

VANESSA JÚNIA MACHADO

**APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES COM DIFERENTES TECNOLOGIAS:
VOLATILIZAÇÃO DE NH₃**

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Doutorado, área de concentração em Solos, para obtenção do título de “Doutor”.

Orientadora

Prof^a. Dr^a. Regina Maria Quintão Lana

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2015

VANESSA JÚNIA MACHADO

**APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES COM DIFERENTES TECNOLOGIAS:
VOLATILIZAÇÃO DE NH₃**

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Doutorado, área de concentração em Solos, para obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 25 de Junho de 2015.

Prof. Dr. Beno Wedling UFU

Prof. Dr. Reginaldo de Camargo UFU

Prof. Dr. Carlos Henrique Eiterer de Souza Unipam

Prof. Dr. Valdeci Orioli Júnior IFTM

Prof^a. Dr^a Regina Maria Quintão Lana
ICIAG-UFU
(Orientadora)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

M149a Machado, Vanessa Júnia,
2015 Aplicação de fertilizantes com diferentes tecnologias: volatilização
 de NH₃ / Vanessa Júnia Machado. - 2015.
 62 f. : il.

Orientadora: Regina Maria Quintão Lana.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa
de Pós-Graduação em Agronomia.
Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Teses. 2. Fertilizantes nitrogenados - Teses. 3.
Nitrogênio na agricultura - Teses. I. Lana, Regina Maria Quintão. II.
Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em
Agronomia. III. Título.

CDU: 631

**Aos meus pais, Valter e Maria José, e ao meu marido, Carlos Henrique, e à minha
filha Ana Cristina,
dedico.**

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Valter e Maria José, por todo o amor, o incentivo, a confiança, a educação, a paciência e as oportunidades que me deram.

Ao meu marido, Carlos Henrique, por todo o amor, o incentivo, os ensinamentos, o companheirismo e os sonhos partilhados.

À minha orientadora, Prof^a. Regina, pela oportunidade de trabalharmos juntas, pelo conhecimento transferido, pela orientação deste trabalho, pela confiança depositada em mim e pela grande amizade formada.

Aos membros da banca, Beno Wedling, Reginaldo de Camardo, Carlos Henrique Eiterer de Souza e Valdeci Orioli Júnior pelos inúmeros ensinamentos, conselhos e atenção em relação a este trabalho.

Aos meus amigos, Anderson e Soraia, pela generosidade.

À Universidade Federal de Uberlândia e ao Instituto de Ciências Ambientais e Agrárias, por permitirem a realização do doutorado, por todo o suporte e pelo conhecimento proporcionado.

Aos funcionários do Programa de Pós-graduação em Agronomia da UFU, Aparecida e Eduardo, por toda a atenção e apoio.

Ao Centro Universitário de Patos de Minas, pelo apoio e ajuda na condução e análise dos experimentos.

Ao Prof. Carlos Henrique Eiterer de Souza e aos demais membros da equipe do Laboratório de Fertilidade do Solo - CeFert.

À EPAMIG, unidade de Patos de Minas, por todo o suporte e fornecimento de área para realização dos experimentos.

Aos mestres, pelo conhecimento e sabedoria que me foram transmitidos.

A todos os amigos e colegas da graduação e pós-graduação do ICIAG.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para este trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
CAPÍTULO 1	1
1 INTRODUÇÃO GERAL	2
1.1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	8
CAPÍTULO 2: Volatilização de NH ₃ com aplicação de fertilizantes nitrogenados com diferentes tecnologias aplicados em lavoura de milho.	11
RESUMO	12
ABSTRACT	13
2.1 INTRODUÇÃO	14
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	16
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
2.4 CONCLUSÕES	30
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
CAPÍTULO 3: Volatilização de NH ₃ em lavoura cafeeira após aplicação de fertilizantes nitrogenados com diferentes tecnologias.	33
RESUMO	34
ABSTRACT	35
3.1 INTRODUÇÃO	36
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	37
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
3.4 CONCLUSÕES	55
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
ANEXO	60

LISTA DE TABELAS

	Página
2.1. Descrição dos fertilizantes aplicados a lanço sobre a cultura do milho irrigado para a quantificação de N- NH ₃ volatilizado. Patos de Minas, 2015.	22
2.2. Descrição dos fertilizantes aplicados a lanço sobre a cultura do milho sequeiro para a quantificação de N- NH ₃ volatilizado. Patos de Minas, 2015.	23
2.3. Análise de variância das perdas de volatilização de N-NH ₃ , capturadas em kg ha ⁻¹ dia ⁻¹ , em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em cobertura a lanço na lavoura de milho irrigado. Patos de Minas, 2015.	23
2.4. Análise de variância das perdas acumuladas de volatilização de N-NH ₃ , em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em cobertura a lanço na lavoura de milho irrigado. Patos de Minas, 2015.	28
2.5. Valores médios de N-NH ₃ volatilizado capturados em kg ha ⁻¹ dia ⁻¹ , total de N-NH ₃ capturado em dezesseis dias e Índice de Volatilização Relativa (IVR) em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em cobertura a lanço em lavoura de milho irrigado. Patos de Minas, 2015.	28
2.6. Análise de variância das perdas de volatilização de N-NH ₃ , capturadas em kg ha ⁻¹ dia ⁻¹ , em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em cobertura a lanço em lavoura de milho sequeiro. Patos de Minas, 2015.	30
2.7. Valores médios de N-NH ₃ volatilizado em kg ha ⁻¹ dia ⁻¹ em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em superfície na cultura do milho sequeiro, Patos de Minas, 2015.	33
3.1. Descrição dos fertilizantes que foram aplicados a lanço na lavoura de café Acauã irrigado para a quantificação de N- NH ₃ volatilizado. Patos de Minas, 2015.	34
3.2. Descrição dos fertilizantes aplicados a lanço na lavoura cafeeira Catuaí de sequeiro. Patos de Minas, 2015.	46
3.3. Análise de variância de perdas de volatilização de N-NH ₃ . Patos de Minas, 2015.	47
3.4. Valores médios de N-NH ₃ volatilizado em kg ha ⁻¹ dia ⁻¹ em função da aplicação de 11 fontes de fertilizantes nitrogenados em superfície na cultura do cafeeiro Acauã. Patos de Minas, 2015.	50
3.5. Análise de variância de perdas de volatilização de N-NH ₃ em cafeeiro Catuaí de sequeiro. Patos de Minas, 2015.	54
3.6. Análise de variância de perdas totais de volatilização de N-NH ₃ em cafeeiro Catuaí de sequeiro. Patos de Minas, 2015.	57
3.7. Valores médios de N-NH ₃ capturado em kg ha ⁻¹ dia ⁻¹ em função da aplicação de oito fontes de fertilizantes nitrogenados em superfície na cultura do café Catuaí de sequeiro. Patos de Minas, 2015.	57

LISTA DE FIGURAS

	Página
2.1. Esquema do sistema coletor de N-NH ₃ semi-aberto livre estático – SALE (ARAÚJO et al., 2009). Patos de Minas, 2015.	25
2.2. Instalação do sistema coletor de N-NH ₃ semi-aberto livre estático – SALE (ARAÚJO et al., 2009). Patos de Minas, 2015. Fotos do autor.	25
2.3. Taxa diária (A) e acumulado (B) de perdas de N-NH ₃ por volatilização em Kg ha ⁻¹ proveniente de fontes nitrogenadas aplicadas em cobertura a lanço em lavoura de milho irrigado. Fertilizante Organomineral (OM); Organomineral NBPT (OM NBPT); Organomineral Nim (OMNIM); Ureia convencional (Ureia); Ureia NBPT (SuperN [®]); Producote [®] (PROD37 - 37-00-00) e Producote [®] (PROD38 -38-00-00). Patos de Minas, 2015.	27
2.4. Total de perdas de N-NH ₃ por volatilização em Kg ha ⁻¹ proveniente de fontes nitrogenadas aplicas em cobertura a lanço em lavoura de milho irrigado. Fertilizante Organomineral (OM); Organomineral NBPT (OM NBPT); Organomineral Nim (OMNIM); Ureia convencional (Ureia); Ureia NBPT (SuperN [®]); Producote [®] (PROD37 - 37-00-00) e Producote [®] (PROD38 -38-00-00). Patos de Minas, 2015.	31
2.5. Valores médios de N-NH ₃ volatilizado em kg ha ⁻¹ dia ⁻¹ em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em superfície na cultura do milho sequeiro. Patos de Minas, 2015.	32
2.6. Taxa diária (A) e acumulada (B) de N-NH ₃ volatilizado em kg ha ⁻¹ dia ⁻¹ em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em superfície na cultura do milho sequeiro, Patos de Minas, 2015.	35
3.1. Temperaturas máxima e mínima e pluviosidade coletadas no período de avaliação da volatilização de NH ₃ , após a aplicação das fontes nitrogenadas. Patos de Minas, 2015.	36
3.2. Temperaturas máxima e mínima e pluviosidade coletadas no período de avaliação da volatilização de NH ₃ , após a aplicação das fontes nitrogenadas. Patos de Minas, 2015.	45
3.1. Esquema do sistema coletor de N-NH ₃ semi-aberto livre estático – SALE (ARAÚJO et al., 2009). Patos de Minas, 2015.	47
3.4. Instalação do sistema coletor de N-NH ₃ semi-aberto livre estático – SALE (ARAÚJO et al., 2009). Patos de Minas, 2015. Fotos do autor.	48
3.5. Taxa diária (A) e acumulada (B) de perdas de N-NH ₃ por volatilização em kg ha ⁻¹ proveniente de fontes nitrogenadas aplicadas a lanço na cultura do cafeeiro cultivar Acauã, 58 dias após a aplicação de 100 Kg ha ⁻¹ de N. Patos de Minas, 2015.	52
3.6. Volatilização de N-NH ₃ (kg ha ⁻¹ dia ⁻¹) acumulados proveniente de fontes nitrogenadas aplicadas a lanço na cultura do cafeeiro cultivar Acauã, 58 dias após a aplicação de 100 Kg ha ⁻¹ de N. Patos de Minas, 2015.	56
3.7. Taxa diária (A) e acumulada (B) de perdas de N-NH ₃ por volatilização em	58

kg ha⁻¹ proveniente de fontes nitrogenadas aplicadas a lanço na cultura do cafeiro cultivar Catuai, 31 dias após a aplicação de 100 Kg ha⁻¹ de N. Patos de Minas, 2015.

3.8. Resultados da volatilização de N-NH₃ (kg ha⁻¹ dia⁻¹) acumulados provenientes de fontes nitrogenadas aplicadas a lanço na cultura do cafeiro cultivar Catuai, 31 dias após a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N. Patos de Minas, 2015.

60

RESUMO

MACHADO, VANESSA JÚNIA. **Aplicação de fertilizantes com diferentes tecnologias: volatilização de NH₃.** 2015. 62 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia¹.

A atividade agropecuária torna-se mais sustentável ao baixar os custos de produção, o que vai ao desencontro da eficiência no uso de fertilizantes, com os quais o setor ainda convive com perdas de nutrientes. Diferentes trabalhos têm mostrado que as perdas ocorrem de maneiras diferentes devido à falta de qualidade dos fertilizantes ou à forma de manejo empregada na distribuição deles. Nesse sentido, a mistura de ureia com outros fertilizantes nitrogenados pode reduzir, ou as perdas de NH₃ por volatilização, ou o revestimento dessa com substâncias inibidoras de urease, ou o retardamento de sua liberação. O uso de polímeros no revestimento da ureia vem sendo apresentado como uma nova alternativa na redução da volatilização do N. Porém, por se tratar de um produto em início de pesquisas, pouco se sabe sobre seu comportamento. Os fertilizantes polimerizados com inibidores de urease e os organominerais podem reduzir a volatilização de N-NH₃, quando comparados às fontes tradicionais como a ureia. Novas tecnologias em fertilizantes nitrogenados podem reduzir as perdas de N, o que pode proporcionar maior eficiência na aplicação, disponibilidade e absorção de N pelas plantas.

Att.

Palavras-chave: Fertilizante polimerizado; organomineral; nitrogênio com aditivos.

¹Orientador: Prof^a. Dr^a. Regina Maria Quintão Lana

ABSTRACT

MACHADO, VANESSA JÚNIA. **Application of fertilizers with different technologies: NH₃ volatilization.** 2015. 62 f. Thesis (Doctorate in Agriculture) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia².

Agricultural activity becomes more sustainable when production costs decrease, which is opposite to fertilizer use efficacy, where the sector still faces nutrient losses. Several studies have shown that losses occur differently due to lack of fertilizer quality or to management employed on fertilizer distribution. Thus, mixing urea with other nitrogen fertilizers can reduce losses of NH₃ by volatilization, or coating it with urease inhibiting substances, or with liberation retardants. The use of polymers for coating urea is presented as a new option for reducing N volatilization; however, since few studies have been done, little is known about its performance. Polymerized fertilizers, with urease inhibitors and organomineral ones can reduce N-NH₃ volatilization in comparison to traditional N sources, such as urea. New technologies in nitrogen fertilizers can reduce N losses, which may lead to greater application efficacy, availability and absorption by plants.

Keywords: Polymerized fertilizer; organomineral; nitrogen with additives.

² Supervisor: Prof Dr Regina Maria Quintão Lana

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO GERAL

O nitrogênio figura entre os nutrientes mais limitantes à elevação dos índices de produtividade em cultivos agrícolas, uma vez que é o mais requerido e extraído pelas plantas cultivadas. Na planta, o nitrogênio possui as mais variadas funções, participando como componente, desde as vitaminas até as moléculas de clorofila (LOPES, 1989).

As formas de nitrogênio mais absorvidas pelas plantas são amônio (NH_4) e nitrato (NO_3), os quais representam menos de 2% do nitrogênio total do solo. Além de considerar que quase todo o nitrogênio do solo se faz presente na forma orgânica, é importante também relevar aquele que será mineralizado durante o ciclo da cultura (STEVENSON, 1986).

No território brasileiro, o fertilizante nitrogenado utilizado nas áreas sob cultivo tem sido a ureia, principalmente devido a sua concentração e ao seu baixo custo unitário. No entanto, também é a que apresenta maiores possibilidades de perdas, principalmente pela volatilização de NH_3 , processo que diminui a eficiência do fornecimento de N para as plantas quando utilizado esse fertilizante (CANTARELLA et al., 2007).

As emissões de N (volatilização) na forma de NH_3 são estimadas em cerca de 54 Tg ano⁻¹. As perdas por volatilização de NH_3 em solos dependem do pH. Em condições de pH ácido, a espécie química predominante é o NH_4^+ . Em solos alcalinos, qualquer fertilizante nitrogenado que contenha N amoniacial está sujeito a perdas de NH_3 por volatilização, embora seja muito baixa a ocorrência de solos com essas características no Brasil. No entanto, a ureia, quando aplicada ao solo, passa por hidrólise enzimática, liberando N amoniacial. (CANTARELLA, 2007).

Quando aplicada no solo, a ureia é rapidamente hidrolisada em compostos como CO_2 , H_2O e NH_4 , e esse último transformado em gás amônia (NH_3), é emitido para a atmosfera. Tais reações são gerenciadas pela presença de umidade no solo e pela ação da enzima biológica urease, comumente presente em solos agricultáveis, sendo que as condições que favorecem a ação enzimática são pH, temperatura e umidade do solo elevados (CANTARELLA et al., 2007).

Os fertilizantes nitrogenados, além de apresentarem custos elevados na produção, formulação, armazenamento e aplicação, são também referenciados como responsáveis pelo aumento da emissão do gás N_2O deixando-o disponível na atmosfera (KRISTENSEN, 2002).

O óxido nitroso é um gás traço com uma razão de mistura na atmosfera de aproximadamente 314 partes por bilhão por volume, cuja concentração atmosférica tem crescido de 0,2-0,3% ao ano nos últimos 20-30 anos (WATSON, 1990). É um dos importantes gases do efeito estufa, pois na baixa atmosfera absorve eficientemente a radiação infravermelha vinda da superfície terrestre, e na estratosfera ele tem papel fundamental em ciclos de destruição catalítica do ozônio (CICERONE, 1987).

Em solos em condições favoráveis de umidade, a emissão do óxido nitroso pode chegar a 1,25 % do N-fertilizante aplicado (DALAL, 2003). Essa emissão pode parecer baixa comparada à entrada de N no sistema. Contudo, para o ambiente, essa quantidade pode ser elevada se considerar que o potencial de aquecimento global do N₂O é de aproximadamente 300 vezes maior que o CO₂ (IPCC, 2001).

Dessa forma, uma das dificuldades encontradas pela planta em absorver esse nutriente é sua rápida perda por diversos processos. Alternativas tecnológicas são procuradas para reduzir os prejuízos causados por esse fato. Uma das alternativas disponíveis no mercado diz respeito à utilização de revestimento nos grânulos de fertilizantes, os quais possuem objetivo de diminuir as perdas naturais por lixiviação, volatilização e fixação potencializando a ação do fertilizante (LOPES, 1989).

A mistura de ureia com outros fertilizantes nitrogenados pode reduzir ou as perdas de NH₃ por volatilização, ou o revestimento dela com substâncias inibidoras de urease ou que retardam a sua liberação (CANTARELLA, 2007).

Por outro lado, produtores agrícolas convivem com perdas de nutrientes na aplicação de fertilizantes. Essas perdas acontecem devido às diferentes maneiras de se aplicar tais produtos em consequência da falta de qualidade deles e também devido ao manejo empregado na sua distribuição (RAMBO et al., 2004; SILVA et al., 2006; COLLIER et al., 2006; ROJAS et al., 2012). Para minimizar essas perdas, o aparecimento de novos produtos no mercado, como fertilizantes polimerizados e os organominerais, por exemplo, é crescente. (SANGOI et al., 2003; ROCHETTE et al., 2009).

Existem várias possibilidades de escolha da fonte de nitrogênio (N) a ser utilizada. Em geral, para a escolha do fertilizante nitrogenado, o produtor baseia-se, geralmente, no custo da unidade de N, na disponibilidade e na eficiência da fonte aplicada. Porém, durante o processo de escolha da fonte nitrogenada deve-se atentar para a forma de aplicação que confere o melhor desempenho (TAVARES JÚNIOR; DALTO, 2004).

Os fertilizantes revestidos, chamados de fertilizantes de libertação controlada ou de liberação lenta, são aqueles que atrasam a disponibilidade inicial dos nutrientes ou incrementam a sua disponibilidade no tempo através de diferentes mecanismos. Não há uma diferenciação oficial entre fertilizantes de liberação controlada e de liberação lenta. Entretanto, os produtos de degradação microbiana, como ureia-formaldeído e outros, a ureia-aldeídos são comercialmente designados como fertilizantes de liberação lenta (“slow-release fertilizer”). Aqueles que são revestidos por películas de enxofre ou polímeros de natureza diversa são designados de fertilizantes de libertação controlada (“controlled release fertilizer”) (TRENKEL, 1997).

Os fertilizantes recobertos incluem compostos solúveis envolvidos por uma membrana semipermeável, que controla a liberação de nutrientes ao meio de cultivo (fertilizantes de liberação controlada) (BENNETT, 1996).

O emprego de fertilizantes revestidos tem por finalidade disponibilizar os nutrientes para as culturas por um maior período de tempo e aperfeiçoar a absorção pelas plantas reduzindo perdas por lixiviação (MORGAN et al., 2009).

As principais vantagens dos fertilizantes de liberação lenta ou controlada, segundo Shaviv (2001), são: fornecimento regular e contínuo de nutrientes na época necessária para as plantas; menor frequência de aplicações; redução de perdas de nutriente por lixiviação, desnitrificação (fonte de N_2O), imobilização e ainda volatilização; eliminação de danos causados a sementes e raízes devido à alta concentração de sais; maior praticidade no manuseio dos fertilizantes; redução da poluição ambiental pelo NO_3^- , atribuindo valor ecológico à atividade agrícola (menor contaminação de águas subterrâneas e superficiais); redução nos custos de produção.

Apesar do alto potencial dos fertilizantes de liberação lenta para aumentar a eficiência de aproveitamento de fertilizantes nitrogenados, o uso de tais produtos é limitado pelo alto custo em comparação com os fertilizantes tradicionais (CANTARELLA, 2007).

O uso de polímeros no revestimento da ureia é apresentado como uma nova opção na redução da volatilização do N, porém, por se tratar de um produto em início das pesquisas, pouco se sabe sobre seu comportamento.

