do solo, ele não é adsorvido à fase sólida, lixiviando sempre que houver percolação de água no solo (CERETTA & FRIES, 1997).

A existência de cargas positivas no solo, em adição às negativas, pode dificultar a lixiviação, possibilitando a adsorção eletrostática do ânion (BLACK & WARING, 1976; WONG et al., 1990). O mecanismo de retenção retarda a lixiviação de NO_3^- (RAIJ & CAMARGO, 1974; WONG et al., 1987, 1990) em relação à frente de água que se desloca, uma vez que os elementos somente se deslocam quando estão eletricamente neutros. As perdas por lixiviação são influenciadas principalmente pelo pH, quantidade de matéria orgânica (ERNANI et al., 2002), tipo de solo (AULAKH et al., 2000; SANGOI et al., 2003), forma de preparo do solo (SIMS et al., 1998), forma de aplicação dos fertilizantes nitrogenados (HOWARD & ESSIGTON, 1998; SIMS et al., 1998) e pelo fluxo de água no solo (WHITE, 1987). Na forma amoniacal, as perdas de N podem ocorrer por lixiviação, mas em menor magnitude que a nítrica.

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 resultante da aplicação de ureia não é 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 do fertilizante.

A cama de aves é uma importante fonte de nutrientes para as culturas nas regiões próximas aos centros produtores de aves confinadas, podendo substituir uma parcela expressiva dos fertilizantes inorgânicos utilizado nestes locais. A fim de decidir ou não pela aquisição desse tipo de fertilizante, os agricultores precisam conhecer a eficiência agrônômica dos mesmos em relação aos fertilizantes minerais, além do preço. A eficiência econômica e agrônômica dos dejetos animais é dependente da sua composição, das doses a serem aplicadas, do sistema de preparo do solo, do tipo de solo, da espécie vegetal e do custo de transporte até a lavoura, e está diretamente associado à quantidade de nutrientes presentes, principalmente N, P e K, e à taxa de liberação deles para as plantas (SCHERER, 2005). Ao contrário dos fertilizantes minerais, que possuem uma composição mínima definida para cada condição de cultura e solo, a composição da cama de aves é desbalanceada em relação aos fertilizantes minerais, pois a mesma é dependente de uma serie de fatores inerentes ao sistema em que os animais foram criados. Para estimar a dose adequada a ser utilizada para suprir as quantidades necessárias dos nutrientes é necessário conhecer as necessidades das culturas, a concentração dos nutrientes disponíveis no solo, e os fatores que afetam a mineralização do N presente na cama de aves (KONZEN e ALVARENGA, 2005).

A composição mineral da cama de aves apresenta frações com solubilidade distintas, algumas prontamente disponíveis às plantas e outras na forma orgânica, que dependem da atividade biológica do solo para serem mineralizadas. A sugestão contida nas tabelas de adubação dos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina é de que apenas 50 % do N contido nesse material sejam considerados disponíveis às culturas no primeiro cultivo subsequente à aplicação e outros 20 % se tornarão disponíveis durante o cultivo subsequente (CQFS-RS/SC, 2004). Portanto, as quantidades disponibilizadas às plantas em curto prazo são variáveis, uma vez que tanto a mineralização quanto as reações que levam às perdas (volatilização, lixiviação e desnitrificação) ocorrem simultaneamente.

A capacidade de mineralização dos compostos orgânicos é dependente da atuação dos microrganismos heterotróficos, pois os mesmos utilizam o C como fonte de energia e disponibilizam o N na solução do solo na forma inorgânica (KIEHL, 1985). A fonte de energia para os microrganismos está contida numa ampla variedade de compostos orgânicos, tais como carboidratos (polissacarídeos, oligossacarídeos e monossacarídeos), celulose, lignina, proteínas, lipídeos, pigmentos, entre outros. Desta forma, a velocidade de decomposição é dependente da maior ou menor concentração destes compostos, que possuem diferentes capacidades de resistir à degradação (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). No solo, o processo de decomposição de materiais orgânicos é regulado principalmente pelas

características do material que determinam sua degradabilidade, pelas condições físico-químicas do ambiente, as quais são controladas pelo clima e pelas características edáficas do local (SWIFT et al., 1979), e pelas características de biomassa microbiana. Quanto aos fatores inerentes ao resíduo orgânico, destacam-se: composição química, relação carbono/nitrogênio (C/N), conteúdo de lignina, idade do material e tamanho das partículas (PARR & PAPENDICK, 1978).

Uma vez mineralizado, o N inorgânico passa a estar sujeito a um grande número de transformações no solo. Dentre elas destaca-se a volatilização de amônia. O N que se encontra na forma solúvel, principalmente como NH_4^+ e ácido úrico, está susceptível a volatilizar-se na forma de amônia, tanto nos locais de armazenamento dos dejetos como após a aplicação dos mesmos ao solo (SCHERER et al., 1996), caso não sejam incorporados ao mesmo. A ureia, por estar presente em quantidades expressivas nesses materiais, tem capacidade de elevar o pH nas imediações da região fertilizada, após ser hidrolisada (ERNANI et al., 2002), favorecendo a formação de NH_3 . A incorporação da cama de aves ao solo evita a volatilização de amônia (LARA CABEZAS et al., 2000; SANGOI et al., 2003; SILVA et al., 1995), independente de sua origem, pois ao difundir para regiões com pH ácido se transforma em NH_4^+ . Este, por sua vez, pode adsorver-se às cargas negativas do solo, ser nitrificado, ou absorvido pelas plantas. A liberação de amônia é pequena quando o pH da cama é ácido, mas é alta quando o pH está acima de 8,0, pois a decomposição do ácido úrico ($\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$) é favorecida em condições de pH alcalino (TERZICH, 1997).

A magnitude da volatilização de amônia após a aplicação de dejetos animais ao solo é um processo complexo que depende de vários fatores relacionados com o clima, condições edáficas e com as características intrínsecas do próprio resíduo orgânico e principalmente da forma de aplicação do mesmo ao solo, tornando-se importante com a expansão do plantio direto. Sharpe et al. (2004) avaliaram a volatilização de amônia decorrente da adição de cama de aves a sistemas de preparo do solo e encontraram perdas de N equivalente a 3,3 e 24 % do N total aplicado durante o inverno e o verão, respectivamente, com maiores perdas nas condições de altas temperaturas, períodos de seca e vento. Também verificaram que as perdas se concentraram na primeira semana após a aplicação do resíduo orgânico ao solo, e que uma precipitação pluviométrica de 17 mm diminuiu significativamente a volatilização.

Em experimento a campo, Lau et al. (2008) avaliaram a volatilização de amônia durante 21 dias e verificaram que, nas três estações de cultivo (primavera-outono-primavera), 82% do N total volatilizado já havia sido perdido na forma de NH_3 até o sétimo dia. Tewolde et al. (2009) aplicaram $6,4 \text{ t ha}^{-1}$ de cama de aves, incorporada ao solo e sobre a superfície do

mesmo, e obtiveram aumento de 7 % no rendimento de fibras de algodão quando a cama foi incorporada próxima à linha de semeadura. Este acréscimo foi creditado a possíveis reduções nas perdas de N por volatilização de amônia.

A nitrificação é outra reação importante, que consiste na passagem do N amoniacal (NH_4^+) para a forma nítrica (NO_3^-). Esta reação ocorre em solos com disponibilidade de oxigênio (O_2), sendo indesejável sob o ponto de vista ambiental. A taxa com que o N amoniacal dos esterco é oxidado a NO_3^- pelas bactérias nitrificadoras, após a aplicação ao solo, é um fator determinante do seu potencial poluidor. Isto porque o aparecimento de NO_3^- no solo, antes dos períodos de alta demanda em N pelas culturas, poderá resultar em perdas significativas desta forma de N por lixiviação, podendo contaminar as águas de superfície e também o lençol freático (CARGNIN, 2007), uma vez que a aplicação de cama de aves geralmente antecede a semeadura das culturas. Desta forma, é de grande importância o conhecimento das transformações microbianas do NH_4^+ no solo, especialmente a velocidade de oxidação até NO_3^- . A magnitude da taxa de nitrificação irá condicionar a quantidade de nitrato no solo, o qual poderá ser lixiviado no perfil e/ou ser utilizado como receptor final de elétrons por bactérias desnitrificadoras e transformar-se em N_2O e N_2 (FRANCHI, 2001).

Os principais processos que afetam a mineralização do N orgânico adicionado ao solo na forma de cama de aves dependem, em grande parte, da composição da cama, do tipo de solo, e de sua umidade e temperatura (GRIFFIN et al., 2002). Agehara et al. (2005) encontraram maiores taxas de mineralização em solos com umidade de 70% do que com 50% da capacidade de campo e atribuem esta superioridade às maiores taxas de difusão dos substratos necessários para o metabolismo dos microrganismos no maior nível de umidade. Vários estudos mostram maior mineralização em solos arenosos em comparação aos argilosos. Gordillo e Cabrera (1997) aplicaram cama de aves a nove solos e quantificaram a mineralização líquida de N por 146 dias, e encontraram correlação positiva com teor de areia do solo. Da mesma forma, Sistani et al. (2008) incubaram cama de aves por 90 dias, em laboratório, e verificaram que de 62 e 80 % do N orgânico total foram mineralizados, respectivamente nos solos com 38 e 7% de argila. Segundo Thomsen et al. (2001), altos teores de argila podem limitar temporariamente a atividade microbiana devido à adsorção dos produtos oriundos da decomposição pelos coloides do solo, além de diminuir a superfície de contato dos resíduos pelo recobrimento com argila. Preusch et al. (2002) avaliaram o efeito da aplicação de cama de aves, fresca e compostada, na mineralização do N, em dois tipos de solo. Os autores verificaram que a percentagem total de N orgânico convertido em N mineral foi maior na cama de aves fresca (42-64%) do que na cama de aves compostada (1-9%). Para

os diferentes tipos de solos não houve diferença na taxa de mineralização do N quando se utilizou cama de aves compostada, com taxas de 7-9 e 1-5% para o solo arenoso e argilo-siltoso, respectivamente.

Quando se utiliza resíduos orgânicos com N na forma amídica, a enzima urease presente nos solos é uma das principais responsáveis pela volatilização de NH_3 , assim como por disponibilizar NH_4^+ ao solo, favorecendo a nitrificação em solos aerados. A urease é uma enzima extracelular produzida por bactérias, actinomicetos, fungos do solo e, provavelmente, também de origem em restos vegetais. A ureia aplicada pode ser rapidamente hidrolisada pela urease em menos de uma semana, sendo que a temperatura e fatores do solo, como o pH, potencial de água, aeração, textura, quantidade de carbono orgânico (matéria orgânica), poder tampão e CTC, são determinantes da atividade da urease (SENGIK, 2001; TASCA et al., 2011).

Atualmente, estão disponíveis fertilizantes nitrogenados com inibidores da urease, que podem retardar e diminuir a velocidade da reação de hidrólise. Ao prevenir a rápida hidrólise, os inibidores aumentam as chances de que chuvas, irrigação ou operações mecânicas incorporem a ureia ao solo. Além disso, há uma redução no pico de alcalinização, permitindo maior tempo para o deslocamento do N- NH_3 para horizontes mais profundos do solo e a redução das perdas gasosas. Entre os produtos testados como inibidor da urease, o NBPT (tiofosfato de N-n-butiltriamida) é o que vem proporcionando os melhores resultados (BREMNER & CHAY, 1986; SCHLEGEL et al., 1986; BEYROUTY et al., 1988; BRONSON et al., 1989; WATSON, 2000, TASCA et al., 2011). O agrotain é uma formulação comercial que está disponível no mercado para ser misturada à ureia previamente fabricada.

O NBPT não é inibidor direto da urease. Ele tem que ser convertido ao seu análogo de oxigênio, o fosfato de N-n-butiltriamida (NBPTO), que é o verdadeiro inibidor (BREMNER & AHMAD, 1995). A inibição da urease ocorre por substituição da enzima, onde o inibidor ocupa o local de atuação e inativa a enzima (MOBLEY & HAUSINGER, 1989), retardando, assim, o início ao mesmo tempo em que reduz o grau e a velocidade de volatilização de NH_3 . O atraso na hidrólise reduz a concentração de NH_3 presente na superfície do solo, diminui o potencial de volatilização de NH_3 , e permite o deslocamento da ureia para horizontes mais profundos do solo (CHRISTIANSON et al., 1990).

Estudos utilizando NBPT tem mostrado sua eficiência em diminuir a volatilização de NH_3 . Cantarella et al. (2008) avaliaram o efeito da adição de 80 ou 100 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, aplicados superficialmente em experimento a campo com cana-de-açúcar, e encontraram perdas de N por volatilização de amônia na ordem de 1%, em dias chuvosos após

a adubação, até 25% do N aplicado. O uso de NBPT proporcionou reduções de 15 a 78% nas perdas por volatilização, dependendo das condições climáticas nos dias posteriores à aplicação de N. Sanz-Cobena et al. (2008) estudaram a aplicação superficial de 170kg ha⁻¹ de ureia e ureia + NBPT em um Calcaric Fluvisol submetido à irrigação e encontraram perdas respectivamente de 10 e 5,9% do N total aplicado. Com a utilização do NBPT a atividade da urease foi reduzida durante os primeiros nove dias, reduzindo em 42 % a emissão de NH₃.

Gioacchini et al. (2002), ao estudarem o efeito da aplicação da ureia em solo com inibidor da urease (NBPT) e inibidor da nitrificação (DCD), compararam três tratamentos: ureia (controle), ureia + NBPT; ureia + NBPT e DCD. A menor perda de NH₃ por volatilização foi observada na presença do NBPT em comparação ao controle, e a presença de DCD não implicou em redução adicional na volatilização, ao contrário, proporcionou maior valor médio em comparação à adição exclusiva de NBPT. Estudos realizados no Brasil com NBPT adicionado à ureia aplicada em cana colhida sem despalha a fogo mostraram que o inibidor reduziu à metade as perdas de N-NH₃ por volatilização (CANTARELLA et al., 2002). No entanto, não houve diferença entre o rendimento de colmos obtidos com ureia e ureia tratada com NBPT. Os benefícios da mistura de ureia com NBPT são dependentes das mesmas variáveis que controlam a volatilização da amônia e ainda não se pode assumir que a redução das perdas de NH₃ será convertida em aumento de produção de culturas (HENDRICKSON, 1992; WATSON et al., 1998).

Vários estudos vêm sendo realizados com o objetivo de avaliar o efeito do inibidor da urease e sua capacidade em reduzir as emissões de N-NH₃ e conservar o N nos dejetos de gado em confinamento (VAREL et al., 1999; SHI et al., 2001; PARKER et al., 2005). Estudos realizados em laboratório (VAREL et al., 1997) mostraram que o inibidor de urease (phosphorodiamidate), aplicado semanalmente, impediu que 70 a 92% de ureia fosse hidrolisada após 28 dias. Ambos, NBPT e a triamida cyclohexyphosphoric, reduziram as emissões de N-NH₃ dos dejetos de gado em confinamento (VAREL et al., 1999). Um estudo realizado por Parker et al. (2005) demonstraram que 1 e 2 kg ha⁻¹ de NBPT em confinamento de gado de corte, aplicado a cada oito dias, reduziu em 49 e 69% a emissão de N-NH₃, respectivamente. Singh et al. (2009) avaliaram a volatilização de amônia em aviário após a aplicação do inibidor da urease e verificaram que o inibidor reduziu a volatilização de amônia ao longo do tempo, contudo, não afetou a volatilização de N-NH₃ quando aplicado em cama de aves com baixo teor de umidade (13 a 17%). Os autores atribuíram que o baixo teor de umidade na cama pode ter inibido a atividade do inibidor de urease. Como o inibidor foi aplicado semanalmente, o efeito da primeira aplicação durou uma semana, após, a

volatilização de N-NH₃ se igualou ao tratamento controle; após a segunda aplicação o efeito durou 14 dias. A diferença no efeito do inibidor de urease foi atribuída a mudanças nas características da cama de aves ao longo do tempo.

Outra possibilidade para diminuir a volatilização de NH₃ e a lixiviação de NO₃⁻ e com isso aumentar a eficiência da adubação nitrogenada é o uso de fertilizantes revestidos com polímeros, que permita a liberação lenta do N contido na ureia (BONO et. al, 2008). Shaviv (2000) relatou que os principais benefícios gerados pelo uso da ureia revestida com polímero são: redução do estresse e toxicidade devido à alta concentração salina junto à semente e ao sistema radicular das plantas, aumento na disponibilidade dos nutrientes, por aumentar este na solução do solo, suprimento de N nas formas preferencialmente absorvidas pelas plantas (NH₄⁺ e NO₃⁻) devido à lenta liberação, dificultando a imobilização por microrganismos do solo, aprimoramento dos efeitos sinérgicos entre os nutrientes, por não haver desequilíbrio na proporção de N e dos demais íons, e baixo risco de contaminação ambiental por lixiviação de NO₃⁻ e emissão de NH₃, NO e N₂O para atmosfera. Entretanto o uso de adubos revestidos é muito restrito devido, principalmente, ao custo elevado que este insumo apresenta quando comparado com os adubos nitrogenados padrões (GOLDEN et. al, 2009).

A eficiência dos fertilizantes de liberação lenta depende da durabilidade e da intensidade de liberação do N por esses fertilizantes, que é diretamente dependente do material de recobrimento, da espessura da resina utilizada, de microfissuras em sua superfície e também do tamanho do grânulo de fertilizante (GIRARDI & FILHO, 2003). Segundo Chitolina (1994) a taxa de liberação dos nutrientes revestidos com polímeros também está diretamente ligada ao conteúdo de água e à temperatura do solo, uma vez que estes podem aumentar a permeabilidade desses compostos, aumentando por sua vez a taxa de difusão do N neles presentes.

Diversos autores relataram os benefícios no emprego de fertilizantes revestidos com polímeros. Na cultura da cevada, utilizando a técnica do traçador isotrópico ¹⁵N, Shoji et. al (2001) verificaram recuperação de N oriundo do fertilizante de 66% quando foi utilizado adubo de liberação lenta, cuja eficiência de utilização do fertilizante foi maior quando comparado a fertilizantes convencionais. Quanto à volatilização de NH₃, em estudos conduzidos com o milho, Pereira et. al (2009) observaram que os tratamentos com adubos de liberação lenta e ureia com inibidor da urease proporcionaram redução de aproximadamente 50% na volatilização de NH₃ em relação à ureia comum, tanto na primeira como na segunda cobertura nitrogenada. Foi demonstrado que o revestimento da ureia e o inibidor da urease

foram eficientes na redução da volatilização de N-ureia aplicados em cobertura, o que refletiu em maiores produtividades.

Em experimentos realizados em casa de vegetação, Mikkelsen et al. (1994) obtiveram maiores perdas por lixiviação de NO_3^- quando aplicado fertilizante convencional do que quando aplicado fertilizante revestido. Wang e Alva (1996) observaram que até 30% do N presente no nitrato de amônio foi lixiviado em um solo arenoso quando aplicado na forma de fertilizante revestido, em comparação a mais de 88% quando aplicado sem revestimento. Wilson et al. (2009) também relatam menores concentrações de NO_3^- em amostras de solo tratadas com ureia de liberação gradual em relação ao tratamento onde foi aplicado N solúvel. Owens et al. (1999) e Pack et al. (2006) também observaram redução da lixiviação de N- NO_3^- com a utilização de fertilizantes de liberação controlada em relação à ureia convencional.

