

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

VINÍCIUS JOSÉ RIBEIRO

**FERTILIZANTES NITROGENADOS ESTABILIZADOS E DE LIBERAÇÃO
LENTA: VOLATILIZAÇÃO E DISPONIBILIDADE PARA PLANTA**

ALEGRE – ES

2015

VINÍCIUS JOSÉ RIBEIRO

**FERTILIZANTES NITROGENADOS ESTABILIZADOS E DE LIBERAÇÃO
LENTA: VOLATILIZAÇÃO E DISPONIBILIDADE PARA PLANTA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal na área de concentração Solos e Nutrição de Plantas. Orientador: Prof. D.Sc. Felipe Vaz Andrade

ALEGRE – ES

2015


VINÍCIUS JOSÉ RIBEIRO

**FERTILIZANTES NITROGENADOS ESTABILIZADOS E DE
LIBERAÇÃO LENTA: VOLATILIZAÇÃO E DISPONIBILIDADE
PARA PLANTA**

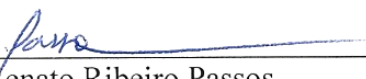
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal na área de concentração Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em 23 de fevereiro de 2015.


COMISSÃO EXAMINADORA:



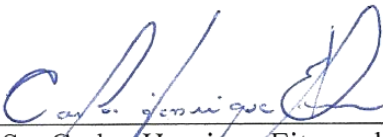
Prof. D Sc. Felipe Vaz Andrade
Centro de Ciências Agrárias – UFES
Orientador



Prof. D Sc. Renato Ribeiro Passos
Centro de Ciências Agrárias – UFES
Coorientador



Prof. D Sc. Eduardo de Sá Mendonça
Centro de Ciências Agrárias – UFES



Prof. D Sc. Carlos Henrique Eiterer de Souza
Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)

(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

Ribeiro, Vinícius José, 1986-

R484f Fertilizantes nitrogenados estabilizados e de liberação lenta: volatilização e disponibilidade para planta / Vinícius José Ribeiro. – 2015.

82 f. : il.

Orientador: Felipe Vaz Andrade.

Coorientador: Renato Ribeiro Passos.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Fertilizantes nitrogenados. 2. Fertilizantes de liberação lenta. 3. Fertilizantes estabilizados. 4. Amônia. I. Andrade, Felipe Vaz. II. Passos, Renato Ribeiro. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU: 63

A Deus.

Aos meus queridos pais, José e Lindaura.

Ao meu irmão, Tiago.

A minha amada namorada Jackeline.

*Por todo amor, carinho, companheirismo, compreensão e incentivo às minhas
conquistas.*

OFEREÇO E DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, agora e todos os dias, por tudo que tenho e pelo que sou, pela oportunidade de viver e realizar esse sonho;

Agradeço aos meus pais, José e Lindaura e meu irmão Tiago, por todo amor, pelos ensinamentos e incentivo, por acreditarem em mim e por proporcionarem todos os meios para que eu chegasse até aqui;

Agradeço a minha amada namorada e futura esposa Jackeline, um presente de Deus na minha vida, por todo amor, pela ajuda em todos os momentos, por me incentivar sempre e principalmente pela sua compreensão;

Agradeço ao professor e orientador Felipe Vaz Andrade, exemplo de ser humano e profissional, pela orientação deste trabalho, amizade e confiança depositada em mim;

Agradeço a todos os professores, pela amizade e pelos ensinamentos e à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), pelo ensino de qualidade, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Campus Alegre, pela oportunidade de realização deste curso;

Agradeço a CAPES - Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior, pela concessão de bolsa de auxílio aos estudos;

Agradeço a todos os amigos, colegas de curso, alunos de graduação e funcionários, em especial a Laís, Amanda, Fabiano, Paulo, Marcelo, Eduardo, Lucas, Victor, Pedro, Gustavo (UNIPAM), pelo auxílio indispensável na execução deste trabalho;

Enfim, a todos que não foram citados nominalmente, mas que contribuíram para que o meu objetivo fosse alcançado.

RESUMO GERAL

RIBEIRO, Vinícius José, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, fevereiro de 2015. **Fertilizantes nitrogenados estabilizados e de liberação lenta: volatilização e disponibilidade para planta.** Orientador Prof. D Sc. Felipe Vaz Andrade. Coorientador Prof. D Sc. Renato Ribeiro Passos.

Novas tecnologias em fertilizantes têm sido desenvolvidas e amplamente utilizadas para minimizar perdas e aumentar a eficiência, a exemplo dos fertilizantes de liberação lenta, e estabilizada. Este estudo foi dividido em dois experimentos: um experimento em laboratório (ambiente controlado) e um em casa de vegetação. O experimento em laboratório teve por objetivo avaliar as perdas de N-NH₃ por volatilização. Os tratamentos seguiram esquema fatorial 5 x 3 x 2 em que os fatores em estudo foram: cinco fontes de fertilizantes nitrogenados (ureia convencional - UC; ureia combinada com zeólita - UZ; ureia revestida com enxofre - US; ureia revestida com NBPT - U_{NBPT}; e ureia combinada com material orgânico “organomineral” - UO); três épocas de aplicação (Época 1: 100 %; Época 2: 50 % + 50 % e Época 3: 33,4 % + 33,3 % + 33,3 %) e dois manejos (aplicação superficial ou incorporado ao solo), com três repetições. O experimento foi conduzido utilizando câmara coletora semiaberta livre estática (SALE) para captura da NH₃ por um período de 25 dias com as coletas e trocas das espumas realizadas no 2º, 4º, 7º, 9º, 11º, 14º, 16º, 18º, 21º, 23º e 25º dias após o início do experimento. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo seus efeitos desdobrados em contrastes e a curva de volatilização de NH₃ (produção acumulada de N-NH₃) com o tempo de incubação foi ajustada a equações logísticas $Y = a / (1 + e^{-(b+cx)})$. O experimento em casa de vegetação teve por objetivo avaliar a eficiência de fontes nitrogenadas de liberação controlada e estabilizados no desenvolvimento inicial de *Coffea arabica* L. Os tratamentos seguiram esquema fatorial 6 x 3 em que os fatores em estudo foram: seis fontes de fertilizantes nitrogenados (ureia convencional – UC; nitrato de amônio – NA; ureia revestida com enxofre elementar – US; ureia revestida com enxofre elementar e polímero – USP; ureia combinado com material orgânico – UO; e ureia combinado com material orgânico e NBPT - UO_{NBPT}); três

épocas de aplicação do fertilizante (Época 1: 100 %; Época 2: 50 % + 50 % e Época 3: 33,4 % + 33,3 % + 33,3 %). O experimento foi conduzido por 150 dias. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo seus efeitos desdobrados em contrastes. Os resultados indicaram a seguinte ordem crescente de volatilização de N-NH₃: UZ < US < UC < U_{NBPT} < UO, independente da época e do manejo adotado. Para todas as fontes utilizadas ocorreu diminuição das perdas de 20,45 % para 12,29 % quando parceladas as fontes, e de 19,63 % para 13,95 % quando as mesmas foram incorporadas. Para o teor e conteúdo de N nas folhas observou a seguinte ordem: UC > NA > US > USP > UO > UO_{NBPT}, contrariando os efeitos benéficos em relação ao fornecimento de N para os fertilizantes com tecnologia associada em relação à fonte convencional - Ureia.

PALAVRAS-CHAVE: fertilizantes de liberação lenta, fertilizantes estabilizados, amônia.

GENERAL ABSTRACT

RIBEIRO, Vinícius José, Center of Agrarian Sciences of the Federal University of Espírito Santo, February of 2015. **Stabilized and slow-release nitrogen fertilizers: volatilization and availability to the plant.** Advisor Prof. D Sc. Felipe Vaz Andrade. Co advisor Prof. D Sc. Renato Ribeiro Passos.

New technologies have been developed and largely used to minimize losses and increase efficiency, such as stabilized and slow-release fertilizers. This work was divided into two experiments: a laboratory (controlled environment) and a greenhouse experiment. The experiment in laboratory aimed to evaluate the losses of N-NH₃ by volatilization. The treatments followed a factorial 5 x 3 x 2 in which the factors studied were: five sources of nitrogen fertilizers (conventional urea – CU; urea mixed with zeolite - UZ; sulfur-coated urea - US; NBPT-coated urea - UNBPT, and urea mixed with organic material "organomineral" – UO); three application seasons (Season 1: 100 %; Season 2: 50 % + 50 % and Season 3: 33.4 % + 33.4 % + 33.3 %) and two cropping systems (surface or incorporated into the soil application), with three replications. The experiment was carried out by using a static-free semi-open collection chamber (SFSO) to capture the NH₃ during 25 days with the collects and exchange of foams made in 2nd, 4th, 7th, 9th, 11th, 14th, 16th, 18th, 21st, 23rd and 25th day after the beginning of the experiment. The data obtained were submitted to analyzes of variance, and their effects were deployed in contrasts and the volatilization of NH₃ curve (cumulative production of N-NH₃) with the incubation time was adjusted to logistic equations $Y = a/1+e^{-(b+cx)}$. The greenhouse experiment aimed to evaluate the efficiency of stabilized and slow-release nitrogen sources on initial development of *Coffea arabica* L.. The treatments followed a factorial 6 x 3 in which the factors studied were: six nitrogen fertilizers sources (conventional urea – CU; ammonium nitrate – AN; elemental sulfur coated urea - SU; elemental sulfur and polymer coated urea - SPU; urea mixed with organic material - UO; and urea mixed with organic material and NBPT - UO_{NBPT}); three seasons of fertilizer application (Season 1: 100 %; Season 2: 50 % + 50 % and Season 3: 33.4 % + 33.4 % + 33.3 %). The experiment was carried out during 150 days. The data were submitted to analysis of variance, and their effects were deployed in contrasts. The

results showed the following order of volatilization of N-NH₃: UZ < US < CU < UNBPT < UO, independent of season and crop system used. There was a decrease of the losses from 20.45 % to 12.29 % when splitted the sources, and from 19.63 % to 13.95 % when they were incorporated to soil for all the sources used. For the concentration and content of N in the leaves followed the following order: CU > AN > SU > SPU > UO > UO_{NBPT}, contrary to the beneficial effects on the availability of N in fertilizers with added technology in relation to conventional source - Urea.

KEYWORDS: slow-release and stabilized fertilizers, volatilization, efficiency.

LISTAS DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 1 - Câmara coletora de N-NH₃ semiaberta livre estática (SALE).....43

Figura 2 - Representação gráfica da curva de acumulativa de N-NH₃, utilizando a equação logística [$Y = a/1+e^{-(b+cx)}$]51

LISTAS DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1- Fertilizantes nitrogenados utilizados com suas fórmulas químicas e concentrações de nitrogênio.....40

Tabela 2 - Caracterização físicas e química de um Latossolo Vermelho-Amarelo textura muito argilosa (LVA) coletado na profundidade de 20-40 cm em Alegre ES.....41

Tabela 3- Valores médios das perdas por volatilização de N-NH₃ total acumulado pelas aplicações de fontes nitrogenadas, sob diferentes manejos e épocas de aplicação.....44

Tabela 4- Contrastes médios (Ci) das perdas de N-NH₃ total pelas aplicações das fontes nitrogenadas com diferentes manejos e épocas de aplicação no solo.....45

Tabela 5- Contrastes médios das perdas de N-NH₃ total pelos diferentes manejos adotados às fontes nitrogenadas.....49

Tabela 6- Contrastes médios das perdas de N-NH₃ total pelas diferentes épocas de aplicação adotadas às fontes nitrogenadas.....50

Tabela 7 - Coeficientes da equação logística, determinação e tempo necessário para atingir a metade da produção máxima de N-NH₃ ($t_{1/2} = -b/c$) para as diferentes épocas de aplicação (E₁, E₂ e E₃) com manejo incorporado ao solo (MI) e manejo superficial (MS) em período de 28 dias.....52

CAPÍTULO 3

Tabela 2- Fertilizantes nitrogenados utilizados com suas fórmulas químicas e concentrações de nitrogênio.....64

Tabela 2 - Caracterização físicas e química de um Latossolo Vermelho-Amarelo textura muito argilosa (LVA) coletado na profundidade de 20-40 cm em Alegre ES.....65

Tabela 3- Média da produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) e de folha (MSF), teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), potássio (K), nitrogênio (N) e conteúdo de N em plantas de café Arábica conduzidos por período de 150 dias considerando diferentes fontes de N e épocas de aplicação67

Tabela 4 - Contrastes das médias matéria seca da parte aérea (MSPA) de folha (MSF) e teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), potássio (K), nitrogênio (N) e conteúdo de N.....68

Tabela 5 - Contrastes das médias das épocas de aplicação das fontes nitrogenadas com o teor e conteúdo de N, mais matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), potássio (K), considerando diferentes fontes de N e épocas de aplicação.....71