Os fertilizantes organominerais são aqueles produtos resultantes da mistura de física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos (INSTRUÇÃO NORMATIVA N 23. DE 31 DE AGOSTO DE 2005). Kiehl (2008) relatou que o fertilizante organomineral apresentou potencial químico reativo menor que o fertilizante

mineral, sendo sua solubilização gradativa, de forma que as reações com N podem ser retardadas, permanecendo o nutriente por mais tempo no solo.

Ureas são enzimas dependentes de níquel que catalisam a reação de hidrólise da ureia à NH_3 e carbamato, o qual se decompõe espontaneamente para formar uma segunda molécula de NH_3 e dióxido de carbono (DIXON et al., 1975). Apresentam ampla distribuição em plantas, fungos e bactérias, mas não são sintetizadas por animais (CARTER et al., 2009).

O papel das ureases em plantas está relacionado ao reaproveitamento de nitrogênio a partir da ureia proveniente do catabolismo da arginina, que é a principal forma de armazenamento de nitrogênio em sementes e é degradada em ornitina e ureia pela arginase (SILVA, 2012). O aumento na atividade da arginase, com consequente aumento no conteúdo de ureia, também é observado durante a senescência em plantas. Nesta etapa, o nitrogênio armazenado na forma de arginina é metabolizado e transportado para as sementes em desenvolvimento. Todd e Polacco (2004) mostraram que a inibição da atividade de ambas ureases da soja leva ao acúmulo de ureia quando a planta está na fase de enchimento de grãos.

Com o objetivo de retardar a hidrólise da ureia, compostos com potencial de atuar como inibidores da urease têm sido avaliados, retardando as reações que levam a volatilização de N-NH_3 , até que a ureia possa ser incorporada pela chuva. Entre os produtos testados como inibidor da urease, o NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) tem obtido bons resultados (BREMNER; CHAY, 1986; BRONSON et al., 1989).

O inibidor ocupa o local de atuação da urease inativando a enzima, retardando o início e reduzindo o grau de velocidade de volatilização de N-NH_3 por aproximadamente 14 dias. O atraso na hidrólise reduz a concentração de N-NH_3 presente na superfície do solo, diminuindo o potencial de volatilização de N-NH_3 e permitindo o deslocamento da ureia para horizontes mais profundos do solo (CONTIN, 2007).

Resultados obtidos em condições controladas de laboratório indicam redução da atividade da urease com o aumento da concentração do NBPT aplicado com ureia (CARMONA et al., 1990). CHRISTIANSON et al., (1990) observaram 68% de inibição na hidrólise da ureia com 0,01 g de NBPT por kg de ureia e 1,5 a 3 vezes menos perdas de N-NH_3 quando o valor foi aumentado para 1g kg^{-1} .

Okumura (2013) escreveu que o incremento nas doses de adubo nitrogenado tratado com a molécula de NBPT proporcionou alterações significativas para as

seguintes variáveis respostas: altura da espiga, altura da planta, comprimento da espiga, diâmetro da espiga, teor de proteína nos grãos, rendimento de grãos, teores de N-Total e N-NO₃⁻ em todas as partes amostradas da planta, quando comparado com as plantas adubadas com ureia convencional.

Em pesquisa desenvolvida por Schlegel et al., (1986), sob sistema plantio direto com teor de 3,61 % de matéria orgânica do solo, verificou-se que aplicação em cobertura de ureia tratada com NPBT nas doses de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N proporcionou incrementos na produtividade do milho de 4000, 6400, 7500 e 8000 kg ha⁻¹, respectivamente.

Kaneko et al., (2013) verificaram que a fonte nitrato de amônio proporcionou as maiores produtividades de algodão em caroço, podendo a ureia revestida com NBPT ser mais eficiente que a tradicional, em condições ambientais adversas, principalmente relacionadas com a baixa precipitação logo após a cobertura, sendo que o uso da ureia com NBPT e nitrato de amônio proporcionou maior altura de plantas que a ureia convencional.

O uso de novas tecnologias aplicadas à ureia apresenta-se como uma nova alternativa na redução da volatilização do N. No entanto, por se tratar de um produto em início das pesquisas pouco se sabe sobre seu comportamento.

O modo como o fertilizante nitrogenado é aplicado no solo pode influenciar substancialmente as perdas de NH₃ por volatilização. A aplicação a certa profundidade, ou a incorporação dessa a camada superficial do solo, são práticas que levam a menores perdas do que a aplicação superficial, porque aumentam a chance da NH₃ ser retida no solo (RODRIGUES; KIEHL, 1986).

A quantidade de nitrogênio que se perde por meio da volatilização de NH₃ pode ser influenciada pela presença de resíduos culturais sobre a superfície do solo. Além disso, também pelo incremento de matéria orgânica, verificado nas camadas superficiais do solo cultivado sob sistema plantio direto, tendendo a aumentar a população microbiana e a CTC, o que acarreta maior atividade de urease, que catalisa a hidrólise da ureia, favorecendo a volatilização de NH₃ (BAYER; MIELNICZUK, 1997).

A volatilização da NH₃ é um processo rápido que ocorre na semana seguinte da aplicação de nitrogênio (DIEST, 1988). A hidrólise ocorre após dois a três dias, tendo uma ampla faixa de umidade de solo (BYRNES, 2000). Quanto mais rápida a hidrólise, maior o potencial de perda de NH₃. A adição de água tem influência direta sobre a hidrólise e promove o aumento da difusão da ureia e, consequentemente, maior contato

com a urease no solo (SAVANT et al., 1987). Desse modo, a volatilização de N-NH₃ é diretamente relacionado à temperatura, umidade, pH do solo e cobertura vegetal (ROCHETTE et al., 2009).

De acordo com Al-Kanani et al., (1991) as máximas perdas diárias de NH₃ por volatilização concentram-se nos primeiros seis dias após a aplicação do fertilizante. Os polímeros podem propiciar condições de controle e ser produzidas para sincronizar a liberação do N de acordo com as necessidades nutricionais das plantas ao longo do ciclo de cultivo (BLAYLOCK, 2007).

Leão (2008), que ao comparar as taxas de volatilização entre ureia e ureia revestida de polímero, observou o mesmo comportamento entre os tratamentos, quando os picos de perdas ocorreram simultaneamente.

1.1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-KANANI, T.; MACKENZIE, A. F.; BARTHAKUR, N. N. Soil water and ammonia volatilization relationships with surface-applied nitrogen fertilizer solutions. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.55, p.1761-1766, 1991.
- ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 432 p.
- BALL, B. C.; SCOTT. A.; PARKER, J. P. Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. **Soil & Tillage Research**, London, v. 53, p. 29-39. 1999.
- BATEMAN, E. J.; BAGGS, E. M. Contributions of nitrification and denitrification to N₂O emissions from soils at different water-filled pore space. **Biology and Fertility of soils**, Berlim, v. 41 p. 379-388. 2005.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, L. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 105-112, 1997.
- BENNETT, E. Slow-release fertilizers. Virginia Gardener Newsletter, Blacksburg, v.11, n.4, 1996. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Inovações tecnológicas no manejo do nitrogênio para o arroz irrigado**. Pelotas, dez. 2006. p.17-20. Disponível em: <www.ext.vt.edu/departments/envirohort/articles/misc/slowrels.html>. Acesso em: 1 out. 2011.
- BERGES, J. A. Algal nitrate reductases. **European Journal of Phycology**, London, v. 32, p. 3-8, 1997.
- BLAYLOCK, A. O futuro dos fertilizantes nitrogenados de liberação controlada. In: PROCHNOW, L. I. IPNI - Brasil: nova missão, novos tempos. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.120, p. 8-10, 2007.
- BYRNES, B. H. Liquid fertilizers and nitrogen solutions. In: INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER. **Fertilizer manual**. Alabama, Kluwer Academic, p. 20-44, 2000.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.
- CARMONA G., CHRISTIANSON C. B., BYRNES B. H. Temperature and low concentration effects of the urease inhibitor N-n-butyl thiophosphoric triamide (NBPT) on ammonia volatilization from urea. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 7, p. 933-937, 1990.
- CARTER, E. L. et al. Interplay of metal ions and urease. **Metallomics**, London, v. 1, p. 207-221, 2009.

Council for Agricultural Science and Technology. **Climate change and greenhouse gas mitigation:** challenges and opportunities for agriculture. Ames: CAST, 2004. 120 p.

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

CONTIN, T. L. M. **Uréia tratada com o inibidor da urease NBPT na adubação de cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo.** Campinas, 2007. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico, Campinas, 2007.

DALAL, R. C. et al. Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: a review. **Australian Journal of Soil Research**, Sidney, v. 41, p. 165-195, 2003.

DIEST, V. A. Volatilización del amoníaco en los suelos anegados, y sus repercusiones en el rendimiento de arroz. **Noticiarios de la Comisión Internacional del arroz**, FAO, v. 37, p. 1-6, 1988.

DIXON, N. E. et al. Jack bean urease (EC 3.5.1.5): a metalloenzyme: a simple biological role for nickel? **Journal of the American Chemical Society**, Washington, DC, v. 97, p. 4131-4133. 1975.

DOBBIE, K. E.; SMITH, K. A. The effects of temperature, water-filled pore space and land use on N₂O emissions from an imperfectly drained gleysol. **European Journal of Soil Science**, London, v. 52, p. 667-673, 2001.

DUXBURY, J. M. The significance of greenhouse gas from soils of tropical agroecosystems. In: LAL, R. et al. (Ed.) **Soil management and greenhouse effect**. Boca Raton: CRC Lewis Publishers, p.279-291, 1995. (Advances in Soil Science)

HARRISON, R.; WEBB, J. A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions. **Advances in Agronomy**, [S.l.], v. 73, p. 65-108, 2001.

HOUGHTON, Y. et al. (Ed.). **Climate change 2001:** the scientific basis. United King: IPCC, 2001.

HUANG, Y. et al. Nitrous oxide emissions as influenced by amendment of plant residues with different C:N ratios. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v.36, p. 973-981, 2004.

IPCC. In: HOUGHTON, J. T., et al. (Ed.). **Climate change 2001:** the scientific basis. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001.

KANEKO, F. H. et al. Fontes e manejos da adubação nitrogenada em algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 1, p. 57-63, 2013.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes organominerais.** Piracicaba: Edição do autor. 160p. 2008.

KRAVCHENKO, I. et al. Short-and medium effects of NH_4^+ on CH_4 and N_2O fluxes in arable soils with a different texture. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v.34, n.5, p. 669-678, 2002.

LEÃO A. F. **Volatilização de amônia resultante da aplicação de ureia na cultura do milho.** Jataí, 2008. 92p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2008.

MORGAN, K. T.; CUSHMAN, K. E.; SATO, S. Release mechanisms for slow- and controlled-release fertilizers and strategies for their use in vegetable production. **Horttechnology**, Alexandria, v. 19, n. 1, p. 10-12, 2009.

OKUMURA, R. S. Nutrição nitrogenada no milho fertilizado com ureia tratada com inibidor de urease. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 157-170, 2013.

ROCHETTE, P. et al. Banding of urea increased ammonia volatilization in a dry acidic soil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, WI, v. 38, p. 1383-1390, 2009.

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

RODRIGUEZ, M. B., KIEHL, J. C. Volatilização de amônia após emprego da ureia em diferentes doses em modo de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.10. p. 37-43, 1986.

SAVANT, N. K.; JAMES, A. F.; McCLEAN, G. H. Effect of amounts and sequence of additions of urea and water on hydrolysis of surface-applied granular urea in unsaturated soils. **Fertilizer Research**, Cambridge, MA, v. 11, p. 231-234, 1987.

SCHLEGEL, A. J.; NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Field evaluation of urease inhibitors for corn production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, n. 6, p. 1007-1012, 1986.

SHAVIV, A. Advances in controlled-release fertilizers. **Advances in Agronomy**, [S.l.], v. 71, p. 1-49, 2001.

SILVA, M. M. **Papel de ureases na nodulação de glycine max por Bradyrhizobium japonicum.** 2012. Tese (Doutorado em Biologia Celular e molecular) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [S.l.], 2012.

TAVARES JÚNIOR, J. E.; DALTO, G. **Manejo eficiente da adubação nitrogenada.** Divulgação técnica, [S.l.], 22, n.165, jan/fev/mar. 2004.

TRENKEL, M. E. **Improving fertilizer use efficiency:** controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. International Fertilizer Industry Association, Paris, 1997.

**CAPÍTULO 2: Volatilização de NH₃ com aplicação de fertilizantes nitrogenados
com diferentes tecnologias aplicados em lavoura de milho.**

RESUMO

MACHADO, VANESSA JÚNIA. **Volatilização de NH₃ com aplicação de fertilizantes nitrogenados com diferentes tecnologias aplicados em lavoura de milho.** 2015. 62 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia³.

O nitrogênio é um dos nutrientes mais exigidos pelas culturas, apresentando inúmeras funções na planta. Sua dinâmica é bastante influenciada pelas condições ambientais e pelo manejo e a forma como a adubação nitrogenada é aplicada no solo pode influenciar substancialmente as perdas de NH₃ por volatilização. Diferentes tecnologias em fertilizantes nitrogenados são desenvolvidas para tentar reduzir as perdas desse nutriente. O objetivo deste estudo foi avaliar a volatilização de NH₃ em função da aplicação de fertilizantes nitrogenados em lavoura de milho irrigada e de sequeiro. Nesse contexto, realizou-se dois trabalhos com delineamento em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas no tempo, constituído por diferentes fontes de N, sendo Nitrato de Amônio, Ureia Convencional, Ureia Polimerizada, Ureia NBPT e Organomineral na dose de 100 kg ha⁻¹, e as coletas foram realizadas aos 2, 4, 6, 8, 12, 16 e 24 dias após aplicação dos fertilizantes. As perdas de nitrogênio por volatilização foram determinadas pelo método do coletor semiaberto tipo SALE. Em área irrigada por aspersão, as maiores perdas por volatilização foram observadas com a aplicação de ureia convencional, sendo o pico de volatilização observado entre o segundo e quarto dias após aplicação; a adição de pó de folhas de nim ao fertilizante organomineral não foi eficiente para a inibição do processo de volatilização de NH₃; o fertilizante polimerizado 2 apresentou as menores taxas de volatilização de NH₃ dentre as fontes avaliadas; para o experimento de sequeiro, o fertilizante organomineral apresentou baixa taxa de volatilização e menor influência da umidade em relação as fontes minerais revestidas e o fertilizante Producote apresentou as menores taxas de volatilização, acentuando o efeito de proteção e longevidade do fertilizante após aplicação.

Palavras-chave: Ureia revestida, organomineral, perdas de N.

³Orientador: Prof^a. Dr^a. Regina Maria Quintão Lana

ABSTRACT

MACHADO, VANESSA JÚNIA. NH_3 volatilization after the application of nitrogen fertilizers with different technologies in maize. 2015. 62 f. Thesis (Doctorate in Agriculture) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia⁴.

Nitrogen is one of the most demanded nutrients by crops, and it has many functions in plants. Since its dynamic is greatly affected by environment and management, the soil application mode can substantially affect losses of NH_3 by volatilization. Different technologies in nitrogen fertilizers are being developed to reduce losses of this nutrient. This study evaluated NH_3 volatilization as a function of application of nitrogen fertilizers in irrigated and non irrigated maize. Two assays were done in randomized blocks, as split plots in time, consisting of different N sources (ammonium nitrate, conventional urea, polymerized urea, urea NBPT and organomineral) at the dose 100 kg ha^{-1} , and data collection at 2, 4, 6, 8, 12, 16 and 24 days after fertilizer application. Nitrogen losses by volatilization were determined by the method of SALE semi-open collector. The greatest losses by volatilization in the area irrigated by aspersion were observed under the conventional urea, with a volatilization peak between the second and fourth day after application; adding neem leaf extract to the organomineral fertilizer was not effective in inhibiting NH_3 volatilization process; polymerized fertilizer 2 had the smallest NH_3 volatilization rates among the sources evaluated. The organomineral fertilizer had low volatilization rate and was the least affected by moisture in relation to the coated mineral sources; the fertilizer Producote had the smallest volatilization rate, highlighting the effect of fertilizer protection and longevity after application, in the non irrigated experiment.

Keywords: Coated urea, organomineral, N losses.

⁴ Supervisor: Prof Dr Regina Maria Quintão Lana

2.1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o mercado agrícola nacional e o internacional têm-se movimentado em função de melhorias e inovações tecnológicas, com espécies geneticamente modificadas, moléculas de espectro específico empregadas no controle de pragas, plantas daninhas e doenças, fertilizantes com reações controladas, inibidores químicos, físicos ou biológicos.

Nesse contexto, o uso de fertilizantes tem-se destacado, uma vez que, de maneira geral, as culturas respondem em desenvolvimento e produtividade ao aumento da dose do nutriente fornecido (SOUZA, 2012), principalmente em se tratando de nitrogênio.

As formas de nitrogênio disponíveis para as plantas são amônio NH_4^+ e nitrito NO_3^- , os quais representam menos de 2% do nitrogênio total do solo. Considerando-se que quase todo o nitrogênio do solo se faz presente na forma orgânica, é importante considerar também o nitrogênio que seria mineralizado durante o ciclo da cultura (STEVENSON, 1986).

Dos fertilizantes nitrogenados, o mais utilizado no Brasil é a Ureia (ROJAS et al., 2012), por apresentar alta concentração de N (44 a 46%), alta solubilidade e menor custo por unidade de N. No entanto, é a que apresenta maiores taxas de volatilização de N na forma de NH_3 , sendo essas perdas agravadas em Sistema Plantio Direto, em que os restos vegetais favorecem a rápida hidrólise do fertilizante em razão do aumento da presença da enzima urease (LARA CABEZAS et al., 1997) além de que a cobertura vegetal reduz o contato da ureia com o solo (SANGOI et al., 2003), diminuindo assim a adsorção de NH_4^+ aos colóides orgânicos e inorgânicos, e com isso facilita a volatilização de amônia. Uma vez em contato com o solo, a ureia hidrolisa-se pela ação da enzima urease, produzindo NH_3 , gás carbônico e íons hidroxila (CANTARELLA et al., 2007).

O fenômeno de volatilização de N- NH_3 muitas vezes pode ser pequeno, totalizando de 1 a 15% (SANGOI et al., 2003; CANTARELLA et al., 2008; SANZ-COBENA et al., 2008), ou atingir valores extremamente altos, maiores que 50% do N aplicado (SANGOI et al., 2003; ROCHELLE et al., 2009a). Baixos teores de matéria orgânica, reduzida capacidade de troca de cátions (SANGOI et al., 2003) e baixa umidade no solo (LIU et al., 2007) assim como altas doses de N aplicado (MA et al., 2010), alta temperatura (CLAY et al., 1990), valores elevados de pH (SENGIK et al., 2001) e maior presença de cobertura vegetal (ROCHELLE et al., 2009a), favorecem a

volatilização da NH₃ a partir da aplicação de alguns fertilizantes nitrogenados aplicados na superfície do solo.

As perdas por volatilização se dão devido à rápida hidrólise de compostos como CO₂, H₂O e NH₄, e esse último, transformado em gás amônia (NH₃), é emitido à atmosfera. Tais reações são gerenciadas pela presença de umidade no solo e pela ação da enzima biológica urease, comumente presente em solos agricultáveis, sendo que as condições que favorecem a ação enzimática são valores elevados de pH, alta temperatura e baixa umidade do solo (CANTARELLA et al., 2007).

Esforços tecnológicos têm sido realizados para diminuir a magnitude da volatilização de NH₃, logo após a aplicação da ureia para que seja possível reduzir os gastos com fertilizantes ou elevar a eficiência das fontes utilizadas. Nesse intuito, atualmente têm-se empregado fontes líquidas de fertilizantes simples ou complexos que podem ser manipulados, transportados, armazenados e distribuídos na forma fluida e fertilizantes revestidos com polímeros, os quais são denominados de liberação lenta ou gradativa (CANTARELLA et al., 2007).

Assim, tem-se utilizado diferentes formas para se atenuar os efeitos deletérios das reações sofridas pela ureia quando aplicada no solo. Dentre essas formas estão o uso de inibidores químicos da atividade enzimática e revestimentos com polímeros ou resinas sintéticas que podem controlar a velocidade de hidratação dos grânulos e ou modificam o ambiente de reação dos fertilizantes (CANTARELLA et al., 2008).