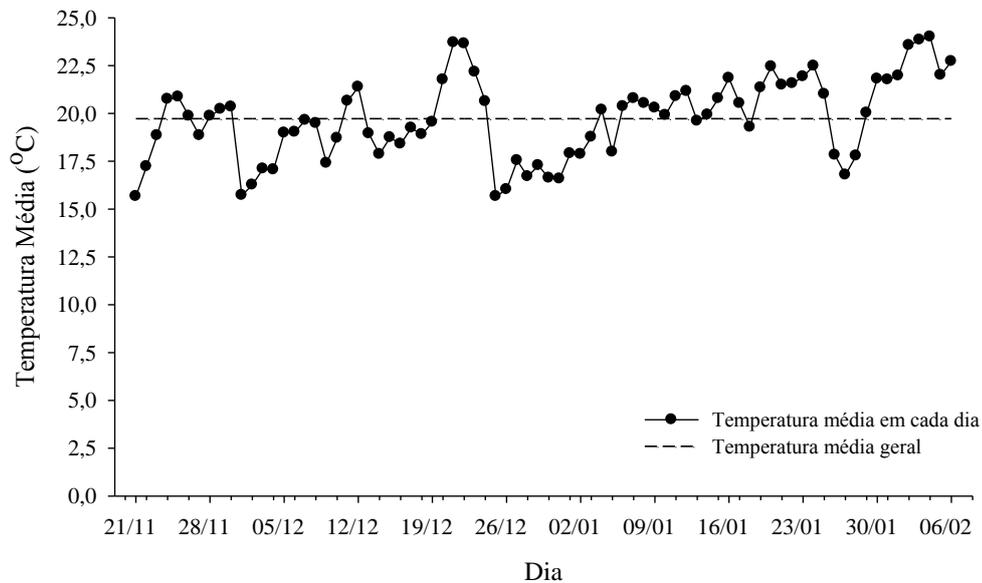
A cama de aves é um resíduo orgânico disponível em grandes quantidades em algumas regiões produtoras de frangos, que pode ser utilizada como fertilizante do solo. Sendo assim, é necessária a intensificação de trabalhos nesta área, visando práticas que potencializem o efeito fertilizante e amenizem possíveis impactos negativos desse material sobre o ambiente. Este trabalho teve por objetivo avaliar as perdas de N por volatilização de amônia e lixiviação, além de quantificar a mineralização e a nitrificação, decorrente da aplicação superficial de cama de aves granulada e ureia, na presença ou não do inibidor de urease em comparação com um fertilizante revestido.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi constituído por três experimentos, todos conduzidos no laboratório de Química e Fertilidade do Solo, no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), nos anos de 2011 e 2012, sob condição ambiental normal, sujeito as variações de temperatura durante o período de condução (Figura 5). Neles, foi utilizado um Nitossolo Vermelho distroferrico, coletado na camada de 0 a 30 cm, em uma área de vegetação nativa. O solo possuía 79% de argila, $\text{pH} = 4,6$, matéria orgânica = 2,3%, 6,7 mg kg^{-1} de P e 64 mg kg^{-1} de K. Após a coleta, o pH foi elevado para 6,5, segundo recomendação do Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2004), numa dose de 12 Mg ha^{-1} de calcário dolomítico. Após a mistura do calcário, o solo foi umedecido até atingir 80 % capacidade de campo, e mantido em incubação durante quatro meses.

Os tratamentos consistiram da utilização de fertilizantes nitrogenados orgânicos ou minerais, sendo alguns combinados com tiosfato de N-n-butiltriamida (NBPT), além de uma testemunha, sem adição de N. O adubo orgânico utilizado foi a cama de aves granulada, na presença ou não de NBPT. Os fertilizantes minerais foram: ureia, com e sem NBPT, nitrato de potássio (KNO_3), e um produto comercial de liberação lenta revestido com polímero. Todos os fertilizantes foram aplicados ao solo na dose 200 g kg^{-1} de N, que equivalente a 400 kg ha^{-1} de N considerando a existência de 2 mil Mg de solo ha^{-1} ou 114 kg ha^{-1} de N se considerarmos aplicação superficial. Em todos os experimentos, cada unidade experimental foi constituída por $1,0 \text{ kg}$ de solo (base seca).

Figura 5. Temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) em Lages, SC, durante 77 dias de experimento, de 21/11/2011 a 06/02/2012.
Fonte: Epagri, 2012.



Nos três experimentos foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância e quando houve significância, as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As tabelas com a análise estatística dos dados estão nos apêndices, para obtenção dos valores em % do N aplicado basta dividir por 2 os valores que estão em mg coletor^{-1} .

A cama de ave utilizada foi proveniente de granjas produtoras de frangos de corte, utilizada durante a produção de seis lotes de aves. A composição das amostras de cama, em base natural está na tabela 3. A ureia e a ureia com NBPT possuía 45% de N, o fertilizante revestido com polímero 39% de N e 11 % de S e o KNO_3 14% de N. As amostras de cama de aves foram compostadas durante 80 dias, sendo posteriormente granuladas, com aquecimento entre $35\text{-}40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ durante o processo, posteriormente os grânulos foram embebidos ou não no

inibidor da urease - NBPT. A quantidade de inibidor da urease adicionado foi a mesma utilizada no fertilizante comercial ureia, ou seja, 4 litros do produto comercial Agrotain (tiofosfato de N-n-butiltriamida - NBPT) por Mg de cama de aves compostada e granulada. O fertilizante revestido, comercialmente é conhecido como producote, possui recobrimento com polímero derivado de poliacrilato não hidrossolúvel, que oferece proteção física à ureia.

Tabela 2. Composição química da cama de aves, com e sem NBPT (tiofosfato de N-n-butiltriamida), aplicada ao solo, em base natural.

Composição	Cama de aves
	----- % -----
N total	2,00
N solúvel total	0,40
N-NH ₄ ⁺	0,15
N-NO ₃ ⁻	0,00
N-ureia	0,10
Umidade	81
Relação C:N	13:1

No experimento 1, onde se avaliou a volatilização de amônia, as amostras de solo foram acondicionadas em tubos de PVC com 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura e os fertilizantes foram aplicados sobre a superfície do solo, sem incorporação. Os tubos foram envoltos em plástico na parte inferior, formando uma espécie de câmara, a 5 cm acima do solo foi feito um orifício de aproximadamente 1 cm permitindo a entrada do oxigênio, para evitar anaerobiose. A umidade do solo foi mantida na capacidade de campo durante todo o período experimental, nos dias de coleta da amônia volatilizada as unidades experimentais foram pesadas e a umidade corrigida, através da adição de água destilada.

Para avaliar a volatilização de amônia, foram colocados discos de espuma (esponja) comercial, com 2,5 cm de espessura e densidade 24 kg m⁻³ na parte superior dos tubos. Antes de serem utilizadas, as esponjas foram lavadas com água e em seguida com ácido fosfórico 0,73 mol L⁻¹, e sequencialmente foram enxaguadas com água destilada e secas ao ar. Após, elas receberam 20 ml de ácido fosfórico 0,73 mol L⁻¹ contendo 30% de glicerina. As esponjas foram trocadas aos 4, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70 e 77 dias após a aplicação dos fertilizantes. Após serem retiradas dos tubos, as esponjas foram acondicionadas em sacos plásticos vedados e guardadas em geladeira até o momento das análises. Para a extração do fosfato de amônio formado, cada esponja foi saturada com 100 ml de KCl 1,0 mol L⁻¹ e, após 12 horas em repouso, foram espremidas manualmente para a retirada da solução. O N foi determinadas em destilador semi-micro Kjeldahl, conforme Tedesco et al. (1995). Ao término

do experimento, o volume de solo de cada unidade experimental foi homogeneizado e foram coletadas amostras para quantificação da quantidade de amônio e nitrato remanescente. Estas formas foram extraídas do solo com $\text{KCl } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$ e determinadas conforme Tedesco et al. (1995).

No experimento 2 avaliou-se a lixiviação de N, as unidades experimentais foram constituídas por colunas de lixiviação, confeccionadas a partir de tubos de PVC, com 30 cm de altura e 10 cm de diâmetro. Na base de cada coluna foi colocada uma tampa de PVC, na qual se fez um orifício na parte central, com aproximadamente 3 mm de diâmetro, a fim de permitir a saída da solução percolada. A metade inferior de cada coluna foi envolta com um saco plástico, ajustado na forma de funil, o qual continha um furo na extremidade inferior, para facilitar o direcionamento da solução percolada para os frascos de coleta.

Em cada coluna, as amostras de solo foram acondicionadas a uma altura aproximada de 25 cm, de uma única vez, sem compactação. Os cinco cm da parte superior de cada coluna não foram preenchidos com solo, para facilitar a adição de água por ocasião das percolações. Os fertilizantes foram incorporados nos primeiros cinco cm de solo. As unidades experimentais foram acondicionadas em suportes longitudinais de madeira, cuja base inferior ficava 20 cm acima da superfície de apoio, a fim de permitir a colocação dos frascos de coleta embaixo delas. As percolações iniciaram uma semana após a aplicação do fertilizante e foram repetidas a cada sete dias, durante 11 semanas.

Em cada percolação, adicionou-se manualmente, com ajuda de uma piceta, 300 ml de água destilada sobre a superfície de cada coluna, o que corresponde a 380 mm de chuva. A solução percolada foi coletada no dia seguinte, para determinação do volume e das concentrações de N-NH_4^+ e N-NO_3^- . Estas formas de N foram determinadas por arraste de vapor, em aparelho semi-micro Kjeldahl, conforme método proposto por Tedesco et al. (1995). Ao término das percolações, o volume de solo de cada coluna foi homogeneizado e foram coletadas amostras para quantificação das quantidades de amônio e nitrato remanescentes. Estas formas foram extraídas do solo com $\text{KCl } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$ e determinadas conforme o procedimento descrito anteriormente. Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições.

No experimento 3, onde se avaliou a mineralização e a nitrificação do N, as amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos transparentes, após terem sido misturadas manualmente com os fertilizantes. Na sequência, os sacos foram vedados para evitar a perda de água, sem controle de temperatura, sendo reabertos apenas nos dias de coleta das amostras. Os teores de N mineral do solo foram determinados aos 4, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63,70

e 77 dias após o início da incubação. A mineralização líquida e a nitrificação foram avaliadas a partir da variação das quantidades de N-NO_3^- e de N-NH_4^+ no solo. Para isto, em cada determinação, as quantidades de N-NO_3^- e de N-NH_4^+ do tratamento testemunha (sem adição de N) foram subtraídas dos valores encontrados nos tratamentos com fertilizantes.

Para determinação do N mineral, foram pesadas 10 g de solo úmido, em frasco do tipo snap cap, e adicionados 50 ml de $\text{KCl } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$, sendo a seguir agitados durante 30 minutos em equipamento mecânico horizontal. Em seguida, a solução ficou em repouso por uma noite, sendo então retirada uma alíquota de 20 ml do sobrenadante, na qual foram adicionadas 0,2 g de MgO para determinação do N amoniacal (N-NH_4^+) em destilador de arraste de vapores do tipo semi-micro Kjeldhal. Após o resfriamento da amostra, adicionaram-se 0,2 g de Liga de Devarda, e nova destilação foi efetuada para determinação do N nítrico ($\text{N-NO}_2^- + \text{N-NO}_3^-$). Na sequência, as amostras foram tituladas com ácido sulfúrico diluído. Para identificar o ponto de viragem, utilizou-se indicador de ácido bórico (TEDESCO et al., 1995). Considerando que os teores de nitrito (N-NO_2^-) do solo são normalmente muito baixos, neste trabalho, daqui para frente, os teores de $\text{N-NO}_2^- + \text{N-NO}_3^-$ serão referenciados apenas como nitrato (N-NO_3^-).

Para a determinação do teor de N mineral recuperado no solo ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) relativo a fração solúvel foi utilizado o teor de N solúvel presente no fertilizante antes de sua aplicação ao solo e o teor de N mineral recuperado ao término do experimento, de acordo com a seguinte equação:

$$\text{NRFS} = ((\text{NMRcf} - \text{NMRsf}) \times 100) / \text{NSf}$$

Onde:

NRFS = N mineral recuperado no solo relativo à fração solúvel, em %;

NMRcf = N mineral recuperado com fertilizante ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$), em mg kg^{-1} ;

NMRsf = N mineral recuperado sem fertilizante ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$), em mg kg^{-1} ;

NSf = N solúvel presente no fertilizante, em mg aplicado^{-1} ;

Para a determinação do teor de N orgânico solúvel recuperado no solo relativo a fração de N solúvel presente no fertilizante foi utilizado o teor de N mineral presente no fertilizante antes de sua aplicação ao solo e o teor de N mineral recuperado ao término do experimento, de acordo com a seguinte equação:

$$\text{NOSR} = \text{NMRcf} - \text{NMRsf} - \text{NMf}$$

Onde:

NOSR = N orgânico solúvel recuperado no solo relativo à fração de N solúvel presente no fertilizante, % do aplicado;

NMRcf = N mineral recuperado com fertilizante ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$), % do aplicado;

NMRsf = N mineral recuperado sem fertilizante ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$), % do aplicado;

NMf = N mineral presente no fertilizante, % do aplicado.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1 Experimento I - Volatilização de Amônia (N-NH₃)

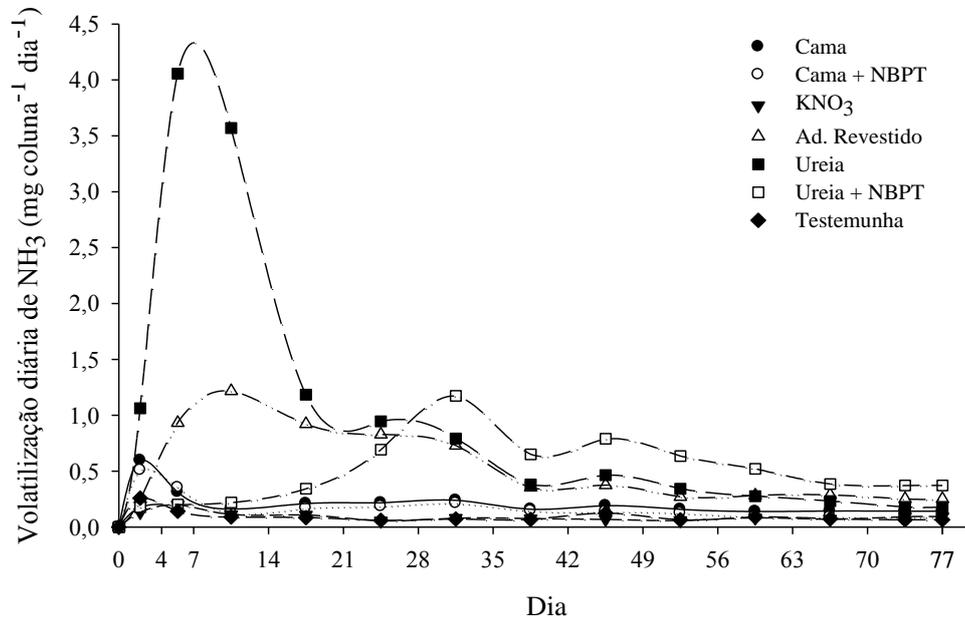
As taxas diárias e os picos de volatilização de N-NH₃ oscilaram durante todo o período avaliado para os diferentes fertilizantes (Figura 6, Apêndice D). Os maiores valores de N-NH₃ volatilizados ocorreram no tratamento onde foi aplicado N exclusivamente na forma de ureia, entre o 4° e 14° dia após a aplicação do fertilizante ao solo. O teor médio de amônia volatilizado do solo com ureia nestes 10 dias foi de 3,8 mg coletor⁻¹ dia⁻¹ e correspondeu a 18% do N total aplicado. Para o tratamento ureia + NBPT, as maiores taxas de volatilização ocorreram entre o 28° e o 35° dia, com perdas de 1,2 mg coletor⁻¹ dia⁻¹ de N-NH₃, o que representou 3,9 % do N total aplicado, durante estes 7 dias.

As maiores perdas de N por volatilização para o fertilizante revestido com polímeros ocorreram entre o 7° e o 14° dia após a aplicação ao solo (Figura 6, Apêndice D), com teores de 1,2 mg coletor⁻¹ dia⁻¹. Para o KNO₃, apenas 0,2 mg coletor⁻¹ dia⁻¹ do N volatilizou nos primeiros dois dias, não tendo diferido do tratamento sem N em 8 das 12 avaliações.

A adição de cama de aves, tanto na ausência como na presença de NBPT não ocasionou volatilização de amônia, pois os valores não diferiram daqueles verificados no tratamento que não recebeu N, exceto na primeira avaliação onde a cama de aves apresentou maiores valores (Figura 6, Apêndice D). A ausência de volatilização a partir da cama de aves se deve à baixa concentração de ureia neste material.

Nos dias de maiores emissões de N-NH₃ pelos fertilizantes as perdas chegaram a 2,2 kg ha⁻¹ de N para ureia, 0,7 kg ha⁻¹ de N para a ureia + NBPT e fertilizante revestido, e 0,3 kg ha⁻¹ de N para os tratamentos com cama de aves. No último dia avaliado, aos 77 dias após a aplicação dos fertilizantes ao solo, as perdas foram diferentes entre os fertilizantes testados, demonstrando diferença quanto à estabilização do processo de volatilização (Figura 6, Apêndice D). Na média desses fertilizantes, independente da adição NBPT, os valores diários de amônia volatilizados, entre o 70° e 77° dia, ficaram próximos a 0,12 mg dia⁻¹ de N, o que equivale a uma perda diária de 68 g ha⁻¹ de N.

Figura 6. Volatilização diária de amônia ($\text{mg coletor}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) decorrentes da aplicação superficial de 200 mg de nitrogênio por unidade experimental, sobre a superfície de amostras de solo (400 kg ha^{-1} de N), relativamente ao teor de N total contido nos fertilizantes orgânicos e minerais. Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento fertilizante revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.



A alternância dos picos das perdas diárias de N-NH₃ no tratamento com ureia difere da maioria dos estudos com volatilização de amônia, onde as perdas se concentram nos primeiros dias (3 a 7 dias) após aplicação ao solo, com posterior diminuição e estabilização (SANGOI et al., 2003; SHARPE et al., 2004; DUARTE et al., 2007; CANTARELLA et al., 2008; TASCA et al., 2011). Tasca (2011) avaliou o efeito da variação de temperatura sobre a volatilização de NH₃ após a aplicação ao solo de ureia e de ureia + NBPT e verificou que as maiores perdas diárias de amônia ocorreram entre o segundo e quarto dia após a aplicação do adubo, ao passo que onde foi aplicada ureia com inibidor de urease isso ocorreu, em média, até dois dias mais tarde. Em nosso experimento, as maiores perdas se concentraram entre o 4º e o 14º e entre o 28º e o 35º dia para ureia e ureia + NBPT, respectivamente. Este fato se deve, provavelmente, às temperaturas mais amenas durante o período de avaliação de nosso experimento, onde a média foi de 19,7°C (Figura 5).

A cama de aves foi o fertilizante que proporcionou as perdas mais rápidas de amônia, provavelmente devido à presença de N amoniacal presente neste fertilizante no momento da aplicação ao solo e ao aumento do pH do solo proporcionado por este resíduo (SOMMER & HUTCHINGS, 2001). Entretanto, as perdas foram baixas quando comparadas a outros experimentos (LOCKYER & PAIN, 1988; SCHILKE-GARTLEY & SIMS, 1992; LAU et al.,

2008), o que pode estar relacionado a características ambientais e/ou metodológicas inerentes a cada experimento ou mesmo intrínsecas ao resíduo orgânico. A cama de aves, por possuir um menor conteúdo de umidade, tem uma taxa mais lenta de liberação de amônia do que os dejetos animais líquidos e os fertilizantes nitrogenados amídicos. No entanto, essas perdas podem se estender por vários dias ou semanas. Chambers et al. (1997), encontraram taxas lineares de perdas de amônia durante as primeiras três semanas após a aplicação de cama de aves ao solo, similar ao que ocorreu em nosso experimento.

A adição do NBPT à cama de aves não afetou a volatilização de amônia após a aplicação do fertilizante ao solo. A percentagem de perdas de N-NH₃ relativamente à quantidade total volatilizada foi caracterizada por pequenos acréscimos, porém contínuos no decorrer do período avaliado para os tratamentos com cama e cama + NBPT. Aproximadamente metade do N volatilizado dos tratamentos com cama e cama + NBPT se perdeu no primeiro mês após a aplicação ao solo. Marshall et al. (1998) encontraram, na média de seis estudos de volatilização de amônia, perdas acumuladas de N de 25, 42, 57 e 79 % do que volatilizou nos dias 1, 2, 3, 7 respectivamente após a aplicação da cama de aves ao solo, em 14 dias de avaliação. Se considerarmos as perdas em nosso experimento somente até 14 dias, elas representariam, na média da cama e cama + NBPT, 51 e 76% do N que volatilizou aos quatro e sete dias, respectivamente. Contudo, a elevada volatilização de amônia na primeira semana que ocorre na maioria dos experimentos não foi verificada no presente estudo, talvez devido a um menor teor de N solúvel e à utilização de cama de aves granulada e a presença do N em formas de difícil mineralização, o que possivelmente retardou a mineralização (Paungfoo-Lonhienne et al., 2012).