**FERTILIZANTES NITROGENADOS ESTABILIZADOS E DE LIBERAÇÃO
LENTA: VOLATILIZAÇÃO E DISPONIBILIDADE PARA PLANTA**

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	iii
GENERAL ABSTRACT.....	v
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii

CAPÍTULO 1 - TECNOLOGIAS EM FERTILIZANTES NITROGENADOS

1 – Introdução.....	13
2 – Nitrogênio.....	14
3 – Tecnologias em fertilizantes nitrogenados a base de ureia.....	17
3.1 – Fertilizantes de liberação lenta e controlada.....	18
3.2 – Fertilizantes estabilizados.....	24
4 – Métodos para quantificação de N-NH ₃ volatilizado.....	25
5 – Referências bibliográficas	29

**CAPÍTULO 2 - VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA DE FERTILIZANTES
NITROGENADOS ESTABILIZADOS E DE LIBERAÇÃO LENTA**

1 – Resumo	37
2 – Abstract.....	38
3 – Introdução.....	39
4 – Material e Métodos.....	40
5 – Resultados e Discussão.....	45

6 – Conclusões.....	53
7 – Referências bibliográficas	54

CAPÍTULO 3 - FERTILIZANTE NITROGENADO ESTABILIZADOS E DE LIBERAÇÃO LENTA NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO CAFÉ ARÁBICA

1 – Resumo	61
2 – Abstract.....	62
3 – Introdução.....	63
4 – Material e Métodos.....	64
5 – Resultados e Discussão.....	66
6 – Conclusões.....	72
7 – Referências bibliográficas	73

APÊNDICE

Tabela 1A. Contrastes utilizados para comparação das fontes nitrogenadas estudadas, independente da época e do manejo adotado para o experimento de volatilização.....78

Tabela 2A. Contrastes utilizados para comparação dos manejos dentro de cada fonte utilizada para o experimento de volatilização.....78

Tabela 3A. Contrastes utilizados para comparação das épocas de aplicação dos fertilizantes nitrogenadas dentro de cada fonte utilizada para o experimento de volatilização.....78

Tabela 4A. Contrastes utilizados para comparação das fontes nitrogenadas estudadas, independente da época de aplicação para matéria seca da parte aérea (MSPA) de folha (MSF) e teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), potássio (K), nitrogênio (N) e conteúdo de N para o experimento de eficiência em café.....79

Tabela 5A. Contrastes utilizados para comparação das épocas de aplicação dos fertilizantes nitrogenadas dentro de cada fonte utilizada para matéria seca da parte aérea (MSPA) de folha (MSF) e teores de cálcio, magnésio, fósforo, potássio, nitrogênio e conteúdo de N na folha para o experimento em casa de vegetação.....79

Tabela 6A. Análise de variância dos resultados acumulativos de N-NH ₃ volatilizado das fontes nitrogenadas aplicadas ao solo com diferentes manejos e épocas para o experimento de volatilização.....	80
Tabela 7A. Análise de variância dos resultados de matéria seca da parte aérea (MSPA) de folha (MSF) e teores de cálcio, magnésio, fósforo, potássio, nitrogênio de conteúdo de N das folhas, após aplicação das fontes nitrogenadas em diferentes épocas, para o experimento em casa de vegetação.....	80
Figura 1A. Fertilizantes nitrogenados utilizados nos experimentos de volatilização e disponibilidade para planta. ^{A/} Ureia; ^{B/} Nitrato de amônio; ^{C/} Ureia revestida com enxofre elementar; ^{D/} Ureia revestida com NBPT (Tiofosfato de N-n-butiltriamida); ^{E/} Ureia combinada com mineral zeólita; ^{F/} Organomineral; ^{G/} Ureia revestida com enxofre elementar mais polímero.....	81
Figura 2A. Experimento de volatilização conduzido em ambiente controlado utilizando os coletores tipo SALE.....	82

CAPÍTULO 1

TECNOLOGIAS EM FERTILIZANTES NITROGENADOS

1. INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira encontra-se em fase de evolução e aperfeiçoamento no manejo das culturas. O esforço por parte dos diversos setores da cadeia produtiva vem buscando aumentar a produção de alimentos, a fim de que os ganhos em produtividade garantam maior rentabilidade e estabilidade dos agricultores no meio agrícola (PORTOCARRERO, 2009).

Neste contexto, a inserção da tecnologia assume papel importante em auxiliar os produtores rurais no gerenciamento dos fatores de produção no campo. Cada segmento, seja a mecanização agrícola, biotecnologia, eficiência no uso de insumos, entre outros, possibilita melhorias de produção, criando um elo entre o setor primário, ciência e a indústria (MALAJOVICH, 2012). Essa aproximação está garantindo inúmeros resultados positivos, dentre esses, o aumento na eficiência no uso de fertilizantes, que podem apresentar grandes perdas se utilizados em condições de campo inadequadas (FERNANDES & BUZETTI, 2005).

O Brasil encontra-se em 4º lugar no consumo mundial de fertilizantes NPK, mas em 6º lugar quando se considera somente o consumo de nitrogênio (N) (VIOLANTE, 2012), importando 75 % das necessidades de fertilizantes nitrogenados consumidos. Com o crescimento do consumo de pelo menos 3 a 4 % ao ano, o nível de dependência pelo produto importado se tornará cada vez mais crítico (ANDA, 2013). Os fertilizantes nitrogenados mais comercializados e utilizados no Brasil são: ureia, sulfato de amônio, nitrato de amônio, diamônio fosfato (DAP) e monoamônio fosfato (MAP) (TINDALL, 2007).

Essa dependência se torna mais crítica devido ao fato de o N ser um elemento empregado em grandes quantidades. Soma-se ainda sua utilização, em muitas vezes, em condições inadequadas, refletindo, em muitos casos, em elevados riscos ambientais. O N oriundo do fertilizante está sujeito a perdas por erosão, por volatilização, (N_2 , NO, N_2O e NH_3), desnitrificação e por lixiviação nas formas de NH_4^+ , NO_3^- e NO_2^- , tornando-se, neste caso, importante agente poluidor de águas (PRIOR, 2008), principalmente represas, rios e lençóis freáticos.

Para minimizar as perdas, existem estratégias de adequar a aplicação do fertilizante nitrogenado às necessidades da cultura, como por exemplo, parcelamento da adubação, a incorporação do fertilizante ao solo a uma profundidade mínima de 3 a 5 cm, por meio mecânico ou irrigação (CANTARELLA, 2007). Entretanto, essas práticas agrícolas representam aumento significativo no custo operacional.

O manejo da adubação nitrogenada é complexo devido à multiplicidade de reações químicas e biológicas no solo, dependência de condições edafoclimáticas e vulnerabilidade a perdas ocorridas no sistema solo-planta (ZAVASHI, 2010).

Alternativas atuais e promissoras para aumentar a eficiência de uso do N pelas culturas estão relacionadas aos fertilizantes com maior eficiência, classificados como fertilizantes de liberação lenta, fertilizantes de liberação controlada e fertilizantes estabilizados (CANTARELLA, 2007).

A utilização dessas novas tecnologias de fertilizantes nitrogenados, principalmente associado à ureia, pode ser uma alternativa para diminuir a magnitude da volatilização de amônia. Entretanto, devem-se levar em consideração os resultados de pesquisas com essas fontes diferenciadas de N, verificando a real eficiência dos adubos de liberação lenta em relação aos convencionais.

2 NITROGÊNIO

O nitrogênio é o nutriente mais exigido pelas culturas, superando em quantidade o potássio e fósforo (RAIJ, 1991). O N encontrado no solo pode ser classificado como inorgânico e orgânico, sendo esse produto da biodegradação de plantas e animais mortos, o qual pode ser oxidado a NO_3^- ou hidrolisado a NH_4^+ tornando-se N inorgânico pela ação das bactérias presentes no solo (SULÇE et al., 1996). No solo, cerca de 95 a 98 % do N está na forma orgânica, e para ser aproveitado pelas plantas necessita ser transformado em formas inorgânicas (NH_4^+ e NO_3^-) mediado pela atividade microbiana que libera N inorgânico, o qual constitui fonte de N para as plantas (CANTARELLA, 2007).

Entre os macronutrientes, o N é um elemento de baixa eficiência de aproveitamento por ser um elemento muito dinâmico no solo (ocorrências de várias formas químicas e grande variação de estado de oxidação) e por sofrer perdas por

volatilização, lixiviação, desnitrificação, escoamento superficial e pela remoção das culturas (DE DATTA, 1981).

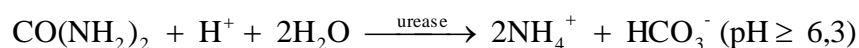
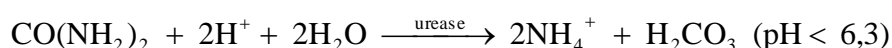
Em muitas situações, o solo é incapaz de suprir todo o requerimento de N das culturas, o que obriga a utilização de fertilizantes para a obtenção de elevada produtividade. Segundo Schiavinatti et al. (2011) a quantidade de N requerida para otimizar a produtividade de grãos pode alcançar valores superiores a 150 kg ha⁻¹ de N.

Nesse contexto, o uso de quantidades cada vez maiores de fertilizantes nitrogenados nas culturas pode ocasionar perdas do N aplicado de diversas formas (HUNGRIA et al., 1999). Quando usado em grandes quantidades ou em condições inadequadas, o N pode ser perdido por volatilização (NH₃) ou lixiviação (NO₃⁻), ou em alguns casos erodidos na forma particulada. Em todas essas formas o N pode se tornar um grande poluente (PRIOR, 2008).

As perdas por desnitrificação têm sido estimadas em menos de 10 % na cultura do milho, porém as perdas de NH₃ por volatilização podem atingir de 31 % a 78 % do total de N aplicado. Perdas por lixiviação acontecem devido ao NO₃⁻ ter baixa interação química com os minerais do solo (LARA CABEZAS, 1997). Além disso, a predominância de cargas negativas do solo e a baixa interação química do NO₃⁻ com os minerais da fração argila fazem com que esse ânion esteja mais sujeito à lixiviação para as camadas mais profundas, podendo atingir águas subsuperficiais ou o lençol freático (RATKE et al., 2011). Essa lixiviação está em estreita dependência com a quantidade de água que percola no perfil do solo (COMMUNAR et al., 2007).

A perda de N por volatilização de amônia (NH₃) para a atmosfera é um dos principais fatores responsáveis pela baixa eficiência da ureia aplicada sobre a superfície do solo (BOUWMEESTER et al., 1985), estimada em cerca de 54 t ano⁻¹ (DE JODE, 1995).

A ureia, quando aplicada ao solo, sofre hidrólise enzimática liberando N amoniacal. As reações de hidrólise da ureia em solos são descritas conforme as reações abaixo (KOELLIKER & KISSEL, 1988):

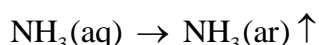


Essa reação de hidrólise consome prótons (H⁺) e provoca a elevação do pH ao redor das partículas do solo. Assim, mesmo em solos ácidos, a ureia está sujeita a perdas de N por volatilização de NH₃. Overrein & Moe (1967) observaram que o pH do solo ao redor das partículas de fertilizantes subiu de 6,5 para 8,8 três dias após a adubação. Kissel et al. (1988) observaram resultados semelhantes em diferentes tipos de solos.

A volatilização de NH₃ ocorre quando fertilizantes que contêm ou produzem NH₄⁺ são aplicados a solos com reação alcalina, situação em que a reação abaixo tende para a formação de NH₃ (DIEST, 1988):



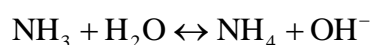
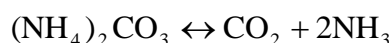
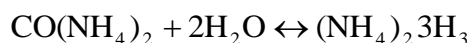
E o NH₃(aq), por sua vez, está sujeito à volatilização:



Assim, em solos ácidos, como os que predominam no Brasil, ao contrário do que ocorre com a ureia, outros fertilizantes nitrogenados contendo N amoniacal, tais como o sulfato de amônio e o nitrato de amônio, tendem a manter a maior parte do N na forma NH₄⁺, que é estável.

Após a aplicação ao solo, a ureia é hidrolisada pela enzima urease, uma enzima extracelular produzida por bactérias, actinomicetos e fungos do solo, ou ainda de origem de restos vegetais. A ureia aplicada pode ser rapidamente hidrolisada em dois ou três dias, dependendo da temperatura e umidade do solo, quantidade e forma pela qual a ureia é aplicada (REYNOLDS et al., 1987).

A partir da reação com a urease ocorre a formação de carbonato de amônio, que se decompõe rapidamente, originando amônio, bicarbonato e hidroxila, o que implica na elevação do pH ao redor dos grânulos do fertilizante. Dessa forma, parte do amônio se converte em NH₃, que pode ser descritas conforme as reações abaixo caso a ureia não seja incorporada ao solo (VITTI et al., 2002).