Cantarella et al. (2008) apontaram, ainda, que a magnitude dos efeitos positivos das tecnologias empregadas às ureias varia em função de características de solo, como pH, salinidade e atividade biológica, práticas de manejo da lavoura e condições climáticas que alteram a volatilização de NH₃, principalmente relacionadas à umidade e à temperatura, na época de aplicação do fertilizante e nos primeiros dias subsequentes a essa prática.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a perda de NH₃ por volatilização em função da aplicação de diferentes fertilizantes nitrogenados aplicados a lanço em lavoura de milho irrigado e sequeiro.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram instalados dois experimentos na Fazenda Experimental Sertãozinho, pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), no município de Patos de Minas, MG. A área possui Latossolo Vermelho Eutroférico, textura argilosa EMBRAPA, (2006), sob lavoura de milho irrigado e sequeiro. O período de condução dos experimentos e avaliações foram: irrigado no mês de junho a agosto de 2013 e sequeiro em janeiro a março de 2014.

Antes da instalação do experimento, foram coletadas amostras do solo, na profundidade de 0 a 0,2m, para caracterização química e física (Embrapa, 2009) determinando os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Al^{3+} trocáveis; matéria orgânica total (MOS) por titulometria; P-assimilável por Mehlich-1; P-remanescente, segundo metodologia de EMBRAPA (2009), obtendo-se os resultados: pH em água = 5,94; $\text{Al}^{3+} = 0,05 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Ca}^{2+} = 1,62 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Mg}^{2+} = 0,76 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; P = 4,42 mg dm^{-3} ; $\text{K}^+ = 67,33 \text{ mg dm}^{-3}$; MO = 2,97 dag kg^{-1} .

O delineamento experimental de ambos os experimentos foi o de blocos casualizados (DBC), com três repetições, em subparcelas, sendo a parcela referente à fonte nitrogenada (TABELAS 2.2 e 2.3) e a subparcela referente à época de coleta, sendo estas realizadas aos 2, 4, 6, 8, 12, 16 e 24 dias após aplicação do fertilizante na câmara.

TABELA 2.1. Descrição dos fertilizantes aplicados a lanço sobre a cultura do milho irrigado para a quantificação de N- NH_3 volatilizado. Patos de Minas, 2015.

Tratamentos	Fertilizantes	N%
1	Uréia	45 %
2	Ureia NBPT ¹	46 %
3	OM NBPT ²	22 %
4	OM NIM ³	22 %
5	OM ⁴	22 %
6	PROD37 ^{/5}	37 %
7	PROD38 ^{/5}	38 %

¹Fertilizante comercial registrado como Super N® ²Fertilizante Organomineral com NBPT Geofert®;

³Fertilizante organomineral com Nim Geofert®; ⁴Fertilizante organomineral Geofert®; ⁵Fertilizante revestido por polímeros Producote®

TABELA 2.2. Descrição dos fertilizantes aplicados a lanço sobre a cultura do milho sequeiro para a quantificação de N- NH₃ volatilizado. Patos de Minas, 2015.

Tratamentos	Fertilizantes	N%
1	CONTROLE	0 %
2	Ureia	45 %
3	Ureia Polimerizada ¹	43 %
4	Ureia com NBPT ²	46%
5	Ureia Cu + B ³	42%
6	Nitro ⁴	43 %
7	Ureia Polimerizada 2 ⁵	37%
8	OM ⁶	22 %

¹Fertilizante comercial registrado como Kimcoat®; ²Fertilizante comercial registrado como Super N®;

³Fertilizante comercial registrado como Nitro+®; ⁴Fertilizante comercial registrado como Fortegreen®;

⁵Fertilizante comercial registrado como Producote®; Organomineral Geofert®.

Foram aplicados os fertilizantes nitrogenados a lanço na cultura do milho na dose de 100 kg ha⁻¹ de N de acordo com área da circunferência da câmara de volatilização (FIGURA 2.2).

O sistema adotado para ambos os experimentos constituiu-se em câmara coletora de N-NH₃ semiaberta livre estática, confeccionada a partir de frasco plástico transparente tipo PET de 2 litros sem a base, com diâmetro de 10 cm, abrangendo 0,008 m² de superfície (FIGURA 2.1). No interior desse frasco, fixou-se um de 50 mL contendo 10 mL de solução de H₂SO₄ 1 mol L⁻¹, no qual foi adicionada lâmina de espuma de poliuretano com 0,3 cm de espessura, 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento, umedecida na solução ácida (ARAÚJO et al., 2009)

Após a aplicação dos tratamentos e instalação das câmaras, as determinações, para ambos os experimentos, foram realizadas a partir de coletas aos 2, 4, 6, 8, 12, 16 e 24 dias. Posteriormente à coleta, o material foi encaminhado à Central de Fertilidade do Solo Cefert, localizado no Centro Universitário de Patos de Minas – MG para posterior quantificação da NH₃ capturado na câmara.

A análise da NH₃ volatilizada capturada pelas lâminas de espuma foram realizadas segundo Araújo et al., (2009). As espumas foram transferidas com a solução ácida remanescente no frasco de 50 mL para um erlenmeyer de 250 mL, onde se adicionou 40 mL de água destilada. O erlenmeyer com a solução diluída sofreu agitação a 250 RPM por 15 minutos em agitador horizontal. Em seguida à agitação, uma alíquota de 20 mL foi transferida para um tubo de digestão, sendo destilada em sistema semimicro Kjeldhal e titulada com ácido sulfúrico 0,015 mol L⁻¹.

Para o cálculo de nitrogênio utiliza-se a equação (1):

$$\text{mg N} = (\text{Vol. H}_2\text{SO}_4 - \text{Vol. Branco}) \times N_{\text{H}_2\text{SO}_4} \times 14 \times 20$$

Em que:

mg N = Quantidade de nitrogênio NH₃ volatilizado capturado pelo coletor;

Vol. H₂SO₄ = Volume de ácido sulfúrico utilizado na titulação das alíquotas da solução extraída das espumas utilizadas nos coletores;

Vol. Branco = Volume de H₂SO₄ utilizado na titulação das alíquotas extraídas da solução de espumas não levadas a campo;

N = Normalidade do H₂SO₄;

14 = Peso molecular do nitrogênio;

20 = Volume da alíquota.

As combinações de fertilizantes nitrogenados foram comparadas quanto à sua eficiência agronômica relativo à Ureia, adaptando o modelo similar descrito por Goedert et al. (1986) para o Índice de Eficiência Agronômica (IEA), denominado aqui como Índice de Volatilização Relativo (IVR). Considerou-se a volatilização da Ureia como referência para aplicação da equação (2):

$$\text{IVR} = \frac{\text{NH}_3 \text{ Fonte} - \text{Controle}}{\text{NH}_3 \text{ Ureia} - \text{Controle}}$$

Em que:

IVR – Índice Volatilizado Relativa ao da Ureia;

NH₃ Fonte – Quantidade de N-NH₃ total volatilizado da fonte aplicada;

NH₃ – Quantidade total de N-NH₃ volatilizado da Ureia;

CONTROLE – Volatilização do tratamento sem aplicação de N.

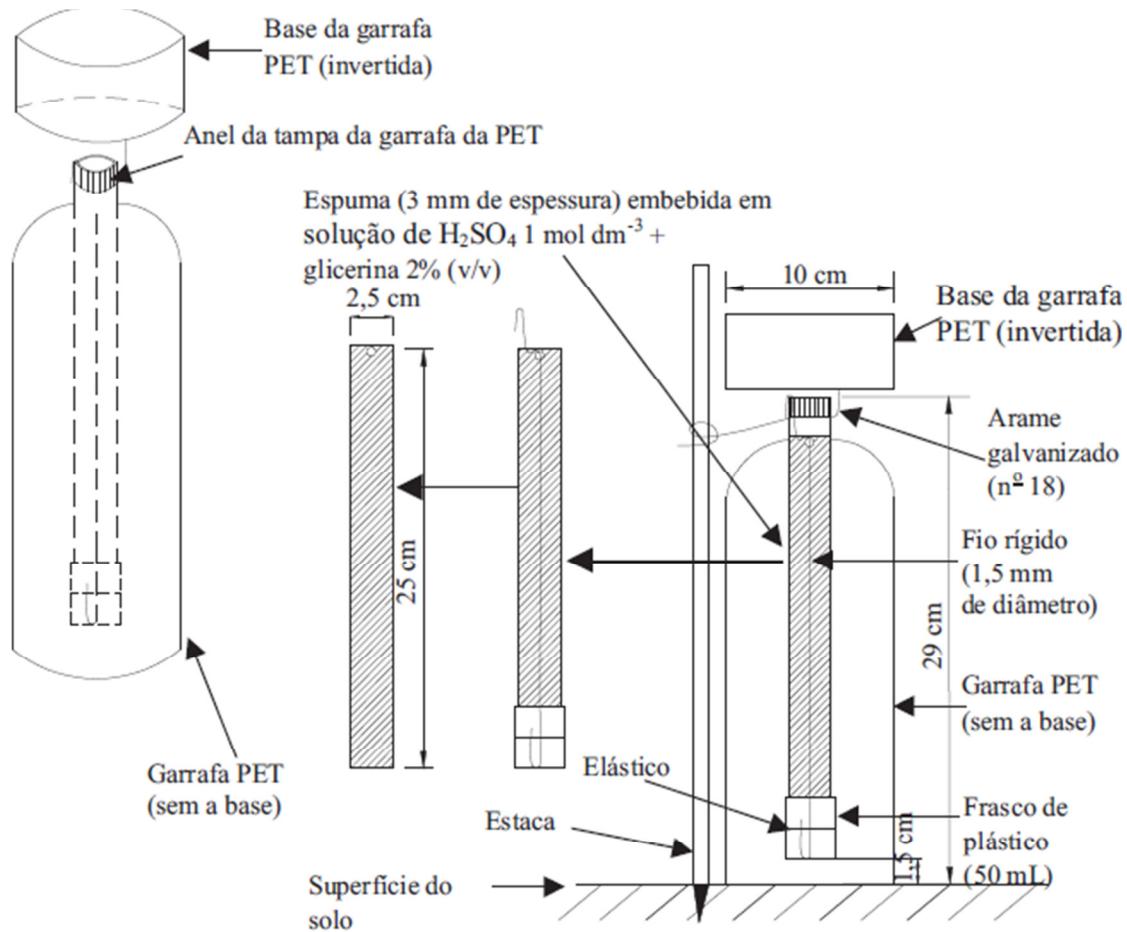


FIGURA 2.1. Esquema do sistema coletor de N-NH₃ semi-aberto livre estático – SALE (ARAÚJO et al., 2009). Patos de Minas, 2015.



Vista das câmaras de captura de NH₃ com distribuição do fertilizante e solução de captura de NH₃

FIGURA 2.2. Instalação do sistema coletor de N-NH₃ semi-aberto livre estático – SALE (ARAÚJO et al., 2009). Patos de Minas, 2015. Fotos do autor.

No experimento irrigado, o molhamento das plantas foi realizado a cada dois dias, em lâmina variável visando manter o solo úmido. Foi feita a retirada das plantas e da palhada da área destinada ao acondicionamento dos coletores, pois esse espaço é manejado sob Sistema Plantio Direto, de modo a se evitar a imobilização do N pela matéria orgânica presente no solo e a alteração dos processos de urease.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. Para tal foi utilizado o software SISVAR (FERREIRA, 2000).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação entre a fonte de N aplicada e o tempo de coleta de N-NH₃ volatilizado (TABELA 2.3), indicando que tanto a fonte de N utilizada quanto o tempo de coleta promoveram perdas de NH₃ para o ambiente, sendo que a fonte utilizada pode favorecer as perdas.

TABELA 2.3. Análise de variância das perdas de volatilização de N-NH₃, capturados em kg ha⁻¹ dia⁻¹, em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em cobertura a lanço na lavoura de milho irrigado. Patos de Minas, 2015.

FV	GL	SQ	QM	FC	F
Bloco	2	3,718	1,8590	2,752	
Fonte	6	1143,42	190,57	282,099	**
erro 1 _(Parcela)	12	8,1065	0,6755		
Tempo	6	2416,58	402,76	364,166	**
Fonte*Tempo	36	1766,35	49,0653	44,363	**
erro 2 _(Sub Parcela)	84	92,9033	1,1059		
Total corrigido	146				
CV Fonte (%) =		19,45			
CV Tempo (%) =		24,99			

FV- Fator de Variação; GL- Graus de Liberdades; SQ- Soma de Quadrados; QM = Quadrado Médio; f - probabilidade de significância; ns, **, não significativo e significativo a 0,01 de probabilidade pelo teste f ; CV=Coeficiente de Variação em porcentagem.

A avaliação do N-NH₃ total volatilizado também se mostrou significativa em relação à fonte utilizada, sendo que as fontes que utilizam novas tecnologias em sua composição tiveram perdas menores que a fonte convencional (TABELA 2.4).

TABELA 2.4. Análise de variância das perdas acumuladas de volatilização de N-NH₃, em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em cobertura a lanço na lavoura de milho irrigado. Patos de Minas, 2015.

FV	GL	SQ	QM	FC	F
Fonte	6	8004,03	1334,0051	282,168	*
Bloco	2	26,0270	13,0135		
erro	12	56,7324	4,7277		
Total corrigido	20	8086,79			
CV (%) =		7,38			

FV- Fator de Variação; GL- Graus de Liberdades; SQ- Soma de Quadrados; QM = Quadrado Médio; f - probabilidade de significância; ns, **, não significativo e * significativo a 0,05 de probabilidade pelo teste f ; CV=Coeficiente de Variação em porcentagem.

A ureia aplicada em superfície, mesmo com irrigação, apresentou maiores índices de perdas por volatilização de N-NH₃ em relação aos demais fertilizantes. Durante os vinte e quatro dias de avaliação, foram capturados 58,62 kg ha⁻¹ de N-NH₃

nos coletores SALE (FIGURA 2.3; TABELA 2.5), aproximadamente 60% da dose que foi aplicada, indicando que a lâmina de água aplicada não foi suficiente para incorporar o fertilizante ao solo, mas suficiente para promover os processos de hidrólise, disponibilizando o NH₃.

Os maiores valores de volatilização foram obtidos entre o 2º e o 6º dia após a aplicação, excluindo os fertilizantes PROD37 e PROD38, os quais apresentaram baixos valores de volatilização. Em média, nesses dias, os valores de N-NH₃ capturados foram 49,42 kg ha⁻¹ de NH₃ para Ureia, 17,88 kg ha⁻¹ de NH₃ Ureia NBPT, 26,7 kg ha⁻¹ de NH₃ OM, 32,93 kg ha⁻¹ de NH₃ OM Nim, 20,62 kg ha⁻¹ de NH₃ OM NBPT, 0,64 kg ha⁻¹ de NH₃ Ureia PROD37 e 0,58 kg ha⁻¹ de NH₃ Ureia PROD38 (FIGURA 2.3 A e B; TABELA 2.5).

A época de maior volatilização entre o 2º e o 6º dia está de acordo com o relato de autores afirmando que o pico de perdas de NH₃ da ureia convencional concentra-se na primeira semana após a aplicação do fertilizante sobre a superfície do solo (Sangui et al., 2003; Duarte et. al., 2007; Cantarella et al., 2008). As perdas, nesse período, após essa aplicação, podem indicar que o revestimento ou a adição de substâncias aos fertilizantes não retardou a urease e, consequentemente, a perda deste N por volatilização. A aplicação foi feita em cobertura e não havia incorporação N. Somente o PROD 37 e 38 revestido não foi estudado nesse período; os outros sim.

Tasca et al. (2011), relataram que a adição de inibidor de urease à ureia não influenciou a volatilização de NH₃, porém, retardou o pico de perda máxima, sendo que a época em que as perdas ocorreram variou entre as fontes: a ureia proporcionou o pico de volatilização entre o segundo e o quarto dia após a aplicação do adubo, e a ureia, com inibidor de urease, ocorreu, em média, até dois dias mais tarde.

Rochette et al. (2009b) relataram que a adição de inibidores de urease à ureia retarda o pico de volatilização de NH₃. Esse fato não foi observado neste experimento.

A linha PROD37 e 38, devido ao tipo de revestimento, apresentou baixo potencial de volatilização de N-NH₃ em condições de campo, quando comparada a outras fontes nitrogenadas. No entanto, houve perdas de valores muito baixos e constantes de NH₃ ao longo dos 24 dias, indicando que o revestimento atuou no retardamento da quebra da ureia presente no grânulo do fertilizante (TABELA 2.5).

O fertilizante organomineral, independente da presença ou não de aditivos, teve perdas menores que a ureia convencional; já o sem aditivos apresentou redução na volatilização de N-NH₃ em relação à ureia da ordem de 19,3 kg ha⁻¹ de N-NH₃, e a

adição NBPT propiciou redução de 23,95 kg ha⁻¹ de N-NH₃, ou seja, por volta de 6 kg ha⁻¹ de N-NH₃ a menos em relação ao OM. A adição de pó de folhas de Nim ao organomineral reduziu a volatilização em 14,2 kg ha⁻¹ de N-NH₃, quando comparado à ureia, e esse aditivo foi o que apresentou maior volatilização no grupo do fertilizante organomineral (FIGURA 2.3; TABELA 2.5).

TABELA 2.5. Valores médios de N-NH₃ volatilizado capturados em kg ha⁻¹ dia⁻¹, total de N-NH₃ capturado em dezesseis dias e Índice de Volatilização Relativa (IVR) em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em cobertura a lanço em lavoura de milho irrigado. Patos de Minas, 2015.

Fertilizantes	Dias							IVR ¹⁵ %
	2	4	6	8	12	16	24	
	kg ha ⁻¹ de N-NH ₃							
Ureia ¹	2,14a ¹	30,47e	16,81d	1,68ab	4,43bc	1,47a	1,64a	58,62e 0
Ureia _{NBPT} ¹²	0,73a	10,70b	6,45c	1,52ab	2,33ab	1,39a	0,93a	24,05b 41
OM ¹³	0,96 a	16,65c	9,09c	3,28bc	6,37c	2,01a	0,97a	39,32cd 67
OM _{NIM} ¹³	2,48 a	20,60d	9,85c	3,09bc	4,67bc	2,03a	1,60a	44,32d 75
OM _{NBPT} ¹³	1,11 a	10,51b	9,00bc	4,31c	5,02c	2,46a	2,26a	34,67c 59
PROD37 ¹³	0,04 a	0,16 a	0,44 a	0,06 a	0,42a	0,37a	0,23a	1,72a 3
PROD38 ¹³	0,02 a	0,25 a	0,31 a	0,26a	1,26a	0,61a	0,80a	3,51a 6

DMS_{Dias}= 2,594; DMS_{total}= 6,218

⁶K-S=0,355 ; F_{Levene}= 4,960; F_{aditividade}=8,775

¹Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 0,05 de significância; ²Fertilizante comercial registrado como Super N®; ³Fertilizante comercial registrado como Geociclo GeoFert®; Adição de pó de folha de Nim; Adição de inibidor de urease NBPT; ⁴Fertilizante comercial registrado como Producote®; ⁵IVR – Índice de Volatilização Relativa ao da Ureia; ⁶W, F_{Levene}, F_{aditividade}, valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal, variância homogênea e blocos com efeitos aditivos, respectivamente, a 0,05 de significância.

Após 16 dias da aplicação dos fertilizantes ao solo, a perda de NH₃ se manteve relativamente constante e com valores baixos, menos de 3 kg ha⁻¹ de NH₃ em todos os tratamentos.

De acordo com Al-Kanani et al., (1991) as máximas perdas diárias de NH₃ por volatilização concentram-se nos primeiros seis dias após a aplicação do fertilizante. Estudos têm verificado que o processo de volatilização de NH₃ inicia logo após a aplicação da ureia pela sua rápida hidrólise no solo (RODRIGUES; KIEHL, 1986; LARA CABEZAS et al., 1999), com picos de emissão ocorrendo entre o primeiro e o terceiro dia em sistema plantio direto (LEGUIZAMON ROJAS, 2009). Os polímeros propiciam condições de controle e podem ser produzidos para sincronizar a liberação do N de acordo com as necessidades nutricionais das plantas ao longo do ciclo de cultivo (BLAYLOCK, 2007). Verificando-se a redução da volatilização de NH₃ e da atividade

de urease para os tratamentos onde foram utilizados a uréia revestida com polímeros quando comparadas com a ureia convencional.