O comportamento diferenciado quanto ao pico da volatilização de NH₃ decorrente da aplicação de ureia + NBPT em relação às outras fontes nitrogenadas e também a outros experimentos utilizando o mesmo fertilizante, podem estar relacionadas às características ambientais ou metodológicas (SANZ-COBENA et al., 2007, CANTARELLA et al., 2008, TASCA et al., 2011). Nosso experimento foi conduzido em laboratório, sem controle de temperatura e manutenção da umidade do solo, possibilitado incorporação do N pela água de irrigação. Um atraso de 21 dias na volatilização de amônia indica que o inibidor da urease e as condições climáticas locais nos meses avaliados foram efetivos em retardar as perdas de N. Cantarella et al. (2007) em experimento a campo com aplicação de ureia e ureia + NBPT aplicados sobre a palhada da cana-de-açúcar verificaram que o uso de NBPT proporcionou reduções de 15 a 78% nas volatilizações, dependendo das condições climáticas nos dias posteriores à aplicação de N. A adição de NBPT à ureia ajudou a controlar as perdas de

amônia, mas o inibidor foi menos efetivo quando chuvas suficientes para incorporar a ureia no solo ocorreram após a aplicação dos fertilizantes. Verificaram ainda que a ureia tratada com NBPT reduziu a atividade da urease em aproximadamente sete dias após a aplicação ao solo.

A utilização do NBPT foi eficiente em retardar a volatilização de amônia no fertilizante mineral em aproximadamente 21 dias após a aplicação do fertilizante ao solo (Figura 7, Apêndice C). Contudo, apresentou grandes perdas após esse período, pois ao término do experimento (77º dia), 34,7 mg coluna⁻¹ de N (17,4% do N aplicado) havia sido perdido por volatilização, o que equivale a 19,6 kg ha⁻¹ de N. No tratamento com ureia convencional, sem NBPT, a quantidade volatilizada foi o dobro, ou seja, 68,0 mg coluna⁻¹ de N (34% do N total aplicado), ou seja, 38,4 kg ha⁻¹ de N.

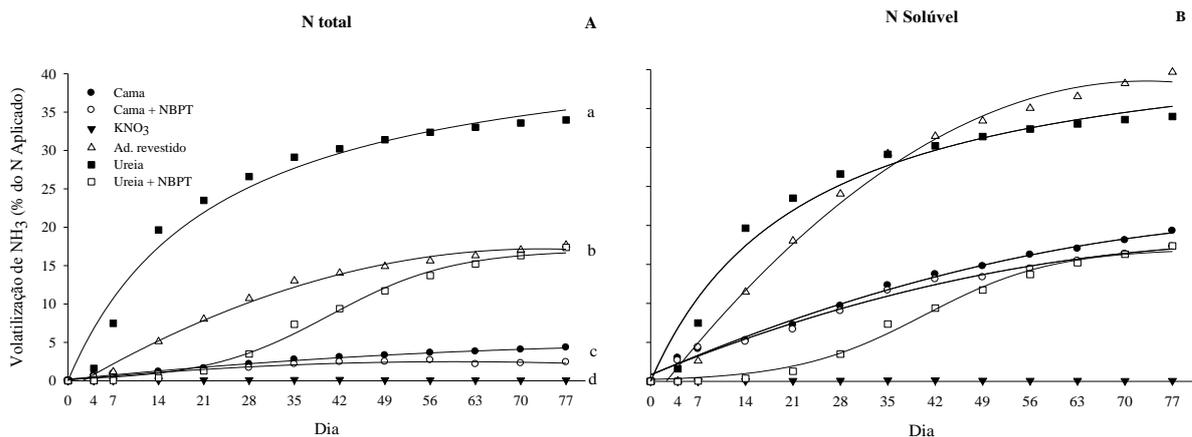
Apesar de altos, os valores de volatilização de N-NH₃ é inferior aos 78 % encontrados por Lara Cabezas et al. (1997), ao aplicarem ureia sobre a superfície de um Latossolo Vermelho-Escuro muito argiloso cultivado com milho, em Minas Gerais. Scharlau et al. (2007) verificaram que a maior perda de N-NH₃ (18,5 %) ocorreu a partir da aplicação de ureia no solo que recebeu a maior dose (140 kg ha⁻¹ de N), tendo sido maior do que os 7,53 % observados no solo fertilizado com ureia contendo inibidor de urease. A maior perda de N-NH₃ verificada com a aplicação das maiores dose de N também foi observada por Fan & Mackenzie (1993) e por Ma et al. (2010) e, provavelmente, deve-se ao efeito alcalino na região próxima ao grânulo da ureia (ERNANI et al., 2001; ROCHETTE et al., 2009), o qual ocorre por ocasião da hidrólise de suas moléculas, como consequência da conversão de N amídico em N-NH₃ (VILLAS BOAS et al., 2005).

O fertilizante revestido com polímeros também foi eficiente em retardar e diminuir as perdas de N por volatilização de NH₃ relativamente à ureia (Figura 7, Apêndice C). Ao término do experimento (77 dias), as perdas do fertilizante revestido foram de 17,7 % do total de N aplicado ao solo (35,4 mg coluna⁻¹ de N), ou seja, 20,0 kg ha⁻¹ de N. Em relação à proporção do N solúvel (45%) presente neste fertilizante, que representa a fração prontamente disponível às plantas, as perdas representaram 40% do total. Isso mostra que a redução da volatilização se deve ao revestimento dos grânulos do fertilizante, e que a volatilização da parte solúvel é semelhante aos fertilizantes exclusivamente amídicos, como a ureia. Em experimento a campo Pereira et al. (2009) mostraram que a ureia revestida e ureia com inibidor de urease reduziram a volatilização de N em torno de 50 % em relação à ureia comum, tanto na primeira quanto na segunda cobertura nitrogenada, em milho.

Diversos autores relataram os benefícios no emprego de fertilizantes revestidos com polímeros. Em cultura de cevada, utilizando a técnica do traçador isotópico ¹⁵N, Shoji et al

(2001) verificaram recuperação de 66% do N do fertilizante quando este foi de liberação lenta, aumentando, portanto a eficiência na utilização do N quando comparado com fertilizantes convencionais. Leão et al. (2008) verificaram redução da volatilização de N e da atividade da urease para os tratamentos onde foi utilizada a ureia revestida com polímeros quando comparada com a ureia convencional na adubação em cobertura do milho. Noellsch et al. (2009), comparando a eficiência da aplicação de 168 kg ha^{-1} de N de ureia revestida com polímeros com ureia convencional em milho, no nordeste de Missouri, observaram que houve maior absorção de N e maior produtividade de grãos no tratamento com ureia recoberta, salientado que a liberação mais lenta do nutriente pelo fertilizante incorre a menores perdas do mesmo, portanto sendo mais absorvido pela planta.

Figura 7. Perdas acumuladas de N por volatilização de amônia (% do aplicado), decorrente da aplicação superficial de 200 mg de N por unidade experimental (400 kg ha^{-1}), relativamente ao teor de N total (A) e N solúvel (B) e contido na cama de aves e fertilizantes minerais. Com valores subtraídos daqueles volatilizados do tratamento que não recebeu fertilizante (testemunha). Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento fertilizante revestido com polímeros, * NBPT = tiosfato de N-n-butiltriamida.



As perdas absolutas de N a partir dos fertilizantes orgânicos foram muito pequenas relativamente às quantidades totais de N adicionadas (Figura 7, Apêndice C). As perdas totais acumuladas variaram de 8,7 a 5,7 mg coluna⁻¹ de N (2,4 a 4,3 % do N total aplicado) nos tratamentos cama + NBPT e cama, respectivamente. Em relação à proporção de N solúvel nestes dois materiais, 22% e 18% respectivamente na cama e na cama + NBPT, as perdas foram respectivamente de 19,3 e de 17,3%. Estes valores corresponderam a uma perda total de apenas 4,9 e 3,2 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. As perdas médias por volatilização a partir da adição de cama de aves variam de 20 a 45 % do N solúvel aplicado (CHAMBERS et al., 1997; MARSHALL et.al., 1998). Lockyer et al., (1989) em experimento a campo, em um solo franco arenoso com pastagem de azevém, encontraram perdas de 7% do N total aplicado e 19% do N solúvel, onde se utilizou cama de aves com 2,95% de N total e 0.57 % de N-NH₄⁺.

As baixas perdas em nosso experimento se devem à utilização de cama de aves granulada, que diminui a área de contato, dificultando o ataque dos microrganismos, conseqüentemente diminuindo a mineralização do fertilizante orgânico.

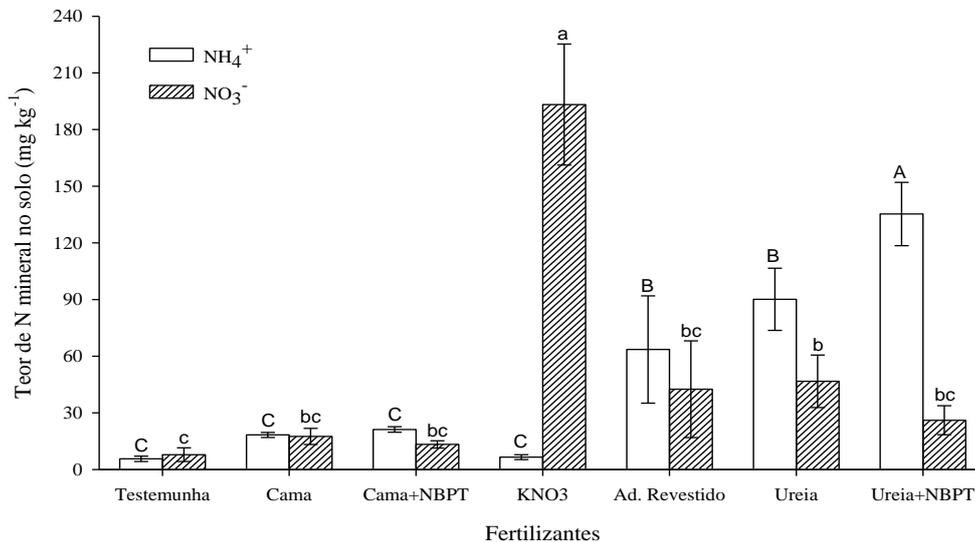
As pequenas quantidades de N volatilizadas neste estudo podem ainda estar relacionadas com características inerentes ao manejo prévio da cama de aves. As amostras de camas utilizadas foram previamente compostadas, durante 80 dias, e armazenadas por um longo período, com atividade microbiológica reduzida a níveis baixos. O reumedecimento das mesmas ocorreu apenas no momento da aplicação ao solo. Durante o processo de compostagem e armazenagem, pode ter havido volatilização das frações nitrogenadas mais propensas a isso, reduzindo a perda posterior. Desta forma, a secagem e a paralisação da atividade biológica antes da aplicação ao solo, possivelmente podem ter contribuído para subestimação do potencial de perda de N por volatilização de amônia. Em estudos com cama de aves fresca ou compostada, Brinson et al. (1994) encontraram perdas, aos 21 dias após a aplicação ao solo, respectivamente de 17 a 31% e de 0 a 0,24% do N aplicado dependendo do tipo de solo. A baixa taxa de volatilização para a cama de aves compostada foi atribuída à baixa taxa de mineralização deste resíduo. López-Mosquera et al. (2007) avaliaram o efeito da secagem e granulação nas propriedades da cama de aves e verificaram uma diminuição no teor de umidade e N-total, e aumento da relação C:N, mostrando que, para a cama de aves granulada, as frações do N mais facilmente mineralizadas já haviam se perdido antes da aplicação ao solo.

Os maiores teores de amônio no solo (N-NH_4^+) nas amostras coletadas após o término do experimento ocorreram no tratamento onde foi aplicado ureia + NBPT (Figura 8). Nele, o teor médio de N-NH_4^+ foi de 135 mg kg^{-1} (após ser subtraído o valor da testemunha). Nos tratamentos com fertilizante revestido e ureia convencional, o amônio do solo foi semelhante, de 58 e 84 mg kg^{-1} , respectivamente. O teor médio de amônio no solo fertilizado com as camas de aves (com ou sem NBPT) foi de apenas 7 % do N total aplicado, em contraste com 40 e 65% daquele presente nos tratamentos onde se aplicou ureia e ureia + NBPT (Figura 8). Apesar de o amônio ser uma das principais formas de N presente nas camas de aves, representando aproximadamente 24 % do N total (SOMMER et al., 2001), mais da metade do N aplicado pelos dejetos animais não foi inicialmente disponibilizado para o solo uma vez que ele faz parte de compostos orgânicos estáveis que precisam ser decompostos pelos microrganismos (ROTHROCK et al., 2011).

Os maiores teores de N-NO_3^- nas amostras de solo coletadas ao término do experimento ocorreram nos tratamentos onde foi aplicado KNO_3 (Figura 8), com média de

185 mg kg⁻¹ (após ser subtraído o valor da testemunha). Nos tratamentos que receberam ureia, ureia + NBPT e fertilizante revestido, o teor de nitrato foi respectivamente de 39, 18 e 35 mg kg⁻¹, após subtrair os valores da testemunha, os quais não diferiram da cama de aves (com ou sem NBPT), cujo valor foi de 7,6 mg kg⁻¹ de N. Os valores de N-NO₃⁻ no solo dependem da forma iônica aplicada, amônio ou nitrato, e da desnitrificação, que ocorre exclusivamente na presença do O₂.

Figura 8. Teores de NH₄⁺ e NO₃⁻ no solo (Nitrogênio mineral), em mg kg⁻¹ de N, aos 77 dias de experimento, decorrente da aplicação superficial de 400 kg ha⁻¹ de Nitrogênio (200 mg de N por unidade experimental), em função da adição de diferentes tipos de fertilizantes. Letras maiúsculas se referem aos teores de NH₄ e letras minúsculas aos teores de NO₃. As barras nas colunas indicam o erro do teste de médias. Valores nas colunas seguidos de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de significância. Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento fertilizante revestido com polímeros, * NBPT = tiosfosfato de N-n-butiltriamida.



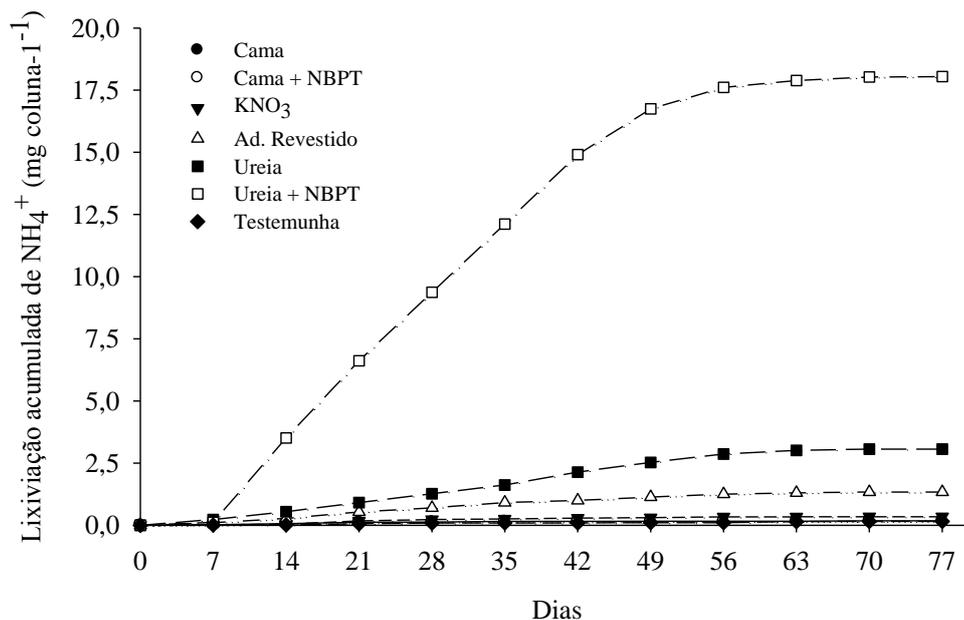
A concentração do N mineral total (amônio + nitrato) encontrado no solo ao término do experimento foi de 93, 73, 62, 46 e 11 % do N total aplicado, respectivamente nos tratamentos com KNO₃, ureia + NBPT, ureia, fertilizante revestido e cama de aves (com ou sem NBPT) (Figura 8). Verifica-se, portanto, que o N mineral total foi maior nos tratamentos com fertilizantes minerais do que naqueles com cama de aves. Como todos os fertilizantes adicionaram a mesma quantidade total de N (200 mg kg⁻¹), constata-se que parte do N das camas de aves não foi mineralizada durante o período experimental.

3.5.2 Experimento II - Lixiviação do N mineral ($\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$)

3.4.2.1 Lixiviação de amônio

A lixiviação de amônio não variou com os fertilizantes nitrogenados, independente da presença ou não do inibidor da urease, exceto para a ureia (Figura 9, Apêndice E). As perdas de N seguiram a sequencia: ureia + NBPT > ureia = fertilizante revestido = nitrato de potássio (KNO_3) = cama de aves = cama + NBPT = testemunha. No tratamento em que não foi aplicado N (testemunha), a percolação de amônio foi muito pequena no decorrer das 11 percolações ($0,2 \text{ mg coluna}^{-1}$) (Figura 9, Apêndice E) e resultou da mineralização da matéria orgânica nativa do solo (SILVA & VALE, 2000).

Figura 9. Perda acumulada de N por lixiviação de amônio, decorrente da incorporação de 400 kg ha^{-1} de Nitrogênio ($200 \text{ mg coluna}^{-1}$ de N), relativamente ao teor de N total contido nos fertilizantes orgânicos e minerais. Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.



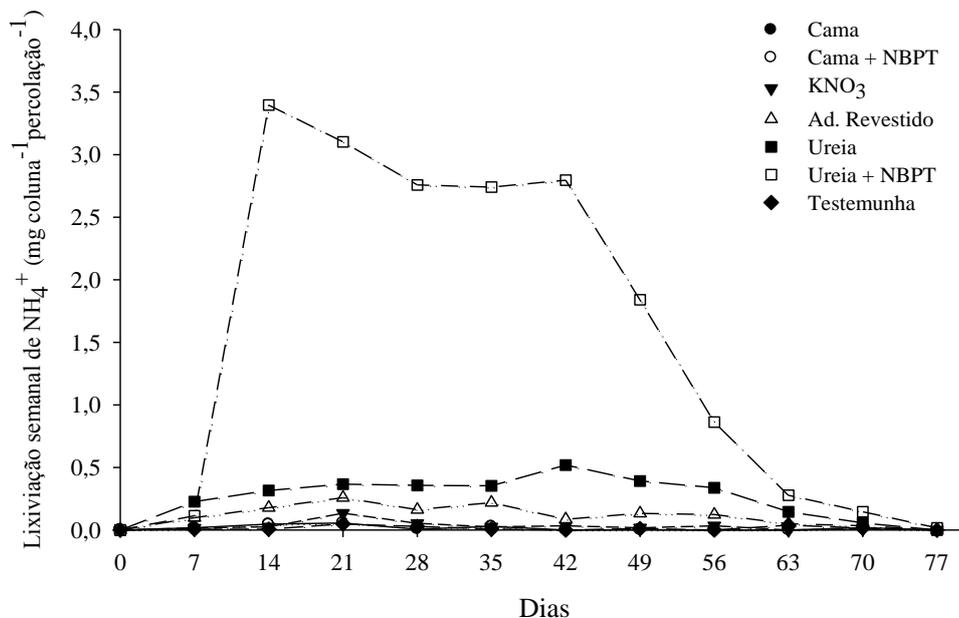
A adição do inibidor da urease à ureia aumentou a lixiviação de amônio, o qual passou de $2,9$ para $17,9 \text{ mg coluna}^{-1}$ de N ($1,5\%$ para 9% do N total aplicado) (Figura 9, Apêndice E). No decorrer das percolações, a perda unitária máxima de N-NH_4^+ para o tratamento com ureia + NBPT atingiu $3,3 \text{ mg coluna}^{-1}$, na segunda e terceira percolações, não diferindo das três percolações subsequentes (Figura 10, Apêndice H). Para o tratamento com ureia convencional, a perda unitária máxima de N-NH_4^+ foi baixa, não ultrapassando $0,5 \text{ mg coluna}^{-1}$ durante o período experimental. A utilização do inibidor da urease não afetou a lixiviação de N-NH_4^+ na cama de aves. A lixiviação de N-NH_4^+ nos tratamentos com cama de

aves (com ou sem NBPT), assim como naqueles com KNO_3 , fertilizante revestido e ureia convencional foram insignificantes e não diferiram da testemunha, com lixiviação média total equivalente a $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N nas 11 percolações (Figura 9).