As perdas de N por volatilização de NH₃ são afetadas por fatores climáticos e ambientais e são favorecidas nas condições do verão brasileiro, nas quais predominam elevadas temperaturas e precipitações. Cantarella et al. (1999) e Vitti et al. (2002) relataram perdas entre 20 a 40 % de N por volatilização de NH₃, quando a ureia é aplicada na superfície dos solos cultivados com citros, ou até maiores, como os resultados de Lara Cabezas et al. (1997a, 1997b, 2000), que mostraram perdas que variaram de 40 a 78 % do N aplicado.

A incorporação mecânica a 5 cm ou mais de profundidade dos fertilizantes nitrogenados é uma maneira eficiente de reduzir as perdas por volatilização (ERNST & MASSEY, 1960; OVERREIN & MOE, 1967). Vários trabalhos de campo conduzidos no Brasil têm confirmado a eficiência dessa prática (ANJOS & TEDESCO, 1974, 1976; CANTARELLA et al., 1999). No entanto, essa prática não é largamente adotada no campo pelo baixo rendimento e elevado custo da operação. Soma-se ainda a dificuldade de realização da incorporação em sistema de manejo em plantio direto e pastagem.

3. TECNOLOGIAS EM FERTILIZANTES NITROGENADOS

Os fertilizantes nitrogenados são aqueles que têm em sua composição o N como nutriente principal. A amônia (NH₃) é a matéria prima básica para produção dos principais fertilizantes nitrogenados e sua obtenção é expressa por: $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$

No Brasil, a principal fonte de N utilizada é a ureia, que apresenta como vantagem a alta concentração de N. Essa característica contribui para menor custo de transporte, estocagem e aplicação por unidade de N. Possui ainda alta solubilidade, menor corrosividade e compatibilidade com outros fertilizantes.

A ureia apresenta algumas desvantagens como: elevada higroscopicidade; possibilidade de presença de biureto, elemento fitotóxico; possibilidade de perdas por lixiviação devido a sua alta solubilidade, ainda que inferiores às fontes nítricas e, principalmente, possibilidade de elevadas perdas por volatilização de NH₃, uma vez que, depois de aplicada ao solo, sofre hidrólise enzimática, ocorrendo liberação de amônia (CANTARELLA, 2007).

Esforços tecnológicos têm sido realizados para diminuir a magnitude da volatilização de amônia e aumentar a recuperação do N-fertilizante. Atualmente, a utilização de novas tecnologias tem sido baseada em duas concepções básicas: uma de

natureza agronômica, relacionada ao manejo do fertilizante no solo e outra de natureza industrial, relacionada à tecnologia de fabricação do fertilizante. Entre as alternativas de caráter tecnológico estão aquelas para o desenvolvimento de adubos com liberação lenta de N, mistura de materiais orgânicos com adubos minerais (fertilizantes organominerais) e a utilização de produtos que interferem com atividade biológica no solo, inibidores de urease e de nitrificação (SANTOS, 1991). Essas tecnologias são descritas a seguir:

3.1. Fertilizantes de liberação lenta e controlada

Segundo Trenkel (1997), não existe uma definição oficial que diferencie fertilizantes de liberação lenta e controlada. Entretanto, os fertilizantes de liberação lenta são comumente referidos no comércio como os dependentes de decomposição microbiana (ureia formaldeído), enquanto os fertilizantes de liberação controlada se referem aos revestidos ou encapsulados.

Para Bennett (1996) existem vários tipos de fertilizantes de liberação lenta que são separados em três grupos: peletizados; quimicamente alterados; e recobertos (ou revestidos). O primeiro grupo compreende os compostos de baixa solubilidade, na forma de “pellets”, cuja liberação dos nutrientes depende da ação microbiana (BENNETT, 1996; VALERI & CORRADINI, 2000). No segundo grupo estão incluídos os fertilizantes quimicamente alterados que são compostos de condensação de ureia e ureia-aldeídos que transformam parte dos nutrientes em formas insolúveis em água e serão disponibilizadas às plantas gradativamente, como a ureia formaldeído (38 % de N), isobutilidene diureia (IBDU, 31 % de N), crotonilidene diureia (CDU, 32 % de N). O terceiro grupo são os fertilizantes recobertos, também chamados de encapsulados, que incluem compostos de condensação de ureia e ureia-aldeídos, que corresponde a ureia recoberta com uma resina de enxofre ou polímeros permeáveis à água que controlam a liberação dos nutrientes ao meio de cultivo. Uma vez aplicado o fertilizante encapsulado, a solução do substrato atravessa a camada de resina e dissolve os nutrientes no interior da cápsula, os quais vão sendo liberados osmoticamente, de forma gradual. Este grupo, para muitos autores, representa os fertilizantes de liberação controlada. Para Shaviv (2005), que trabalha com a designação fertilizante de liberação controlada, a classificação é realizada da seguinte forma:

Compostos orgânicos com baixa solubilidade de N - Esses podem ser subdivididos em compostos biologicamente em decomposição, normalmente baseados em produtos de condensação de ureia-aldeído, como o ureia-formaldeído (UF), ureia-triazone (UT), crotonilidene-diureia (CDU), e compostos quimicamente decomponíveis, como isobutilidene-diureia (IBDU). Sucintamente, UF é preparado em condições que controlam o pH, a temperatura e o tempo de reação da formação da ureia. O UT baseia-se na reação de ureia-amônia-formaldeído. O CDU é preparado por reação de ureia com acetaldeído sob a catálise de um ácido e o IBDU é preparado por reação de líquido isobutiraldeído com ureia sólida (SEMPEHO, 2014).

Fertilizantes em que uma barreira física controla a liberação - Esses podem ser subdivididos em grânulos revestidos por polímeros hidrofóbicos ou como matrizes em que o material ativo solúvel é disperso num contínuo que restringe a dissolução do fertilizante. Os fertilizantes revestidos podem ainda ser divididos em fertilizantes com revestimentos de polímero orgânico que são termoplásticos ou resinas, e fertilizantes revestidos com materiais inorgânicos, tais como o enxofre ou mineral à base de revestimentos. Os materiais utilizados para a preparação de matrizes também podem ser subdivididos em materiais hidrofóbicos, tais como as poliolefinas e borrachas e polímeros formadores de gel (hidro géis), que são de natureza hidrofílica.

Compostos inorgânicos de baixa solubilidade - Esses tipos de fertilizantes incluem os fosfatos de metal de amônio (por exemplo, $MgNH_4PO_4$) e rochas fosfáticas parcialmente aciduladas (PAPR).

A ideia de liberação lenta e controlada também levou muitos autores a utilizarem a nomenclatura de fertilizantes de liberação gradativa (SILVA et al., 2012). Outros autores denominam fertilizantes revestidos ou encapsulados como liberação gradual ou gradativa (VALDERRAMA et al., 2009; MAGALHÃES 2009; MELO JÚNIOR et al., 2010; GOMES et al., 2011; QUEIROZ et al., 2011).

Silva et al. (2012) trabalharam com ureia encapsulada com polímero e ureia revestida com uma camada de polímero e uma camada de carbonato, denominando-as de ureia de liberação gradual. Termo também adotado pelas indústrias por meio da sigla LGU (Liberação Gradual de Ureia) para identificar os fertilizantes nitrogenados revestidos com polímero ou outros materiais. Também são chamados de “fertilizantes

inteligentes” ou “smart release”. Para os autores, essa denominação passa a ideia de que o produto libera o nutriente no momento adequado em que a planta necessitar.

Souza (2012) não estabeleceu diferenças entre fertilizantes de liberação lenta e liberação controlada. Segundo o autor, fertilizantes de liberação lenta e liberação controlada são aqueles que atrasam a disponibilidade inicial dos elementos nutrientes ou incrementam a sua disponibilidade no tempo através de diferentes mecanismos.

Para Oliveira (2013), a expressão liberação lenta refere-se a determinado grupo de fertilizantes de eficiência aumentada e não deve ser utilizada como sinônimo de “liberação controlada”, pois as características físicas, os mecanismos e princípios de eficiência desses fertilizantes são diferentes. O autor definiu fertilizante de liberação lenta o que apresenta propriedade de atrasar a disponibilidade para absorção e uso pelas plantas após a aplicação ou que prolonga de maneira significativa o tempo de liberação do nutriente no solo em relação às fontes solúveis tradicionais. Além dessas características, esse tipo de fertilizante é liberado de acordo com a velocidade de degradação química e biológica ao qual é submetido no solo. Fertilizantes de liberação controlada, para Oliveira (2013), são os fertilizantes revestidos ou recobertos “supergrânulos”, “osmocotes”, encapsulados com polímeros. Esses fertilizantes liberam, gradativamente, o N no solo.

Outra forma de diferenciação dos fertilizantes de liberação lenta e controlada se refere a sua solubilidade em água. Os fertilizantes de liberação lenta são de baixa solubilidade, sendo parte solúvel em água ficando disponível rapidamente, e outra é liberada de forma gradual por um período mais longo. Já os fertilizantes de liberação controlada são envoltos em um revestimento que controla a entrada de água, reduz a dissolução do nutriente e degradam-se lentamente no solo, sendo a liberação dependente da espessura da membrana que reveste o grânulo (TRENKEL, 2010).

O Comitê Europeu de Normalização (CEN) para fertilizantes de liberação lenta (*Slow-Release-Fertilizer*) propôs que um fertilizante para ser descrito como liberação lenta tem que atender os seguintes critérios, a uma temperatura de 25 °C (KLOTH, 1996, citado por TRENKEL, 2010):

- não mais de 15 % do nutriente liberado em 24 horas;
- não mais de 75 % do nutriente liberado em 28 dias;
- pelo menos cerca de 75 % do nutriente liberado no tempo de liberação declarado.

Os fertilizantes de liberação controlada (recobertos ou encapsulados) são compostos solúveis envolvidos por uma resina permeável à água que irá regular o processo de fornecimento dos nutrientes. Os nutrientes encapsulados por resinas especiais, os quais são liberados através de estruturas porosas, atingem o sistema radicular das plantas mais lentamente. Essa característica pode garantir a manutenção de um sincronismo entre a liberação de nutrientes ao longo do tempo e as necessidades nutricionais, favorecendo o crescimento e desenvolvimento das plantas (OLIVEIRA & SCIVITTARO, 2002).

O recobrimento ou encapsulamento desses fertilizantes pode ser realizado com polímeros inorgânicos, orgânicos e sintéticos. Essas substâncias são derivadas de poliamidas, enxofre elementar (FERREIRA, 2012), micronutrientes como cobre e boro, ácidos húmicos, carvão oxidado (GUIMARÃES, 2011; PAIVA et al., 2012) ou outros aditivos. Portanto, as denominações “liberação controlada”, “liberação gradual” e “fertilizantes inteligentes” são utilizados como sinônimos e designam um mesmo grupo de fertilizantes que seriam os revestidos e encapsulados. Segundo Uk essays, (2014) são tipos de revestimentos:

Revestidos com enxofre (SC) - Quando o enxofre elementar é oxidado para a sua forma de sulfato, o produto será um nutriente, que é normalmente misturado com outros fertilizantes. Usando o revestimento de enxofre também é outra maneira de fornecer enxofre ao fazer propriedades de liberação lenta para um fertilizante granular do núcleo. Os materiais contendo enxofre, como polissulfetos ou lignossulfonatos, que são frágeis e também possuem baixa umectação de defeitos, são normalmente misturados com ceras ou plastificantes. Muitas fórmulas estão disponíveis para SC. O seu tempo de liberação é geralmente de 3-4 meses e o nutriente de SC é liberado pela atividade de microrganismos (TRENKEL, 2010)

Nos fertilizantes revestidos com enxofre o processo de liberação é distinto dos fertilizantes recobertos por resinas e derivados de ureia (SHAVIV, 2001). Pode haver influência de fatores como umidade do solo, e não existe possibilidade de controle da intensidade de liberação de nutrientes, uma vez iniciado o processo. Sendo assim, é essencial que o produtor conheça as propriedades específicas do fertilizante de liberação empregado para determinar um manejo adequado da adubação e decorrente sucesso da prática (GIRARDI & MOURO FILHO, 2003).

Revestidos com cera (WC) - Um dos métodos de redução da taxa de liberação de fertilizantes é revestir os fertilizantes granulares com cera fundida e, em seguida, o arrefecimento da mistura abaixo do ponto de fusão da cera (LANDELS, 1994). A parafina é uma das ceras mais usada como um revestimento de fertilizantes. A cera de parafina é branca, sólida, sem gosto, sem odor, com um ponto de fusão típico entre cerca de 47 e 64 °C. Outros tipos de ceras são ceras à base de petróleo ou minerais sintéticos. As ceras são geralmente utilizadas por um aditivo ou um agente de aderência para fazer boas propriedades de vedação (ZHANG, 2005).