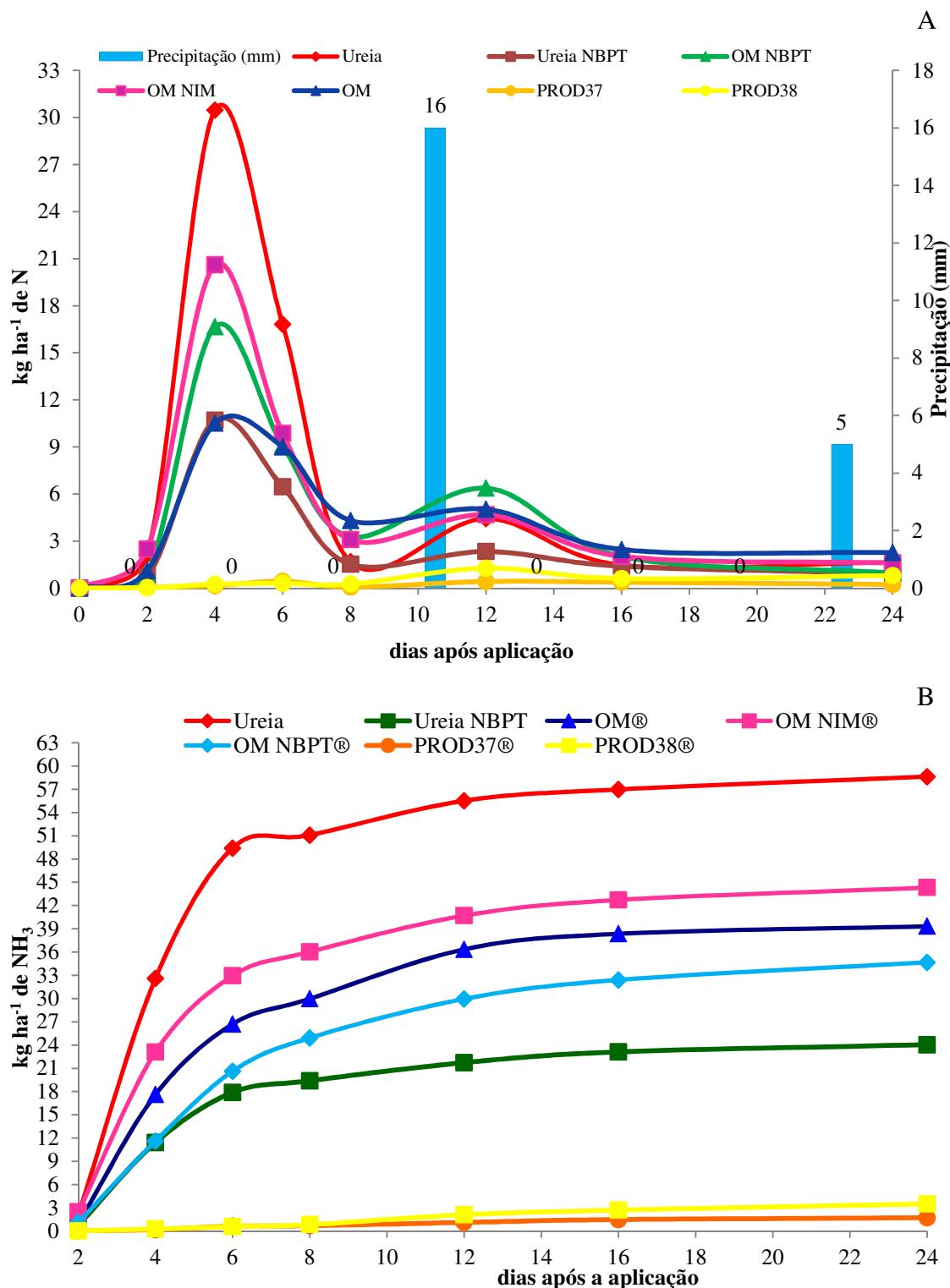


FIGURA 2.3. Taxa diária (A) e acumulado (B) de perdas de N-NH₃ por volatilização em Kg ha⁻¹ proveniente de fontes nitrogenadas aplicas em cobertura a lanço em lavoura de milho irrigado. Fertilizante Organomineral (OM); Organomineral NBPT (OM NBPT); Organomineral Nim (OMNIM); Ureia convencional (Ureia); Ureia NBPT (SuperN[®]); Producote[®] (PROD37 - 37-00-00) e Producote[®] (PROD38 -38-00-00). Patos

de Minas, 2015.

Aos dez dias após aplicação dos fertilizantes, houve incidência de 16 mm de chuva, o que proporcionou o aumento da hidrólise deles devido à umidade presente no solo. Os fertilizantes OM NBPT e OM apresentaram aumento nos valores de NH_3 volatilizando, indicando que houve retenção de N em seus grânulos, permitindo novo pico de volatilização.

Em ordem crescente de volatilização a partir dos valores de N- NH_3 capturados seguiram-se PROD 37, com perdas de menos de 2% do N aplicado, PROD 38 com 3,5% de perdas, sendo essas fontes as menores taxas de volatilização, seguidas por ureia NBPT com 24% de perdas, Organomineal com NBPT, 35% de perdas de N, Organomineral, com 39% e Organomineral com Nim perdendo 44%; e ureia convencional (ureia) com 58% de perdas do total aplicado (FIGURA 2.4).

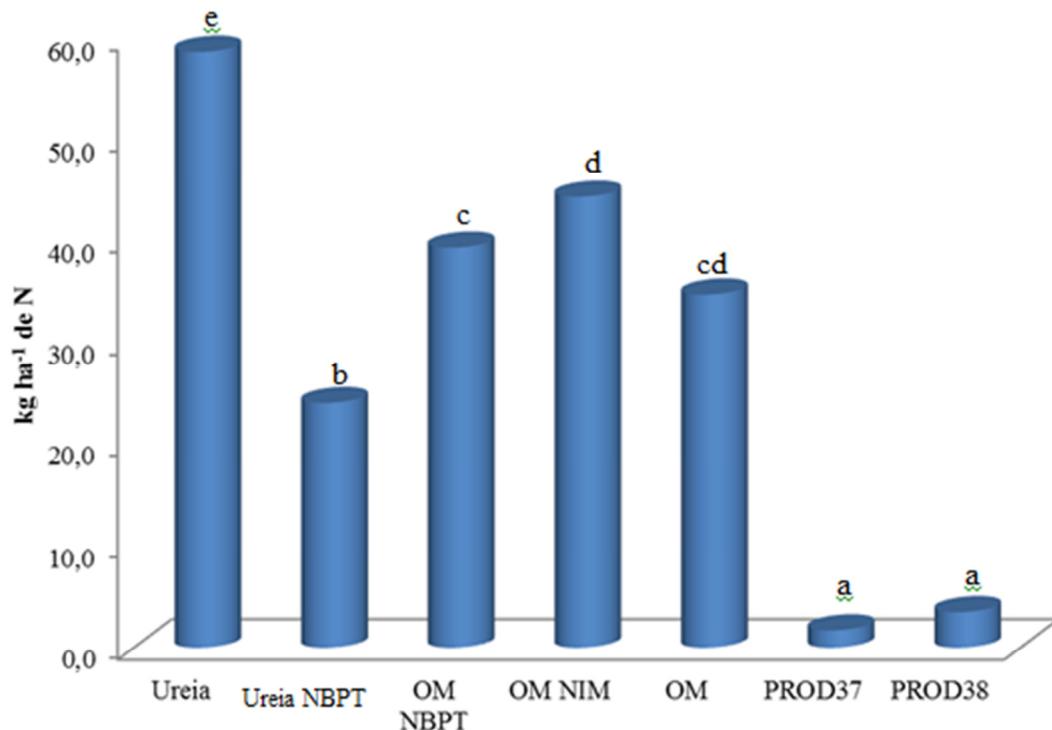


FIGURA 2.4. Total de perdas de N- NH_3 por volatilização em Kg ha^{-1} proveniente de fontes nitrogenadas aplicas em cobertura a lanço em lavoura de milho irrigado. Fertilizante Organomineral (OM); Organomineral NBPT (OM NBPT); Organomineral Nim (OMNIM); Ureia convencional (Ureia); Ureia NBPT (SuperN®); Producote® (PROD37 - 37-00-00) e Producote® (PROD38 -38-00-00). Patos de Minas, 2015.

Dos fertilizantes apresentados, pode-se observar que o Índice de Volatilização Relativa da ureia aplicada em superfície, mesmo com irrigação constante, apresentou maiores índices de perdas por volatilização de N- NH_3 em relação aos demais

fertilizantes. Durante os vinte e quatro dias de avaliação foram capturados 58,62 kg ha⁻¹ de N-NH₃ nos coletores SALE (TABELA 2.5).

Em comparação com a ureia, todos os fertilizantes apresentaram índice de volatilização relativa menor, sendo o grupo dos organominerais com os maiores valores. O OM com adição de pó de Nim teve perda total de N 25% menor que o total perdido pela ureia. O OM com adição de inibidor de urease foi 40% mais eficiente que a ureia. Os fertilizantes revestidos por polímeros apresentaram os menores índices de volatilização, sendo a perda de N desses fertilizantes menores que 6% do total perdido em comparação com a ureia (TABELA 2.5).

No experimento instalado em cultivo de milho de verão (sequeiro), os fertilizantes também apresentaram interação em relação ao tempo de avaliação (dias) e fonte aplicada, relacionada à quantidade de N-NH₃ capturada nas câmaras (TABELA 2.6).

TABELA 2.6. Análise de variância das perdas de volatilização de N-NH₃, capturados em kg ha⁻¹ dia⁻¹, em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em cobertura a lanço em lavoura de milho sequeiro sob sistema plantio direto. Patos de Minas, 2015.

FV	GL	SQ	QM	FC	F
Bloco	2	63,9053	9,1293	1,260	
Fonte	7	0,2546	0,1273	90,646	**
erro 1 _(Parcela)	14	1,4100	0,1007		
Tempo	6	44,2001	7,3666	40,993	**
Fonte*Tempo	42	84,4900	2,0116	11,194	**
erro 2 _(Sub Parcela)	96	17,2518	0,1797		
Total corrigido	167	211,5124			
CV _{Fonte (%)} =		38,81			
CV _{Tempo (%)} =		51,84			

FV- Fator de Variação; GL- Graus de Liberdades; SQ- Soma de Quadrados; QM = Quadrado Médio; f - probabilidade de significância; ns - não significativo e ** significativo a 0,01 de probabilidade pelo teste f; CV=Coeficiente de Variação em percentagem.

As maiores taxas de volatilização de N- NH₃ foram observadas nos tratamentos com aplicação de ureia polimerizada 1 nos intervalos do 2º ao 6º dia (TABELA 2.7 e FIGURA 2.6). Em média, nesses dias, os valores de N- NH₃ capturados foram 7,13 kg ha⁻¹ de NH₃ para ureia polimerizada 1, 6,25 kg ha⁻¹ de NH₃ para ureia Cu+B, 5,85 kg ha⁻¹ de NH₃ do fertilizante Nitro, 5,32 kg ha⁻¹ de NH₃ da ureia, 1,28 kg ha⁻¹ de NH₃ da fonte ureia com NBPT, 0,37 kg ha⁻¹ de NH₃ OM, 0,14 kg ha⁻¹ de NH₃ da ureia polimerizada 2, e 0,05 kg ha⁻¹ de NH₃ controle (TABELA 2.7).

Pode-se perceber que as perdas de Nitrogênio ocorreram após o 2º dia depois da aplicação dos fertilizantes (FIGURA 2.5). Observou-se que as maiores taxas de

volatilização ocorreram do 4º e ao 6º dia após a aplicação, eliminando os fertilizantes Ureia Polimerizada 2 e Organomineral, os quais apresentaram baixos valores de volatilização, isso porque o tipo de revestimento apresentou baixo potencial de volatilização de N-NH₃ em condições de campo quando comparada a outras fontes nitrogenadas.

Os fertilizantes, ureia convencional, ureia Cu + B e ureia revestida Nitro apresentaram valores semelhantes quanto à taxa de volatilização. Enquanto dentro do período de avaliação, as mesmas fontes apresentaram valores na faixa de 5 a 6 kg ha⁻¹ de N-NH₃ volatilizada.

TABELA 2.7. Valores médios de N-NH₃ volatilizado em kg ha⁻¹ dia⁻¹ em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em superfície na cultura do milho sequeiro, Patos de Minas, 2015.

Fontes ¹	Dias								IVR ¹⁸ %
	2	4	6	8	12	16	24	Total	
	kg ha ⁻¹ de N-NH ₃								
Controle	0,040 a	0,012 a	0,004 a	0,028 a	0,008 ^a	0,020a	0,028a	0,140	0
Ureia	3,323c	1,425b	0,578ab	0,365a	0,53ab	0,104a	0,136a	6,469	100
U Pol 1 ²	3,303 b	2,849b	0,983a	0,775a	0,702 ^a	0,249a	4,595c	13,457	208
U NBPT ³	0,233a	0,381a	0,662a	0,714a	0,823 ^a	0,783a	2,087b	5,683	88
U Cu+B ⁴	2,460d	2,167cd	1,625bcd	0,666ab	0,241 ^a	0,253a	1,344bc	8,757	135
Nitro ⁵	3,283c	2,368bc	0,201a	0,112a	0,662 ^a	0,201a	2,187b	9,014	139
U Pol 2 ⁶	0,052a	0,044a	0,044a	0,064a	0,100 ^a	0,237a	0,506a	1,047	16
OM ⁷	0,048a	0,044a	0,281a	0,449a	0,578 ^a	0,562a	0,851a	2,813	43

DMS_{Dias}= 1,072; DMS_{total}= 6,218;

⁹**K-S=0,173 ; F_{Levene}= 22,771; F_{aditividade}=8,787**

¹Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 0,05 de significância; ²Fertilizante comercial registrado como Kimcoat N® ; ³Fertilizante comercial registrado como Super N® ; ⁴Fertilizante comercial registrado como Nitro +® ; ⁵Fertilizante comercial registrado como Fortgreen® ; ⁶Fertilizante comercial registrado como Producote®; ⁷Fertilizante comercial registrado como GeoFert® com adição de inibidor de urease NBPT; ⁸IVR – Índice de Volatilização Relativa ao da Ureia equação (1); ⁹W, F_{Levene}, F_{aditividade}, valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal, variância homogênea e blocos com efeitos aditivos, respectivamente, a 0,05 de significância.

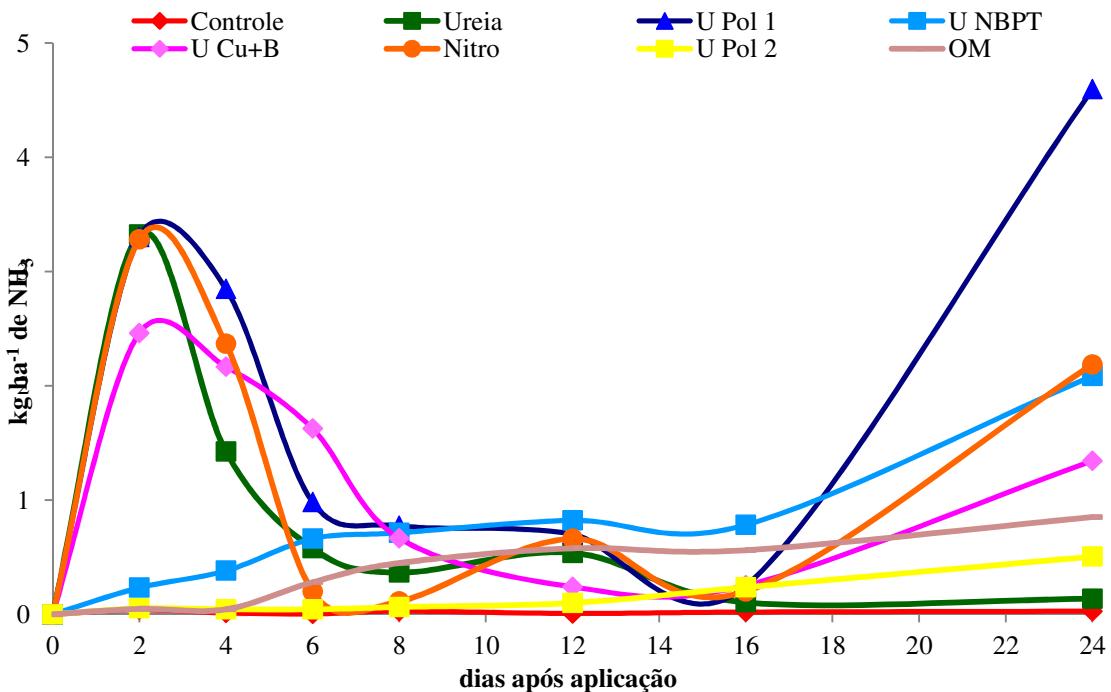
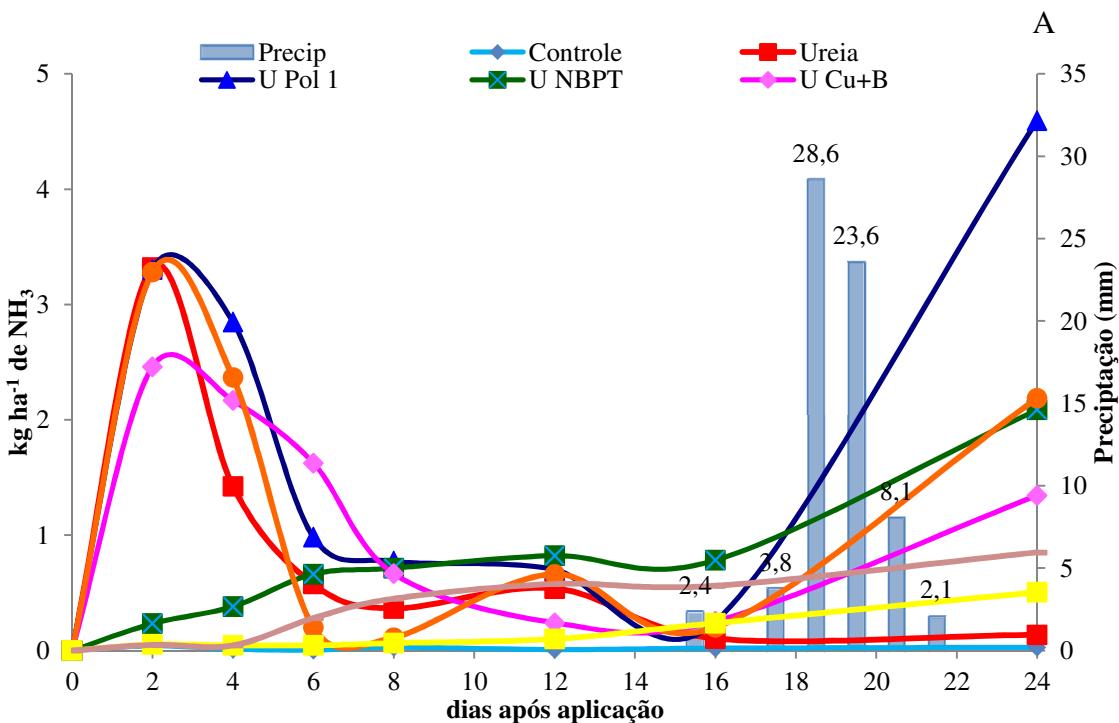


FIGURA 2.5. Valores médios de N-NH₃ volatilizado em kg ha⁻¹ dia⁻¹ em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em superfície na cultura do milho sequeiro. Patos de Minas, 2015.

No 24º dia verificou-se um novo pico de volatilização da ureia polimerizada 1, no qual pode ser explicado por uma precipitação de 2,1 mm que ocorreu dois dias antes da última avaliação. Esse dado pode indicar que o grânulo reteve a ureia em seu interior e somente liberou os fertilizantes quando da presença de água (FIGURA 2.6 A e B).