Inicialmente a lixiviação de amônio no tratamento com ureia + NBPT é menor que naquele com ureia convencional, uma vez que o inibidor da urease impede a passagem do N que está na forma amídica para amônio (Figura 10). Posteriormente, por impedir a volatilização de amônia, facilita a lixiviação de amônio.

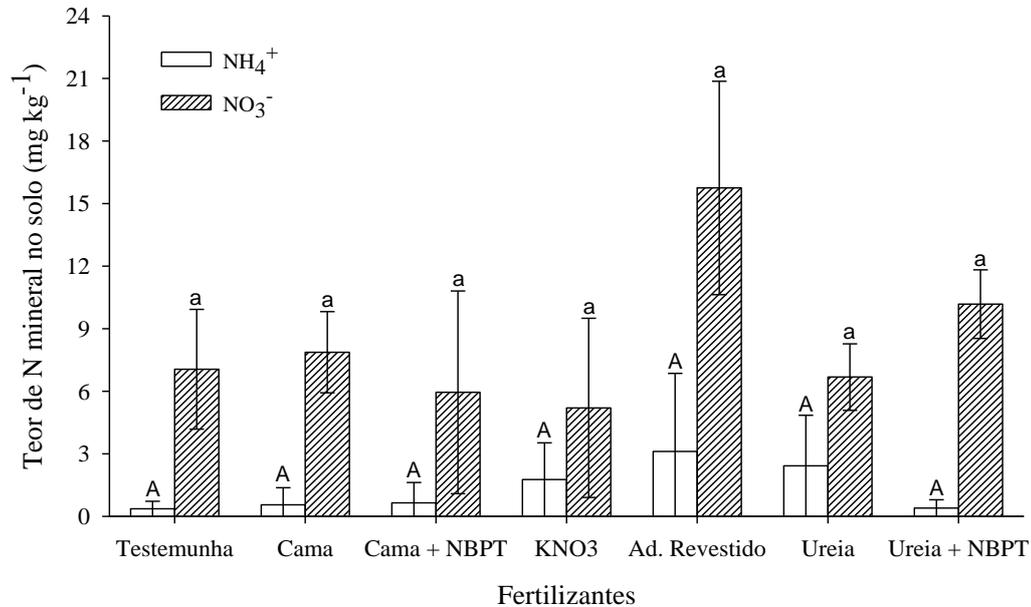
Por existirem condições de oxigenação, umidade e temperatura favoráveis à atividade microbiana, é provável que todo o amônio mineralizado tenha sido nitrificado durante as onze semanas de duração do experimento (AULAKH et al., 2000). Griffin & Honeycutt (2000) verificaram que o amônio desapareceu do solo nos primeiros 28 dias após a aplicação de esterco animal. Mantovani et al. (2007), em estudos conduzidos em condições controladas, verificaram que a adição de superfosfato triplo (SFT) junto com ureia ou com sulfato de amônio aumentou a percolação de amônio e que a lixiviação só começou após várias percolações com água destilada.

Figura 10. Perda semanal de N, em cada percolação, por lixiviação de amônia, decorrente da incorporação de 400 kg ha^{-1} de Nitrogênio ($200 \text{ mg coluna}^{-1}$ de N), relativamente ao teor de N total contido nos fertilizantes orgânicos e minerais. Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.



O amônio remanescente no solo após as onze percolações não diferiu entre os fertilizantes nitrogenados tanto na presença como na ausência do inibidor da urease (Figura 11). As quantidades de amônio remanescentes no solo foram baixas, independente dos fertilizantes, aproximadamente $1,3 \text{ mg kg}^{-1}$.

Figura 11. Teores de NH_4^+ e NO_3^- no solo (Nitrogênio mineral), em mg kg^{-1} do N aplicado ao solo, aos 77 dias de experimento, decorrente da aplicação de 400 kg ha^{-1} de Nitrogênio ($200 \text{ mg coluna}^{-1}$ de N), em função da adição de diferentes tipos de fertilizantes. Letras maiúsculas se referem aos teores de NH_4^+ e letras minúsculas aos teores de NO_3^- . As barras nas colunas indicam o erro do teste de médias. Valores nas colunas seguidos de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de significância. Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento fertilizante revestido com polímeros, * NBPT = tiosfosfato de N-n-butiltriamida.

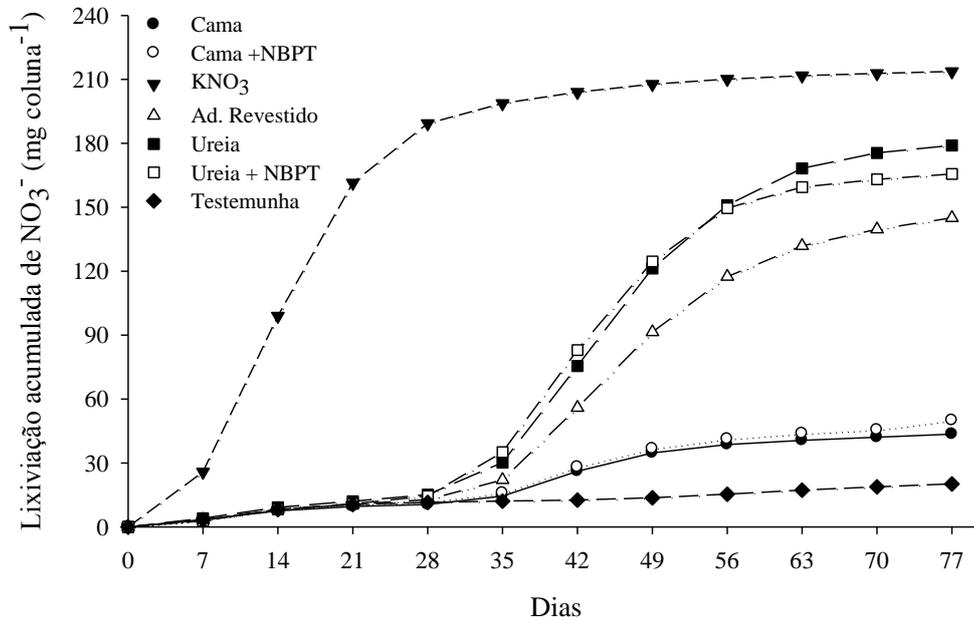


3.4.2.2 Lixiviação de nitrato

A lixiviação de nitrato (N-NO_3^-) variou com os fertilizantes nitrogenados (Figura 12, Apêndice F). Ela seguiu a sequência: nitrato de potássio > ureia (com ou sem NBPT) > fertilizante revestido > cama (com ou sem NBPT) > testemunha. A utilização do inibidor da urease (NBPT) não influenciou as perdas de N-NO_3^- para os diferentes fertilizantes. No tratamento sem aplicação de N (testemunha), a lixiviação de N-NO_3^- foi baixa, totalizando $20,2 \text{ mg coluna}^{-1}$ de N-NO_3^- (Figura 12).

A percolação de nitrato demorou a iniciar onde o N foi aplicado na forma amíaca e se deveu à permanência do N na forma amoniacal, em grande parte adsorvido às cargas negativas do solo. No tratamento onde foi aplicado ureia, a lixiviação total de N-NO_3^- foi semelhante na presença ($166 \text{ mg coluna}^{-1}$) e na ausência ($179 \text{ mg coluna}^{-1}$) do inibidor da urease (Figura 12, Apêndice F), com perdas de 76% do N total aplicado ao solo. No decorrer das percolações, a perda unitária máxima de nitrato chegou a $46 \text{ mg coluna}^{-1}$, na sexta e sétima percolações, o que representa 16 % do N aplicado em cada percolação (Figura 13).

Figura 12. Perda acumulada de N por lixiviação de nitrato, decorrente da incorporação de 400 kg ha⁻¹ de Nitrogênio (200 mg coluna⁻¹ de N), relativamente ao teor de N total contido nos fertilizantes orgânicos e minerais. Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.

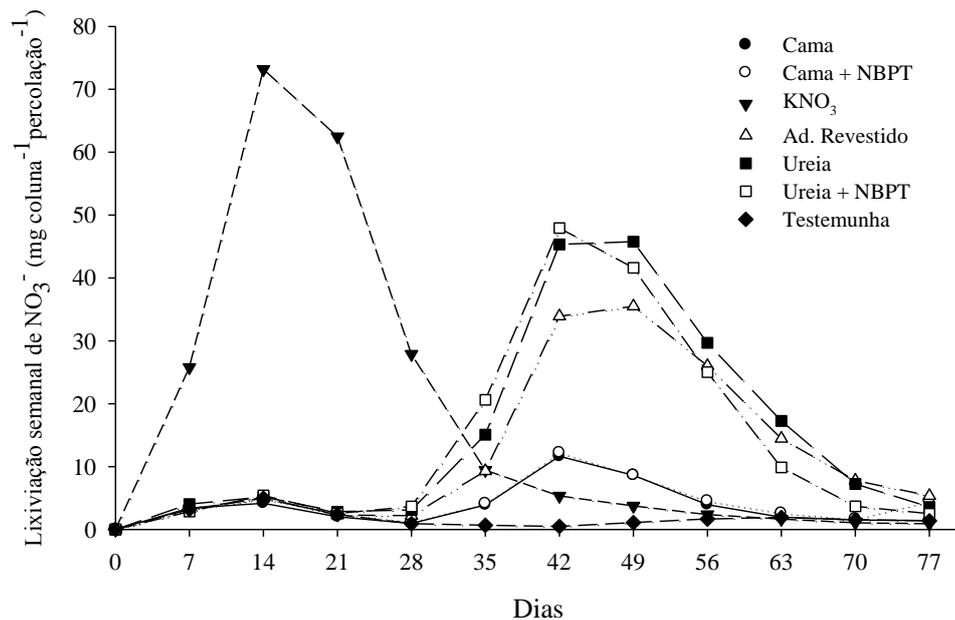


A lixiviação de N-NO₃⁻ no tratamento com KNO₃ nas quatro primeiras percolações atingiu 177,8 mg coluna⁻¹ de N (89% do N aplicado) (Figura 12). No total das percolações, a lixiviação de N- NO₃⁻ neste tratamento atingiu 97% do N total aplicado ao solo e foi mais intensa na segunda percolação, tendo atingido 68 mg coluna⁻¹ (Figura 13, Apêndice I), uma vez que o N já se encontra nesta forma. Como o nitrato não é adsorvido por meio de complexos de superfície, ele permanece todo na solução do solo, podendo ser lixiviado facilmente. Wang & Alva (1996) e Mantovani et al. (2007) também verificaram que a percolação de nitrato foi rápida onde foi aplicado fertilizante nítrico. Em solos de regiões com altas precipitações pluviométricas se deve, portanto, evitar a adição de fertilizantes nítricos.

No tratamento que recebeu fertilizante revestido, a lixiviação de nitrato foi retardada em relação ao tratamento com KNO₃. Nos fertilizantes revestidos o N está basicamente na forma de ureia, porem possui uma camada protetora que disponibiliza menor quantidade de N quando comparada com a ureia convencional. No total das percolações, a quantidade de nitrato lixiviada foi de 125 mg coluna⁻¹ (Figura 12, Apêndice F), totalizando 62% do N aplicado, cujas maiores perdas ocorreram entre a sexta e a oitava percolações (32 mg coluna⁻¹ de N-NO₃⁻ em cada). Wang e Alva (1996) observaram que até 30% do N do nitrato de amônio foi lixiviado em um solo arenoso quando aplicado na forma de fertilizante de liberação gradual, em comparação com mais de 88% quando aplicado na forma de nitrato de amônio

convencional. Wilson et al. (2009) também relatam menores concentrações de N-NO_3^- em amostras de solo tratadas com ureia de liberação gradual em relação ao tratamento onde foi aplicado N solúvel.

Figura 13. Perda semanal de N, em cada percolação, por lixiviação de nitrato, decorrente da aplicação superficial de 400 kg ha^{-1} de Nitrogênio ($200 \text{ mg coluna}^{-1}$ de N), relativamente ao teor de N total contido nos fertilizantes orgânicos e minerais. Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.



A adição do inibidor de urease à cama de aves não influenciou a lixiviação de N-NO_3^- . No total das percolações, a lixiviação no tratamento que recebeu cama de aves, (média das camas com e sem NBPT) com valor descontado do tratamento que não recebeu fertilizante, foi de $26,6 \text{ mg coluna}^{-1}$, o que corresponde a 13 % do N aplicado ao solo (Figura 12, Apêndice F). Durante todo o período do experimento as perda unitária máxima de nitrato foi de $11,4 \text{ mg coluna}^{-1}$ na sexta percolação, no 42º dia, com valor descontado do tratamento que não recebeu fertilizante (Figura 12, Apêndice I). As diferenças entre os fertilizantes orgânicos e minerais em relação à lixiviação de N-NO_3^- depende das formas em que o N estava presente em cada um desses fertilizantes. Na ureia, o N está na forma amídica $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ enquanto que nas camas de aves ele está predominantemente na forma orgânica estável, mas também como amida, ácido úrico amônio e nitrato (THOMSEN, 2004). As formas orgânicas têm que ser mineralizadas para liberar o N para as plantas, o que depende da atividade biológica.

Wild et al. (2011) aplicaram vários materiais orgânicos ao solo, incluindo cama de aves, e verificaram que a nitrificação foi concluída antes de 53 dias; por outro lado, Aita et al.

(2007) verificaram que todo o amônio decorrente da aplicação de dejetos líquidos de suínos ao solo nitrificou ainda mais rápido, tendo ocorrido nos primeiros 20 dias. Rápida nitrificação foi observada por Griffin & Honeycutt (2000), que verificaram ter o amônio desaparecido nos primeiros 28 dias após a aplicação de esterco animal ao solo (AULAKH et al., 2000). Adams et al. (1994) relataram perdas por lixiviação de apenas 1,7 a 2,9% do total do N aplicado durante os primeiros 60 dias após a aplicação de esterco. Em estudos realizados no sudeste dos EUA (MARSHALL et al., 2000), com aplicação de cama de aves em pastagem, verificou-se insignificante lixiviação de N-NO_3^- ; as perdas por volatilização de NH_3 e desnitrificação totalizaram 6% do N total aplicado.

Maeda et al. (2003), em experimento a campo conduzido por sete anos, sobre um Andisol tratado com dejetos suíno, ureia revestida e nitrato de amônio, verificaram que a concentração de nitrato na água a 1,0 m de profundidade aumentou a partir do 15º mês nos tratamentos com ureia revestida e nitrato de amônio; com dejetos de suíno isso aconteceu apenas no quarto ano, indicando que inicialmente o N é acumulado no solo na forma orgânica e posteriormente mineralizado e perdido por lixiviação.

O N-NO_3^- remanescente no solo após as onze percolações não diferiu entre os fertilizantes nitrogenados, tanto na presença como na ausência do inibidor da urease (Figura 11). No tratamento testemunha (sem N), a quantidade remanescente de N no solo foi de 7,0 mg kg^{-1} ; nos demais, foi de 8,6 mg kg^{-1} . As quantidades de N-NO_3^- remanescentes no solo foram baixas, independente dos fertilizantes.

3.4.2.3 Lixiviação de amônio + nitrato

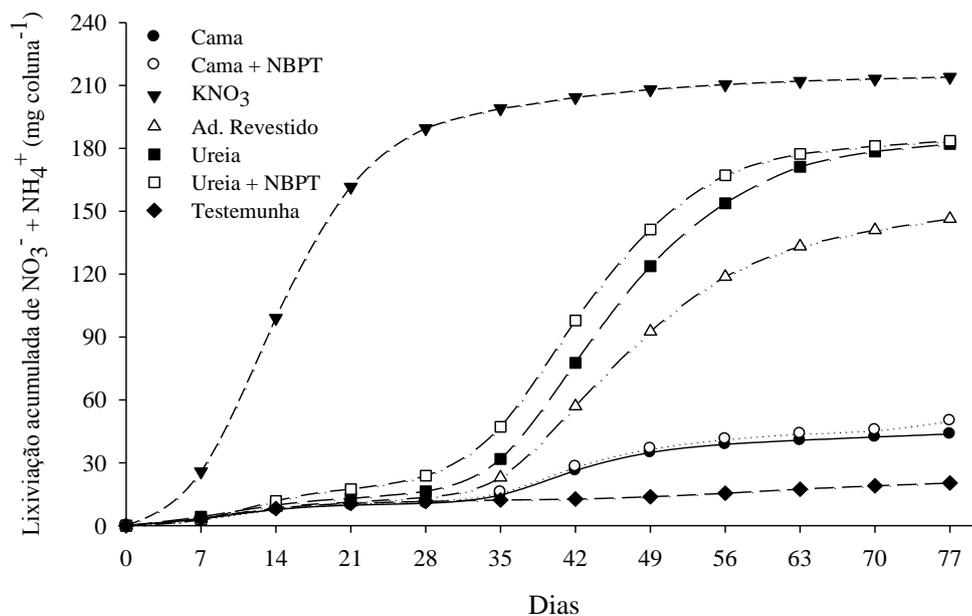
A quantidade acumulada de amônio + nitrato lixiviada variou com os fertilizantes nitrogenados e não houve influência do inibidor da urease (Figura 14, Apêndice G). A lixiviação seguiu a sequência: nitrato de potássio (194 mg) > ureia (162 mg) = ureia + NBPT (163 mg) > fertilizante revestido (126 mg) > cama de aves (23 mg) = cama de aves + NBPT (30 mg) > testemunha (20 mg). A adição do inibidor da urease juntamente com os fertilizantes nitrogenados não afetou a lixiviação acumulada de N total mineral (amônio + nitrato), na cama de aves devido à baixa concentração de ureia no material, apenas 0,1 % do N total, e no fertilizante ureia todo o N está na forma de ureia.

O KNO_3 lixiviou N mineral ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$) mais rapidamente que os demais fertilizantes devido à forma como o N está nesse fertilizante, como nitrato, além do deslocamento de amônio das cargas elétricas do solo para a solução pelo K aplicado (Figura

14, Apêndice G). Parte desse amônio nitrifica e pode ser lixiviado. Para os demais fertilizantes, a lixiviação do N mineral foi significativa a partir da quinta percolação.

Ernani et al. (2002) observaram que parte do N mineral adicionado na forma de ureia ao solo não lixiviou, mesmo após dez percolações sucessivas com água destilada. O retardamento da lixiviação, após a adição de fertilizantes ao solo, é extremamente desejável, pois permite um maior período de absorção pelas plantas, aumentando, com isso, a utilização do nutriente. A movimentação de nitratos para camadas profundas do solo é indesejável, pois, além de diminuir o uso do N pelas plantas, pode contaminar as águas subterrâneas (AULAKH et al., 2000; OTTMAN & POPE, 2000).

Figura 14. Perda acumulada de N por lixiviação de nitrato + amônio (mg coluna^{-1}), decorrente da incorporação de 400 kg ha^{-1} de Nitrogênio ($200 \text{ mg coluna}^{-1}$ de N), relativamente ao teor de N total volatilizado dos diferentes fertilizantes. Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.