Revestidos com polímero (PC) - Fertilizantes revestidos com polímeros (PCF) representam os mais avançados tecnicamente fertilizantes de liberação controlada. Eles incluem um núcleo de fertilizante solúvel em água e uma ou mais camadas de polímero. Existem grandes variedades de polímeros para revestir os fertilizantes. Em fertilizantes PC, a liberação de nutrientes ocorre por difusão através de uma membrana semipermeável de polímero. A água penetra o revestimento e dissolve o núcleo. A velocidade de liberação pode ser controlada pela variação da composição e da espessura do revestimento. Além disso, acumula-se pressão e pode causar fissuras ao granulado, a partir da qual passa o fertilizante para o solo (SHAVIV, 1996).

Para Trenkel (2010), os revestimentos com polímeros podem ser tanto com membranas semipermeáveis quanto com impermeáveis com minúsculos poros. Os principais problemas na produção de polímeros revestindo fertilizantes são as escolhas do material de revestimento e o processo utilizado para aplicar esse revestimento ao grânulo do fertilizante. A liberação do nutriente através de uma membrana de polímero não é significativamente afetada pelas propriedades do solo, tais como: pH, salinidade, textura, atividade microbiana, potencial redox, força iônica da solução do solo, mas sim pela temperatura e umidade e permeabilidade do revestimento de polímero. Assim, é possível prever a liberação de nutrientes a partir do revestimento de polímero dos fertilizantes para um determinado período de tempo.

O processo de revestimento influi diretamente no mecanismo e intensidade do processo de liberação. A espessura e a natureza química da resina de recobrimento, a quantidade de microfissuras em sua superfície e o tamanho do grânulo de fertilizante também contribuem para determinar a curva de liberação de nutrientes ao longo do tempo.

No caso dos fertilizantes recobertos por resinas e polímeros, há liberação eficiente de nutrientes quando há disponibilidade de água e temperatura ideal do solo por volta de 21 °C (CHITOLINA, 1994), sendo a taxa de liberação de nutrientes pelos grânulos de fertilizante diretamente proporcional à temperatura do solo ou substrato, uma vez que o aumento da temperatura promove expansão da camada de resina, provocando aumento de sua permeabilidade à água. Esse processo ocorre independentemente da permeabilidade, pH ou atividade microbológica do solo, podendo variar de 3 meses até quase 20 meses para liberação total, sendo a longevidade específica de cada formulação do fertilizante (OERTLI, 1980).

Segundo Oliveira (2013), a velocidade de liberação dos fertilizantes de liberação controlada acontece por causa do baixo peso molecular e da hidrólise lenta dos compostos hidrossolúveis, dos mecanismos que controlam a solubilidade do material em água, da qualidade do revestimento, do tipo de material utilizado para revestir, do método empregado para confecção do fertilizante ou por outros meios pouco conhecidos patenteados pelas empresas detentoras da tecnologia. Para Oertli (1980) fatores como a espessura da resina, presença de microfissuras em sua superfície e o tamanho do grânulo influenciam na durabilidade e intensidade de liberação do N e na liberação total desse nutriente, a qual pode variar de 3 meses até 20 meses.

As principais vantagens dos fertilizantes de liberação lenta, segundo SHAVIV (2001), são: fornecimento regular e contínuo de nutrientes para as plantas; menor frequência de aplicações em solos; redução de perdas de nutriente devida à lixiviação, imobilização e, ainda, volatilização; eliminação de danos causados a raízes pela alta concentração de sais; maior praticidade no manuseio dos fertilizantes; contribuição à redução da poluição ambiental pelo NO_3^- , atribuindo valor ecológico à atividade agrícola (menor contaminação de águas subterrâneas e superficiais), e redução nos custos de produção.

Diferentes estudos mostraram os efeitos positivos do uso de fertilizantes de liberação lenta e liberação controlada no aumento da produtividade das culturas. Mendonça et al. (2007) relataram que a utilização de fertilizante nitrogenado de liberação lenta, com dose de até 6 kg m⁻³ de N no substrato, garantiu melhor qualidade na formação e no desenvolvimento das mudas de maracujá amarelo (*Passiflora edulis*).

Civardi et al. (2011), utilizando como fontes de N a ureia com e sem revestimento, relataram que a forma de aplicação, a dose e a fonte da ureia utilizada em cobertura no milho tiveram efeito significativo sobre o rendimento de grãos, onde a maior produtividade foi obtida com a ureia incorporada, seguida de maior dose (49,44 kg ha⁻¹) de ureia polimerizada em superfície.

3.2 Fertilizantes estabilizados

Segundo Trenkel (2010) os fertilizantes estabilizados são aqueles que contêm aditivos para aumentar o tempo de disponibilidade no solo e não devem ser utilizados como sinônimo de “liberação controlada”, pois as características físicas, os mecanismos e princípios de eficiência desses fertilizantes são diferentes.

Basicamente, esses fertilizantes devem incluir uma solubilidade controlada do material em água, através de revestimentos semipermeáveis por oclusão, por materiais de proteína (outras formas químicas), por hidrólise lenta de compostos solúveis em água (TRENKEL, 2010).

Os fertilizantes estabilizados contêm aditivos para aumentar o tempo de disponibilidade no solo que pode atuar inibindo a nitrificação: nitrapirina [2-cloro-6-(triclorometil) piridina] (NP), dicianodiamida (DCD), DMPP (fosfato de 3,4 dimetil pirazole) e outros. Ou inibindo a urease: fenil-fosforodiamidato (PPD) e tiofosfato de N-n-butiltriamida (NBPT) (Figura 3) (CANTARELLA et al., 2008; TRENKEL, 2010).

Esse aditivo ou estabilizador do N é uma substância adicionada a um fertilizante que se estende pelo tempo em que o fertilizante permanece no solo tanto na forma N-ureia como no N-amoniaco (TRENKEL, 2010). Observa-se que os inibidores de urease são os compostos de maior sucesso até o momento entre várias misturas de fertilizantes nitrogenados (CANTARELLA et al., 2008).

Fertilizantes contendo diferentes inibidores têm sido testados. Um exemplo é a ureia tratada com NBPT e dicianodiamida (DCD), um inibidor de nitrificação. O inibidor de nitrificação se por um lado reduz as perdas por lixiviação ao retardar a formação de NO₃⁻, por outro, ao manter no solo altas concentrações de NH₄⁺, pode fazer com que a taxa de volatilização de amônia seja maior nesses tratamentos em relação aos tratamentos que recebem apenas o NBPT (NASTRI et al., 2000; GIOACCHINI et al., 2002).

4. MÉTODOS PARA QUANTIFICAÇÃO DE N-NH₃ VOLATILIZADO

A volatilização de N-NH₃ de fertilizantes nitrogenados aplicados ao solo pode ser estimada (quantificada) por métodos diretos ou indiretos (LARA CABEZAS & TRIVELIN, 1990). Os métodos indiretos podem ser realizados, segundo Trivelin (2001), utilizando fertilizante isotopicamente marcado (¹⁵N).

Os métodos diretos necessitam de aparelhos específicos e se dividem em dois tipos básicos (YANG et al. 2013): métodos micrometeorológicos e métodos de câmara, estes podendo ser: métodos com câmaras fechadas ou semi abertas, estáticas, semi estáticas, sendo o NH₃ desprendida do solo capturado com soluções de ácidos diluídos (H₂SO₄ ou HCl), ou câmaras dinâmicas com fluxo de ar ou gás inerte de arraste isento de NH₃. Os métodos de câmara são relativamente simples e de fácil reprodução e utilização. No entanto, alguns trabalhos apontam que a própria câmara altera as condições naturais do local de medição e, assim, pode levar a estimativas largamente atípicas de emissão de amônia (FERGUSON et al., 1988; DENMEAD & RAUPACH, 1993; PACHOLSKI et al., 2006).

Além disso, devido à grande variabilidade espacial do fluxo de NH₃ e à pequena área de amostragem coberta pela câmara em cada medição, métodos de câmara são menos eficazes para determinar as emissões de amônia em larga escala (FOWLER et al., 2001; LAVILLE et al., 1999). Segundo esses autores, os métodos que utilizam câmara são menos eficazes devido à formação de microclimas e à modificação das condições ambientais no seu interior, como: intensidade e comprimento de onda da luz; temperatura; ventilação; umidade relativa e a formação do orvalho que certamente influenciam a volatilização de NH₃ quando comparado com condições naturais.

Já os métodos micrometeorológicos têm capacidade de monitorar as emissões em uma maior extensão de área e não alteram as condições ambientais próximas à superfície do solo (DENMEAD, 1995; FOWLER et al., 2001).

Segundo Lara Cabezas & Trivelin (1990) os métodos micrometeorológicos e o balanço isotópico de ¹⁵N são os únicos que permitem quantificar o processo sem influenciar na atmosfera próxima da superfície do solo, como também nas propriedades químicas e biológicas deste. Entre as desvantagens das técnicas micrometeorológicas é que eles geralmente exigem parcelas experimentais extensas e homogêneas, o que dificulta sua utilização em situações de campo. Além disso, a instrumentação é complexa e onerosa, dificultando a replicação e aplicação em condições variáveis

(WANG et al., 2004). Requer a utilização de aparelhos sofisticados e caros, como microanemômetro e detectores de gases (DENMEAD, 1983).

Lara Cabezas & Trivelin (1990) avaliaram três técnicas utilizando as câmaras: fechada estática descrita por NÖNMIK (1973), fechada dinâmica e micrometeorológica, e os resultados foram comparados com o método indireto com uso de ^{15}N . As câmaras fechada dinâmica e micrometeorológica apresentaram resultados satisfatórios, porém são difíceis de serem conduzidas e de alto custo. Os autores relataram também que a câmara fechada estática, a mais simples, subestimou a volatilização de NH_3 . O sistema fechado estático pode impedir que a volatilização aconteça de forma semelhante a que acontece em condições naturais, pois transformam o ambiente na superfície do solo, uma vez que isolam o solo do ar atmosférico. Lara Cabezas & Trivelin (1990) também observaram que esse coletor, mesmo após modificações, apresentou taxa de recuperação que variou de 1 a 50 % do total de N-NH_3 volatilizado.

A necessidade de se calibrar um sistema com alta eficiência, que seja prático e de baixo custo se fez necessária. MARSOLA et al. (2000) desenvolveram um sistema coletor semiaberto estático, consistindo de uma câmara coletora, constituída de garrafa de plástico transparente do tipo PET, com uma fita de papel embebida em solução ácida.

Com o objetivo de calibrar e assim aumentar a eficiência da câmara semiaberta estática, Araújo et al. (2009) propuseram modificações no modelo original, substituindo a fita de papel por uma lâmina de espuma de poliuretano nas mesmas dimensões e adaptando o modelo para condições de campo, usando a base da garrafa de forma invertida na parte superior da garrafa, impedindo assim a interferência da entrada de água das precipitações ou da irrigação.

Araújo et al. (2009) que trabalharam com diferentes espessuras de laminas de espumas de poliuretano, observaram que a recuperação do N-NH_3 volatilizado não foi afetada e, conseqüentemente, não afetou a eficiência da câmara e as coletas das espumas podem ser realizadas em intervalos entre 1 e 6 dias, sem comprometer a eficiência do sistema.

Avaliações com uso do balanço de ^{15}N e em condições controladas foram realizadas, mostrando que a eficiência da câmara semiaberta estática não variou com as doses de N aplicadas (HUNGRIA et al., 2006). Assim, a eficiência do coletor semiaberto estática para a recuperação do N amoniacal volatilizado foi de 57 %. A real quantidade de N volatilizado é conseguida pelo uso do fator 1,74 para correção dos

resultados obtidos em condições de campo e 1,48 para condições controladas (casas de vegetação) (ARAÚJO et al., 2009).

Lara Cabezas & Trevelin (1990) também investigaram a interferência do sistema coletor semiaberto estático sobre a quantificação das perdas por volatilização de NH_3 após a aplicação de ^{15}N -ureia e verificaram que o sistema coletor empregado obteve uma eficiência de 71 %.

Port et al. (2003) encontraram valores semelhantes ao investigarem as perdas de NH_3 por volatilização quando da aplicação de dejetos suínos em bases cobertas por câmaras e em bases que permaneceram descobertas. Com os resultados relativos à determinação dos teores de N mineral no solo, os autores concluíram que o sistema coletor semiaberto estático empregado obteve eficiência de 72,8 %.

Oliveira et al. (2008) testaram diferentes tipos de absorvedores de amônia, tais como: absorvedor de espuma, absorvedor de papel, absorvedor com ácido, coletor semiaberto estático e balanço de ^{15}N . Após terem realizado a determinação da quantidade de N em cada método, os autores concluíram que o absorvedor de espuma colocado a 1 cm da superfície do solo estimou as perdas diárias e as perdas acumuladas de NH_3 e foi eficiente na captação do NH_3 volatilizada da ureia aplicada ao solo. Os demais absorvedores avaliados, especialmente aqueles de papel filtro e com ácido, em alguns casos foram eficientes para a captação das perdas acumuladas de amônia, mas não foram capazes de reproduzir o comportamento das perdas diárias de amônia, o que inviabiliza a aplicabilidade deles.