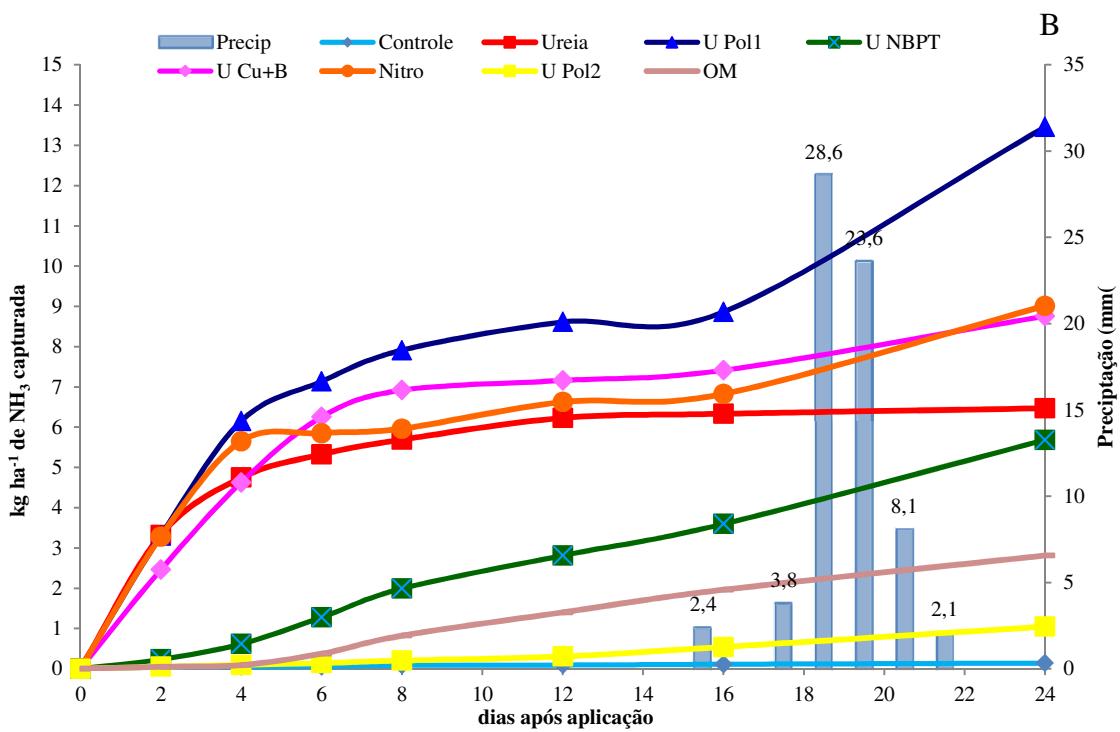


FIGURA 2.6. Taxa diária A e acumulada B de N-NH₃ volatilizado em kg ha⁻¹ dia⁻¹ em função da aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em superfície na cultura do milho sequeiro. Patos de Minas, 2015.

Dos fertilizantes analisados, a Ureia Polimerizada 1 apresentou maior índice de volatilização, 208, sendo este maior que o índice da ureia utilizada como referência. Durante os vinte e quatro dias de avaliação, foram capturados 13,46 kg ha⁻¹ de N-NH₃ nos coletores SALE, provenientes desse fertilizante (TABELA 2.7), correspondendo a aproximadamente 13% da dose aplicada.

Segundo Cantarella (2007) uma das alternativas usadas para reduzir os prejuízos causados é a utilização de fertilizantes revestidos com moléculas específicas, que inibem ou atrasam a volatilização. Várias modificações têm sido feitas em fertilizantes contendo ureia a fim de reduzir as perdas por volatilização e aumentar a sua eficiência de uso, como, por exemplo, recobrimento com enxofre elementar e polímeros, adição de ácidos e sais para evitar a formação de NH₃ e misturas com outros fertilizantes.

2.4. CONCLUSÕES

Área irrigada por aspersão:

- as maiores perdas por volatilização foram observadas com a aplicação de ureia convencional, sendo o pico de volatilização observado entre o segundo e quarto dias após a aplicação;
- a adição de pó de folhas de Nim ao fertilizante organomineral não foi eficiente para a inibição do processo de volatilização de NH_3 ;
- o fertilizante polimerizado PROD37 e 38 apresentaram as menores taxas de volatilização de NH_3 dentre as fontes avaliadas;

Área de sequeiro:

- a maior taxa de volatilização de N- NH_3 foi do fertilizante Ureia Polimerizada 1;
- 18 dias após iniciadas as avaliações, os fertilizantes revestidos por polímeros com diferentes tecnologia, apresentaram aumento da taxa de volatilização de NH_3 em função da ocorrência de precipitação de 20 mm;
- a linha Organomineral apresentou baixa taxa de volatilização e menor influência da umidade em relação às fontes minerais revestidas;
- similar ao observado na área irrigada o fertilizante Polimerizado 2 apresentou as menores taxa de volatilização, acentuando o efeito de proteção e longevidade do fertilizante após aplicação.

Quando comparadas as áreas, a de maior molhamento induziu a hidrólise dos fertilizantes, gerando maior perda de NH_3 .

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-KANANI, T.; MACKENZIE, A. F.; BARTHAKUR, N. N. Soil water and ammonia volatilization relationships with surface-applied nitrogen fertilizer solutions. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 55, p. 1761-1766, 1991.
- ARAÚJO, E. S. et al. Calibração de câmara semiaberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 769-776, 2009.
- BLAYLOCK, A. O futuro dos fertilizantes nitrogenados de liberação controlada. In: PROCHNOW, L. I. IPNI - Brasil: nova missão, novos tempos. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 120, p. 8-10, 2007.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.
- CANTARELLA, H. et al. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 4, p. 397-401, 2008.
- 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 Science Society of America Journal**, Madison, WI, v. 54, p. 263-266, 1990.
- DUARTE, F. M. et al. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia com aplicação de ureia em solo de várzea com diferentes níveis de umidade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, p.705-711, 2007.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2006. 306 p.
- FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45, 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.
- LARA CABEZAS, W. A. R. et al. Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizers. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, PA, v. 30, p. 389-406, 1999.
- LEGUIZAMON ROJAS, C. A. **Dinâmica do nitrogênio no sistema latossolo milho sob sistema plantio direto e preparo convencional, plantas de cobertura de inverno e adubação nitrogenada**. 2009. 199 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2009.
- LIU, G.; LI, Y.; ALVA, A. K. High water regime can reduce ammonia volatilization from soils under potato production. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, PA, v. 38, p. 1203-1220, 2007.

MA, B.L. et al. On-farm assessment of the amount and timing of nitrogen fertilizer on ammonia volatilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, p. 134-144, 2010.

ROCHETTE, P. et al. Ammonia volatilization following surface application of urea to tilled and no-till soils: a laboratory comparison. **Soil & Tillage Research**, London, v. 103, p. 310-315, 2009.

ROCHETTE, P. et al. Banding urea increased ammonia volatilization in a dry acidic soil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, WI, v. 38, p. 1383-1390, 2009.

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

ROJAS, C. A. L. et al. Volatilização de amônia da ureia alterada por sistemas de preparo de solo e plantas de cobertura invernais no centro-sul do Paraná. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 261-270, 2012.

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

SANGOI, L. et al. Volatilização de N-N₃ em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 33, p. 87-692, 2003.

SANZ-COBENA, A. et al. An inhibitor of urease activity effectively reduces ammonia emissions from soil treated with urea under Mediterranean conditions. **Agriculture, Ecosystems Environment**, v. 126, p. 243-249, 2008.

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**, Maringá, PR, v. 23, p. 1099-1105, 2001.

SOUZA, C. H. E. **Fosfato monoamônio revestido com polímeros no plantio das culturas de milho irrigado e cana-de-açúcar**. 2012. 94 f. Tese (Doutorado) – Curso de Agronomia, UFU, Uberlândia, 2012.

TASCA, F. A. et al. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 493-502, 2011.

CAPÍTULO 3: Volatilização de NH₃ em lavoura cafeeira após aplicação de fertilizantes nitrogenados com diferentes tecnologias.

RESUMO

MACHADO, VANESSA JÚNIA. **Volatilização de NH₃ em lavoura cafeeira após aplicação de fertilizantes nitrogenados com diferentes tecnologias.** 2015. 62 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia⁵.

O nitrogênio é um dos nutrientes mais exigidos pelas culturas, apresentando inúmeras funções na planta. Sua dinâmica é bastante influenciada pelas condições ambientais e de manejo e a forma como a adubação nitrogenada é aplicada no solo pode influenciar substancialmente as perdas de NH₃ por volatilização. Já existe no mercado fertilizantes com alta eficiência, sendo utilizados na cafeicultura. No entanto, faltam estudos aprofundados na sua utilização. O objetivo deste estudo foi avaliar a volatilização de NH₃ em função da aplicação de fertilizantes nitrogenados em lavoura cafeeira, irrigada por gotejo e de sequeiro. Nesse contexto, realizou-se dois trabalhos com delineamento em blocos ao acaso, em esquema de subparcelas, sendo a parcela constituída por diferentes fontes de N: Nitrato de Amônio, Ureia Convencional, Ureia Revestida, Ureia NBPT e Organomineral na dose de 100 kg ha⁻¹ e as subparcelas foram as épocas de coleta do N-NH₃ volatilizado. As perdas de nitrogênio por volatilização foram determinadas pelo método do coletor semiaberto. Os maiores picos de volatilização de N-NH₃ no experimento irrigado ocorreram entre o 2º e o 4º dia e entre o 8º e o 16º dia após a aplicação do nitrogênio no solo. Em média, nesses dias de pico, os valores de NH₃ capturados foram 3,364 kg ha⁻¹ Ureia Polimerizada 1 e 0,384 kg ha⁻¹ Nitrato de amônio. Com base nos resultados obtidos, verificou-se que o Nitrato de Amônio foi o fertilizante nitrogenado que apresentou menores perdas de NH₃ e a ureia Revestida 1 apresentou as maiores perdas. No experimento de sequeiro não houve diferença entre as fontes avaliadas, visto que a volatilização de NH₃ foi baixa em função da baixa umidade do solo .

Palavras-chave: Fertilizante polimerizado; organomineral; inibidor de urease.

⁵Orientador: Profª. Drª. Regina Maria Quintão Lana

ABSTRACT

MACHADO, VANESSA JÚNIA. **NH₃ volatilization in coffee after the application of nitrogen fertilizers with different technologies.** 2015. 62 f. Thesis (Doctorate in Agriculture) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia⁶.

Nitrogen is one of the most demanded nutrients by plants, and it has many functions in plants. Since its dynamic is greatly affected by environment and management, the soil application mode can substantially affect losses of NH₃ by volatilization. There are highly effective fertilizers for coffee in the market; however, detailed studies about its use are still needed. This study evaluated NH₃ volatilization as a function of nitrogen fertilizers applied in coffee, drip irrigated or non irrigated. Two assays were done as randomized blocks, in split plots, and the plots were N sources (ammonium nitrate, conventional urea, polymerized urea, urea NBPT and organomineral) at the dose 100 kg ha⁻¹, and the split plot the dates for collection of volatilized N-NH₃. Nitrogen losses by volatilization were determined by the semi-open collector method. The greatest N-NH₃ volatilization peaks were observed between the second and fourth day in the irrigated experiment, and between the eighth and 16th in the non irrigated experiment. On average, in these peak days, NH₃ captured in the treatment with polymerized urea 1 was 3.364 kg ha⁻¹ and with ammonium nitrate was 0.384 kg ha⁻¹. Based on the results obtained it can be concluded that ammonium nitrate was the fertilizer with the least losses of NH₃, while coated urea 1 had the greatest losses. No differences were observed in the non irrigated experiment, since volatilization was reduced due to low soil moisture.

Keywords: Polymerized fertilizer; organomineral; urease inhibitor.

⁶ Supervisor: Prof Dr Regina Maria Quintão Lana

4.1 INTRODUÇÃO

O nitrogênio, dentre os nutrientes minerais, é o exigido e extraído em maior quantidade pelas culturas. Apresenta inúmeras funções, como estimular a formação e o desenvolvimento de gemas floríferas e frutíferas, aumentar a vegetação, o perfilhamento e os teores de proteínas. Além dessas funções, faz parte da composição de todas as proteínas simples e compostas e está presente na clorofila, nos fosfatídios, nos alcaloides, nas enzinas e em muitas outras substâncias orgânicas das células vegetais (MALAVOLTA et al., 1997).

Segundo Matiello, (1991) a cultura cafeeira é altamente exigente em nitrogênio (N), pois ele é o macronutriente mais abundante na planta e é também o mais exigido em relação ao demais, sendo responsável pelo aumento da produção. Tendo em vista que a dinâmica dos nutrientes no solo é bastante diferenciada e variável, um dos elementos mais influenciados pelas condições ambientais e de manejo na produção cafeeira é o N. Ele possui uma dinâmica extremamente complexa devido à diversidade das formas químicas, reações e processos aos quais estão envolvidos. Essa dinâmica reflete diretamente sobre a eficiência do N aplicado via fertilizantes. (FILLERY et al., 1984).

O modo como o fertilizante nitrogenado é aplicado no solo pode influenciar substancialmente as perdas de amônia por volatilização. A aplicação a certa profundidade, ou a incorporação desta a camada superficial do terreno, são práticas que condizem a menores perdas do que a aplicação superficial, porque aumentam a chance da NH_3 ser retida no solo (RODRIGUES; KIEHL, 1986).

A quantidade de nitrogênio que se perde por meio da volatilização de NH_3 pode ser influenciada pela presença de resíduos culturais sobre a superfície do solo. Essa perda pode ocorrer também pelo incremento de matéria orgânica, verificado nas camadas superficiais do solo cultivado sob SPD, tendendo a aumentar a população microbiana e a CTC, o que acarreta uma maior atividade de urease, que catalisa a hidrólise da ureia, favorecendo a volatilização de NH_3 (BAYER; MIELNICZUK, 1997).

Segundo Cantarella et al., (2002) estudos têm sido realizados na busca de fertilizantes com eficiência aumentada, já existindo alguns produtos consagrados para utilização em nichos de mercado, ou produtos com utilização em expansão. Alguns dos quais estão sendo usados na cafeicultura. No entanto, ainda é necessário o estudo da dinâmica desses fertilizantes no solo.

Dentro desse contexto, objetiva-se com este trabalho avaliar a volatilização de NH₃ em função da aplicação de fertilizantes nitrogenados em lavoura cafeeira cv. Acauã 092 de 3^a safra cultivada sob irrigação por gotejo, e em lavoura de café cv. Catuaí de sequeiro safra 2013/2014, na região de Patos de Minas, MG.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos em lavoura cafeeira, sendo o primeiro na área experimental pertence à Fazenda Chua, localizada no município de Patos de Minas-MG Brasil. O local apresenta as seguintes coordenadas geográficas: 18°35.132' S (latitude Sul), 46°25.648' W (longitude Oeste) e 1.061 m de altitude. A região apresenta um clima tropical com estação seca (Classificação climática de Köppen-Geiger: Aw), cujos dados meteorológicos no período de condução do experimento apresentam-se na FIGURA 3.1.

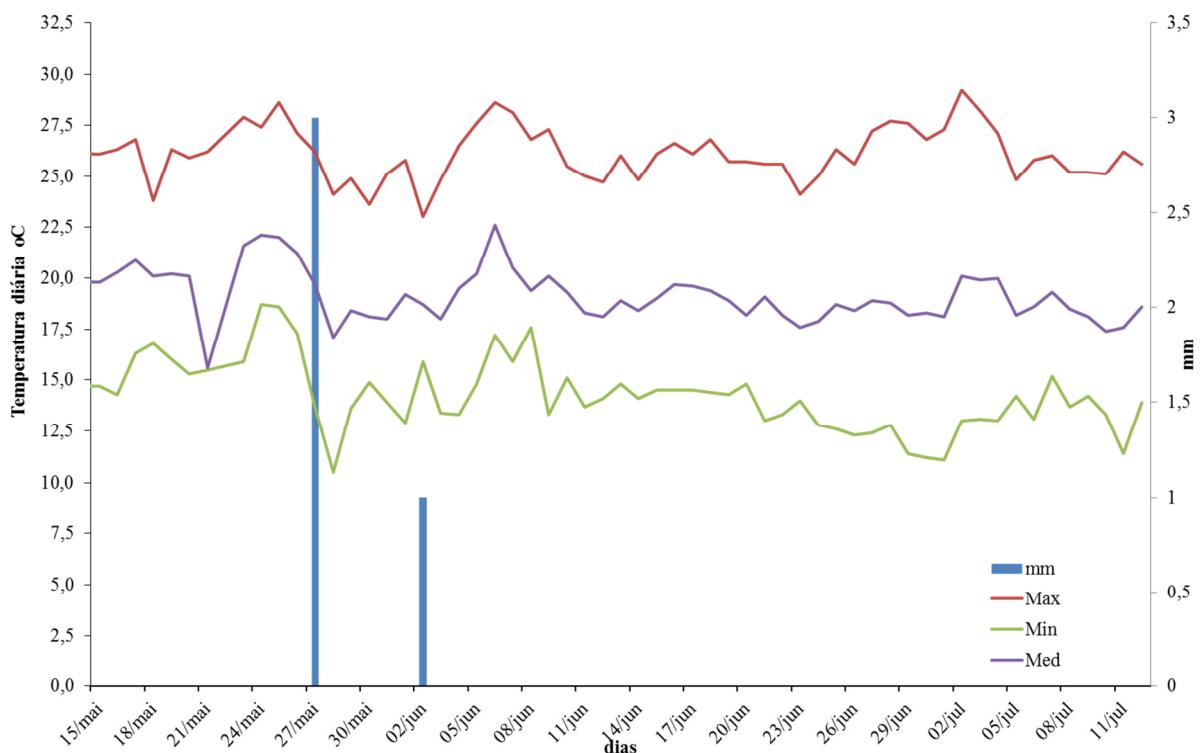


FIGURA 3.1. Temperaturas máxima e mínima e pluviosidade coletadas no período de avaliação da volatilização de NH₃, após a aplicação das fontes nitrogenadas. Patos de Minas, 2015.

O primeiro experimento foi instalado em lavoura de café cultivar Acauã-092 sob irrigação por gotejo em 3^a safra. As avaliações foram conduzidas no laboratório Central

de Análises de Fertilidade dos Solos – Cefert, localizados no Centro Universitário de Patos de Minas - (MG) no período de maio a julho de 2014.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), em esquema de parcelas subdivididas com três repetições. Essas parcelas foram constituídas por 12 fertilizantes nitrogenados e as subparcelas, pelas épocas de coleta da NH₃ (aos 2, 4, 6, 8, 10, 16, 22, 28, 43 e 58 dias após aplicação) (TABELA 3.1).

TABELA 3.1. Descrição dos fertilizantes que foram aplicados a lanço na lavoura de café Acauã irrigado para a quantificação de N- NH₃ volatilizado. Patos de Minas, 2015.

Tratamentos	Fertilizantes	Teores de N (%)
1	CONTROLE	0%
2	Nitrato de Amônio	34%
3	Ureia convencional	45%
4	Ureia Rev ₁ ¹¹	43%
5	Ureia Rev ₂ ¹²	39%
6	Mistura ₁ ¹³	T ₅ (40%) + T ₈ (60%)
7	Mistura ₂ ¹³	T ₅ (30%) + T ₈ (70%)
8	Ureia NBPT ¹⁴	44%
9	OM ¹⁵	26%
10	OM NBPT ¹⁶	26%
11	OM ₁ ¹⁷	8%
12	OM ₂ ¹⁷	6%

¹Fertilizante comercial registrado como Kimcoat®; ²Fertilizante comercial registrado como Producote®;

³Fertilizante comercial registrado como Polyblen®; ⁴Fertilizante comercial registrado como Super N®;

⁵Fertilizante comercial registrado como Geofert®; ⁶Fertilizante Organomineral com adição de NBPT Geofert®; ⁷Fertilizante Organomineral Valoriza®.

O segundo experimento foi instalado na Escola Agrotécnica Afonso Queiroz, Campus II do Centro Universitário de Patos de Minas, na cidade de Patos de Minas - MG, cujas coordenadas geográficas são: latitude de 18° 34' 44"S, longitude de 46° 31'05" W e altitude de 850 m, em um solo classificado como Latossolo Vermelho Eutroférrico, textura argilosa (EMBRAPA, 2006), no período de outubro e novembro de 2014.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) com três repetições, em esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas oito fontes de fertilizantes nitrogenados mais tratamento controle (sem aplicação de N), e as subparcelas pelas épocas de coleta da NH₃ (aos 2, 4, 6, 8, 10, 16, 24 e 31 dias após aplicação) (TABELA 3.2).

TABELA 3.2. Descrição dos fertilizantes aplicados a lanço na lavoura cafeeira Catuaí de sequeiro. Patos de Minas, 2015.