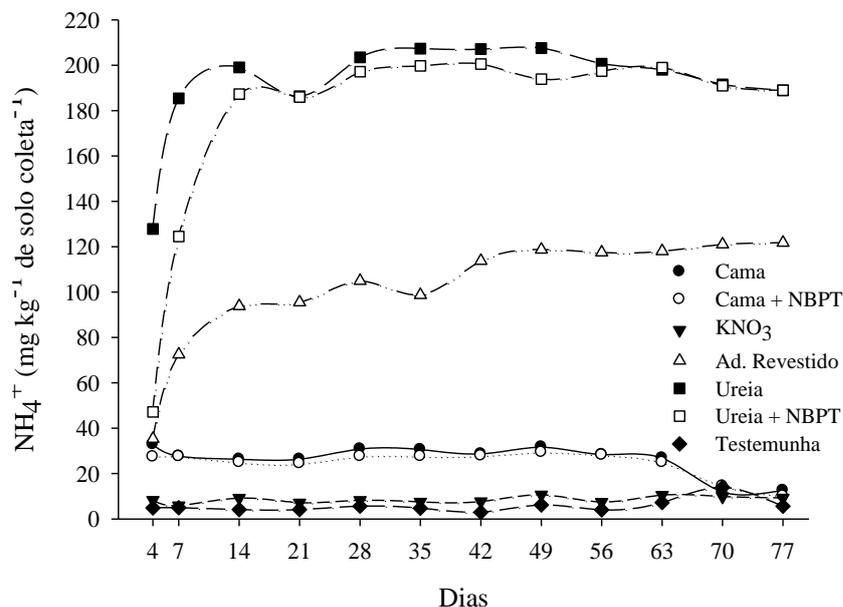
3.4.3 Experimento III – Mineralização

Os teores de amônio e nitrato no solo variaram de acordo com o fertilizante nitrogenado e a época avaliada (Figuras 15 e 16, Apêndices K e L). A adição do inibidor da urease (NBPT) não influenciou os teores de N-NH_4^+ no solo para a cama de aves, contudo, retardou a passagem da fonte amídica para N-NH_4^+ no tratamento onde se aplicou ureia, até o sétimo dia. Em relação ao teor de nitrato no solo, somente o fertilizante que o tinha (KNO_3) diferiu da testemunha e dos demais; a adição do NBPT à ureia e à cama de aves não influenciou os teores de N-NO_3^- no solo.

Não houve diferença nos teores de amônio entre a testemunha e o tratamento com KNO_3 , em todas as épocas avaliadas. Nesses dois tratamentos, o N-NH_4^+ foi baixo no decorrer das 12 avaliações, com média, respectivamente de 6,2 e 9,2 mg kg^{-1} de solo (Figura 15, Apêndice K), e resultou da mineralização da matéria orgânica nativa do solo (SILVA & VALE, 2000).

A utilização do inibidor da urease não afetou o teor de N-NH_4^+ no solo fertilizado com cama de aves. Neste tratamento, os teores de N-NH_4^+ no solo, com ou sem NBPT, foram baixos e não diferiram da testemunha em cinco das 12 épocas avaliadas (Figura 15). Nas dez primeiras avaliações, o teor médio nos tratamentos com cama foi de 28 mg kg^{-1} , o que corresponde a 11,5 % do N aplicado. Contudo, diminuiu a partir do 63º dia para uma média de 12 mg kg^{-1} , indicando que o amônio foi convertido em outras formas de N.

Figura 15. Mineralização do N-NH_4^+ (amônio) em mg kg^{-1} de solo coleta⁻¹, decorrente da incorporação ao solo de 400 kg ha^{-1} de Nitrogênio (200 mg coluna^{-1} de N), relativamente ao teor de N total volatilizado dos diferentes fertilizantes. Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.



A baixa taxa de mineralização do N nas camas de aves se deve principalmente à compostagem realizada antes da sua aplicação ao solo. Preusch et al. (2002) em experimentos utilizando 302 kg ha^{-1} de N em dois tipos de solo no oeste da Virginia, EUA, e dois tipos de cama de aves (compostada e fresca), mantidos a uma temperatura constante de 25° C, encontraram taxas de mineralização altas para a cama de aves fresca, que variaram de 42 a 64% do N total, e de somente 1 a 9% do N para a cama compostada. A umidade do material estimula a atividade das bactérias e a produção da enzima urease, com a quebra do ácido úrico em formas simples de N. Sistani et al. (2007) avaliaram o efeito de dois conteúdos de

umidade na mineralização do N proveniente da adição de cama de aves em vários solos, em laboratório e no campo, nos EUA, numa dose de 350 kg ha⁻¹ de N. Eles verificaram que houve rápido aumento no teor de N mineral no solo, que passou de 23 mg kg⁻¹ para 159 mg kg⁻¹ em 93 dias, indicando rápida mineralização do N da cama. O conteúdo de umidade não influenciou na mineralização, enquanto que o tipo de solo teve grande impacto, principalmente no experimento a campo, além de ter havido rápida nitrificação do N mineral da cama. No entanto, a mineralização líquida do N foi menor no estudo de campo de que no de laboratório, devido a condições ambientais, tais como temperatura e precipitação, o que pode ter resultado em mais desnitrificação e imobilização do N. Honeycutt (1999) também relataram menor mineralização do N da matéria orgânica do solo no campo do que em estudos de laboratório.

No tratamento onde foi aplicado ureia, a adição do inibidor da urease influenciou o teor de amônio no solo nos primeiros sete dias após a aplicação do fertilizante. Na presença do NBPT, 21 e 60% do N total aplicado ao solo estavam como N-NH₄⁺ no 4° e 7° dia, respectivamente; na ausência do NBPT, 61% do N total aplicado estavam na forma de N-NH₄⁺ no 4° dia. Nas demais épocas de avaliação não houve influência do NBPT no teor de amônio, com média de 96% do N total aplicado (Figura 15, Apêndice K). O menor teor de amônio no solo nas primeiras épocas de avaliação para o tratamento com ureia + NBPT em relação à ureia, se deve ao uso do inibidor da urease, que impede a passagem do N da forma amídica para NH₄⁺. Contudo, a partir do 7° dia o efeito do NBPT diminuiu, permitindo a passagem do N-amídico para N-NH₄⁺. No demais fertilizantes, o teor de N-NH₄⁺ foi baixo devido à baixa mineralização dos fertilizantes orgânicos e ao revestimento da ureia. A presença de teores elevados de amônio desde a primeira amostragem no tratamento com ureia indica rápida hidrólise e consequente liberação de N. Resultados semelhantes foram obtidos por MacLean & McRae (1987), que recuperaram mais de 90 % do N da ureia na forma de amônio no terceiro dia após o início da incubação do solo, realizada a 18° C.

No tratamento que recebeu fertilizante revestido, o teor de N-NH₄⁺ no solo variou conforme a época avaliada e foi menor relativamente ao tratamento com ureia. Nos fertilizantes revestidos o N está na forma de ureia, revestida por uma camada protetora que limita a liberação do N. No quarto dia após a aplicação do fertilizante ao solo apenas 15 % do N total estava na forma de N-NH₄⁺, contudo, no sétimo dia, 34 % já estavam nesta forma (Figura 15). Nas demais épocas avaliadas, não houve diferença nos teores de N-NH₄⁺ no solo. No final do experimento, no 77° dia, 116 mg kg⁻¹ estavam na forma de N-NH₄⁺, o que corresponde a 58 % do N total aplicado pelo fertilizante revestido (Figura 15). O menor teor

de N liberado no solo pelo fertilizante revestido se deve a baixa mineralização, aos 77 dias após a aplicação do fertilizante ao solo havia grânulos inteiros, sem rompimento da camada protetora. Noellsch et al. (2009) compararam a eficiência da aplicação de 168 kg ha^{-1} de N de ureia revestida com polímeros ou de ureia convencional, no nordeste de Missouri, e observaram que houve maior absorção de N e maior produtividade de grãos de milho no tratamento com fertilizante revestido, salientado que a liberação mais lenta do nutriente pelo fertilizante incorre a menores perdas do mesmo, fenômeno também observado por Sato & Morgan (2008), Medina et al., (2008) e Cole et al. (2007).

Em todas as épocas avaliadas os teores de nitrato foram maiores no tratamento onde foi aplicado KNO_3 ao solo (Figura 16, Apêndice L), e isso se deve à forma nítrica como o N está nesse fertilizante. Neste tratamento, o teor de N-NO_3^- no solo na última época avaliada correspondeu a 98 % do N total aplicado. Os demais fertilizantes apresentaram média entre os fertilizantes nitrogenados de 25 mg kg^{-1} de N-NO_3^- ao 77º dia (Figura 16), o que se deve, provavelmente, a falta de oxigenação de sistema impedindo ou retardando a passagem de N que estava na forma de N-NH_4^+ para N-NO_3^- .

O N total mineral no solo ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$) diferiu entre os diferentes fertilizantes aplicados ao solo (Figura 17, Apêndice M), contudo, houve pouca diferença quanto às épocas de avaliação, indicando que houve baixa mineralização líquida de N. O tratamento testemunha apresentou uma baixa taxa de mineralização, cujo N mineral aumentou de 10 para 24 mg kg^{-1} do 4º para o 77º dia.

Para os demais fertilizantes, a quantidade de N total mineral disponibilizado foi na seguinte sequência: ureia = ureia + NBPT = nitrato de potássio > adubo revestido > cama de aves = cama de aves + NBPT > testemunha (Figura 17, Apêndice M). Os altos teores de N mineral no solo em relação ao tratamento testemunha se devem ao fato que a totalidade do N da ureia e do KNO_3 se encontram em formas solúveis, que são rapidamente hidrolisadas e convertidas em amônio e nitrato (AGEHARA et al., 2005), como pode ser visualizado nos altos valores de N mineral no tratamento com ureia, desde os primeiros dias avaliados. Por outro lado, a semelhança entre a cama de aves e a testemunha indica uma baixa taxa de mineralização dos compostos nitrogenados do resíduo orgânico, e também a fenômenos que proporcionam perdas gasosas de N (desnitrificação) e à retenção provisória de N pela biomassa microbiana (imobilização de N).

Figura 16. Nitrificação (mg kg^{-1} coleta $^{-1}$ de N-NO_3^-), decorrente da incorporação ao solo de 400 kg ha^{-1} de Nitrogênio ($200 \text{ mg coluna}^{-1}$ de N), relativamente ao teor de N total volatilizado dos diferentes fertilizantes. Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.

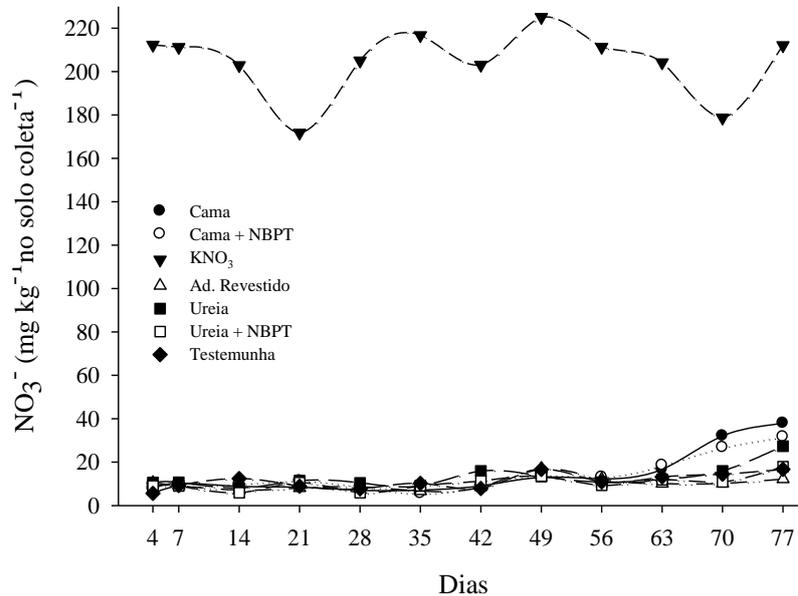
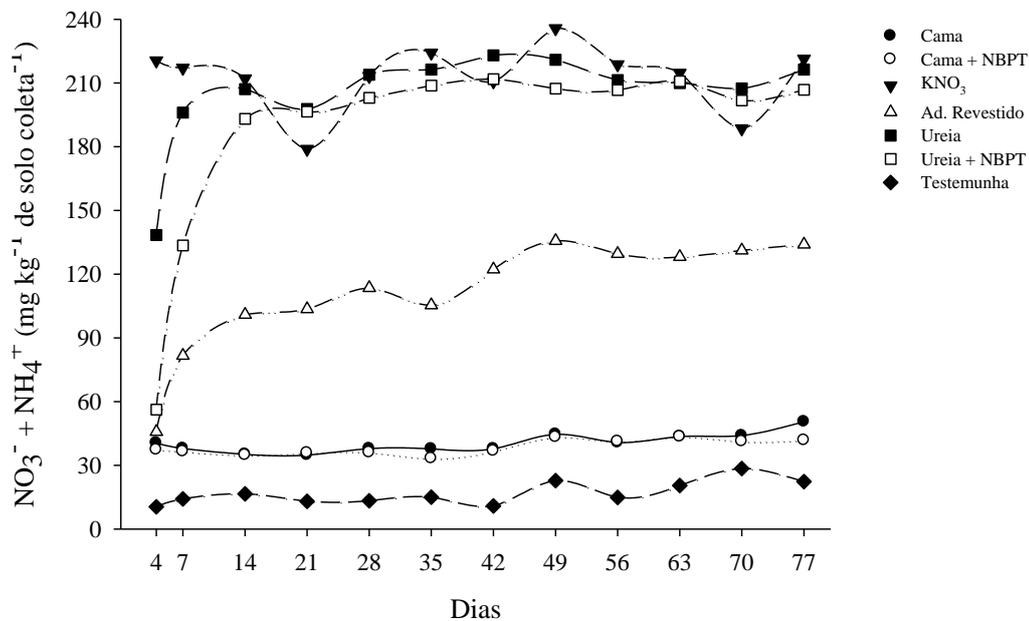


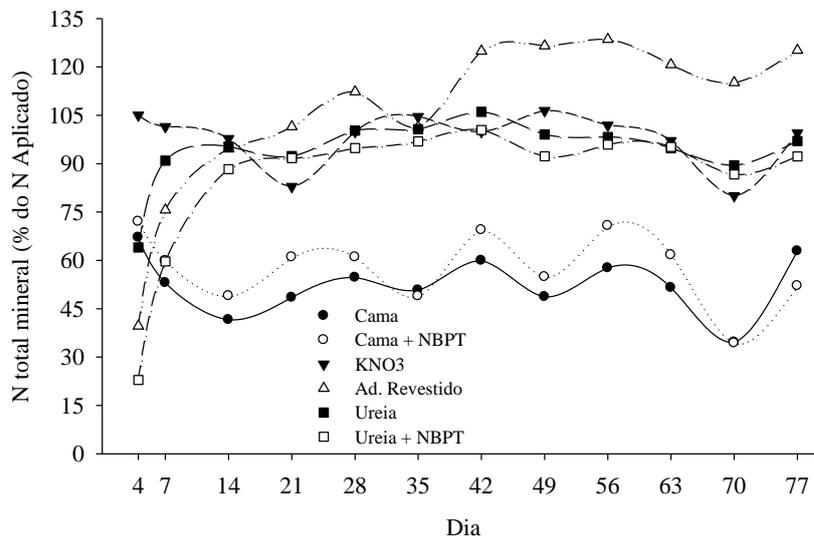
Figura 17. Nitrogênio mineral recuperado no solo ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$), em mg kg^{-1} , no decorrer do período de incubação, decorrente da incorporação ao solo de 400 kg ha^{-1} de Nitrogênio ($200 \text{ mg coluna}^{-1}$ de N), relativamente ao teor de N total contido nos fertilizantes orgânicos e minerais. Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.



A quantidade de N mineral recuperado no solo ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) relativo à fração do N solúvel em água aplicado pelos fertilizantes foi maior no tratamento com ureia (com e sem NBPT), KNO_3 e fertilizante revestido do que com cama de aves (Figura 18). O N solúvel em água presente na cama de aves (N mineral + N orgânico solúvel em H_2O), que correspondia a

22,4 e 18,6 % do N total aplicado para cama de aves e cama de aves + NBPT, respectivamente, não foi recuperado em sua plenitude, diferentemente do que ocorreu com a ureia e com o KNO_3 , onde a recuperação foi próxima a 100%, desde os primeiros dias avaliados. O valor máximo de N recuperado da fração solúvel em água do adubo orgânico aplicado foi de 67 e 72 %, para cama de aves e cama de aves + NBPT respectivamente, no quarto dia.

Figura 18. Nitrogênio mineral recuperado no solo relativo à fração solúvel ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$), em % do aplicado ao solo, no decorrer do período de incubação, decorrente da incorporação ao solo de 400 kg ha^{-1} de Nitrogênio ($200 \text{ mg coluna}^{-1}$ de N), relativamente ao teor de N solúvel contido nos fertilizantes orgânicos e minerais. Com valores subtraídos daqueles volatilizados do tratamento que não recebeu fertilizante (testemunha). Médias de quatro repetições. * Ad. Revestido = Tratamento fertilizante revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.



Quando os teores de N que já se encontravam na forma mineral na cama de aves ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$) antes da aplicação ao solo foram subtraídos dos valores de N recuperado no solo, verifica-se que o valor máximo da fração orgânica solúvel em água recuperada foi de 40 e 34 % no término do experimento. Estes valores diferem dos obtidos por Qafoku et al. (2001) que incubaram 60 amostras de cama de aves objetivando correlacionar o N orgânico solúvel em água ($\text{N total solúvel em água} - \text{N mineral solúvel em água}$) com o N potencialmente mineralizável no solo. Os autores encontraram uma faixa de recuperação do N orgânico total aplicado ($\text{N orgânico solúvel em água} + \text{N orgânico insolúvel}$) de 24,5 a 78,6 %, e do N total na matéria seca ($\text{N mineral} + \text{N orgânico}$) de 44 a 75 %. Verificaram ainda que o N orgânico mineralizado teve uma boa correlação ($r^2 = 0,87$) com o N orgânico solúvel em água contido no resíduo antes da aplicação ao solo. Desta forma, o N potencialmente mineralizável num curto espaço de tempo corresponde a um acréscimo médio de 30 % dos teores de N orgânico solúvel em água. Por outro lado, em nosso experimento sequer foi recuperado a totalidade do

N solúvel em água aplicado, fração esta que possui menor grau de complexidade de suas ligações, sendo mais facilmente mineralizável do que os demais constituintes orgânicos do resíduo.

O decréscimo na recuperação do N total mineral observado a partir de 49º dia, para todos os fertilizantes, possivelmente foi devido às perdas por desnitrificação ou imobilização microbiana, uma vez que não houve perdas por lixiviação. As reações de desnitrificação e nitrificação podem ocorrer simultaneamente nos solos agrícolas, haja vista que no interior dos agregados podem desenvolver-se micro sítios de anaerobiose e aerobiose (ROCHETTE et al., 2000; GIACOMINI, 2005).

A recuperação de N mineral no solo a partir da aplicação de cama de aves foi pequena no decorrer do tempo, independentemente da adição do NBPT, devido ao baixo teor de N na forma de ureia nesse material. Os valores máximos de N recuperado ocorreram no quarto dia, com média de 14 %. Agehara et al. (2005) encontraram duas fases distintas durante a incubação: uma de rápida mineralização do N orgânico nas duas primeiras semanas, seguido por uma fase lenta com uma pequena taxa de acréscimo. Os autores justificaram esse comportamento pela existência de frações instáveis de N nos compostos nitrogenados do esterco, que são prontamente mineralizáveis, e de formas estáveis que são resistentes à mineralização. Da mesma forma, Gordillo e Cabrera (1997), encontraram taxas de mineralização que variaram de 36,4 a 78,4 % do N orgânico total aplicado. Os autores encontraram um rápido aumento de N mineral durante a primeira semana, seguido por um ritmo lento de acumulação. Em média, 33 % do N orgânico foi mineralizado até o final do primeiro dia, atingindo valores de 59 % no final da primeira semana. Segundo Hartz et al. (2000), a diminuição do processo de mineralização de N ao longo do tempo pode estar relacionada à estabilização dos compostos nitrogenados em formas de difícil mineralização.

É provável que a pequena taxa de mineralização encontrada em nosso estudo esteja relacionada ao manejo atribuído à amostra de cama antes da utilização no experimento. As amostras de camas utilizadas foram previamente compostadas durante 80 dias, e armazenadas por um longo período, com atividade microbiológica reduzida a níveis baixos. O reumedecimento das mesmas ocorreu apenas no momento da aplicação ao solo. Desta forma, durante a armazenagem, os compostos orgânicos mais facilmente decomponíveis podem ter sido utilizados e modificados pela população microbiana, restando compostos orgânicos com elevado grau de humificação e alto índice de recalcitrância (MARQUES, 2005). Entretanto, em nosso estudo não foi recuperado sequer a fração de N que se encontrava solúvel em água, compostos estes sabidamente de fácil mineralização.