Nõmmik (1973) encontrou eficiência de 96 % para coletor semiaberto estático. Entretanto, Lara Cabezas et al. (1999) alertam que coletores instalados sob a influência de uma fonte amoniacal isolada do meio, que force condições de perdas por elevação do pH, podem não representar a volatilização de NH_3 que ocorre em condições de campo, uma vez que o sistema coletor interfere no processo de volatilização.

Outro método utilizado na quantificação das perdas por volatilização é o balanço de ^{15}N , no qual as perdas de amônia são estimadas indiretamente pela diferença entre a massa de ^{15}N adicionada pelo fertilizante e a massa recuperada de ^{15}N após um determinado tempo de medida (TRIVELIN, 2001). Por esse método podem ser quantificadas as perdas por volatilização, desde que as perdas por desnitrificação e lixiviação sejam evitadas ou quantificadas. Também é possível calibrar métodos diretos que utilizam câmaras de retenção de amônia. A principal restrição que tem sido feita ao

uso do ^{15}N relaciona-se aos custos de fontes marcadas com o isótopo e das análises isotópicas (LARA CABEZAS & TRIVELIN, 1990).

Cabe ressaltar que, apesar de todas as definições e termos utilizados visando alocar os fertilizantes de eficiência aumentada em categorias, não há um consenso bem definido quanto à classificação desses insumos hoje no mercado.

Conforme visto, a importância das novas tecnologias em fertilizantes remete à necessidade de estudos a respeito tanto da disponibilidade como das perdas sofridas pelo fertilizante e, também, de metodologias para que as validações da eficiência desses produtos tornam-se fundamentais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDA. Anuário estatístico setor de fertilizantes. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/estatisticas.aspx>>. Acesso em: 26 jan. 2014.
- ANJOS, J. T.; TEDESCO, M. J. Perdas de nitrogênio, por volatilização de amônia, proveniente da ureia aplicada em solos cultivados. Congr. Bras. Ciência do Solo, 14°. Santa Maria, 1973. Anais. Campinas, SBCS, 1974. 232-241p.
- ANJOS, J. T.; TEDESCO, M. J. Volatilização de amônia proveniente de dois fertilizantes nitrogenados aplicados em solos cultivados. Científica, 4:49-55, 1976.
- ARAÚJO, E. S., MARSOLA, T.; MIYAZAWA, M.; SOARES, L. H. B; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Calibração de Câmara Semiaberta Estática para Quantificação de Amônia Volatilizada do Solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 44:769-776, 2009.
- BENNETT, E. Slow-release fertilizers. Virginia Gardener Newsletter, v. 11, n. 4, 1996. Disponível em: <<http://www.ext.vt.edu/departments/envirohort/articles/misc/slowrels.html>>. Acesso em 01 out 2014.
- BOUWMEESTER, R. J. B.; VLEK, P. L. G.; STUMPE, J. M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from an urea-fertilized soil. Soil Science Society American Journal, 49:376-381, 1985.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.
- CANTARELLA, H.; ROSSETO, R.; BARBOSA, W.; PENNA, M. J.; RESENDE, L. C. L. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, em sistema de colheita de cana sem queima prévia. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 1999. Londrina, Anais... Londrina: Álcool Subpr., 1999. 82-87p.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; CONTIN, T. L. M.; DIAS, F. L. F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R. B.; QUAGGIO, J. A. Ammonia volatilisation from urease Inhibitor-treated urea applied to sugarcane Trash blankets. Scientia Agricola, 65:397-401, 2008.
- CHITOLINA, J. C. Fertilizantes de lenta liberação de N: conceitos. Uréia coberta com enxofre. Piracicaba: ESALQ/USP, 1994. 16p.
- CIVARDI, E. A.; SILVEIRA NETO, A.N.; RAGAGNIN, V. A.; GODOY, E. R.; BROD, E. Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e Ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. Pesquisa Agropecuária Tropical, 41:52-59, 2011.

- COMMUNAR, G.; KEREN, R. Effect of transient irrigation on boron transport in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 71:306-313, 2007.
- DE DATTA, S. K. Principles and practices of rice production. New York: John Wiley, 1981. 618p.
- DE JODE, A. Assessing national livestock populations for the production of methane emission inventories. *Environmental Monitoring and Assessment*, Washington, 38:217-229, 1995.
- DENMEAD, O T. Micrometeorological methods for measuring gaseous losses of nitrogen in the field. In: FRENEY, J. R.; SIMPSON, J. R. Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems. Hague: Martinus Nijhoff, 9:133-157, 1983.
- DENMEAD, O. T. Novel meteorological methods for measuring trace gas fluxes. *Philosophical Transactions: Physical Sciences and Engineering*, 351:383-396, 1995.
- DENMEAD, O. T., RAUPACH, M. R. Methods for measuring atmospheric gas transport in agricultural and forest systems. In: *Agricultural Ecosystem Effects on Trace Gases and Global Climate Change*. American Society of Agronomy Special Publication, 55:19-43, 1993.
- 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*, 37:1-6, 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*, 24:87-90, 1960.
- FERGUSON, R. B., MCINNES, K. J., KISSEL, D. E., KANEMASU, E. T. A comparison of methods of estimating ammonia volatilization in the field. *Fertilizer Research*, 15:55-69, 1988.
- FERNANDES, F. C. S.; BUZETTI, S. Efeito de níveis de nitrogênio na produtividade de seis cultivares de milho (*Zea mays* L.). *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, 7:1-7, 2005.
- FERREIRA, D A. Eficiência agronômica da ureia revestida com polímero na adubação do milho. Piracicaba, SP, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2012. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- FOWLER, D., COYLE, M., FLECHARD, C., HARGREAVES, K., NEMITZ, E., STORETON-WEST, R., SUTTON, M., ERISMAN, J. W. Advances in micrometeorological methods for the measurement and interpretation of gas and particle nitrogen fluxes. *Plant and Soil*, 228:117-129, 2001.

- GIOACCHINI, P.; NASTRI, A.; MARZADORI, C.; ANTISARI, L.V.; GESSA, C. Influence of Urease and Nitrification Inhibitors on N Losses From Soils Fertilized With Urea. *Biology and Fertility of Soils*, 36:129-135, 2002.
- GIRARDI, E. A.; MOURÃO FILHO, F. A. A. Emprego de fertilizantes de liberação lenta na formação de pomares de citros. *Revista Laranja, Cordeirópolis*, 24:507-518, 2003
- GOMES, C.A.; LIMA DIAS, K.G.; COGO, F.D.; ORFÃO, P.A.S.; CEREDA, G.J.; TOLEDO, G.C. Fertilizante de liberação gradativa em cafeeiros em produção. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, 5:35-39, 2011.
- GUIMARÃES, G. G. F. Substâncias húmicas como aditivos para o controle da volatilização de amônia proveniente da ureia. 2011. 26 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) UFV, Viçosa, MG, 2011.
- HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; CAMPO, R. J.; CRISPINO, C. C.; MORAES, J. Z.; SIBALDELLI, R. N. R.; MENDES, I. C.; ARIHARA, J. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N₂ fixation and N fertilizer to grain yield. *Canadian Journal of Plant Science*, 86:927-939, 2006.
- HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T.; ANDRADE, D. S.; CAMPO, R. J.; CHUEIRE, L. M. O.; FERREIRA, M. C.; MENDES, I. C. Fixação biológica do nitrogênio em leguminosas de grãos. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Ed.) *Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas*. Lavras: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. p. 597-620.
- KISSEL, D. E.; CABRERA, M. L.; FERGUSON, R. B. Reactions of ammonia and urea hydrolysis products with soil. *Soil Science Society of America Journal*, 52:1793-1796, 1988.
- KLOTH, B. Aglukon Spezialdünger GmbH: Reply to the request on controlled release fertilizers. Personal communication. 1996. In: TRENKEL, M.E. *Slow- and Controlled Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Efficiency in Agriculture*. Second edition, IFA, Paris, France, 2010.
- KOELIKER, J. K.; KISSEL, D. E. Chemical equilibria affecting ammonia volatilization. Alabama, National Fertilizer Development Center, 1988. p. 37-52.
- LANDELS, S. *Controlled-Release Fertilizers: Supply and Demand Trends in US Nonfarm Markets*, SRI International, Menlo Park, California, USA, 1994
- LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDÖRFER, 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 de Ciência do Solo*, 21:489-496, 1997b.

- LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDÖRFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da ureia por sulfato de amônio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21:481-487, 1997a.
- LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O.; KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho, em sistema plantio direto no triângulo mineiro (MG). *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 24:363-376, 2000.
- LARA-CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O. Eficiência de um coletor semiaberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado da ureia aplicada ao solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 14:345-352, 1990.
- LARA-CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O.; BENDASSOLLI, J. A.; SANTANA, D. G.; GASCHO, G. J. Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizers. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 30:389-406, 1999.
- LAVILLE, P.; JAMBERT, C.; CELLIER, P.; DELMAS, R. Nitrous oxide fluxes from a fertilised maize crop using micrometeorological and chamber methods. *Agricultural and Forest Meteorology*, 96:19-38, 1999.
- MACHADO, V. J.; SOUZA, C. H. E.; RIBEIRO, V. J.; CAIXETA, C. G. Atividade da redutase do nitrato e desenvolvimento de milho irrigado adubado com fosfato monoamônico polimerizado. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 12:203-213, 2014.
- MAGALHÃES, P. C. R. Gestão de fertilizantes de liberação gradual de nutrientes em relvados municipais. Bragança, SP, Instituto Politécnico de Bragança, 2009. 35p. (Dissertação de Mestrado em Agroecologia).
- MALAJOVICH, M. A. *Biotechnologia 2011*. Rio de Janeiro: Biblioteca Max Feffer do Instituto de Tecnologia ORT, 2012. 304p.
- MARSOLA, T.; TAKAHASHI, H. W.; MIYAZAWA, M. Calibração de um sistema coletor de amônia volatilizada do solo e aplicada em campo. In: IV Mostra Acadêmica de Trabalhos de Agronomia, 4:123-123, 2000.
- MELO JÚNIOR, H. B.; DUARTE, I. N.; SILVA, A. A.; LANA, R. M. Q. Uso de fontes revestidas com polímeros de liberação gradual e ureia convencional. *Enciclopédia Biosfera*, 6:1-12, 2010.
- MENDONÇA, V.; TOSTA, M. S.; MACHADO, J. R.; GOULART JÚNIOR, S. A. R.; TOSTA, J. S.; BISCARO, G. A. Fertilizante de liberação lenta na formação de mudas de maracujazeiro “amarelo”. *Revista Ciência Agrotécnica*, 31:344-348, 2007.

- NASTRI, A.; TODERI, G.; BERNATI, E.; GOVI, G. Ammonia volatilization and yield response from urea applied to wheat with urease (NBPT) and nitrification (DCD) inhibitors. *Agrochimica*, 44:231-239, 2000.
- NÔMMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soils. *Plant and Soil*, 39:309-318, 1973.
- OERTLI, J. J. Controlled-release fertilizers. *Fertilizer Research*, The Hague, 1:103-123, 1980.
- OLIVEIRA, J. R. Adubação nitrogenada com ureia de liberação controlada na semeadura do milho. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa-UFV, Viçosa. 2013. 65p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- OLIVEIRA, P. P. A.; TRIVELIN, P. C. O.; ALVES, A. C.; LUZ, P. H. C.; HERLING, V. R. Métodos para avaliar as perdas de nitrogênio por volatilização da superfície do solo e por emissão de amônia pela folhagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 16).
- OLIVEIRA, R. P.; SCIVITTARO, W. B. Comparação de custos de sistemas de 11 adubação para mudas de citros: fontes liberação lenta x solúveis. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2002. 4p. (Comunicado Técnico, 74).
- OVERREIN, L. N.; MOE, P. G. Factors affecting urea hydrolysis and ammonia volatilization in soil. *Soil Science Society of America Proceedings*, 31:57-61, 1967.
- PACHOLSKI, A.; CAI, G. X.; NIEDER, R.; RICHTER, J.; FAN, X. H.; ZHU, Z. L.; ROELCKE, M. Calibration of a simple method for determining ammonia volatilization in the field and comparative measurements in Henan Province. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 74:259-273, 2006.
- PAIVA, D. M.; CANTARUTTI, R. B.; GUIMARÃES, G. G. F.; SILVA, I. R. Urea coated with oxidized charcoal reduces ammonia volatilization. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36:1221-1229, 2012.
- PERIN, J. R.; CARVALHO, S. A.; MATTOS JUNIOR, D.; CANTARELLA, H. Efeitos de substratos e doses de fertilizante de liberação lenta no teor de clorofila e desenvolvimento vegetativo do limoeiro 'Cravo' em tubetes. *Revista Laranja*: 20:457-462, 1999.
- PORT, O.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Perda de nitrogênio por volatilização de amônia com o uso de dejetos de suínos em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38:857-865, 2003.
- PORTOCARRERO, M. A.; KOSOSKI, A. R. Alimentos seguros: uma política de governo. In: *Produção integrada no Brasil: agropecuária sustentável alimentos seguros*. Brasília: Mapa; 2009 1008p.