Tratamento	Fertilizante	Concentração de Nitrogênio (%)
1	Controle	0%
2	Ureia convencional	45%
3	Ureia rev ¹	43%
4	Ureia rev ²	39%
5	Mix ureia ³	44%
6	OM ⁴	6%
7	OM c/ NBPT ⁵	26%
8	OM ⁵	26%
9	Ureia c/ NBPT ⁶	44%

¹Fertilizante comercial registrado como Kimcoat®; ²Fertilizante comercial registrado como Producote®;

³Fertilizante comercial registrado como Polyblen®; ⁴Fertilizante Organomineral registrado como Valoriza®; ⁵Fertilizante Organomineral registrado como Geofert N®; e ⁶Fertilizante comercial registrado

como Super N®.

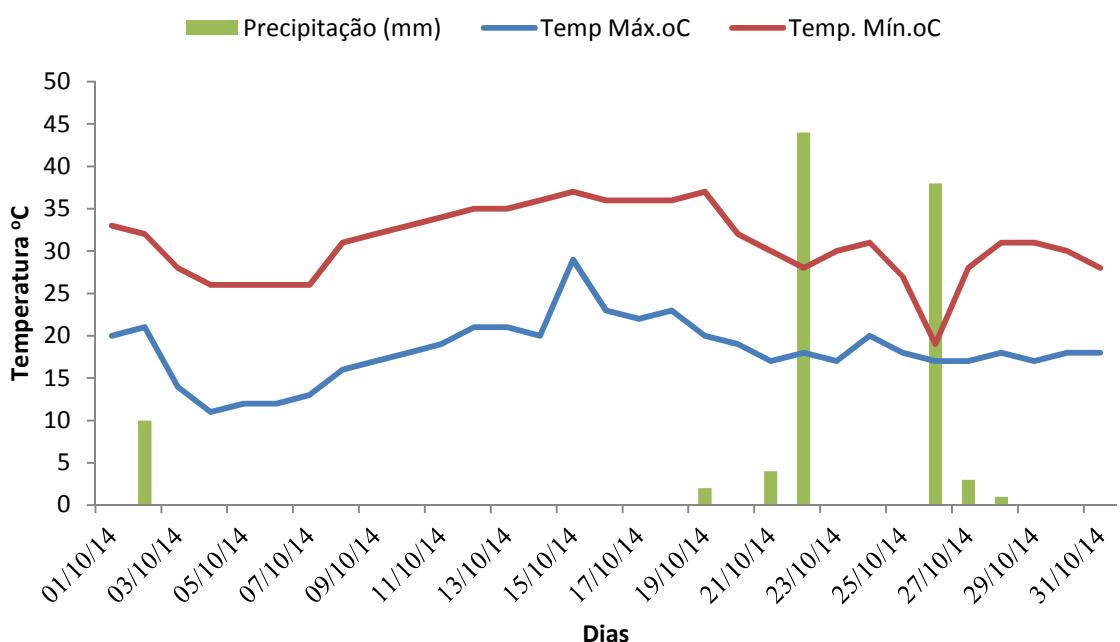


FIGURA 3.2. Temperaturas máxima e mínima e pluviosidade coletadas no período de avaliação da volatilização de NH₃, após a aplicação das fontes nitrogenadas. Patos de Minas, 2015.

Em ambos os experimentos foram aplicados os fertilizantes nitrogenados a lanço, aplicando-se 100 kg ha⁻¹ de N de acordo com área de circunferência da câmara de volatilização. As câmaras foram colocadas sob a copa dos cafeeiros (FIGURA 3.4).

O sistema adotado constituiu em câmara coletora de N-NH₃ semiaberta livre estática, confeccionada a partir de frasco plástico transparente tipo PET de 2 litros sem a base, com diâmetro de 10 cm, abrangendo 0,008 m² de superfície (FIGURA 3.3), no interior do qual fixou-se um frasco de 50 mL contendo 10 mL de solução de H₂SO₄ 0,1 mol L⁻¹ no qual adicionou-se lâmina de espuma de poliuretano com 0,3 cm de espessura, 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento, umedecida na solução, com o objetivo de absorver o nitrogênio na forma de NH₃ (N-NH₃)SO₄ (ARAÚJO et al., 2009).

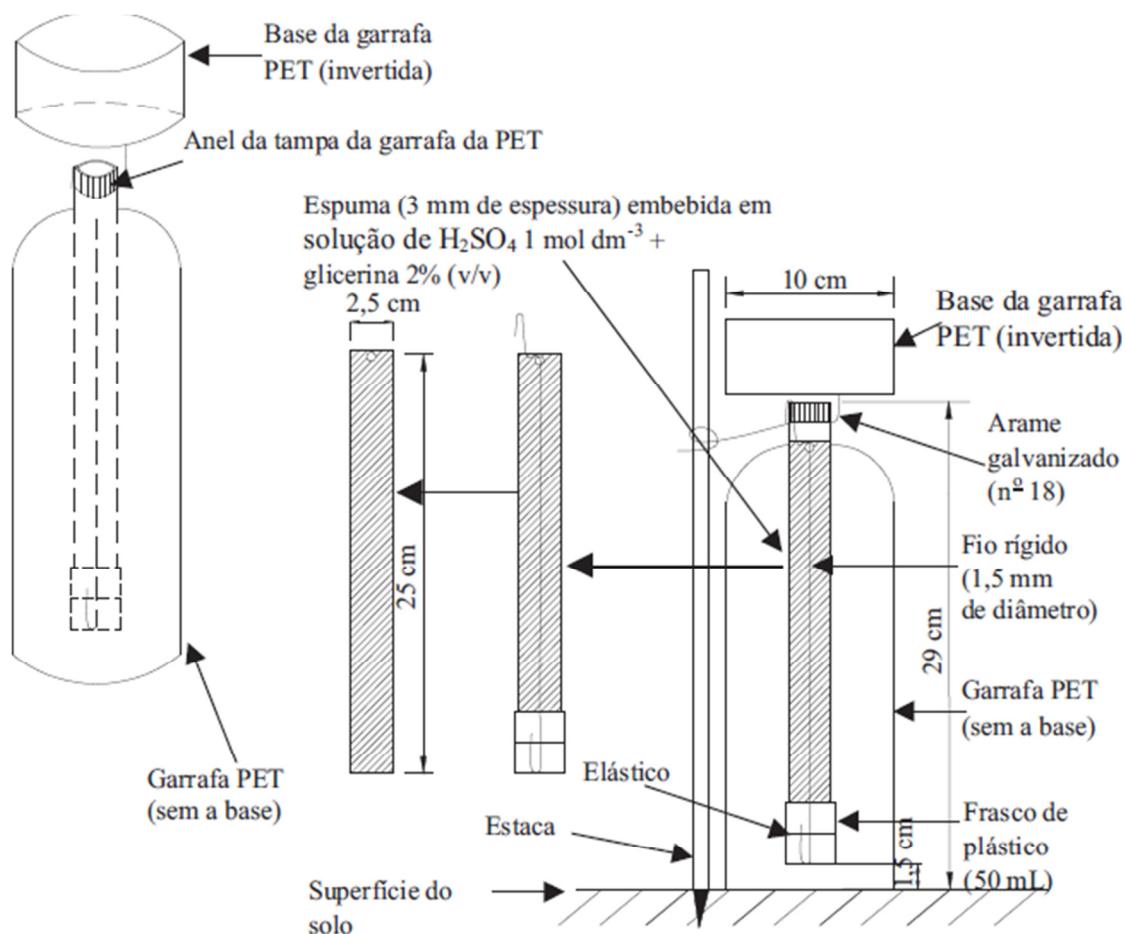


FIGURA 3.2. Esquema do sistema coletor de N-NH₃ semi-aberto livre estático – SALE (ARAÚJO et al., 2009). Patos de Minas, 2015.



FIGURA 3.4. Instalação do sistema coleto de N-NH₃ semi-aberto livre estático – SALE (ARAÚJO et al., 2009). Patos de Minas, 2015. Fotos do autor.

Em cada momento de amostragem, novas espumas embebidas em H₂SO₄ 0,1 mol L⁻¹ eram substituídas, as quais foram preparadas com antecedência no laboratório e condicionadas em refrigeração a 4°C. As coletas foram realizadas durante 58 dias, totalizando dez coletas: as quatro primeiras foram realizadas de dois em dois dias; as quatro próximas, de 6 em 6 dias e as duas últimas, de 15 em 15 dias. As espumas que capturaram a N-NH₃ volatilizado foram acondicionadas em frascos plásticos de 50 mL devidamente identificados, vedados e armazenados sob refrigeração a 4°C até o momento da análise.

No laboratório, as espumas foram retiradas individualmente do refrigerador para extração forçada de N-NH₃. Elas foram transferidas com a solução ácida remanescente do frasco de 50 mL para um erlenmeyer de 250 mL, onde se adicionou 40 mL de água destilada. O erlenmeyer, com a solução diluída, sofreu agitação a 250 RPM por 30 minutos em agitador horizontal. A determinação de N-NH₃ foi feita por destilação usando o destilador de arraste de vapor Kjeldahle; após a agitação, uma alíquota de 20 mL da solução foi transferida para tubo de digestão, onde se adiciona 20 mL NaOH (40%) para se elevar o pH da solução. O destilado foi recolhido em erlenmeyer de 125 mL contendo 10 mL de Ácido Bórico a 4% e, posteriormente titulado com H₂SO₄ a 0,01 mol L⁻¹.

A manipulação das espumas foi realizada com o auxílio de luvas e os materiais que entraram em contato com a espuma, lavados com água deionizada, no sentido de evitar a contaminação do material subsequente analisado.

Para o cálculo de nitrogênio utiliza-se a equação (1):

$$\text{mg N} = (\text{Vol. H}_2\text{SO}_4 - \text{Vol. Branco}) \times N_{\text{H}_2\text{SO}_4} \times 14 \times 20 \quad (1)$$

Em que:

mg N = Quantidade de nitrogênio NH_3 volatilizado capturado pelo coletor;

Vol. H_2SO_4 = Volume de ácido sulfúrico utilizado na titulação das alíquotas da solução extraída das espumas utilizadas nos coletores;

Vol. Branco = Volume de H_2SO_4 utilizado na titulação das alíquotas extraídas da solução de espumas não levadas a campo;

N = Normalidade do H_2SO_4 ;

14 = Massa atômica do nitrogênio;

20 = Volume da alíquota.

Ao final, os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias dentro de cada nível comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância utilizando o software Sisvar (FERREIRA, 2000).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os fertilizantes com diferentes tecnologias e concentrações apresentaram comportamento diferenciado ao longo do tempo de avaliação em relação à captura de NH₃ nas câmaras de volatilização, no experimento em cafeiro Acauã irrigado (TABELA 3.3).

TABELA 3.3. Análise de variância de perdas de volatilização de N-NH₃. Patos de Minas, 2015.

FV	GL	SQ	QM	FC	F
TRAT	11	6.323.164	0.574833	10.198	*
BLOCO	2	0.008278	0.004139	0.073	
ERRO 1	22	1.240.094	0.056368		
TEMPO	9	18.608.422	2.067.602	74.622	*
TRAT*TEMPO	99	28.958.319	0.292508	10.557	*
ERRO 2	216	5.984.880	0.027708		
TOTAL					
CORRIGIDO	359	61.123.157			
CV 1 (%) =		89,58			
CV 2 (%) =		62,80			
MÉDIA GERAL:		0,26504969			

FV- Fator de Variação; GL- Graus de Liberdades; SQ- Soma de Quadrados; QM = Quadrado Médio; F - probabilidade de significância; ns - não significativo e * significativo a 0,01 de probabilidade pelo teste f ; CV=coeficiente de variação.

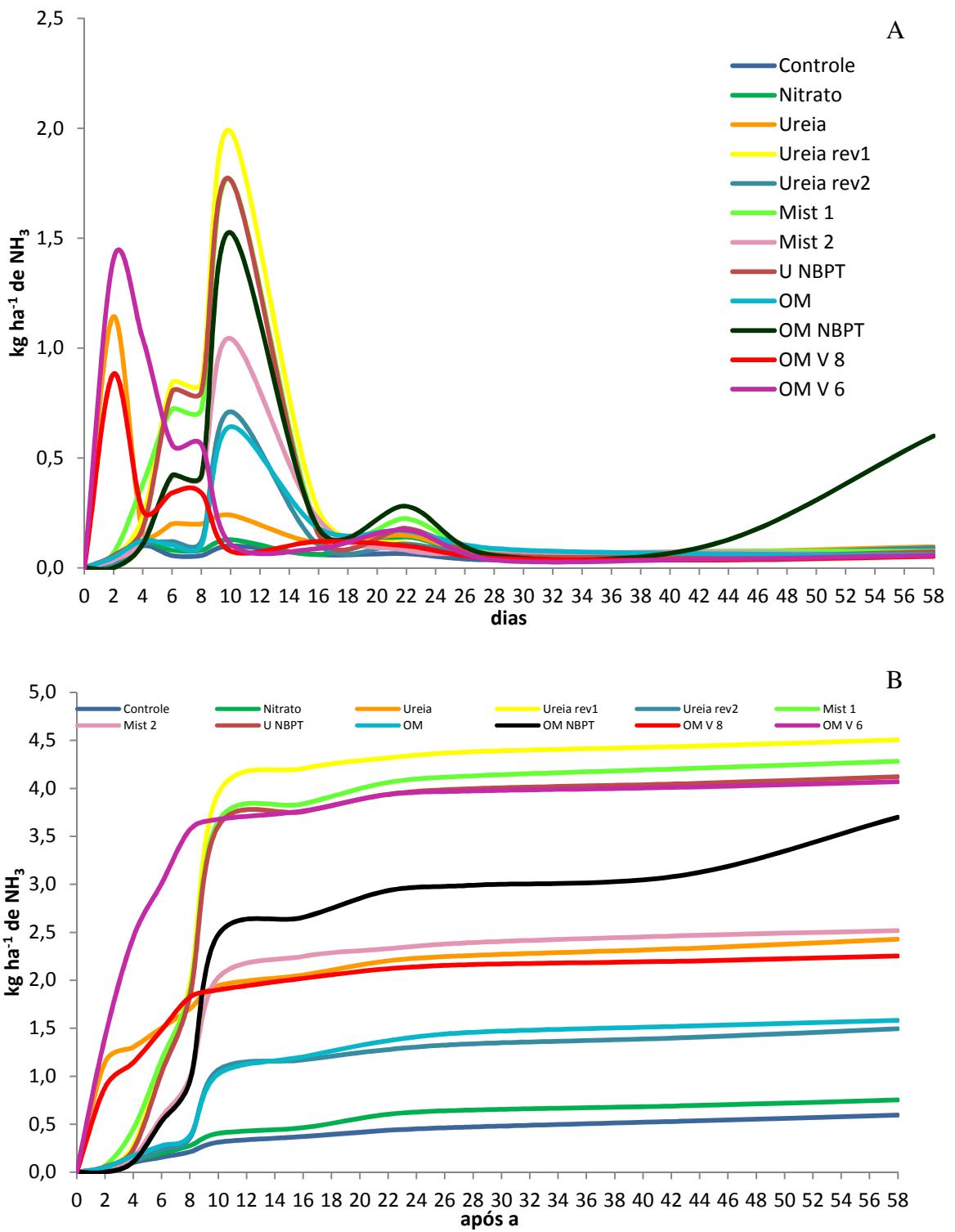
Os fertilizantes apresentaram diferentes fluxos de emissão de N-NH₃ ao longo dos 58 dias de avaliação, resultando em diferentes quantidades de NH₃ volatilizada (TABELA 3.4). Comparando as fontes no intervalo de tempo de avaliação, observaram-se taxas acumuladas de NH₃ volatilizado, em todas as fontes em relação ao controle. Os maiores valores de N-NH₃ foram observados no tratamento com a Ureia Rev₁, 4,506 kg ha⁻¹ de N-NH₃, e os menores com a aplicação de Nitrato de Amônio com 0,752 kg ha⁻¹ N-NH₃.

De acordo com Ribeiro (1996), fontes de nitrogênio como o nitrato de amônio estão sujeitas a menores perdas por volatilização, o que se verificou também neste trabalho. Segundo Savant et al. (1987), a adição de água tem influência direta sobre a hidrólise e promove o aumento da difusão do fertilizante nitrogenado e, consequentemente, maior contato com a urease no solo, fato que pode ter contribuído para maior volatilização da ureia Rev₁. Segundo Anghinoni (1985), outras perdas de N podem ocorrer simultaneamente, mascarando e até sobrepondo o efeito das perdas gasosas (NH₃).

A volatilização da NH_3 é um processo rápido que ocorre na semana seguinte da aplicação de nitrogênio (DIEST, 1988). A hidrólise ocorre após dois a três dias, tendo uma ampla faixa de umidade de solo (BYRNES, 2000). Quanto mais rápida a hidrólise, maior o potencial de perda de NH_3 . A adição de água tem influencia direta sobre a hidrólise e promove o aumento da difusão da ureia e, consequentemente, maior contato com a urease no solo (SAVANT et al., 1987). Desse modo, a volatilização de N-NH_3 é diretamente relacionado à temperatura, umidade, pH do solo e cobertura vegetal (ROCHETTE et al., 2009).

As maiores taxas diárias de N-NH_3 volatilizado foram encontradas entre o 2º e o 4º dia e entre o 8º e o 16º dia. A partir desse ponto houve diminuição da taxa de volatilização, com exceção do OM NBPT que apresentou aumento na taxa de volatilização após o 44º dia, período em que a ação do inibidor de urease já havia se dissipado (FIGURA 3.5).

Em média, as maiores taxas observadas foram entre o 8º e o 16º dia de determinação sendo: 0,216 kg ha^{-1} de N-NH_3 para o controle; 3,088 kg ha^{-1} de N-NH_3 Ureia Rev₁; 0,926 kg ha^{-1} de N-NH_3 OM; 0,934 kg ha^{-1} de N-NH_3 Ureia Rev₂; 2,719 kg ha^{-1} de N-NH_3 Ureia NBPT; 1,676 kg ha^{-1} de N-NH_3 Mistura₁; 2,126 kg ha^{-1} de N-NH_3 OM NBPT; 2,667 kg ha^{-1} de N-NH_3 Mistura₂; 0,552 kg ha^{-1} de N-NH_3 Ureia; 0,268 kg ha^{-1} de N-NH_3 Nitrato de amônio; 0,537 kg ha^{-1} de N-NH_3 OM₁; e 0,757 kg ha^{-1} de N-NH_3 OM₂. No entanto, apesar das diferenças observadas, a quantificação de NH_3 capturada foi inferior aos descritos na literatura. As condições em que foi realizado o presente trabalho não foram favoráveis para que ocorressem grandes perdas. Isso provavelmente devido à temperatura, em torno de 20°C (FIGURA 3.1), umidade constante, e a não incidência solar direta sobre o fertilizante aplicado. É importante salientar que a aplicação de água via irrigação, após a adubação, incorpora o fertilizante e as perdas são diminuídas, e as perdas por volatilização são menos significativas nas regiões com temperaturas médias inferiores a 24°C (MOREIRA, 2003).



Nos tratamentos que apresentaram as maiores taxas de volatilização verificou-se dois picos de volatilização N-NH₃: o primeiro, do 2° ao 4° dia e o segundo, do 8° ao 16° dia (FIGURA 3.4 A e B). Nesses intervalos foi encontrado volatilização de 3.364 kg ha⁻¹ N-NH₃ Ureia rev₁ seguido de 3,204 kg ha⁻¹ de N-NH₃ OM₂ e 3,116 Kg ha⁻¹ N-NH₃ mistura₂. Os resultados de volatilização podem estar relacionados ao aumento da temperatura ocorrido nesse período (FIGURA 3.1). Apesar de se ter obtido temperaturas sempre abaixo dos 30°C, houve períodos em que se verificou temperaturas próximas dos 29°C. Inúmeros experimentos mostram que as perdas de NH₃ por volatilização aumentam com a elevação da temperatura (WAHHAB et al., 1957).