Com isso, a hipótese de perdas de N pelo processo de desnitrificação e imobilização temporária de N pela imobilização microbiana ganha importância. Desta forma, é interessante a realização de novos experimentos, em diferentes condições de solo e com outros tipos de cama, para verificar se os resultados foram devidos a características peculiares do experimento ou de ocorrência generalizada em nossas condições de clima e solo, uma vez que experimentos deste tipo são praticamente inexistentes nas condições brasileiras.

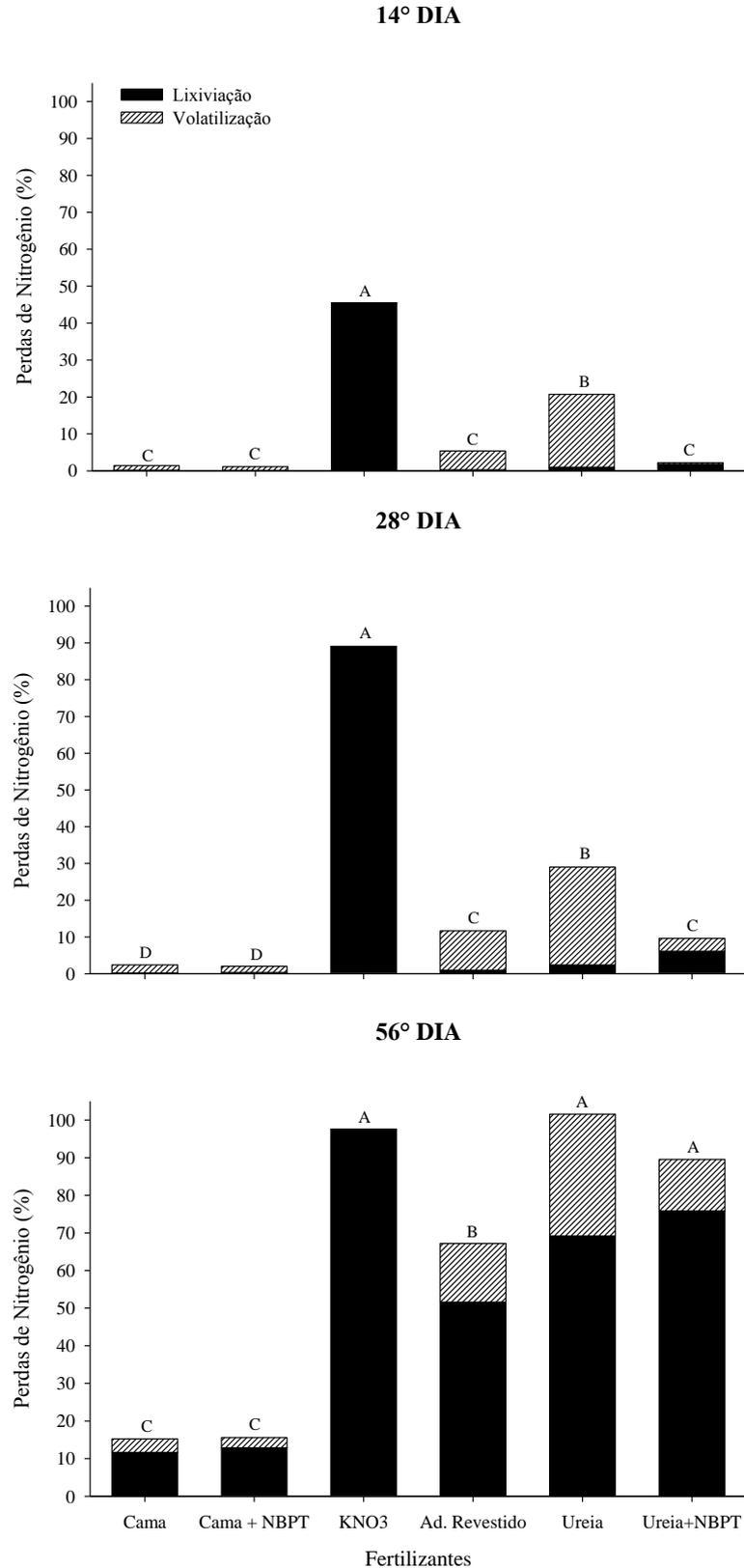
3.4.4 Perdas totais do N - Volatilização de NH_3 + Lixiviação de $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$.

As perdas acumuladas totais do N nos experimentos, por lixiviação e volatilização de NH_3 , foram baixas nos primeiros 14 dias após a aplicação dos fertilizantes orgânicos e minerais ao solo (Figura 19). Os fertilizantes que proporcionaram maiores perdas de N, independente da forma, foram KNO_3 e ureia, e representaram 46 e 21 % do N total aplicado ao solo, respectivamente. Um mês após a aplicação dos fertilizantes ao solo, os fertilizantes minerais apresentaram as maiores perdas, $\text{KNO}_3 > \text{ureia} > \text{fertilizante revestido} = \text{ureia} + \text{NBPT} > \text{Cama de aves (com ou sem NBPT)}$. As formas iônicas como o N foi perdido variou entre os fertilizantes, o KNO_3 e ureia + NBPT foram principalmente por lixiviação de N-NO_3^- ; para a cama de aves, independente da época e da adição do NBPT, as perdas foram baixas, apenas 2 % do N total aplicado, no 28º dia.

Dois meses após a aplicação dos fertilizantes ao solo as perdas totais, por volatilização de NH_3 e lixiviação, foram próximas de 100% para ureia e KNO_3 , principalmente por lixiviação de N (Figura 19). Nos tratamentos onde foram aplicados ureia + NBPT e fertilizante revestido, o teor de N perdido foi de 90 e 67 % do N total, demonstrando a eficiência do fertilizante revestido em retardar as perdas de N. Diferentemente do que ocorreu nos demais fertilizantes e no primeiro mês após sua aplicação ao solo, a cama de aves apresentou grandes perdas por lixiviação de N entre o primeiro e segundo mês, as perdas totais foram de 15 % do N total aplicado ao solo, devido provavelmente à mineralização do N orgânico.

As perdas acumuladas de N foram diferentes entre os fertilizantes orgânicos e minerais, e estão relacionadas principalmente com as formas em que o N estava presente em cada um desses fertilizantes. Na ureia, o N está na forma amídica [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] enquanto que nas camas de aves ele está predominantemente na forma orgânica estável, mas também como amida, ácido úrico amônio e nitrato (Thomsen, 2004). Portanto as formas orgânicas têm que ser mineralizadas para liberar o N para as plantas.

Figura 19. Perdas acumuladas de N por volatilização de amônia e lixiviação de $N-NH_4^+ + N-NO_3^-$ (% do aplicado), decorrente da aplicação de 200 mg de N por unidade experimental (400 kg ha^{-1}), contido na cama de aves e fertilizantes minerais. Com valores subtraídos daqueles volatilizados do tratamento que não recebeu fertilizante (testemunha). Médias de quatro repetições. Valores nas colunas seguidos de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de significância. * Ad. Revestido = Tratamento fertilizante revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.



3.5 CONCLUSÕES

1. A utilização do inibidor da urease não foi eficiente em retardar a volatilização de NH_3 a partir da adição ao solo de cama de aves granulada. A volatilização de amônia é baixa quando decorrente da aplicação ao solo de cama de aves granulada, combinada ou não com NBPT.
2. A utilização de fertilizantes revestidos assim como a ureia combinada com NBPT é uma alternativa para reduzir a volatilização de NH_3 . Quando adicionado o inibidor da urease e o recobrimento com polímeros a ureia as perdas foram reduzidas em 50 %.
3. A utilização do inibidor da urease não foi eficiente em retardar a lixiviação de N a partir da adição ao solo de cama de aves granulada e ureia. Contudo, a percolação de N (NO_3^- e NH_4^+) é baixa quando decorrente da aplicação ao solo de cama de aves. E a utilização do fertilizante revestido é uma alternativa para aumentar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados.
4. A adição de fertilizantes nitrogenados amídicos a solos ácidos retarda a percolação de N em relação aos adubos nítricos porque mantém o N-NH_4^+ adsorvido por certo tempo nas cargas elétricas negativas. Contudo, a lixiviação de nitrato é intensa a partir de fertilizantes nítricos, com perdas consideráveis a partir das primeiras percolações.
5. A adição de NBPT não foi eficiente em retardar a mineralização do N a partir da adição ao solo de cama de aves granulada e ureia. Contudo, a mineralização líquida do N presente na cama de aves e no fertilizante revestido com polímeros foi pequena quando comparado com os fertilizantes amídicos, como ureia e ureia + NBPT.

4 CONCLUSÕES GERAIS

1. A utilização do inibidor da urease não foi eficiente em retardar a volatilização de NH_3 a partir da adição ao solo de cama de aves granulada e fertilizante organomineral;
2. A utilização de fertilizante nitrogenado revestido e a ureia combinada com NBPT são alternativas para reduzir a volatilização de NH_3 ;
3. A utilização do inibidor da urease não foi eficiente em retardar a lixiviação e a mineralização do N a partir da adição ao solo de cama de aves granulada e ureia.
4. A mineralização líquida e a lixiviação do N no fertilizante revestido com polímeros foram pequenas quando comparado com os fertilizantes amídicos, como ureia e ureia + NBPT, podendo ser uma alternativa para aumentar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados;
5. A adição de fertilizantes nitrogenados amídicos a solos ácidos retarda a percolação de N em relação aos adubos nítricos porque mantém o N-NH_4^+ adsorvido por certo tempo nas cargas elétricas negativas. Contudo, a lixiviação de nitrato é intensa a partir de fertilizantes nítricos, com perdas consideráveis a partir das primeiras percolações;
6. A volatilização de N-NH_3 , a percolação de N (N-NO_3^- e N-NH_4^+) e a mineralização líquida do N orgânico presente na cama de aves são baixas, independentemente da adição do inibidor da urease. Sendo assim, a cama de aves disponibiliza pequenas quantidades de N nos períodos iniciais subsequentes à adição ao solo.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, P.L. DANIEL, T.C. NICHOLS, D.J. POTE, D.H. SCOTT, H.D. & EDWARDS, D.R. Poultry Litter and Manure Contributions to Nitrate Leaching through the Vadose Zone. *Soil Sci. Soc. Am J.*, 58:1206-1211, 1994.
- AGEHARA, S. & WARNCKE, D. D. Soil Moisture and Temperature Effects on Nitrogen Release from Organic Nitrogen Sources. *Soil Sci. Soc. Am J.*, 69:1844–1855, 2005.
- AITA, C.; GIACOMINI, S.J. & HÜBNER, A.P. Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em solo sob sistema de plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 42:95-102, 2007.
- ARAÚJO, E. S.; MARSOLA, T.; MIYAZAWA, M.; SOARES, L. H. DE B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. & ALVES, B. J. R. Calibração de câmara semiaberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 44:769-776, 2009.
- Associação Nacional para Difusão de Adubos – ANDA, Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes, 2010.
- AULAKH, M.S.; KHERA, T.S.; DORAN, J.W.; SINGH, K. & SINGH, B. Yields and nitrogen dynamics in a rice-wheat system using green manure and inorganic fertilizer. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:1867-1876, 2000.
- BANERJEE, M. R.; BURTON, D.J. & GRANT, C.A. Influence of urea fertilization and urease inhibitors on the size and activity of soil microbial biomass under conventional and zero tillage at two sites. *Can. J. Soil Sci.*, 79:255-263, 1999.
- BEYROUTY, C.A.; SOMMERS, L.E.; NELSON, D.W. Ammonia volatilization from surface-applied urea as affected by several phosphoroamide compounds. *Soil Sci. Soc. Am J.*, 52:1173-1178, 1988.
- BLACK, A.S.; WARING, S.A. Nitrate leaching and adsorption in a krasnozen from Redland Bay, Qld. II. Soil factors influencing adsorption. *Aust. J. Soil Res.*, 14:181-188, 1976.
- BONO, J.A.M.; RODRIGUES, A.P.D’A.C; MAUAD, M.; ALUQUERQUE, J.C. de; YAMAMOTO, C.R.; CHERMOUTH, K.S.; FREITAS, M.E. de. Modo de aplicação de fertilizantes nitrogenados na qualidade fisiológica de sementes de milho. *Agrarian*, 1:91-102, 2008.
- BREMNER, J. M. & CHAY, H. S. Evaluation of N-butyl phosphorotic triamide for retardation of urea hydrolysis in soil. *Commun. Soil Sci. Plan.*, 35:191-199, 1986.
- 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.
- BRINSON JR. S. E.; CABRERA, M. L.; TYSON, S. C. Ammonia volatilization from surface-applied, fresh and composted poultry litter. *Plant. soil*, 167:213-218, 1994.
- BRONSON, K.F.; TOUCHTON, J.T.; HILTBOLD, A.E.; HENDRICKSON, L.L. Control of ammonia volatilization with N- (n-butyl) thiofosphoric triamide in loamy sands. *Commun. Soil Sci. Plan.*, 20:1439-1459, 1989.

- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; GALLO, P. B.; BOLONHEZI, D; ROSSETTO, R., BORTOLETTO, N.; PEREIRA, J. C.; VILA, N. A. Evaluation of the effect of the urease inhibitor NBPT (N-(n-butyl) thiophosphoric acid triamide) on the efficiency of urea fertilizer under Brazilian soil conditions. Technical report, Campinas, Instituto Agrônomo e Fundag, 2002.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIM, P.C.O.; CONTIN, T.L.M.; DIAS, F.L.F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R.B. & QUAGGIO, J.A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. *Sci. Agric.*, 65:397-401, 2008.
- CARGNIN, R. H. O. Biotransformações do nitrogênio no solo durante a decomposição de palha de trigo e dejetos líquidos de suínos. 2007. 74 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- CERETTA, C.A.; FRIES, M.R. Adubação nitrogenada no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. Plantio direto: Conceitos, fundamentos e práticas culturais. Sociedade Brasileira de Ciência do solo, Núcleo Regional Sul, 1997. Cap 7, p. 111-120.
- CHAMBERS, B. J.; SMITH, K. A; van der WEERDEN. Ammonia emissions following the land spreading of solid manures. In: JARVIS, S.C.; PAIN, B.F (ed.) Gaseous nitrogen emissions from grasslands. CAB International, Oxford, UK. p. 275–280, 1997.
- CHITOLINA, J.C. Fertilizantes de lenta liberação de N: conceitos. Ureia coberta com enxofre. Piracicaba: ESALQ/USP, 1994. 16p.
- CHRISTIANSON, C.B.; BYRNES, B.H.; CARMONA, G. A comparison of the sulfur and oxygen analogs of phosphoric triamide urease inhibitors in reducing urea hydrolysis and ammonia volatilization. *Fert. Res.*, 26:21-27, 1990.
- COELHO, A. M. FRANCA, G. E.; BAHIA FILHO, A. F. C. & GUEDES, G. A. A. Balanço de nitrogênio 15N em Latossolo Vermelho-Escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. *R. Bras. Ci. Solo*, 95:187-193, 1991.
- CLAY, D.E.; MALZER, G.L. & ANDERSON, J.L. Ammonia volatilization from urea as influenced by soil temperature, soil water content, and nitrification and hydrolysis inhibitors. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:263-266, 1990.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC (CQFS–RS/SC. Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre, SBCS - Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 394p.
- COSTA, M.C.G.; VITTI, G. C. & CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:631-637, 2003.
- COSTA, A. C. S.; FERREIRA, J. C.; SEIDEL, E. P.; TORMENA, C. A. & PINTRO, J. C. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia em três solos argilosos tratados com ureia. *Acta Scientiarum*, 26:467-473, 2004.

- DUARTE, F. M.; Pocojeski, E.; Silva, L.S.; Graupe, F.A. & Britzke, D. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia com aplicação de ureia em solo de várzea com diferentes níveis de umidade. *Cienc. Rural*, 37:705-711, 2007.
- ERNANI, P. R.; SANGOI, L.; RAMPAZZO, C. Lixiviação e imobilização de nitrogênio num Nitossolo como variáveis da forma de aplicação de ureia e da palha de aveia. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:993- 1000, 2002.
- FAN, MX & MACKENZIE, AF Ureia e interações de fertilizantes fosfatados em micrositos: volatilização de amônia e mudanças de pH. *Sci. sol. Soc. Sou. J.*, 57:839-845, 1993.
- FRANCHI, E. A. Dinâmica do nitrogênio no solo e produtividade de milho, aveia e ervilhaca com o uso de dejetos de suínos em sistema de plantio direto. 2007. 70 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.
- GIACOMINI, S. J. A avaliação e modelização da dinâmica de carbono e nitrogênio em solo com o uso de dejetos de suínos. 2005. 247 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.
- GIOACCHINI, P.; NASTRI, A.; MARZADORI, C.; ANTISARI, L.V.; GESSA, C. Influence of Urease and Nitrification Inhibitors no N Losses From Soils Fertilized With Urea. *Biol. Fert. Soils*, 36:129-135, 2002.
- GIRARDI, E.A.; FILHO, F.A.A.M.; Emprego de fertilizantes de liberação lenta na formação de pomares de citros. *LARANJA, Cordeirópolis*, 24:507-518, 2003.
- GOLDEN, B.R.; NORMAN, R.J.; WILSON, Jr. C.E.; DELONG, R.E. Evaluation of Polymer-Coated Urea for Direct-seeded, Delayed-Rice Production. *Soil Sci. Soc. Am J.*, 73:375-383, 2009.
- GORDILLO, R. M.; CABRERA, M. L. Mineralizable nitrogen in broiler litter: I. Effect of selected soil characteristics. *J. Environ. Qual.*, 26:1679–1686, 1997.
- GRIFFIN, T.S. & HONEYCUTT, C. W. Using Growing Degree Days to Predict Nitrogen Availability from Livestock Manures. *Soil Sci. Soc. Am J.*, 64:1876-1882, 2000.
- GRIFFIN, T. S.; HONEYCUTT, C. W.; HE, Z. Effects of temperature, soil water status, and soil type on swine slurry nitrogen transformations. *Biol. Fert. Soils*, 36:442- 446, 2002.
- HARTZ, T. K.; MITCHELL, J. P.; GIANNINI, C. Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and composts. *Hort. Science*, 35:209-212, 2000.
- HENDRICKSON, L.L. Corn yield response to the urease inhibitor NBPT: five year summary. *J. Prod. Agric.*, 5:131-137, 1992.
- HESSE, D. Straw in fattening pig husbandry. In: *WORKSHOP DEEP LITTER SYSTEMS FOR PIG FARMING, Proceedings...* Amsterdam, p.77-92, 1992.
- HONEYCUTT, C.W. Nitrogen mineralization from soil organic matter and crop residues: field validation of laboratory predictions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:134–141, 1999.

- HOWARD, D.D. & ESSINGTON, M.E. Effects of surface-applied limestone on the efficiency of urea-containing nitrogen sources for no-till corn. *Agron. J.*, 90:523-528, 1998.
- KIEHL, E. J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba, São Paulo: Editora Agronômica "Ceres" Ltda, 1985.
- KONZEN, E. A. & ALVARENGA, R. A. Manejo e Utilização de Dejetos Animais: aspectos agronômicos e ambientais. Circular Técnica 63. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2005.
- KONZEN, E. Fertilização de Lavoura e Pastagem com Dejetos de Suínos e Cama de Aves. Circular Técnica 31. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2003.
- KPOMBLEKOU-A, K. Relative proportion of inorganic and total nitrogen in broiler litter as determined by various methods. *J. Sci. Food Agric.*, 86:2354–2362, 2006.
- LARA CABEZAS, W. A. R. et al. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro (MG). *R. Bras. Ci. Solo*, 24:363-376, 2000.
- LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado da ureia aplicada ao solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:345-352, 1990.
- LAU, A. K.; BITTMAN, S. & HUNT, D.E. Development of ammonia emission factors for the land application of poultry manure in the Lower Fraser Valley of British Columbia. *Canadian Biosystems Engineering*. 50:6.47-6.55, 2008.
- LEÃO, A.F. Volatilização de amônia resultante da aplicação de ureia na cultura de milho. Jataí, 2008. 8p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás - Campus Jataí, 2008.
- LOCKYER, D. R. & PAIN, B. F. Ammonia Emissions from Cattle, Pig and Poultry Wastes applied to Pasture. *Environ. Pollut.*, 56: 19-30, 1989.
- LÓPEZ-MOSQUERA, M.E.; CABALEIRO, F.; SAINZ, M.J.; LÓPEZ-FABAL, A. & CARRAL, E. Fertilizing value of broiler litter: Effects of drying and pelletizing. *Bioresource Technol.*, 99: 5626–5633, 2008.
- MA, BL; WU, TY; TREMBLAY, N.; DEEN, W.; MCLAUGHLIN, NB; MORRISON MJ & STEWART, G. Na fazenda-avaliação do valor e época da adubação nitrogenada sobre a volatilização de amônia. *Agron. J.*, 102:134-144, 2010.
- MAEDA, M. ZHAO, B. OZAKI, Y. & YONEYAMA, T. Nitrate leaching in an Andisol treated with different types of Fertilizers. *Environ. Pollut.*, 121:477–487, 2003.
- MANTOVANI, A.; ERNANI, P.R. & SANGOI, L.A adição de superfosfato triplo e a percolação de nitrogênio no solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 31:887-895, 2007.