- PRIOR M. Efeito da água residuária de suinocultura no solo e na cultura do milho. Botucatu, SP, Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, 2008. 112p. (Tese Doutorado).
- QUEIROZ A. M.; SOUZA C. H. E.; MACHADO V. J.; LANA R. M. Q.; KORNDORFER G. H.; SILVA A. A. Avaliação de diferentes fontes e doses de nitrogênio na adubação da cultura do milho (*Zea mays* L.). Revista Brasileira de Milho e Sorgo, 10:257-266, 2011.
- RAIJ, B. Van. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343p.
- RATKE, R. F.; VERGINASSI, A.; BASTO, D. D. C.; MORGADO, H. S.; SOUZA, M. R. D.; FERNANDES, E. P. Production and levels of foliar nitrogen in rocket salad fertilized with controlled-release nitrogen fertilizers and urea. Horticultura Brasileira, 29:246-249, 2011.
- REYNOLDS, C. M.; WOLF, D. C.; ARMBRUSTER, J. A. Factors related to urea hydrolysis in soils. Soil Science Society America Journal, 49:104-108, 1987.
- SANTOS, J. C. P. Efeito do inibidor de nitrificação N-serve aplicado ao solo com diferentes fontes de nitrogênio, sobre a eficiência de uso do N pelo milho (*Zea mays* L.). Itaguaí, RJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1991. 168p. (Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo).
- SCHIAVINATTI, A. F.; ANDREOTTI, M.; BENETT, C. G. S.; PARIZ, C. M.; LODO, B. N.; BUZETTI, S. Influência de fontes e modos de aplicação de nitrogênio nos componentes da produção e produtividade do milho irrigado no cerrado. Bragantia, 70:925-930, 2011.
- SEMPEHO, S. I.; KIM, H. T.; MUBOFU, E.; HILONGA, A. Meticulous Overview on the Controlled Release Fertilizers. Advances in Chemistry, 2014. 16p.
- SHAVIV A, Advances in controlled-release fertilizers, Advances in Agronomy, 71:1-49, 2001.
- SHAVIV A, Plant response and environmental aspects as affected by rate and pattern of nitrogen release from controlled release N fertilizers. Progress in Nitrogen Cycling Studies. Springer, Holanda, 1996. p. 285-291
- SHAVIV, A. Controlled release fertilizers. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, Frankfurt, 2005. Proceedings. Paris, International Fertilizer Industry Association, 2005. 13p. (CD-ROM).
- SILVA, A. A.; SILVA, T. S.; VASCONCELOS, A. C. P.; LANA, R. M. Q. Aplicação de diferentes fontes de ureia de liberação gradual na cultura do milho. Bioscience Journal, 28:104-111, 2012.

- SOUZA, C. H. E. Fosfato monoamônio revestido com polímeros no plantio das culturas de milho irrigado e cana-de-açúcar. Uberlândia, MG, Universidade Federal de Uberlândia, 2012. 81p. (Tese Doutorado em Agronomia).
- SULÇE, S.; PALMA-LOPEZ, D.; JACQUIN, F.; VONG, P. C., GUIRAUD, G. Study of immobilization and remobilization of nitrogen fertilizer in cultivated soils by hydrolytic fraction. *European Journal of Soil Science*, 47:249-255, 1996.
- TINDALL, T. A. Recent Advances in P Fertilizer Technologies Polymer Coatings and Avail Technology. Simpósio sobre Informações Recentes para Otimização da Produção Agrícola. IPNI. Piracicaba. 2007.
- TRENKEL, M. E. Improving fertilizer use efficiency. Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. International Fertilizer Industry Association, Paris, 1997.
- TRENKEL, M. E. Slow and controlled-release and stabilized fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Efficiency in Agriculture. 2ed. Paris: IFA, 2010. 163p.
- TRIVELIN, P. C. O. Técnicas com o traçador ¹⁵N em estudos de perdas gasosas de nitrogênio do solo. Apostila do programa de pós-graduação em energia nuclear na agricultura, 2001, 105p.
- UK ESSAYS. Controlled Release Fertilizers And Nanotechnology Traces Biology Essay. Disponível em: <<http://www.ukessays.com/essays/biology/controlled-release-fertilizers-and-nanotechnology-traces-biology-essay.php>>. Acesso em: 26 set. 2014.
- VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M. E. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema de plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 39:191-196, 2009.
- VALERI, S. V.; CORRADINI, L. Fertilização em viveiros para produção de mudas de Eucalyptus Pinus. In: GONÇALVES, L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). *Nutrição e fertilização florestal*, 2000. p.167-190.
- VIOLANTE, M. Potencial de produção de cana-energia em áreas agrícolas marginais no Brasil. São Paulo, SP, Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, 2012. 110p. (Dissertação de Mestrado).
- VITTI, G. C.; TAVARES JR, J.E.; LUZ, P. H. C.; FAVARIN, J. L.; COSTA, M. C. G. Influência da mistura de sulfato de amônio com uréia sobre volatilização nitrogênio amoniacal. *Revista Brasileira Ciência Solo*, 26:663-671, 2002.
- WANG, Z. H.; LIU, X. J.; JU, X. T.; ZHANG, F. S.; MALHI, S. S. Ammonia volatilization loss from surface-broadcast urea: comparison of vented- and closed-chamber methods and loss in winter wheat-summer maize rotation in north China plain. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 35:2917-2939, 2004.

YANG, Y.; ZHANG, M.; LI, Y. C.; FAN, X.; GENG, Y. Controlled release urea improved nitrogen use efficiency, activities of leaf enzymes, and rice yield. Soil Science Society of America Journal, 76:2307-2317, 2013.

ZAVASHI, E. Volatilização de amônia e produtividade do milho em função da aplicação de ureia revestida com polímeros. Piracicaba, SP, Universidade de São Paulo - ESALQ, 2010. 71p (Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

ZHANG, M.; YANG, Y. C.; SONG, F. P.; SHI, Y.X. Study and industrialized development of coated controlled release fertilizers, Journal of Chemical Fertilizer Industry, 32:7-12, 2005.

CAPÍTULO 2

VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA DE FERTILIZANTES NITROGENADOS ESTABILIZADOS E DE LIBERAÇÃO LENTA

1. RESUMO

Novas tecnologias em fertilizantes têm sido desenvolvidas e amplamente utilizadas para minimizar perdas e aumentar a eficiência na agricultura, a exemplo dos de liberação lenta, controlada e estabilizada. O presente trabalho foi conduzido em ambiente controlado com objetivo de avaliar as perdas de N-NH₃ por volatilização. Os tratamentos seguiram esquema fatorial 5 x 3 x 2 em que os fatores em estudo foram: cinco fontes de fertilizantes nitrogenados (ureia convencional - UC; ureia combinada com zeólita - UZ; ureia revestida com enxofre - US; ureia revestida com NBPT - U_{NBPT}; e ureia combinada com material orgânico “organomineral” - UO); três épocas de aplicação (Época 1: 100 %; Época 2: 50 % + 50 % e Época 3: 33,4 % + 33,3 % + 33,3 %) e dois manejos (aplicação superficial ou incorporado ao solo), com três repetições. O experimento foi conduzido utilizando câmara coletora semiaberta livre estática (SALE) para captura da NH₃ por um período de 25 dias com as coletas e trocas das espumas realizadas no 2º, 4º, 7º, 9º, 11º, 14º, 16º, 18º, 21º, 23º e 25º dias após o início do experimento. A utilização dos fertilizantes nitrogenados de liberação controlada e estabilizados influenciou significativamente as quantidades de N volatilizado, assim como para as diferentes épocas de aplicação e os manejos estudados. A ordem crescente de volatilização de N-NH₃ foi: UZ < US < UC < U_{NBPT} < UO, independente da época e do manejo adotado. Para todas as fontes utilizadas ocorreu diminuição das perdas de 20,45 % para 12,29 % quando parceladas as fontes, e de 19,63 % para 13,95 % quando as mesmas foram incorporadas.

Termos de indexação: NH₃, tecnologia de fertilizantes, nitrogênio.

CHAPTER 2

AMMONIA VOLATILIZATION FROM STABILIZED AND SLOW-RELEASE UREA-BASED NITROGEN FERTILIZERS

2. ABSTRACT

New technologies in fertilizers have been developed and widely used to minimize losses and increase efficiency in agriculture, like the slow-release, controlled and stabilized. The present work was carried out under a controlled environment aiming to evaluate the losses of N-NH₃ by volatilization. The treatments followed a factorial 5 x 3 x 2 in which the factors studied were: five sources of nitrogen fertilizers (conventional urea – CU; urea mixed with zeolite - UZ; sulfur-coated urea - US; NBPT-coated urea - UNBPT, and urea mixed with organic material "organomineral" – UO); three application seasons (Season 1: 100 %; Season 2: 50 % + 50 % and Season 3: 33.4 % + 33.4 % + 33.3 %) and two cropping systems (surface or incorporated into the soil application), with three replications. The experiment was carried out by using a static-free semi-open collection chamber (SFSO) to capture the NH₃ during 25 days with the collects and exchange of foams made in 2nd, 4th, 7th, 9th, 11th, 14th, 16th, 18th, 21st, 23rd and 25th day after the beginning of the experiment. The use of controlled and stabilized N fertilizers affected significantly the volatilized amounts of N, as well as the different application seasons and crop systems studied. The increasing order of N-NH₃ volatilization was: UZ < US < CU < UNBPT < UO, independent of season and crop system used. There was a decrease of the losses from 20.45% to 12.29 % when splitted the sources, and from 19.63 % to 13.95 % when they were incorporated for all the sources used.

Index terms: NH₃, fertilizers technology, nitrogen.

3. INTRODUÇÃO

A inserção da tecnologia vem assumindo papel importante em auxiliar os produtores rurais no gerenciamento dos fatores produzidos no campo. Cada segmento, seja a mecanização agrícola, a biotecnologia e a eficiência dos produtos, está possibilitando melhorias de produção, criando um elo entre o setor primário, ciência e indústria (MALAJOVICH, 2012). Essa aproximação está garantindo inúmeros resultados positivos, aumentando principalmente a eficiência no uso de fertilizantes nitrogenados, que podem apresentar perdas se utilizados em condições de campo inadequadas (FERNANDES et al., 2005).

O manejo da adubação nitrogenada é uma das práticas agrícolas mais estudadas no sentido de melhorar a sua eficiência de uso (CANTARELLA et al., 2008; KANEKO et al., 2013; FRAZÃO et al., 2014). Essa necessidade existe em função da baixa eficiência da adubação nitrogenada, devido às perdas por lixiviação, desnitrificação e, principalmente, por volatilização, que podem acarretar perdas acima de 70 % (LARA CABEZAS et al., 1997; CANTARELLA, 2007).

Nesse sentido, novas tecnologias têm sido adotadas nos últimos anos com o intuito de minorar as perdas de amônia (NH_3) por volatilização. A principal delas é o uso de ureia com revestimento (recobrimento), com produtos quimicamente alterados e peletizados (BENNETT, 1996). Sato & Morgan (2008) e Medina et al. (2008) citaram que as perdas de N para o ambiente são reduzidas com o uso de fertilizantes revestidos, corroborando com Cole et al. (2007). Para esses autores, os fertilizantes revestidos proporcionam menor volatilização de N (10 a 30 %) quando comparados aos não revestidos ou encapsulados.

Trabalhos de pesquisa comparando ureia revestida por polímeros e ureia comum têm apresentado resultados inconsistentes. Enquanto alguns relatos apontam vantagens do uso de ureia revestida por polímeros, na cultura de cereais (FAN et al., 2004; NOELLSCH et al., 2009), outros apontam ineficiência, quando comparada com a ureia comum (NELSON et al., 2009; CAHILL et al., 2010; MCKENZIE et al., 2010; CIVARDI et al., 2011; PRANDO et al., 2013).

O presente trabalho foi conduzido com o objetivo de quantificar o N volatilizado na forma de NH_3 após aplicação de fertilizantes nitrogenados de maior eficiência em diferentes épocas e manejos de aplicação ao solo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Para condução do experimento utilizaram-se amostras subsuperficiais (20 - 40 cm) de um Latossolo Vermelho Amarelo textura muito argilosa (LVA), coletado na região de Alegre - ES (Tabela 2). O material coletado foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira de 2,0 mm para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA).