Todos os fertilizantes inorgânicos apresentaram altos picos de volatilização N-NH₃ quando comparados ao controle. A ureia teve seus valores máximos ao 2° e 4° dia encontrando 1,303 kg ha⁻¹ dia⁻¹, mas a grande maioria dos fertilizantes inorgânicos apresentaram seus picos máximos do 8° ao 16° encontrando-se valores de 3,088 kg ha⁻¹ dia⁻¹ Ureia rev₁, 2,667 Kg ha⁻¹ dia⁻¹ Mistura₂, 1,676 kg ha⁻¹ dia⁻¹ Mistura₁, 0,934 kg ha⁻¹ dia⁻¹ Ureia rev₂, 0,552 Kg ha⁻¹ dia⁻¹ Ureia, 2,719 kg ha⁻¹ Ureia NBPT e 0,216 Kg ha⁻¹ dia⁻¹ para o controle; já o nitrato de amônio foi o fertilizante que menos sofreu perdas por volatilização N-NH₃ apresentando 0,268 kg ha⁻¹ dia⁻¹ (FIGURA 3.5). Todos os fertilizantes inorgânicos a partir do 28° dia apresentaram expressiva redução na taxa diária de volatilização. Isso pode indicar que a NH₃ moveu-se para camadas mais profundas do solo, onde o processo de volatilização de N-NH₃ é reduzido (RODRIGUES; KIEHL, 1992). Outros estudos já têm verificado que o processo de volatilização de NH₃ inicia-se logo após a aplicação da ureia pela rápida hidrólise desta no solo (RODRIGUES; KIEHL, 1992). Segundo Vitti; Reirinchs (2007), os fertilizantes revestidos ou de liberação controlada, apresentam como finalidade a capacidade de disponibilizar os nutrientes para as culturas de forma paulatinamente, otimizando a absorção pelas plantas e consequentemente reduzindo as perdas. Neste trabalho observou-se que o pico máximo de volatilização destes fertilizantes ocorreu no 12° dia.

TABELA 3.4. Valores médios de N-NH₃ volatilizado em kg ha⁻¹ dia⁻¹ em função da aplicação de 11 fontes de fertilizantes nitrogenados em superfície na cultura do cafeeiro Acauã. Patos de Minas, 2015.

FONTES	DIAS										
	2	4	6	8	10	16	22	28	43	58	N-NH ₃ ¹
	kg ha ⁻¹ de N-NH ₃										
CONTROLE	0,000 aA	0,100 aA	0,056 aA	0,056 aA	0,100 aA	0,060 aA	0,064 aA	0,036 aA	0,060 aA	0,064 aA	0,596 a
UREIA REV ₁ ⁴	0,044 aA	0,232 aA	0,842 dB	0,842 dB	1,986 eC	0,260 aA	0,112 aA	0,064 aA	0,056 aA	0,068 aA	4,506 e
OM	0,048 aA	0,124 aA	0,104 aA	0,104 aA	0,642 bcB	0,180 aA	0,168 aA	0,088 aA	0,064 aA	0,060 aA	1,582 b
UREIA REV ₂ ⁵	0,012 aA	0,104 aA	0,120 abA	0,120 abA	0,710 cB	0,104 aA	0,108 aA	0,060 aA	0,064 aA	0,092 aA	1,494 a
UREIA NBPT	0,056 aA	0,180 aA	0,802 dB	0,802 dB	1,765 deC	0,152 aA	0,180 aA	0,060 aA	0,052 aA	0,072 aA	4,121 d
MISTURA ₁ ²	0,036 aA	0,124 aA	0,413 abcdA	0,413 abcdA	1,043 cB	0,220 aA	0,080 aA	0,064 aA	0,072 aA	0,052 aA	2,517 c
OM NBPT	0,000 aA	0,108 aA	0,421 abcdA	0,421 abcdA	1,525 dB	0,180 aA	0,280 aA	0,056 aA	0,108 aA	0,060 aA	3,699 d
MISTURA ₂ ³	0,068 aA	0,381 aAB	0,722 cdB	0,722 cdB	1,765 deC	0,180 aA	0,224 aA	0,068 aA	0,076 aA	0,076 aA	4,282 d
UREIA	1,143 bcA	0,160 aA	0,200 abA	0,200 abA	0,240 abA	0,112 aA	0,148 aA	0,056 aA	0,072 aA	0,096 aA	2,427 b
NITRATO DE AMONIO	0,004 aA	0,112 aA	0,080 aA	0,080 Aa	0,128 aA	0,060 aA	0,140 aA	0,044 aA	0,044 aA	0,060 aA	0,752 a
OM ₁ ⁶	0,882 bB	0,260 aA	0,341 bcA	0,341 abA	0,076 aA	0,120 aA	0,100 aA	0,044 aA	0,036 aA	0,052 aA	2,252 b
OM ₂ ⁷	1,404 cC	1,043 bC	0,561 bcdB	0,561 bcdB	0,108 aA	0,088 aA	0,172 aAB	0,036 aA	0,040 aA	0,056 aA	4,069 d

CV Fontes(%)= 89,58; CVTempo (%)= 62,80; DMS Fontes(%)= 0,449

⁸K-S=0,242 ; F_{Levene}= 9,347; F_{aditividade}=7,533

¹N-NH₃ correspondente ao total da volatilização de N-NH₃ capturado em cada fertilizante nos cinquenta e oito dias de avaliação, expresso em kg ha⁻¹ de NH₃; seguidas por letras minúsculas e maiúsculas iguais na linha e coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância;

²Mistura proporcional com (Producote 40% + Super N 60%);

³Mistura proporcional com (Producote 30% + Super N 70%).

⁴Fertilizante comercial registrado como Kincout®;

⁵Fertilizante comercial registrado como Producote®;

⁶Fertilizante comercial registrado como Val 8%®;

⁷Fertilizante comercial registrado como Val 6%®;

⁸W, F_{Levene}, F_{aditividade}, valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal, variância homogênea e blocos com efeitos aditivos, respectivamente, a 0,05 de significância.

Em todos os tratamentos, a volatilização da NH₃ teve início até o 4º dia, confirmado observações anteriores de que a hidrólise da ureia no solo se dá com relativa rapidez (BYRNES, 2000). A maior parte da NH₃ foi capturada entre o 2º e o 16º, porém, mesmo após essa época, certa quantidade de NH₃ continuou a se volatilizar até o final das medições (FIGURA 3.5, TABELA 3.4). Tal fato pode estar relacionado ao fenômeno de dessorção da NH₃ retida fisicamente pelo solo; de acordo com Parr; Papendick, (1996) essa dessorção é lenta e pode persistir por várias semanas e meses.

No fertilizante Organomineral com adição de NBPT, ao contrário de outros, apresentou taxa de volatilização de N-NH₃ após o 44º dia. Segundo Cantarella et al., (2002), estudos realizados no Brasil com o NBPT adicionado à ureia, mostraram que o inibidor reduziu à metade as perdas de N-NH₃ por volatilização. O NBPT pode ser uma alternativa viável para minimização das perdas por volatilização de NH₃ (MALHI et al., 2001).

Em condições de campo, os fluxos diários de volatilização de NH₃ e consecutivas perdas de nitrogênio podem ser afetados pela ação conjunta de fatores de solo e de clima. Pode-se citar como fatores de solo, o elevado potencial de hidrólise da ureia em solo úmido, a elevação do pH no local de hidrólise da ureia e o maior conteúdo de água no solo (ERNST; MASSEY, 1960). Como fator de clima, destaca-se a temperatura que, juntamente com as características do solo, proporcionam elevada concentração de N-NH₃ próxima à superfície e alta taxa de perda de água do solo. Dessa maneira, clima e temperatura, determinam um elevado potencial de perda de N-NH₃ para fora do sistema solo.

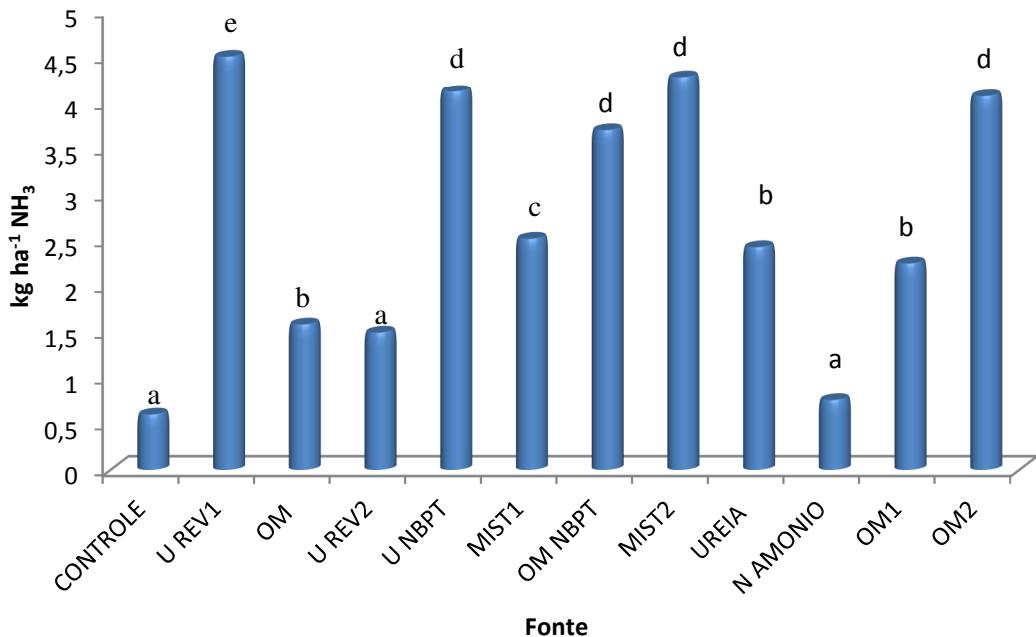


FIGURA 3.6. Volatilização de N-NH₃ (kg ha⁻¹ dia⁻¹) acumulados proveniente de fontes nitrogenadas aplicadas a lanço na cultura do cafeeiro cultivar Acauã, 58 dias após a aplicação de 100 Kg ha⁻¹ de N. Patos de Minas, 2015.

Em valores totais, o nitrato de amônio foi o fertilizante que menos teve perdas totais por volatilização 0,750 kg ha⁻¹ N, enquanto que, a ureia revestida 1 foi a que teve maiores perdas, com 4,5 kg ha⁻¹ N, nos 58 dias de avaliação (TABELA 3.4 e FIGURA 3.6).

Para o experimento de sequeiro, os fertilizantes apresentaram comportamento diferenciado ao longo do tempo de avaliação em relação à captura de NH₃ nas câmaras de volatilização (TABELA 3.5).

TABELA 3.5. Análise de variância de perdas de volatilização de N-NH₃ em cafeeiro Catuai de sequeiro. Patos de Minas, 2015.

FV	GL	SQ	QM	FC	F
Fonte	8	27,34	3,41	3,66	*
Bloco	2	0,67	0,33	0,36	
Erro 1	16	14,9	0,93		
Dia	7	29,43	4,2	14,03	*
Fonte * Dia	56	32,43	0,57	1,93	*
Erro 2	126	37,75	0,29		
Total corrigido	215	142,55			
CV 1 (%)	= 112,70				

CV 2 (%) = 63,91

FV - Fator de Variação; GL - Graus de Liberdades; SQ - Soma de Quadrados; QM = Quadrado Médio; Pr>Fc - probabilidade de significância; não significativo e (*) significativo a 0,01 de probabilidade pelo teste f; CV = Coeficiente de Variação em percentagem.

O comportamento dos fertilizantes apresentaram diferentes fluxos de emissão de N-NH₃ ao longo dos 31 dias de avaliação, influenciando os resultados com as quantidades de NH₃ capturada pelas câmaras de volatilização (TABELA 3.6).

TABELA 3.6. Análise de variância de perdas totais de volatilização de N-NH₃ em cafeiro Catuaí de sequeiro. Patos de Minas, 2015.

FV	GL	SQ	QM	FC	F
Fonte	8	196,29	24,53	4,12	*
Bloco	2	4,74	2,37	0,39	
Erro	16	95,25	5,95		
Total corrigido	26	296,29			

CV (%) = 38,30

Média geral = 6,37

FV- Fator de Variação; GL - Graus de Liberdades; SQ - Soma de Quadrados; QM = Quadrado Médio; Pr>Fc - probabilidade de significância; não significativo e (*) significativo a 0,01 de probabilidade pelo teste f; CV = Coeficiente de Variação em percentagem.

Comparando as fontes nitrogenadas no intervalo de tempo da avaliação, observou-se taxas acumuladas de NH₃ volatilizado em todas as fontes em relação ao controle (FIGURA 3.7). Os resultados obtidos no presente trabalho, de N-NH₃ volatilizado, capturado nas câmaras dos fertilizantes nitrogenados aplicados em superfície na cultura do café Catuaí de sequeiro, mostram que houve pouca volatilização. Essas baixas taxas de perdas de N podem ser explicadas pela baixa umidade do solo, devido à ausência de precipitação durante o período de avaliação, corroborando com McInnes (1986) e Lara Cabezas (1992) os quais observaram que a hidrólise da ureia em solo seco, é praticamente nula.

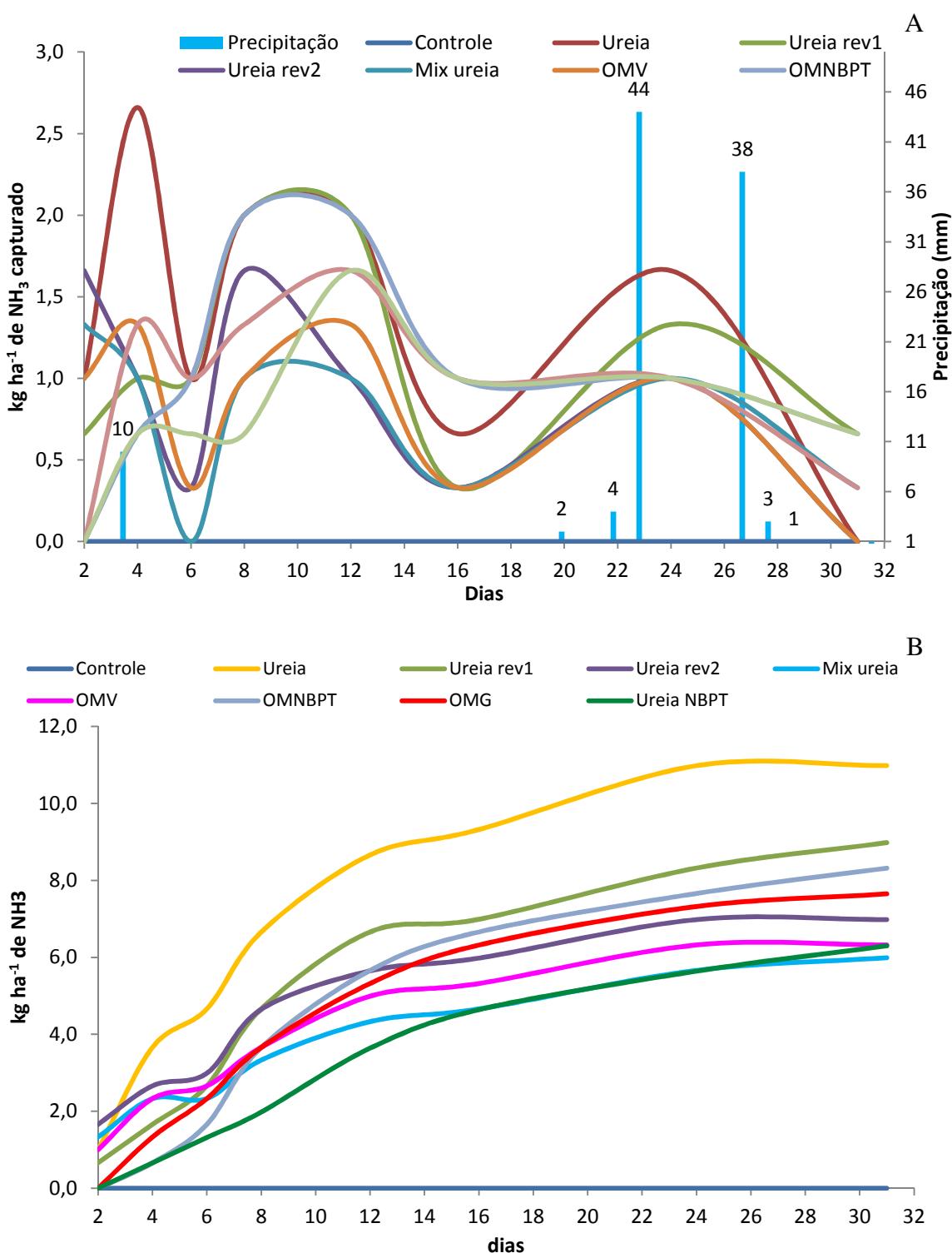


FIGURA 3.7. Taxa diária (A) e acumulada (B) de perdas de N-NH₃ por volatilização em kg ha⁻¹ proveniente de fontes nitrogenadas aplicadas a lanço na cultura do cafeiro cultivar Catuai, 31 dias após a aplicação de 100 Kg ha⁻¹ de N. Patos de Minas, 2015.

Observou-se dois picos de volatilização de N-NH₃ no período conduzido: o primeiro, do 2º ao 4º dia e o segundo, do 8º ao 12º dia (TABELA 3.7). Segundo Alves (2006), o processo de volatilização de N-NH₃ teve sua máxima expressão na primeira semana após a aplicação de ureia, também verificado nos experimentos realizados por

Lara Cabezas e Trivelin (1990) e Costa, Vitti e Cantarella (2003). E pode ser explicado pela elevação do pH do solo causada pela hidrólise da ureia, o que favorece as perdas de N-NH₃ (OLIVEIRA, 2001). Após esse período, as perdas diminuem, provavelmente, em consequência da queda do pH do solo associada ao consumo de OH durante a volatilização e a nitrificação do amônio (WHITEHEAD, 1995).

TABELA 3.7. Valores médios de N-NH₃ capturados em kg ha⁻¹ dia⁻¹ em função da aplicação de 8 fontes de fertilizantes nitrogenados em superfície na cultura do café Catuai de sequeiro. Patos de Minas, 2015.

Fonte	Tempo (dias)								Total
	2	4	6	8	12	16	24	31	
Kg ha ⁻¹ de N-NH ₃									
Controle	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 b	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
Ureia	1,00 ab	2,66 c	1,00 a	2,00 c	2,00 a	0,66 a	1,66 b	0,00 a	10,66 b
Ureia rev ¹	0,66 ab	1,00 ab	1,00 a	2,00 c	2,00 a	0,33 a	1,33 b	0,66 a	8,33 b
Ureia rev ²	1,66 b	1,00 ab	0,33 a	1,66 abc	1,00 ab	0,33 a	1,00 ab	0,00 a	7,00 b
Mix ureia ³	1,33 b	1,00 ab	0,00 a	1,00 abc	1,00 ab	0,33 a	1,00 ab	0,33 a	6,00 ab
OM ⁴	1,00 ab	1,33 b	0,33 a	1,00 abc	1,33 a	0,33 a	1,00 ab	0,00 a	5,66 ab
OM c/ NBPT ⁵	0,00 a	0,66 ab	1,00 a	2,00 c	2,00 a	1,00 a	1,00 ab	0,66 a	6,66 b
OM ⁵	0,00 a	1,33 b	1,00 a	1,33 ab	1,66 a	1,00 a	1,00 ab	0,33 a	7,33 b
Ureia c/ NBPT ⁶	0,00 a	0,66 ab	0,66 a	0,66 bc	1,66 a	1,00 a	1,00 ab	0,66 a	5,66 ab

CV%_{Dias} = 33,3; CV%_{Total} = 38,3; DMS_{Dias} = 1,29; DMS_{Total} = 6,32

⁶K-S=0,074 ; F_{Levene}= 6,121; F_{aditividade}=14,803

¹Fertilizante comercial registrado como Kimcoat®; ²Fertilizante comercial registrado como Producote®;

³Fertilizante comercial registrado como Polyblen®; ⁴Fertilizante comercial registrado como Valoriza®;

⁵Fertilizante comercial registrado como Geofert N®; e ⁶Fertilizante comercial registrado como Super N®.

⁶W, F_{Levene}, F_{aditividade}, valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal, variância homogênea e blocos com efeitos aditivos, respectivamente, a 0,05 de significância.

Byrnes (2000) também corrobora com os resultados do presente trabalho, quando informa que a ureia aplicada ao solo é rapidamente hidrolisada e a taxa de hidrólise depende da temperatura do solo, umidade, quantidade e forma pela qual a ureia é aplicada. Conforme Trenkel (2010), a taxa de hidrólise é maior em altas temperaturas porque a atividade da urease aumenta com o aumento da temperatura.

Neste experimento, as perdas chegaram a 8,66 kg ha⁻¹ de NH₃ nos primeiros 12 dias. Segundo Raij (1997), as perdas a campo são variáveis, mas estima-se que possam chegar a 20% ou mais do N aplicado se as condições favorecerem a volatilização. Também Lara Cabezas et al. (1997) obteve perdas de ureia que chegaram a quase 30% com a aplicação superficial no plantio convencional.