- MARQUES, M. G. Transformações do carbono e do nitrogênio no solo e produção de aveia com o uso de dejetos de suínos em plantio direto. 2005. 83 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.
- MARSHALL, S. B.; Wood, C.W.; Braun, L.C.; Cabrera, M.L.; Mullen, M.D. & Guertal, E.A. Ammonia volatilization from tall fescue pastures fertilized with broiler litter. *J. Environ. Qual.*, 27:1125-1129, 1998.
- MAHIMAIRAJA, S.; BOLAN, N. S.; HEDLEY; M. J. & MACGREGOR, A. N. Evaluation of methods of measurement of nitrogen in poultry and animal manures. *Fert. Res.*, 24:141–148, 1990.
- MEDINA, L.C.; OBREZA, T.A.; SARTAIN, J.B.; ROUSE, R.E. Nitrogen release patterns of a mixed controlled-release fertilizer and its components. *Hort. technology*, 18:475-480, 2008.
- MIKKELSEN, R.L.; WILLIAMS, H.M.; BEHEL Jr., A.D. Nitrogen leaching and plant uptake from controlled-release fertilizers. *Fert. Res.*, 37:43-50, 1994.
- MOBLEY, H.L.T.; HAUSINGER, R. P. Microbial ureases: Significant, regulation, and molecular characterization. *Microbiol. Rev.* 53: 85-108, 1989.
- MOREIRA, F. M. S. & SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: UFLA, 2006, 729p.
- MOYO, C.C.; KISSEL, D.E. & CABRERA, M.L. Temperature effects on soil urease activity. *Soil Biol. Biochem.*, 21:935-938, 1989.
- NOELLSCH A.J.; MOTAVALLI P.P.; NELSON K.A.; Kitchen N.R. Corn response to conventional and slow-release nitrogen fertilizers across a claypan landscape. *Agron. J.*, 101:607-614, 2009.
- 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.*, 51:1062-1066, 1987.
- OTTMAN, M.J. & POPE, N.V. Nitrogen fertilizer movement in the soils as influenced by nitrogen rate and timing in irrigated wheat. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:1883-1892, 2000.
- OWENS, L B., WM. EDWARDS,; R.W. VAN KEUREN. Nitrate leaching from grassed lysimeters treated with ammonium nitrate or slow-release nitrogen fertilizer. *Journal of environmental quality*. Madison, 28:1810–1816, 1999.
- PACK, J.E.; HUTCHINSON, C.M. & SIMONNE, E.H.; Evaluation of controlled-release fertilizers for Northeast Florida chip potato production. *J. Plant Nutr.*, 29:1301–1313, 2006.
- PARKER, D. B.; PANDRANGI, S.; GREENE, L. W.; ALMAS, L. K.; COLE, N. A.; RHOADES, M. B. & KOZIEL, J. A. Rate and frequency of urease inhibitor application for minimizing ammonia emissions from beef cattle feedyards. *Trans. ASABE* 48:787–793, 2005.

- PARR, J. F.; PAPENDICK, R. I. Factors affecting the decomposition of crop residues by microorganisms. In: CROP RESIDUE MANAGEMENT SYMPOSIUM: Madison: Crop Residue Management Systems, p. 101-129, 1978.
- PAUNGFOO-LONHIENNE, C.; VISSER, J.; LONHIENNE, T. & SCHMIDT, S. Past, present and future of organic nutrients. *Plant Soil*. 359:1–18, 2012.
- PEREIRA, H.S.; LEAO, A.F.; VERGINASSI, A.; CARNEIRO, M.A.C. Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1685-1694, 2009.
- PREUSCH, P.L.; ADLER, P.R.; SIKORA, L.J. & TWORKOSKI, T.J. Nitrogen and phosphorus availability in composted and uncomposted poultry litter. *J. Environ. Qual.*, 31:2051–2057, 2002.
- QAFOKU, O. S.; CABRERA, M. L.; WINDHAM, W. R.; HILL N. S. Rapid Methods to Determine Potentially Mineralizable Nitrogen in Broiler Litter. *J. Environ. Qual.*, 30:217–221, 2001.
- ROCHETTE, P.; ANGERS, D.; CHANTINI, M.H.; MacDONALD, J.D.; GASSER, M. & BERTRAND, N. Reducing ammonia volatilization in a no-till soil by incorporating urea and pig slurry in shallow bands. *Nutr. Cycling Agroecosyst.*, 84:71-80, 2009a.
- ROCHETTE, P.; MacDONALD, J.D.; ANGERS, D.; CHANTINI, M.H.; GASSER, M. & BERTRAND, N. Banding urea increased ammonia volatilization in a dry acidic soil. *J. Environ. Qual.*, 38:1383-1390, 2009b.
- ROCHETTE, P.; ANGERS, D.; CHANTINI, M.H.; MacDONALD, J.D.; BISSONNETTE, N. & BERTRAND, N. Ammonia volatilization following surface application of urea to tilled and no-till soils: A laboratory comparison. *Soil Tillage Res.*, 103:310-315, 2009c.
- RODRIGUES, M.B. & KIEHL, J.C. Volatilização de amônia após emprego de ureia em diferentes doses e modos de aplicação. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:37-43, 1986.
- RODRIGUES, M. B.; KIEHL, J. C. Distribuição e Nitrificação da Amônia Proveniente da Ureia Aplicada Ao Solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 16: 403-408, 1992.
- SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A. & RAMPAZZO, C. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. *Cienc. Rural*, 33:87-692, 2003.
- SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da ureia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. *Cienc. Rural*, 33: 65-70, 2003.
- SANZ-COBENA, A.; MISSELBROOK, T.H.; ARCE, A.; MINGOT, J.I.; DIEZ, J.A. & VALLEJO, A. An inhibitor of urease activity effectively reduces ammonia emissions from soil treated with urea under Mediterranean conditions. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 126:243-249, 2008.
- SCHERER, E. E.; AITA, C.; BALDISSERA, I. T. Avaliação da qualidade do esterco líquido de suínos da região Oeste Catarinense para fins de utilização como fertilizante. *Boletim Técnico*, 79, Florianópolis: Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária, 1996, 46 p.

- SCHERER, E. E. Critérios para transporte e utilização dos dejetos suínos na agricultura. *Agropecuária Catarinense*, 18:62-67, 2005.
- SCHLEGEL, A.J.; NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Field evaluation of urease inhibitors for corn production. *Agron. J.*, 78: 1007-1012, 1986.
- SCHILKE-GARTLEY KL, SIMS, J. T. Ammonia volatilization from poultry manure-amended soil. *Biol. Fertil. Soils*, 16: 5-10, 1993.
- SENGIK, E.; KIEHL, J.C. & SILVA, M.A.G. Perdas de amônia em solo e de resíduos orgânicos autoclavados e tratados com ureia. *Acta scientiarum*, 23:1099-1105, 2001.
- SCHARLAU, A. V. et. al. Volatilização de amônia em solo com ureia, ureia com inibidor de urease e nitrato de amônio. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2007, Gramado. Anais 2007, Gramado, RS, 2007.
- SHARPE, R.R.; SCHOMBERG, H.H.; HARPER, L.A.; ENDALE, D.M.; JENKINS, M.B.; FRANZLUEBBERS, A.J. Ammonia volatilization from surface applied poultry litter under different tillage management practices. *J. Environ. Qual.*, 33:1183-1189, 2004.
- SHAVIV, A. Advances in Controlled Release of Fertilizers. *Adv. Agron.*, 71:1-49, 2000.
- SHI, Y.; PARKER, D. B.; COLE, N. A.; AUVERMANN, B. W. & MEHLHORN, J. E. Surface amendments to minimize ammonia emissions from beef cattle feedlots. *Trans. ASAE* 44:677-682, 2001.
- SHOJI, S.; DELGADO, J.; MOSIER, A.; MIURA, Y. Use of controlled release fertilizers and nitrification inhibitors to increase nitrogen use efficiency and to coandwater quality. *Commun. Soil Sci. Plan.*, 32:1051-1070, 2001.
- SILVA, A. J.; LIMA JR, M.A; FERREIRA, N.C.M. Perdas de amônia por volatilização proveniente da ureia aplicada a solos dos trópicos úmidos. *R. Bras. Ci. Solo*, 19: 141-144, 1995.
- SILVA, C.A. & VALE, F.R. Disponibilidade de nitrato em solos brasileiros sob efeito da calagem e de fontes de nitrogênio. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:2461-2471, 2000.
- SIMS, J.T. & D.C. WOLF. Poultry waste management: Agricultural and environmental issues. *Adv. Agron.*, 52: 1-83. 1994.
- SIMS, A.L.; SCHEPERS, J.S.; OLSON, R.A. & POWER, J.F. Irrigated corn yield and nitrogen accumulation response in a comparison of no-till and conventional till: tillage and surface-residue variables. *Agron. J.*, 90:630-637, 1998.
- SINGH, A.; CASEY, K. D.; REI, W. D. PESCATORE, A. J.; PORTAS, R. S. & FORD, M. J. Efficacy of urease inhibitor to reduce ammonia emission from poultry houses. *J. Appl. Poult. Res.*, 18:34-42, 2009.
- SISTANI, K. R.; ADELI, A.; MCGOWEN, S.L.; TEWOLDE, H.; BRINK, G.E. Laboratory and field evaluation of broiler litter nitrogen mineralization. *Bioresource Technol.*, 99:2603-2611, 2008.

- SOMMER, S. G. & HUTCHINGS, N. J. Ammonia emission from field applied manure and its reduction: invited paper. *Eur. J. Agron.*, 15:1-15, 2001.
- SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. Decomposition in terrestrial ecosystems. Berkeley, University of California Press, 1979.
- RAIJ, B. & CAMARGO, O.A. Nitrate elution from soil columns of three Oxisols and one Alfisol. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 10., 1974, Moscow. Transactions... Moscow: Nauka Publ. House, 2:385-391, 1974.
- RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Potafos/Ceres, 285 p.,1991.
- REYNOLDS, C.M.; WOLF, D.C. & ARMBRUSTER, J.A. Factors related to urea hydrolysis in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 49:104-108, 1987.
- SATO, S. & MORGAN, K.T. Nitrogen recovery and transformation from a surface or sub-surface application of controlled-release fertilizer on a sandy soil. *J. Plant Nutr.*, 31:2214-2231, 2008.
- TASCA, F. A.; ERNANI, P.R.; ROGERI, D.A.; GATIBONI, L. C.; CASSOL, P. C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 35:493-502, 2011.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S. J. Análises de solos, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico nº5).
- TERZICH, M. A. Amônia dos galpões avícolas e o pH da cama. In:CONFERÊNCIA AFINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 1997, São Paulo, SP. Anais... São Paulo: Associação Brasileira dos Produtores de pintos de Corte, p.141-146. 1997.
- TEWOLDE, H.; ARMSTRONG, S.; WAY, T. R.; ROWE, D. E.; SISTANI, K. R. Cotton Response to Poultry Litter Applied by Subsurface Banding Relative to Surface Broadcasting. *Soil Sci. Soc. Am J.*, 73:384-389, 2009.
- THOMSEN, I.K. Nitrogen use efficiency of ¹⁵N-labeled poultry manure. *Soil Sci. Soc Am J.*, 68:538-544, 2004.
- THOMSEN, I. K.; OLESEN J.E.; SCHJONNING P.; JENSEN B. & CHRISTENSEN B.T. Net mineralization of soil N and ¹⁵N-ryegrass residues in differently textured soils of similar mineralogical composition. *Soil Biol. & Biochem.*, 33:277-285, 2001.
- TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; CESAR, V.A.; GAVA, G.J.C. & BENDASSOLLI, J.A. Perdas do nitrogênio da ureia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-deaçúcar. *Pesq. Agropec. Bras.*, 37:193-201, 2002.
- VAREL, V. H. Use of urease inhibitors to control nitrogen loss from livestock waste. *Bioresour. Technol.*, 62:11-17, 1997.
- VAREL, V. H.; NIENABER, J. A. & FREETLY, H. C. Conservation of nitrogen in cattle feedlot waste with urease inhibitors. *J. Anim. Sci.* 77:1162-1168, 1999.

- VILLAS BOAS, RL; BOARETTO, AE & GODOY, LJG recuperação de nitrogênio da ureia - misturas de sulfato de amônio por plantas de milho. *Bragantia*, 64:263-272, 2005.
- WANG, F.L.; ALVA, A.K. Leaching of nitrogen from slow-release urea sources in sandy soils. *Soil Sci. Soc. Am J.*, 60:1454–1458, 1996.
- WATSON, C.J.; MILLER, H.; POLAND, P.; KILPATRICK, D.J.; ALLEN, M.B.D.; GARRET, M.K.; CHRISTIANSON, C.B. Soil properties and the ability of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (NBPT) to reduce ammonia volatilization from surface-applied urea. *Soil Biol. & Biochem.*, 26:1165-1171, 1994.
- WATSON, C.J.; POLAND, P. & ALLEN, M.B.D. The efficacy of repeated applications of the urease inhibitor N-(n-butyl)thiophosphoric triamide (nBTPT) for improve the efficiency of urea fertiliser utilization on temperature grassland. *Grass forage sci.*, 53:137-145, 1998.
- WATSON, C.J. Urease activity and inhibition – Principles and practice. In: *The International Fertilizer Society Meeting, London, The International Fertilizer Society, Proceedings*, n. 454, 39 p., 2000.
- WHITE, R.E. Leaching. In: WILSON, J. R. *Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems*. Wallingford : C.A.B. International, p.193-211, 1987.
- WILD, P. L.; KESSEL, C.V.; LUNDBERG, J. & LINQUIST, B. A. Nitrogen Availability from Poultry Litter and Pelletized Organic Amendments for Organic Rice Production. *Agron. J.*, 103: 1284-1291, 2011.
- WILSON, M.L.; ROSEN, C.J. & MONCRIEF, J.F. Potato Response to a Polymer-Coated Urea on an Irrigated, Coarse-Textured Soil. *Agron. J.*, 101:897-905, 2009.
- WONG, M.T.F.; HUGHES, R. & ROWELL, D.L. Retarded leaching of nitrate in acid soils from the tropics: measurement of the effective anion exchange capacity. *J. Soil Sci.*, 41:655-663, 1990.
- WONG, M.T.F.; WILD, A. & JUO, A.S.R. Retarded leaching of nitrate measured in monolith lysimeters in south east Nigeria. *J. Soil Sci.*, 38:511-518, 1987.

6 APÊNDICES

Apêndice A. Perdas acumuladas de N por volatilização de amônia (% do N Aplicado), decorrente da aplicação superficial de 400 kg ha⁻¹ de Nitrogênio, relativamente ao teor de N total contido nos diferentes fertilizantes. Médias de quatro repetições. Letras diferentes representam diferenças estatísticas pelo teste de Tukey (p<0,05).

Tratamentos	Dias após a Aplicação									
	2	4	6	8	16	24	32	40	48	56
	----- % do N Aplicado -----									
Cama	0,58bc	0,76c	0,92c	0,99bc	1,20cd	1,47c	1,77cd	2,17c	2,26d	2,46d
Cama+NBPT	0,51c	0,64c	0,77c	0,84bc	0,99d	1,17c	1,41d	1,80c	1,92d	2,14d
Organomineral	1,71a	2,31a	2,99a	3,50a	4,72b	5,71b	6,64b	7,49b	8,06c	8,68c
Organo + NBPT	0,78b	1,16b	1,65b	2,07b	3,29bc	4,36b	5,43b	6,64b	7,42c	8,20c
Ureia	0,14d	0,46c	1,79b	3,69a	12,56a	16,02a	17,95a	19,48a	20,53a	21,50a
Ureia+NBPT	0,02d	0,02d	0,02d	0,08c	0,34d	1,69c	4,28bc	8,16b	11,17b	13,64b

Letras minúsculas nas colunas comparam as perdas de amônia entre os diferentes fertilizantes em cada dia avaliado. Médias sucedida pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, com 5% de significância.

Apêndice B. Perdas diárias de N por volatilização de amônia (% do N Aplicado), decorrente da aplicação superficial de 400 kg ha⁻¹ de Nitrogênio, relativamente ao teor de N total contido nos diferentes fertilizantes. Médias de quatro repetições, com valores subtraídos daqueles volatilizados do tratamento que não recebeu fertilizantes orgânicos e minerais (testemunha). Letras diferentes representam diferenças estatísticas pelo teste de Tukey (p<0,05).

Tratamentos	Dias após a Aplicação										Total
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-16	16-24	24-32	32-40	40-48	48-56	
	----- % do N Aplicado -----										
Cama	0,29bcA	0,09cdB	0,08bcB	0,04bCD	0,03bDE	0,03cCD	0,04dCD	0,05dC	0,01dE	0,03dDE	2,46d
Cama+NBPT	0,25cA	0,06deB	0,06cB	0,04bB	0,02bB	0,02cB	0,03dB	0,05dB	0,02dB	0,03dB	2,14d
Organomineral	0,85aA	0,30aBC	0,34bB	0,25bC	0,15bD	0,12bDE	0,12cDE	0,11cDE	0,07cE	0,08cE	8,68c
Organo + NBPT	0,39bA	0,19bBCD	0,24bcB	0,21bBC	0,15bCDE	0,13bDE	0,13cDE	0,15bcCDE	0,10bcE	0,10bcE	8,20c
Ureia	0,07dE	0,16bcDE	0,67aBC	0,95aAB	1,11aA	0,43aCD	0,24bDE	0,19bDE	0,13bE	0,12bE	21,50 ^a
Ureia+NBPT	0,01dE	0,00eE	0,01cE	0,03bE	0,04bE	0,17bD	0,32aBC	0,49aA	0,38aB	0,31aC	13,64b

Letras minúsculas nas colunas comparam as perdas de amônia entre os diferentes fertilizantes em cada dia avaliado; letras maiúsculas nas linhas comparam os efeitos da época (dias) em cada tratamento. Médias sucedida pela mesma letra na linha ou na coluna não diferem pelo teste de Tukey, com 5% de significância.

Apêndice C. Perdas acumuladas de N por volatilização de amônia (mg coluna⁻¹ de N), decorrente da aplicação superficial de 400 kg ha⁻¹ de Nitrogênio, relativamente ao teor de N total contido nos diferentes fertilizantes. Médias de quatro repetições. Letras diferentes representam diferenças estatísticas pelo teste de Tukey (p<0,05).

Tratamentos	Dias após a Aplicação											
	0-4	4-7	7-14	14-21	21-28	28-35	35-42	42-49	49-56	56-63	63-70	70-77
	----- mg coluna ⁻¹ de N -----											
Testemunha	1,03c	1,46c	2,09c	2,69c	3,10e	3,60e	4,08e	4,95e	5,40de	6,03de	6,54de	7,00d
Cama	2,34b	3,32bc	4,45c	5,92c	7,44cd	9,12d	10,23d	11,57d	12,68c	13,65c	14,65c	15,65c
Cama+NBPT	2,03b	3,09bc	3,99c	5,17c	6,46de	7,95d	8,96d	9,93d	10,79cd	11,44cd	12,07cd	12,68c
KNO ₃	0,53c	1,12c	1,90c	2,66c	3,05e	3,60e	4,13e	4,60e	5,01e	5,59e	6,08e	6,73d
Ad. Revestido	1,00c	3,79b	12,31b	18,76b	24,55b	29,65b	32,12b	34,75b	36,65b	38,62b	40,62b	42,38b
Ureia	4,25a	16,42a	41,40a	49,69a	56,31a	61,85a	64,51a	67,75a	70,15a	72,08a	73,70a	74,95a
Ureia+NBPT	0,71c	1,31c	2,84c	5,24c	10,08c	18,29c	22,84c	28,37c	32,81b	36,45b	39,14b	41,74b

* Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.