Adicionaram-se às amostras de solo diferentes fontes de N, em diferentes épocas de aplicação e manejos (incorporado e não incorporado). As fontes de N utilizadas foram: ureia convencional – UC; ureia combinada com mineral zeólita – UZ; ureia revestida com enxofre elementar – US; ureia revestida com NBPT (tiofosfato de N-n-butiltriamida) – U_{NBPT} ; e ureia combinada com material orgânico, (organomineral) – UO (Tabela 1). A dose utilizada de N foi de 75 mg dm^{-3} , considerando todo o volume de solo utilizado.

Os tratamentos seguiram esquema fatorial $5 \times 3 \times 2$ em que os fatores em estudo foram: cinco fontes de nitrogênio (UC, UZ, US, U_{NBPT} , UO) x três épocas de aplicações, sendo Época 1: 100 % da dose de N aplicada no início do experimento; Época 2: 50 % da dose de N aplicada no início do experimento e 50 % após sete dias; e Época 3: 33,4 % da dose de N aplicada no início do experimento e mais duas aplicações de 33,3 % em outros dois intervalos de sete dias; e dois tipos de manejos (aplicação superficial e aplicação incorporada a dois centímetros). O experimento foi disposto em delineamento em blocos casualizados (DBC), com três repetições.

Tabela 3 - Fertilizantes nitrogenados utilizados com suas formulas químicas e concentrações de nitrogênio

Fontes	Formulas	N %
UC	$\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$	45
UZ	$\text{CH}_4\text{N}_2\text{O} + n(\text{AlO}_2) \times (\text{SiO}_2)$	36
US	$\text{CH}_4\text{N}_2\text{O} + \text{S}^0$	38
U_{NBPT}	$\text{CH}_4\text{N}_2\text{O} + \text{C}_4\text{H}_{14}\text{N}_3\text{PS}$	45
UO	$\text{CH}_4\text{N}_2\text{O} + \text{Torta de filtro}^1$	26

¹-Torta de filtro: 8 % de carbono orgânico.

Tabela 2 - Caracterização física e química de um Latossolo Vermelho-Amarelo textura muito argilosa (LVA) coletado na profundidade de 20-40 cm em Alegre ES

Característica	LVA
Argila (%) ^{1/}	67,21
Silte (%) ^{1/}	3,14
Areia (%) ^{1/}	29,65
Densidade (g cm ⁻³) ^{2/}	1,05
M.O. (g kg ⁻¹) ^{3/}	7,21
pH-H ₂ O ^{4/}	4,80
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) ^{5/}	0,25
H + Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) ^{7/}	4,29
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ^{5/}	0,70
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ^{5/}	0,70
K ⁺ (mg dm ⁻³) ^{6/}	14,00
P (mg dm ⁻³) ^{6/}	6,34
SB (cmol _c dm ⁻³)	1,44
CTC _(t) (cmol _c dm ⁻³)	1,69
CTC _(T) (cmol _c dm ⁻³).	5,73
V %	25,13

^{1/} Método da pipeta (ALMEIDA et al, 2012); ^{2/} Método da proveta; ^{3/} Yeomans & Bremner (1988); ^{4/} Relação solo-água 1:2,5; ^{5/} Extrator KCl 1 mol/L; ^{6/} Extrator Mehlich-1; ^{7/} Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ - pH 7, 0.

Amostras de solo (2 dm³) foram colocadas em sacos plásticos para realização da calagem, pelo método da neutralização do Al³⁺ e da elevação dos teores de Ca²⁺ + Mg²⁺ (ALVAREZ V. & RIBEIRO, 1999), utilizando-se calcário calcítico comercial (relação Ca:Mg, 4:1), resultando em um pH de 6,1. Em seguida, a umidade do solo foi ajustada para 60 % da capacidade de campo, determinada pelo extrator de placa porosa a uma tensão de 10 kPa (REICHARDT, 1988). Após 21 dias de incubação, o solo foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira de 2 mm (TFSA), para montagem do experimento.

As unidades experimentais foram constituídas por anéis de PVC, com 10 cm de diâmetro e 10 cm de altura. Esses anéis foram preenchidos com amostras de 0,5 dm³ de TFSA, despejado constantemente através de funil, realizando movimentos circulares, com intuito de reduzir ao máximo a segregação dos agregados, respeitando-se a densidade do solo estudado.

Em seguida, os anéis receberam a aplicação de fósforo e potássio (NOVAIS et al., 1991) e água para atingir 60 % da capacidade de campo. Após a aplicação, os anéis foram mantidos à temperatura de 25 °C por três dias para aclimatação da biota no solo e a produção de urease (KOEENDER et al., 2012).

Após esse período, aplicaram-se os fertilizantes nitrogenados ao solo na dose de 75 mg dm⁻³ de N, respeitando-se as épocas e manejos adotados. Na parte superior de cada anel, imediatamente após aplicação dos fertilizantes nitrogenados, foi acoplada uma câmara coletora (MARSOLA et al., 2000, modificada por ARAÚJO et al., 2009) para captura da amônia liberada pelo fertilizante. A montagem e condução do experimento foram realizadas sob temperatura controlada (25 °C).

A câmara coletora consistiu em um coletor semiaberto livre estático (SALE) confeccionado a partir de frasco plástico transparente, tipo PET de 2 litros, sem a base, com diâmetro de 10 cm, abrangendo 0,008 m² de área. No interior do frasco PET suspendera-se uma lâmina de espuma de poliuretano com 3 mm de espessura, 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento de forma vertical, com o auxílio de um fio rígido de 1,5 mm. Antes da instalação, eram adicionados 10 mL de solução de H₂SO₄ 1 mol L⁻¹ + glicerina (2 % v/v) em frasco de 50 mL.

No momento do preparo do sistema coletor de N-NH₃, a lâmina de espuma foi acondicionada dentro do frasco com a solução ácida e, em seguida, comprimida de forma a absorver a maior parte dessa solução. A lâmina de espuma permaneceu no frasco fechado até o momento de seu posicionamento no interior da câmara (garrafa PET). Na instalação, a lâmina de espuma foi mantida com a extremidade inferior dentro do frasco de 50 mL, de forma a evitar respingos da solução ácida no solo, e a outra extremidade da espuma foi presa à parte superior do fio rígido, para mantê-la na posição vertical. Nessa ocasião, o fio rígido com o frasco de 50 mL e a espuma foram introduzidos no coletor pela base e pendurados na borda superior, suspensos a aproximadamente 1,5 cm da superfície do solo (Figura 1) (ARAÚJO et al., 2009).

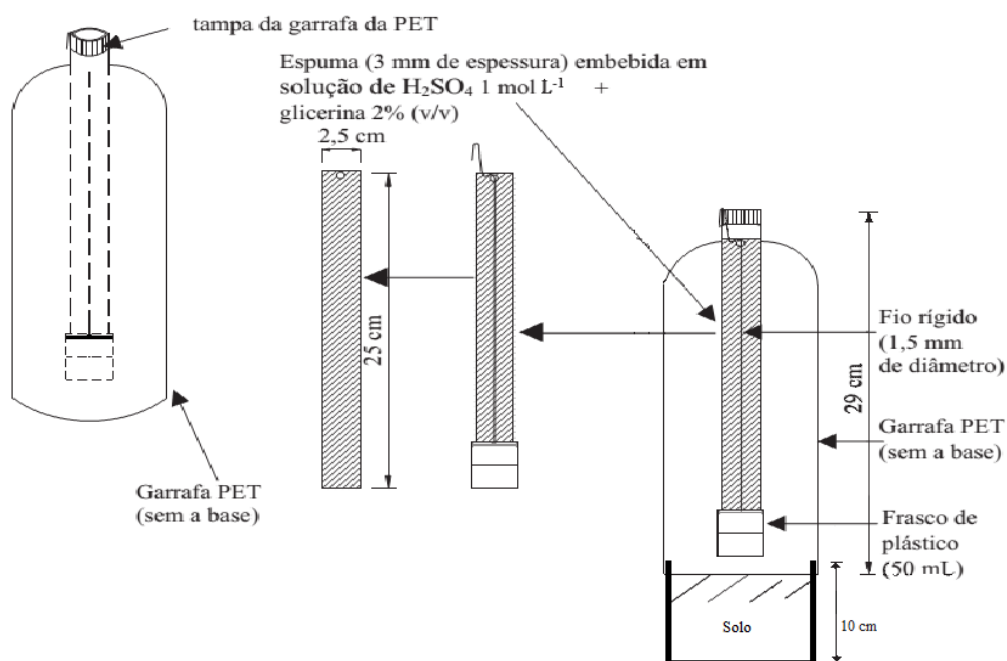


Figura 2 - Câmara coletora de N-NH₃ semiaberta livre estática (SALE).

O experimento foi conduzido por um período de 25 dias, com as coletas e trocas das espumas realizadas no 2º, 4º, 7º, 9º, 11º, 14º, 16º, 18º, 21º, 23º e 25º dias após o início do experimento. Após cada coleta, as espumas eram colocadas em tubos de destilação para determinação da amônia retida, de acordo com Silva et al. (2010).

Os resultados foram submetidos à análise de variância utilizando programa SAEG (Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas) descrito por Euclides (1983), sendo que os efeitos dentro dos fatores qualitativos (fontes, épocas e manejo) foram desdobrados em contrastes e a curva de volatilização de NH₃ (produção acumulada de N-NH₃) com o tempo de incubação foi ajustada a equações logísticas $Y = a/1 + e^{-(b+cx)}$.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização dos fertilizantes de liberação controlada e estabilizados de nitrogênio (N) influenciou as quantidades de NH₃ volatilizado a partir de sua aplicação nas amostras de solo (Tabela 3), como demonstrado pelos contrastes C1, C2 e C3 (Tabela 4), assim como para as diferentes épocas de aplicação e os manejos estudados.

Calculando-se a quantidade de N-NH₃ total perdido por volatilização para as fontes aplicadas (Tabela 3) observou-se a seguinte ordem crescente de N-NH₃ volatilizado: UZ < US < UC < U_{NBPT} < UO. Os valores perdidos foram, respectivamente, 14,12 % (ou 5,30 mg anel⁻¹); 15,12 % (ou 5,67 mg anel⁻¹); 15,58 % (ou 5,85 mg anel⁻¹); 16,41 % (ou 6,16 mg anel⁻¹); 22,70 % (ou 8,52 mg anel⁻¹).

Esses valores de N-NH₃ volatilizado estão condizentes conforme relatado na literatura por diversos autores (VOLK, 1959; LARA CABEZAS et al., 1997). Entretanto, para Lara Cabezas et al. (1999) estes valores estão subestimados, chegando a representar apenas 50 a 80 % do total de N volatilizado. Esse fato é devido à câmara semiaberta estática utilizada apresentar limitações para coleta de N-NH₃ volatilizado. Esse coletor, mesmo após modificações, apresentou taxa de recuperação que variou de 1 a 50 % do total de N-NH₃ volatilizado (LARA-CABEZAS et al., 1999). Para Lara-Cabezas & Trivelin (1990) isso acontece devido a câmara influenciar a ventilação, a temperatura e a umidade do solo e do ar no seu interior e, conseqüentemente, ter efeito sobre a volatilização de N-NH₃, em comparação ao que ocorre em condições naturais. Sharpe & Harper (1995) ressaltam que pode ocorrer, inclusive, a reincorporação de N-NH₃ pelo solo, em estudos dessa natureza.

Tabela 3 - Valores médios das perdas por volatilização de N-NH₃ total acumulado pelas aplicações de fontes nitrogenadas, sob diferentes manejos e épocas de aplicação

Fontes	N Superficial			N Incorporado		
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₁	E ₂	E ₃
	-----mg anel ⁻¹ N-NH ₃ -----					
UC	8,04	7,22	5,78	5,60	4,59	3,85
UZ	7,53	7,01	4,28	5,16	4,90	2,90
US	7,84	6,71	5,10	5,01	4,86	4,51
U _{NBPT}	9,48	8,30	5,72	7,52	3,50	2,43
UO	10,56	10,03	6,84	9,99	8,90	4,78
Média épocas	8,69	7,85	5,54	6,65	5,35	3,69
Média manejos		7,36			5,23	

UC: Ureia convencional; UZ: Ureia combinada com mineral zeólita; US: Ureia revestida com enxofre elementar; U_{NBPT}: Ureia revestida com NBPT; e UO: Ureia combinado com material orgânico, (organomineral); Época 1: 100 % da dose de N aplicada no início do experimento; Época 2: 50 % da dose de N aplicada no início do experimento e 50 % após sete dias; e Época 3: 33,4 % da dose de N aplicada no início do experimento e mais duas aplicações de 33,3 % em outros dois intervalos de sete dias; NBPT: tiofosfato de N-n-butiltriamida.

Ao analisar-se o contraste C1 (Tabela 4), que compara a ureia convencional com as demais fontes, observam-se valores médios de perdas por volatilização superiores para o grupo de fertilizantes de liberação controlada e estabilizados quando comparada a utilização da ureia convencional, identificado por valor de contraste significativo e negativo. Uma explicação para o ocorrido se deve às perdas elevadas de N com a aplicação dos fertilizantes UO e U_{NBPT}, o que elevou a média acima dos valores quando comparadas às da UC. O fertilizante UO utilizado volatilizou 2,67 mg anel⁻¹, equivalente a 7,12 % a mais que a UC (Tabela 3).