As fontes que tiveram menores perdas, em ordem crescente de volatilização foram (TABELA 3.7, FIGURA 3.8): organomineral (OM⁵), com 5,66 kg ha⁻¹ de NH₃; ureia com NBPT, com 5,66 kg ha⁻¹ de NH₃; mix ureia, com 6,0 kg ha⁻¹ de NH₃; organomineral com NBPT, com 6,66 kg ha⁻¹ de NH₃; ureia revestida 2, com 7,0 kg ha⁻¹ de NH₃; organomineral (OM⁴), com 7,33 kg ha⁻¹ de NH₃; ureia revestida 1, com 8,33 kg ha⁻¹ de NH₃; e ureia convencional, com 10,66 kg ha⁻¹ de NH₃. Esses valores ainda são baixos quando comparados àqueles obtidos por Lara Cabezas, et al, (1997) e Martha Jr., et al, (2004).

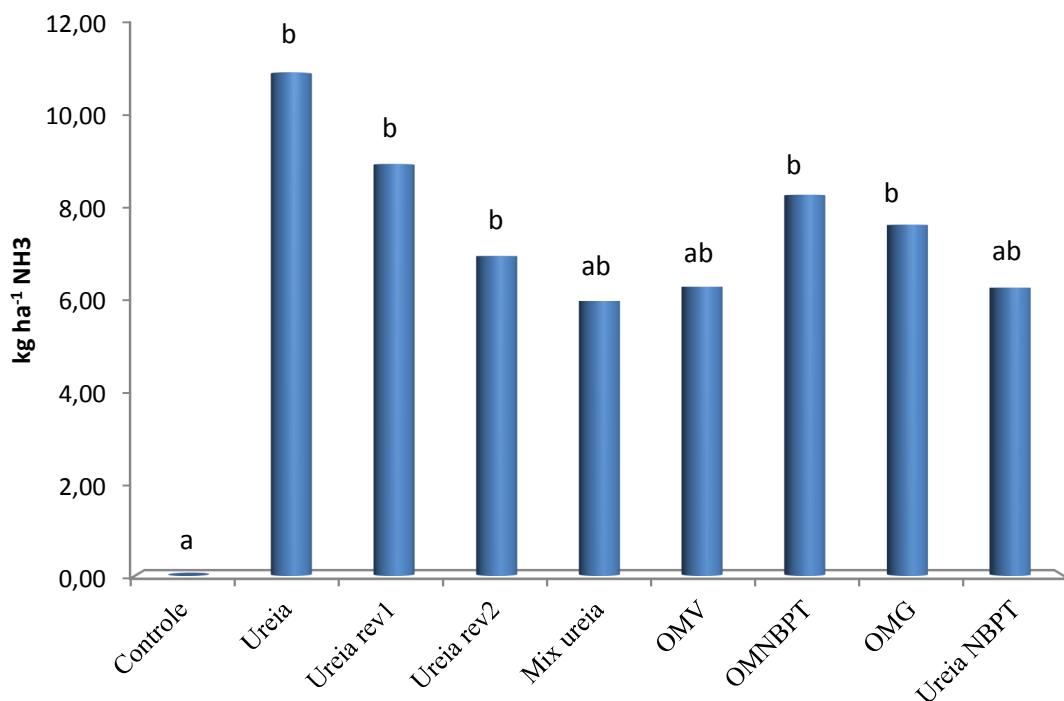


FIGURA 3.8. Resultados da volatilização de N-NH₃ (kg ha⁻¹ dia⁻¹) acumulados provenientes de fontes nitrogenadas aplicadas a lanço na cultura do cafeeiro cultivar Catuai, 31 dias após a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N. Patos de Minas, 2015.

Os fertilizantes inorgânicos tiveram seus picos de volatilização do 2º ao 4º dia e do 8º ao 12º dia (TABELA 3.7). A ureia obteve seus valores máximos do 2º ao 4º dia, juntamente com a mix ureia encontrando 3,66 kg ha⁻¹ de NH₃ e 2,33 kg ha⁻¹ de NH₃, respectivamente. Porém, a maioria dos fertilizantes inorgânicos apresentaram seus picos máximos do 8º ao 16º dia, apresentando-se valores de 4,0 kg ha⁻¹ de NH₃ para ureia revestida 1, 2,66 kg ha⁻¹ de NH₃ para ureia revestida 2 e 2,32 kg ha⁻¹ de NH₃ para ureia com NBPT. Os polímeros propiciam condições de controle e podem ser produzidos para sincronizar a liberação do N de acordo com as necessidades nutricionais das plantas ao longo do ciclo de cultivo (BLAYLOCK, 2007). No enfoque da redução das perdas de

nitrogênio, Breda et al. (2010), avaliando as perdas por volatilização de N da ureia recoberta com polímeros, verificaram a diminuição de 20% nas perdas por volatilização com o revestimento da ureia com tecnologia industrial (Kimcoat). Já no presente trabalho, o mesmo mostrou pouca eficiência na redução da volatilização do nitrogênio na forma de NH_3 .

Verifica-se também que a ureia com NBPT apresentou liberação mais lenta do N nas primeiras coletas, indicando a ação do inibidor de urease e mostrando que ficou disponível no solo por um período mais prolongado.

O inibidor ocupa o local de atuação da urease e inativa a enzima (MOBLEY; HAUSINGER, 1989). Assim, retarda o início e reduz o grau de velocidade de volatilização de N-NH_3 .

Segundo Christianson et al. (1990) o atraso na hidrólise reduz a concentração de N-NH_3 presente na superfície do solo, diminui o potencial de volatilização de N-NH_3 e permite o deslocamento da ureia para horizontes mais profundos do solo.

Esse resultado corrobora com os obtidos por Barth et al. (2006), que observaram perdas de NH_3 de cerca de 24% do N aplicado como ureia e de 10% do N aplicado como ureia mais polímero (NBPT), uma redução das perdas de mais de 50% com o uso do inibidor, em estudo com cana de açúcar colhida sem despalha a fogo.

As reduções das perdas por volatilização de NH_3 com inibidores de urease (NBPT) podem atingir a variação de 55 a 99% (WATSON et al., 1994). O NBPT geralmente reduz fortemente a hidrólise da ureia nos primeiros sete dias e, após esse período, perde seu efeito gradativamente (CANTARELLA et al., 2005).

Os fertilizantes organominerais apresentaram suas maiores taxas de volatilização entre o 8º e o 12º dia (TABELA 3.7), exceto a organomineral (OM⁵), que obteve valores máximos também do 2º ao 4º dia. As perdas nos picos de volatilização foram de 4,0 kg ha^{-1} de NH_3 para organomineral com NBPT, 2,99 kg ha^{-1} de NH_3 para organomineral (OM⁴) e 2,33 kg ha^{-1} de NH_3 para organomineral (OM⁵).

A maior parte da NH_3 perdeu-se entre o 2º e o 12º dia, porém, mesmo após esse período, o N continuou a se volatilizar, em função do aporte de água pluvial no solo, principalmente nos dias 22 a 28 após a aplicação dos fertilizantes (FIGURA 3.7).

A condição de sequeiro propiciou menor reação dos fertilizantes no solo, fazendo com que, após as chuvas no período final de avaliação, aumentassem as perdas de NH_3 , visto que parte do N ainda estava no solo sob a forma dos fertilizantes. Nesse período as perdas foram semelhantes para todos os fertilizantes (FIGURA 3.7).

3.4 CONCLUSÕES

Área irrigada por gotejo:

- as maiores perdas por volatilização foram observadas com a aplicação de ureia convencional, sendo o pico de volatilização observado no entre o 8° e o 16° dia após a aplicação;
- o nitrato de amônio apresentou as menores taxas de volatilização de NH₃ dentre as fontes avaliadas;

Área de sequeiro:

- não houve diferença na taxa de volatilização de NH₃ entre as fontes avaliadas;

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, A. C. **Perdas de amônia por volatilização e emissão foliar em pastagem adubada com fontes de nitrogênio.** 2009. 70 f. Tese (Doutorado) – Curso de Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2009.
- ANGHINONI, I. Adubação nitrogenada nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: SANTANA, M. B. M. (Ed). **Adubação nitrogenada no Brasil.** Ilhéus: CEPLAC; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, [S.1.], p.1-18, 1985.
- ARAÚJO, E. S. et al. Calibração de câmara semiaberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 769-776, 2009.
- BARTH, G. et al. Volatilização de N-NH₃ quanto as fontes e doses de nitrogênio aplicadas sobre a palhada de cana-de-açúcar. In: FERTIBIO, 2006, Bonito. **Anais...** Bonito: SBCS, 2006. 1 CD-ROM.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, L. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 105-112, 1997.
- BLAYLOCK, A. Novos fertilizantes nitrogenados: o futuro dos fertilizantes nitrogenados de liberação controlada. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 120, p. 8-10, dez. 2007.
- BREDA, F. A. F. et al. Perdas por volatilização de N-ureia revestida com polímeros. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 29., 2010, Guarapari. **Anais...** Guarapari: [s.n.], 2010.
- BYRNES, B. H. Liquid fertilizers and nitrogen solutions. In: INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER. **Fertilizer manual**. Alabama, Kluwer Academic, p. 20-44, 2000.
- CANTARELLA, H. et al. Ammonia losses of NBPT-treated urea under Brazilian soil conditions. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, 2005, Frankfurt. **Anais...** Frankfurt: IFA, 2005. 01 CD-ROM.
- CANTARELLA, H. et al. Evaluation of the effect of the urease inhibitor NBPT (N-(n-butyl) triophosphoric acid triamide) on the efficiency of urea fertilizer under Brazilian soil conditions. **Technical report**. Campinas: Instituto Agronômico e Fundag, 2002.
- CHRISTIANSON, C. B.; BYRNES, B. H.; CARMONA, G. A comparison of the sulfur and oxygen analogs of phosphoric triamide urease inhibitors in reducing ureahydrolysis and ammonia volatilization. **Fertilizer Research**. Cambridge, MA, v. 26, p. 21-27, 1990.
- 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. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 631-637, 2003.

DIEST, V. A. Volatilización del amoníaco en los suelos anegados, y sus repercusiones en el rendimiento de arroz. **Noticiarios de la Comisión Internacional del arroz**, FAO, v. 37, p. 1-6, 1988.

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

FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, p. 255-258, 2000.

FILLERY, I. R. P., SIMPSON, J. R., DE DATTA, S. K. Influence of field environment and fertilizer management on ammonia loss from flooded rice. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 48, p. 914-920, 1984.

LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 14, p. 345-352, 1990.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 489-496, 1997.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A., **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MALHI, S. S. et al. Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: a review. **Soil & Tillage Research**, London, v. 60, p. 101-122, 2001.

MARTHA JR., G. B. et al. Perda de amônia por volatilização em pastagem de capim-tanzânia adubada com uréia no verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v. 33, n. 6, p. 2240-2247, 2004.

MCINNES, K. J. et al. Field measurements of ammonia loss from surface application of urea solution to bare soil. **Agronomy Journal**, Madison, v.78, p. 192-196, 1986.

MATIELLO, J. B. **O café**: do cultivo ao consumo. São Paulo: Globo, 1991. 320 p.

MOBLEY, H. L. T.; HAUSINGER, R. P. Microbial ureases: significant, regulation, and molecular characterization. **Microbiology Reviews**. Bethesda, MD, v. 53, p. 85-108, 1989.

MOREIRA, C. F. **Caracterização de sistemas de café orgânico sombreado e a pleno sol no sul de Minas Gerais.** 2003. 78 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

OLIVEIRA, P. P. **Manejo de calagem e da fertilização nitrogenada na recuperação de pastagens degradadas de Brachiaria sp. em solos arenosos.** 2001. 110 f. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, [S.l.], 2001.

PARR, J. F.; PAPENDICK, R. I. Retention of anhydrous ammonia by soil: II. effect of ammonia concentration and soil moisture. **Soil Science**, New Brunswick, v.101, p. 109-119, 1996.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Ceres/Potafos, 1991. 343p.

RIBEIRO, A. C. **Como evitar a perda do nitrogênio de adubo por volatilização.** Boletim Informativo da SBCS, Campinas, v. 21, n. 2, p. 43-46, 1996.

ROCHETTE, P. et al. Banding urea increased ammonia volatilization in a dry acidic soil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, WI, 2009.

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

RODRIGUEZ, M. B., KIEHL, J. C. Volatilização de amônia após emprego da uréia em diferentes doses em modo de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 10, p. 37-43, 1986.

SAVANT, N. K.; JAMES, A. F.; McCLEAN, G. H. Effect of amounts and sequence of additions of urea and water on hydrolysis of surface-applied granular urea in unsaturated soils. **Fertilizer Research**, Cambridge, MA, v. 11, p. 231-234, 1987.

VITTI, G. C.; HEIRINCHS, R. Formas tradicionais e alternativas de obtenção e utilização do nitrogênio e do enxofre: uma visão holística. In: YAMADA, T.; STIPP, S. R.; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre: na agricultura brasileira.** Piracicaba: IPNI, p.109-157, 2007.

TRENKEL, M.E. **Slow and controlled-release and stabilized fertilizers:** an option for enhancing nutrient efficiency in agriculture. 2. ed. Paris: IFA, 2010.

WAHHAB, A.; RANDHAWA, M. S.; ALAM, S. Q. Loss of ammonia from ammonium sulfate under different conditions when applied to soils. **Soil Science**. Baltimore, v. 84, p. 249-255, 1957.

WATSON, C. J. et al. Soil properties and the ability of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (NBPT) to reduce ammonia volatilization from surface-applied urea. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 26, p. 1165-1171, 1994.

WHITEHEAD, D. C. Volatilization of ammonia. In: _____. **Grassland nitrogen.** Wallingford: CAB international, 1995. p. 152-179.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fertilizantes polimerizados, com inibidores de urease, e os organominerais podem reduzir a volatilização de N-NH₃, quando comparados às fontes tradicionais como a ureia.

Novas tecnologias em fertilizantes nitrogenados podem reduzir as perdas deste nutriente, o que pode proporcionar maior eficiência na aplicação, disponibilidade e absorção de N pelas plantas, o que acarretará maior desenvolvimento delas e maior produtividade.

A presença e a quantidade de água disponíveis no solo influenciam diretamente as reações de hidrólise da ureia, sendo quanto maior a quantidade de água, maior a quantidade desta reação e, consequentemente, maior a possibilidade de perda de N por volatilização. Se a quantidade de água no solo não for suficiente para incorporar o fertilizante, as perdas por volatilização podem chegar a até a perda total deste para o ambiente.

Os fertilizantes com diferentes tecnologias tem se mostrado mais duradouros no solo, quando comparados à ureia, de modo que podem proporcionar maior disponibilidade do nutriente para as plantas e por um período de tempo maior.

ANEXO

FERTILIZANTES NITROGENADOS COM DIFERENTES TECNOLOGIAS: CONCEITOS.

Fertilizante Polimerizado

Os fertilizantes revestidos, chamados de fertilizante de libertação controlada ou de liberação lenta são aqueles que atrasam a disponibilidade inicial dos nutrientes ou incrementam a sua disponibilidade no tempo através de diferentes mecanismos. Não há uma diferenciação oficial entre fertilizantes de liberação controlada e de liberação lenta. Entretanto, os produtos de degradação microbiana, como ureia-formaldeído e outros, ureia-aldeídos são comercialmente designados como fertilizantes de liberação lenta (“slow-release fertilizer”). Aqueles que são revestidos por películas de enxofre ou polímeros de natureza diversa são designados de fertilizantes de liberação controlada (“controlled release fertilizer”) (TRENKEL, 1997).

Os fertilizantes recobertos incluem compostos solúveis envolvidos por uma membrana semipermeável, que controla a liberação de nutrientes ao meio de cultivo (fertilizantes de liberação controlada) (BENNETT, 1996).

O emprego de fertilizantes revestidos tem por finalidade disponibilizar os nutrientes para as culturas por um maior período de tempo e aperfeiçoar a absorção pelas plantas reduzindo perdas por lixiviação (MORGAN *et al.*, 2009).

As principais vantagens dos fertilizantes de liberação lenta ou controlada, segundo Shaviv (2001), são: fornecimento regular e contínuo de nutrientes na época necessária para as plantas; menor frequência de aplicações; redução de perdas de nutriente por lixiviação, desnitrificação (fonte de N_2O), imobilização e ainda volatilização; eliminação de danos causados a sementes e raízes devido à alta concentração de sais; maior praticidade no manuseio dos fertilizantes; redução da poluição ambiental pelo NO_3^- , atribuindo valor ecológico à atividade agrícola (menor contaminação de águas subterrâneas e superficiais); redução nos custos de produção.

Apesar do alto potencial dos fertilizantes de liberação lenta para aumentar a eficiência de aproveitamento de fertilizantes nitrogenados, o uso de tais produtos é limitado pelo alto custo em comparação com os fertilizantes tradicionais

(CANTARELLA, 2007).

O uso de polímeros no revestimento da ureia tem sido apresentado como uma nova opção na redução da volatilização do N, porém por se tratar de um produto em início das pesquisas pouco se sabe sobre seu comportamento.

Fertilizante Organomineral

Fertilizante organomineral é a mistura física de fontes orgânicas e minerais de nutrientes, que contenha concentrações mínimas de macronutrientes primários, secundários ou micronutrientes e carbono orgânico (MAPA, 2009).

Os fertilizantes organominerais são aqueles produtos resultantes da mistura de física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos (INSTRUÇÃO NORMATIVA N 23. DE 31 DE AGOSTO DE 2005). Kiehl (2008) relatou que o fertilizante organomineral apresentou potencial químico reativo menor que o fertilizante mineral, sendo sua solubilização gradativa, de forma que as reações com N podem ser retardadas, permanecendo o nutriente por mais tempo no solo.

A fabricação do fertilizante organomineral é feita industrialmente, partindo-se de uma ou mais matérias-primas orgânicas consideradas como bom fertilizante orgânico e a elas juntando-se corretivos, quando for o caso, macronutrientes primários e secundários, bem como micronutrientes, segundo as fórmulas de cada fabricante. Quando a matéria-prima orgânica apresenta acidez, corrige-se o pH antes de se juntar os nutrientes minerais. Matérias orgânicas como o lixo domiciliar e o lodo de esgoto sofrem um processo de compostagem transformando-se em húmus para depois receberem os fertilizantes minerais. A turfa e o lignito recebem calagem para ajustar o pH próximo da neutralidade e em certos processos em tratamento especial químico e térmico.

Inibidores de urease (NBPT)

Ureas são enzimas dependentes de níquel que catalisam a reação de hidrólise da ureia à amônia e carbamato, o qual se decompõe espontaneamente para formar uma segunda molécula de amônia e dióxido de carbono (Dixon et al., 1975). Apresentam

ampla distribuição em plantas, fungos e bactérias, mas não são sintetizadas por animais (Carter et al., 2009).

O papel das ureases em plantas está relacionado ao reaproveitamento de nitrogênio a partir da ureia proveniente do catabolismo da arginina. A arginina é a principal forma de armazenamento de nitrogênio em sementes, a qual é degradada em ornitina e ureia pela arginase (SILVA, 2012).

O aumento na atividade da arginase, com consequente aumento no conteúdo de ureia, também é observado durante a senescência em plantas. Nessa etapa, o nitrogênio armazenado na forma de arginina é metabolizado e transportado para as sementes em desenvolvimento. Todd e Polacco (2004) mostraram que a inibição da atividade de ambas ureases da soja leva ao acúmulo de ureia quando a planta está na fase de enchimento de grãos.

Com o objetivo de retardar a hidrólise da ureia, compostos com potencial de atuar como inibidores da urease têm sido avaliados, retardando as reações que levam a volatilização de N-NH₃, até que a ureia possa ser incorporada pela chuva. Entre os produtos testados como inibidor da urease, o NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) vem obtendo bons resultados (BREMNER & CHAY, 1986; BRONSON et al., 1989).

O inibidor ocupa o local de atuação da urease, inativando a enzima retardando o início e reduzindo o grau de velocidade de volatilização de N-NH₃ por aproximadamente 14 dias. O atraso na hidrólise reduz a concentração de N-NH₃ presente na superfície do solo, diminuindo o potencial de volatilização de N-NH₃ e permitindo o deslocamento da ureia para horizontes mais profundos do solo (CONTIN, 2007).