Apêndice D. Volatilização diária de amônia (mg coluna⁻¹ dia⁻¹ de N) decorrentes da aplicação de cama de aves sobre a superfície de amostras de solo, durante os primeiros 77 dias após a adição dos fertilizantes orgânicos e minerais ao solo.

Tratamentos	Dias após a Aplicação											
	0-4	4-7	7-14	14-21	21-28	28-35	35-42	42-49	49-56	56-63	63-70	70-77
	-----mg coluna ⁻¹ dia ⁻¹ de N-----											
Testemunha	0,26cA	0,14cB	0,09cB	0,08dB	0,06cB	0,07cB	0,07cB	0,12cB	0,06dB	0,09cB	0,07dB	0,07cB
Cama	0,60bA	0,31cB	0,16cCD	0,21cdCD	0,22cCD	0,24cBC	0,16cCD	0,19cCD	0,16cdCD	0,14cD	0,14cdD	0,14bcD
Cama+NBPT	0,51bA	0,35bcB	0,13cC	0,17cdC	0,18cC	0,21cC	0,14cC	0,14cC	0,12dC	0,09cC	0,09dC	0,09cC
KNO ₃	0,13cAB	0,20cA	0,11cB	0,11dB	0,05cB	0,08cB	0,07B	0,07cB	0,06dB	0,08cB	0,07dB	0,09cB
Ad. Revestido	0,25cC	0,93bAB	1,22bA	0,92bAB	0,83abB	0,73bB	0,35bC	0,37bC	0,27bcC	0,28bC	0,29abC	0,25abC
Ureia	1,06aB	4,06aA	3,57aA	1,18aB	0,94aBC	0,79bBC D	0,38bDE	0,46bCDE	0,34bDE	0,28bDE	0,23bcE	0,18bcE
Ureia+NBPT	0,18cE	0,20cE	0,22cE	0,34cDE	0,69bBC	1,17aA	0,65aBC	0,79aB	0,63aBC	0,52aCD	0,38aDE	0,37aDE

Letras minúsculas nas colunas comparam as perdas de amônia entre os diferentes fertilizantes em cada dia avaliado; letras maiúsculas nas linhas comparam os efeitos da época (dias) em cada tratamento. Médias seguidas pela mesma letra na linha ou na coluna não diferem pelo teste de Tukey, com 5% de significância. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiosulfato de N-n-butiltriamida.

Apêndice E. Perda acumulada de N por lixiviação de amônio, decorrente da aplicação superficial de 400 kg ha⁻¹ de Nitrogênio (200 mg coluna⁻¹ de N), relativamente ao teor de N total volatilizado dos diferentes fertilizantes. Médias de quatro repetições.

Tratamentos	Dias após a Aplicação										
	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77
	----- mg coluna ⁻¹ de N -----										
Testemunha	0,01b	0,01b	0,06b	0,09b	0,09b	0,09b	0,10b	0,10b	0,14b	0,16b	0,16b
Cama	0,02ab	0,06b	0,12b	0,13b	0,16b	0,16b	0,16b	0,16b	0,16b	0,18b	0,18b
Cama+NBPT	0,01b	0,05b	0,10b	0,12b	0,15b	0,15b	0,15b	0,15b	0,15b	0,16b	0,16b
KNO ₃	0,02ab	0,04b	0,17b	0,23b	0,25b	0,28b	0,30b	0,33b	0,33b	0,34b	0,34b
Ad. Revestido	0,01ab	0,28b	0,53b	0,69b	0,91b	1,00b	1,13b	1,25b	1,30b	1,33b	1,33b
Ureia	0,23a	0,54b	0,91b	1,26b	1,62b	2,14b	2,53b	2,86b	3,01b	3,06b	3,06b
Ureia+NBPT	0,11ab	3,51a	6,61a	9,37a	12,11a	14,91a	16,74a	17,61a	17,88a	18,03a	18,04a

Letras minúsculas nas colunas comparam as perdas de amônia entre os diferentes fertilizantes em cada dia avaliado. Médias sucedida pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, com 5% de significância. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.

Apêndice F. Perda acumulada de N por lixiviação de nitrato, decorrente da aplicação superficial de 400 kg ha⁻¹ de Nitrogênio (200 mg coluna⁻¹ de N), relativamente ao teor de N total volatilizado dos diferentes fertilizantes. Médias de quatro repetições.

Tratamentos	Dias após a Aplicação										
	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77
	----- mg coluna ⁻¹ de N -----										
Testemunha	3,20b	8,16b	10,54b	11,45b	12,11c	12,59d	13,68d	15,35d	17,26e	18,81e	20,17e
Cama	3,40b	7,57b	9,59b	10,56b	14,46c	26,11d	34,71d	38,65d	40,61d	42,12d	43,54d
Cama+NBPT	3,16b	8,01b	10,52b	11,76b	15,87c	28,08d	36,69d	41,23d	43,81d	45,50d	49,96d
KNO ₃	25,78a	98,96a	161,41a	189,28a	198,71a	204,02a	207,75a	210,11a	211,75a	212,79a	213,68a
Ad. Revestido	3,29b	8,28b	10,57b	12,75b	22,04bc	55,95c	91,43c	117,44c	131,88c	139,66c	144,99c
Ureia	4,03b	9,18b	12,00b	15,12b	30,18b	75,51bc	121,26b	150,95b	168,22b	175,47b	179,03b
Ureia+NBPT	2,83b	8,25b	10,79b	14,43b	35,02b	82,94b	124,54b	149,54b	159,40b	163,08b	165,57b

Letras minúsculas nas colunas comparam as perdas de amônia entre os diferentes fertilizantes em cada dia avaliado. Médias sucedida pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, com 5% de significância. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.

Apêndice G. Perda acumulada de N por lixiviação de amônio + nitrato, decorrente da aplicação superficial de 400 kg ha⁻¹ de Nitrogênio (200 mg coluna⁻¹ de N), relativamente ao teor de N total volatilizado dos diferentes fertilizantes. Médias de quatro repetições.

Tratamentos	Dias após a Aplicação										
	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77
	----- mg coluna ⁻¹ de N -----										
Testemunha	3,21b	8,17b	10,60b	11,54bc	12,20d	12,68d	13,79d	15,45d	17,40e	18,97e	20,33e
Cama	3,42b	7,64b	9,71b	10,68c	14,62d	26,26d	34,87d	38,81de	40,77d	42,30d	43,72d
Cama+NBPT	3,16b	8,06b	10,63b	11,88bc	16,01d	28,23d	36,84d	41,37d	43,96d	45,66d	50,12d
KNO ₃	25,80a	99,00a	161,59a	189,51a	198,96a	204,30a	208,05a	210,44a	212,09a	213,13a	214,02a
Ad. Revestido	3,39b	8,55b	11,10b	13,44bc	22,96cd	56,94c	92,56c	118,69c	133,18c	141,00c	146,33c
Ureia	4,25b	9,72b	12,91b	16,38bc	31,80c	77,64bc	123,79b	153,81b	171,23b	178,54b	182,10b
Ureia+NBPT	2,95b	11,76b	17,40b	23,80b	47,13b	97,85b	141,28b	167,15b	177,28b	181,11b	183,61b

Letras minúsculas nas colunas comparam as perdas de amônia entre os diferentes fertilizantes em cada dia avaliado. Médias sucedida pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, com 5% de significância. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiosfato de N-n-butiltriamida.

Apêndice H. Lixiviação de amônio (mg coluna^{-1} percolação $^{-1}$) decorrentes da aplicação de cama de aves sobre a superfície de amostras de solo, durante os primeiros 77 dias após a adição dos fertilizantes orgânicos e minerais ao solo.

Tratamentos	Dias após a Aplicação										
	1-7	7-14	14-21	21-28	28-35	35-42	42-49	49-56	56-63	63-70	70-77
	----- mg coluna $^{-1}$ percolação $^{-1}$ de N -----										
Testemunha	0,01bA	0,01bA	0,05bA	0,03bA	0,01bA	0,00bA	0,01bA	0,00bA	0,04bA	0,02bA	0,00aA
Cama	0,02abAB	0,05bA	0,06bA	0,01bB	0,03bAB	0,00bB	0,00bB	0,00bB	0,00bB	0,02bAB	0,00aB
Cama+NBPT	0,01bBC	0,04bAB	0,05bA	0,02bBC	0,02bABC	0,00bC	0,00bC	0,00bC	0,00bC	0,01bBC	0,00aC
KNO ₃	0,01abB	0,02bB	0,13bA	0,05bB	0,02bB	0,09bB	0,13bB	0,03bB	0,05bB	0,01bB	0,00aB
Ad. Revestido	0,10abABC	0,18bABC	0,26bA	0,16bABC	0,22bAB	0,03bABC	0,02bABC	0,12bABC	0,00bBC	0,03bBC	0,00aC
Ureia	0,23aAB	0,32bAB	0,37bAB	0,36bAB	0,35bAB	0,52bA	0,39bAB	0,34bAB	0,14abAB	0,06abB	0,00aB
Ureia+NBPT	0,11abD	3,40aA	3,10aA	2,76aAB	2,74aAB	2,80aAB	1,84aBC	0,86aCD	0,28aD	0,14aD	0,01aD

Letras minúsculas nas colunas comparam as perdas de amônia entre os diferentes fertilizantes em cada dia avaliado. Medias sucedida pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, com 5% de significância. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.

Apêndice I. Lixiviação de nitrato (mg coluna^{-1} percolação $^{-1}$) decorrentes da aplicação de cama de aves sobre a superfície de amostras de solo, durante os primeiros 77 dias após a adição dos fertilizantes orgânicos e minerais ao solo.

Tratamentos	Dias após a Aplicação										
	1-7	7-14	14-21	21-28	28-35	35-42	42-49	49-56	56-63	63-70	70-77
	----- mg coluna $^{-1}$ percolação $^{-1}$ de N -----										
Testemunha	3,20bB	4,96bA	2,38bBC	0,91cEFG	0,66dFG	0,48cG	1,09cDEFG	1,67bCDE	1,91bCD	1,55bCDEF	1,36aDEFG
Cama	3,40bCDE	4,17bC	2,02bDEF	0,96c	3,90dCD	11,64cA	8,61cB	3,94bCD	1,96bDEF	1,51bEF	1,42aEF
Cama+NBPT	3,16bC	4,85bBC	2,52bC	1,23cC	4,11dC	12,21cA	8,61cAB	4,54bBC	2,58bC	1,69bC	4,46aBC
KNO ₃	25,78aC	73,17aA	67,40aB	27,87aC	9,43cD	5,31cDE	3,73cDE	2,35bE	1,65bE	1,04bE	0,89aE
Ad. Revestido	3,29bC	4,99bBC	2,29bC	2,18bcC	9,30cBC	33,90bA	35,49bA	26,00aA	14,44abB	7,78aBC	5,33aBC
Ureia	4,03bDE	5,16bDE	2,82bE	3,12bE	15,06bCD	45,33abA	45,76aA	29,69aB	17,27aC	7,25aCDE	3,56aDE
Ureia+NBPT	2,83bE	5,41bDE	2,55bE	3,64bE	20,59aC	47,92aA	41,59abB	25,01aC	9,86bD	3,68abE	2,63aE

Letras minúsculas nas colunas comparam as perdas de amônia entre os diferentes fertilizantes em cada dia avaliado. Medias sucedida pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, com 5% de significância. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.

Apêndice J. Lixiviação de amônio + nitrato (mg coluna^{-1} percolação $^{-1}$ de N) decorrentes da aplicação de cama de aves sobre a superfície de amostras de solo, durante os primeiros 77 dias após a adição dos fertilizantes orgânicos e minerais ao solo.

Tratamentos	Dias após a Aplicação										
	1-7	7-14	14-21	21-28	28-35	35-42	42-49	49-56	56-63	63-70	70-77
	----- mg coluna $^{-1}$ percolação $^{-1}$ de N -----										
Testemunha	3,21bB	4,97bA	2,43cBC	0,94eEF	0,67dEF	0,48cF	1,10cDEF	1,67bCDE	1,95bCD	1,57bCDE	1,36aDEF
Cama	3,42bCDE	4,22bC	2,08cDEF	0,97eF	3,93dCD	11,64cA	8,61cB	3,94bCD	1,96bDEF	1,53bEF	1,42aEF
Cama + NBPT	3,16bC	4,89bBC	2,57bcC	1,25deC	4,14dC	12,21cA	8,61cAB	3,94bBC	1,96bC	1,53bC	1,42aBC
KNO ₃	25,80aC	73,20aA	62,59aB	27,92aC	9,45cD	5,34cDE	3,75cDE	2,39bE	1,65bE	1,05bE	0,89aE
Ad. Revestido	3,39bC	5,17bBC	2,55cC	2,34cdC	9,51cBC	33,99bA	35,62bA	26,13aA	14,49aB	7,82aBC	5,33aBC
Ureia	4,25bDE	5,47bDE	3,19bcE	3,47cE	15,41bCD	45,85abA	46,15aA	30,02aB	17,42aC	7,30aCDE	3,56aE
Ureia + NBPT	2,95bEF	8,81bDE	5,65bDEF	6,40bDEF	23,33aC	50,72aA	43,43abB	25,87aC	10,13aD	3,82abEF	2,51aF

Letras minúsculas nas colunas comparam as perdas de amônia entre os diferentes fertilizantes em cada dia avaliado. Médias sucedida pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, com 5% de significância. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiosfato de N-n-butiltriamida.

Apêndice K. Mineralização de amônio (mg kg^{-1} coleta⁻¹ de N) decorrentes da aplicação de cama de aves sobre a superfície de amostras de solo, durante os primeiros 77 dias após a adição dos fertilizantes orgânicos e minerais ao solo.

Tratamentos	Dias após a Aplicação											
	0-4	4-7	7-14	14-21	21-28	28-35	35-42	42-49	49-56	56-63	63-70	70-77
	----- mg kg ⁻¹ coleta ⁻¹ de N -----											
Testemunha	4,8cB	4,9eB	4,1cB	4,1dB	5,6dAB	4,73cB	3,0dB	6,1eAB	4,0dB	7,3dAB	14,0cA	5,6cAB
Cama	32,8bcA	27,6dA	26,3cA	26,3cA	30,8cA	30,6cA	28,7cA	31,7dA	28,3cA	26,9cA	11,9cB	12,6cB
Cama+NBPT	27,4bcAB	27,5dAB	24,9cAB	24,4cAB	27,6cA	27,6cA	27,8cA	29,4dA	28,1cA	24,9cAB	14,5cBC	10,1cC
KNO ₃	8,3cAB	5,9eB	9,2cAB	7,1dAB	8,2dAB	7,5cAB	7,65dAB	10,6eA	7,4dAB	10,5dA	9,8cA	9,3cAB
Ad. Revestido	35,3bcC	72,5cB	93,8bAB	95,5bAB	104,8cA	98,7bAB	113,7bA	118,7cA	117,4bA	118,0bA	121,0bA	121,8bA
Ureia	127,8aB	185,4aA	199,0aA	186,3aA	203,5aA	207,3aA	207,1aA	207,6aA	200,6aA	198,0aA	191,5aA	188,9aA
Ureia+NBPT	47,2bD	124,5bC	187,2aAB	185,9aB	197,1aAB	199,6aAB	200,5aA	193,8bAB	197,3aAB	198,9aAB	190,9aAB	188,9aAB

Letras minúsculas nas colunas comparam as perdas de amônia entre os diferentes fertilizantes em cada dia avaliado. Médias sucedida pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, com 5% de significância. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.

Apêndice L. Nitrificação do N-NO₃⁻ (mg kg⁻¹ coleta⁻¹ de N), decorrente da aplicação superficial de 400 kg ha⁻¹ de Nitrogênio (200 mg coluna⁻¹ de N), relativamente ao teor de N total volatilizado dos diferentes fertilizantes. Médias de quatro repetições,

Tratamentos	Dias após a Aplicação											
	0-4	4-7	7-14	14-21	21-28	28-35	35-42	42-49	49-56	56-63	63-70	70-77
	----- mg kg ⁻¹ coleta ⁻¹ de N -----											
Testemunha	5,6bF	9,2bCDEF	12,4bBCD	8,9bDEF	7,7bEF	10,2bCDE	7,9bEF	16,7bA	10,6bBCD	13,2bABC	14,4bAB	16,7bcA
Cama	7,7bB	10,3bB	8,9bB	8,5bB	7,0bB	7,1bB	9,0bB	12,9bB	12,3bB ^F	16,7bB	32,1bA	37,9bA
Cama+NBPT	9,9bC	9,0bC	9,9bC	11,4bC	8,5bC	5,6bC	8,9bC	13,8bBC	13,1bBC	18,5bABC	26,8bAB	31,7bcA
KNO ₃	212,2aAB	211,2aAB	202,8aAB	171,8aC	205,0aAB	216,7aAB	203,0aAB	225,0aA	211,3aAB	204,1aAB	178,7aBC	212,1aAB
Ad. Revestido	10,5bB	9,1bB	7,1bB ^C	8,1bB	8,6bB ^C	6,7bB	8,5bB ^C	17,0bA	12,1bAB	10,1bB ^C	10,2bB	12,2cAB
Ureia	10,6bB	10,7bB	8,1bB	11,5bAB	10,4bB	9,0bB	15,9bAB	13,4bAB	10,8bB	12,0bAB	15,9bAB	27,4bcA
Ureia+NBPT	9,0bBC	9,0bBC	5,9bC	10,6bBC	5,9bC	9,1bBC	11,3bABC	13,5bAB	9,3bBC	11,8bABC	10,8bABC	17,9bcA

Letras minúsculas nas colunas comparam as perdas de amônia entre os diferentes fertilizantes em cada dia avaliado. Médias sucedida pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, com 5% de significância. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.

Apêndice M. N mineral recuperado no solo ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) (mg kg^{-1} coleta⁻¹ de N^{-1}) decorrentes da aplicação de cama de aves sobre a superfície de amostras de solo, durante os primeiros 77 dias após a adição dos fertilizantes orgânicos e minerais ao solo.

Tratamentos	Dias após a Aplicação											
	0-4	4-7	7-14	14-21	21-28	28-35	35-42	42-49	49-56	56-63	63-70	70-77
	----- mg kg ⁻¹ coleta ⁻¹ de N -----											
Testemunha	10,4dD	14,2dBCD	16,6cBCD	13,1cCD	13,3dCD	15,0cBCD	10,9dD	22,8eAB	14,9dBCD	20,5dABC	28,5cA	22,3dABC
Cama	40,5cdBC	37,9dBC	35,2cC	34,8cC	37,8cBC	37,7cBC	37,7cBC	44,6dAB	40,7cBC	43,5cAB	44,0cAB	50,5cA
Cama+NBPT	37,3cdAB	36,5dAB	34,8cAB	35,8cAB	36,1cAB	33,2cB	36,8cAB	43,3dA	41,2cAB	43,5cA	41,2cAB	41,7cAB
KNO ₃	220,5aAB	217,1aABC	212,0aABC	178,9aBC	213,2aABC	224,2aAB	210,7aABC	235,7aA	218,7aABC	214,7aABC	188,5aBC	221,4aAB
Ad. Revestido	45,8cE	81,6cD	100,9bCD	103,5bBCD	113,5bABC	105,3bABC	122,2bABC	135,7cA	129,5bABC	128,1bABC	131,1bABC	133,9bAB
Ureia	138,5bC	196,0aB	207,1aAB	197,8aAB	213,9aAB	216,3aAB	223,0aA	220,9abAB	211,4aAB	210,0aAB	207,4aAB	216,3aAB
Ureia+NBPT	56,2cD	133,5bC	193,1aB	196,5aAB	203,0aAB	208,7aAB	211,7aA	207,3bAB	206,6aAB	210,8aA	201,7aAB	206,8aAB

Letras minúsculas nas colunas comparam as perdas de amônia entre os diferentes fertilizantes em cada dia avaliado. Medias sucedida pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, com 5% de significância. * Ad. Revestido = Tratamento Adubo revestido com polímeros, * NBPT = tiofosfato de N-n-butiltriamida.