Esses resultados reforçam a necessidade de mais estudos a respeito dessas novas tecnologias de revestimento relacionadas ao efeito da redução de perdas de N-NH₃ volatilizado, considerando tipo de revestimento, qualidade e espessura do revestimento, controle do ambiente experimental como temperatura, umidade do solo, entre outros. Quaisquer alterações nessas características podem refletir em resultados e interpretações contraditórias ou inconsistentes.

Khalil et al. (2006) verificaram menores perdas de N por volatilização à medida que houve aumento no tamanho dos grânulos desse fertilizante. Entretanto, pesquisas evidenciaram também elevação na volatilização de N com o aumento de tamanho dos grânulos (LARA CABEZAS et al., 1992).

O processo de volatilização varia em função das condições climáticas (CANTARELLA et al., 2008); tipo de solo (SANGOI et al., 2003); teor de matéria orgânica no solo (LANNA et al., 2010); CTC do solo (COSTA et al., 2003); capacidade de tamponamento do pH (SANGOI et al., 2003) e a taxa de nitrificação (ZAMAN et al., 2009; TASCA et al., 2011).

Tabela 4 - Contrastes médios (Ci) das perdas de N-NH₃ total pelas aplicações das fontes nitrogenada com diferentes manejos e épocas de aplicação no solo

Contrastes			
C1	C2	C3	C4
-0,57**	2,81**	0,67**	0,37*

C1 = UC vs (UZ + US + U_{NBPT} + UO); C2 = UO vs (UZ + US + U_{NBPT}); C3 = U_{NBPT} vs (US + UZ); C4 = US vs UZ; UC: Ureia convencional; UZ: Ureia combinada com mineral zeólita; US: Ureia revestida com enxofre elementar; U_{NBPT}: Ureia revestida com NBPT; e UO: Ureia combinada com material orgânico, (organomineral); NBPT: tiossulfato de N-n-butiltriamida; °, * e **, Significativos a 10, 5 e 1 %, respectivamente.

A aplicação de ureia promoveu a volatilização de 15,58 % de N-NH₃, (5,85 mg anel⁻¹, Tabela 4). Resultado semelhante foi observado por Marcondes (2007), que obteve perdas de até 20 % para ureia. Sengik & Kiehl (1995) observaram perdas de N-NH₃ volatilizado pela ureia chegando a aproximadamente 16 % para solo arenoso e 12 % para solo argiloso. Segundo Connell et al. (1979), a dose de N aplicada também possui efeito sobre as perdas por volatilização de N-NH₃. Os autores verificaram aumento na volatilização de 19 % para 36 % quando a dose de ureia variou de 100 para 150 mg dm⁻³ de N.

Segundo Cancellier (2013), a volatilização de N-NH₃ ocorre ao logo dos primeiros dias após a aplicação do N em cobertura de um solo com fertilidade construída. Esse mesmo autor encontrou perda de N-NH₃ volatilizado de 96,7 % nos sete primeiros dias. Para a ureia + NBPT, ureia revestida com S e polímeros orgânicos e a ureia + Cu + B esses valores foram: 88,6; 89,6 e 93,7 %, respectivamente.

Avaliando a adubação nitrogenada em milho, Civardi et al. (2011) relataram que a ureia incorporada ao solo propiciou maior produtividade de grãos (8278 kg ha⁻¹) e maior lucratividade em comparação com a ureia revestida, e que a redução da dose de ureia revestida com polímeros promoveu redução da produtividade (6567 kg ha⁻¹). Informação esta que diverge de alguns estudos que elucidaram a possibilidade da redução de adubação com o uso dos fertilizantes revestidos, por reduzir as perdas oriundas pela volatilização (GOMES et al., 2011; SOUZA et al., 2013).

Para Almeida & Sanches (2012) a utilização de fertilizantes de liberação controlada e lenta de N constitui uma alternativa para diminuir as perdas de N. Entretanto Zavaschi (2010), em avaliação das perdas de N, observou que a aplicação de ureia revestida por polímeros não reduziu as perdas de amônia por volatilização e não interferiu nos teores de amônio e nitrato no solo. O uso de inibidores da urease não necessariamente propiciam menores perdas de N-NH₃, ocasionando apenas atraso no pico de volatilização (TASCA et al., 2011).

Stafanato et al. (2013), avaliando a eficiência da ureia com tecnologias associadas, verificaram a redução de perdas de N-NH₃ por volatilização em aproximadamente 54 % quando comparadas com as perdas ocasionadas pela ureia comercial.

Ao compararem-se as perdas de N-NH₃ do fertilizante UO com as demais tecnologias (contraste C2, Tabela 3), observou-se valor positivo e significativo, refletindo em uma volatilização de N-NH₃ maior por parte do fertilizante UO. O fertilizante UO volatilizou 8,52 mg anel⁻¹ equivalente a 22,70 %, sendo a fonte que mais volatilizou N-NH₃ para o ambiente.

Para Bono et al. (2006) os fertilizantes organominerais podem ser utilizados em única aplicação no plantio à medida que o N concentra-se na forma mineral e orgânica, sendo esse N mineral absorvido rapidamente, e o N orgânico presente no adubo orgânico liberado ao longo do ciclo da cultura. Como o N orgânico precisa ser mineralizado no solo, para ser aproveitado pelas plantas nas formas nítrica ou amoniacal, ele fica mais tempo no solo (STEVENSON, 1986). Porém, tais resultados não corroboram com os encontrados neste trabalho, no qual o UO obteve perdas superiores aos da utilização da UC, demonstrando neste estudo não ser uma fonte eficiente na diminuição das perdas de N-NH₃ no solo.

Comparando-se as tecnologias de revestimento químico (U_{NBPT}) e as de revestimento físico (US e UZ) (Contraste C3, Tabela 4), observou-se que as perdas por volatilização de N-NH₃ do fertilizante U_{NBPT} foram superiores às outras fontes. Para as condições experimentais deste estudo (temperatura, umidade do solo e tipo de solo) os revestimentos físicos foram mais eficientes na diminuição das perdas de N em relação ao revestimento químico.

Para Carmona et. al (1990), a utilização do NBPT pode não ser capaz de controlar completamente as perdas de N-NH₃, devido esse tipo de revestimento não suportar temperaturas entre 25 a 32 °C. Para os autores essas temperaturas favorecem a hidrólise da ureia e com o passar dos dias ocorre a diminuição da concentração do inibidor. Esse fato pode resultar em uma maior perda da eficiência dos fertilizantes U_{NBPT}, em função das temperaturas do solo mais elevadas em ambientes tropicais.

Fertilizantes contendo diferentes inibidores têm sido constantemente testados no Brasil. Um exemplo é a ureia tratada com NBPT e dicianodiamida (DCD), um inibidor de nitrificação. O inibidor de nitrificação reduz as perdas por lixiviação ao retardar a formação de NO₃⁻, mas, ao manter no solo altas concentrações de NH₄⁺, pode fazer com que a taxa de volatilização de amônia seja maior em relação aos tratamentos que recebem apenas o NBPT (NASTRI et al., 2000; GIOACCHINI et al., 2002).

No contraste C4 (Tabela 4), em que se comparam os fertilizantes nitrogenados US com UZ, observou-se valor positivo, refletido em volatilização de N-NH₃ maior do

fertilizante US (15,12 % ou 5,67 mg anel⁻¹). Assim, UZ foi o fertilizante nitrogenado que apresentou as menores quantidades de N volatilizado na forma de NH₃, apenas 14,12 % (5,30 mg anel⁻¹).

Para Resende & Monte (2005) os fertilizantes nitrogenados combinados com mineral zeólita podem ser usados na agricultura como condicionadores de solo devido a sua alta capacidade de retenção de elementos (elementos como nitrogênio, fósforo e potássio, além da água), liberando-os lentamente, podendo reduzir as perdas por lixiviação de nitrato (NO₃⁻) e volatilização de NH₃.

Para Mumpton (1999) deve-se considerar também a reduzida acessibilidade que os microrganismos encontram sobre o NH₄⁺ adsorvido na estrutura da zeólita impedindo a transformação do NH₄⁺ em NO₃⁻ e reduzindo as perdas de nitrogênio.

A capacidade da zeólita em reduzir significativamente as perdas por volatilização torna o seu uso relevante como nova tecnologia para fertilizantes mais eficientes à base de ureia quando esta é aplicada em cobertura. WERNECK (2008) encontrou diminuição nas perdas por volatilização quando utilizou mistura de ureia mais zeólita na proporção de 15 % p/p em comparação à ureia convencional.

Trenkel (2010) relata que os fertilizantes provenientes do revestimento da ureia com enxofre (*sulfur coated urea*, SCU) foram os primeiros a ser desenvolvidos à escala comercial. O revestimento de enxofre pode ser considerado impermeável à membrana, que se degrada lentamente no solo através dos processos microbiológicos, químicos e físicos.

Segundo Yang et al. (2011), a volatilização de N-NH₃ do fertilizante nitrogenado revestido com enxofre depende da espessura do revestimento (cápsula) em relação ao tamanho do grânulo, pois o teor de N total de ureia revestida com enxofre pode diminuir de 46 % para 30 a 42 %. Mas Trenkel (2010) relata que fertilizantes revestidos com enxofre podem ser liberados rapidamente (menos de 3 meses).

Com relação à forma de aplicação do N, todas as fontes utilizadas neste trabalho apresentaram perdas maiores de N-NH₃ ao serem aplicados na superfície do solo, quando comparados à aplicação destes incorporados (2 a 3 cm de profundidade) (Tabela 5). A aplicação superficial dos fertilizantes nitrogenados ao solo propiciou uma volatilização, em média, de 19,62 % (7,36 mg anel⁻¹ de N-NH₃) e incorporados, 13,94 % do total aplicado (5,23 mg anel⁻¹ de N-NH₃).

Tabela 5 - Contrastes médios das perdas de N-NH₃ total pelos diferentes manejos adotados às fontes nitrogenadas

Contraste	UC	UZ	US	U _{NBPT}	UO
C5	2,33**	1,95**	1,76**	3,34**	1,25**

C₅ = Manejo superficial vs Manejo incorporado; UC: Ureia convencional; UZ: Ureia combinada com mineral zeólita; US: Ureia revestida com enxofre elementar; U_{NBPT}: Ureia revestida com NBPT; e UO: Ureia combinado com material orgânico, (organomineral); NBPT: tiofosfato de N-n-butiltriamida. °, * e **, Significativos a 10, 5 e 1 %, respectivamente.

A incorporação reduz as perdas por volatilização de NH₃. A incorporação do N praticamente elimina a volatilização de NH₃ (RODRIGUES & KIEHL, 1986; SILVA et al., 1995; LARA CABEZAS et al., 2000) porque aumenta o contato entre o fertilizante e o solo, favorecendo a adsorção de NH₄⁺ às cargas negativas do solo.

Ceretta et al. (2002) e Sangoi et al. (2003) observaram que a incorporação de fertilizantes nitrogenados ao solo pode diminuir a volatilização de NH₃ em até 90 %.

Martins et al. (2014) e Gott et al. (2014) verificaram que ao incorporarem fertilizantes nitrogenados ao solo, as perdas são menores. No entanto, essa prática é ainda pouco utilizada pelos agricultores na adubação nitrogenada em cobertura, seja ela por falta de equipamentos adequados para incorporação, por danos que essa incorporação pode promover no sistema radicular, ou ainda pelo aumento do custo da aplicação.

Sangoi et al. (2003) observaram que a aplicação superficial de ureia, tanto em solo arenoso quanto em argiloso, aumentou as perdas em 15,7 a 29,3 % de N por volatilização de NH₃ em relação à sua incorporação, independentemente do manejo dos restos culturais de aveia preta, textura do solo, teor de matéria orgânica do solo (MOS) e da CTC do solo.

Trivelin et al. (2002) estudando perdas do N da ureia no sistema-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar, concluíram que mais de 50 % de N-NH₃ foi volatilizado quando o fertilizante foi aplicado na superfície.

Entretanto, é importante ressaltar que mesmo as fontes com tecnologias associadas foram mais eficientes ao serem incorporadas ao solo, volatilizando menos N-NH₃, conforme observado pelo C5 (Tabela 5). Esse fato demonstra possibilidades de aperfeiçoamento (refinamento) das tecnologias utilizadas neste trabalho, mais melhorias nas combinações de revestimentos ou misturas orgânicas e inorgânicas para os fertilizantes. Para as épocas de aplicação dos fertilizantes com os seus diferentes manejos, todas as fontes se comportaram de maneira semelhante (Tabela 6). Quando se parcela a adubação, diminui-se a volatilização de N-NH₃. Esses resultados corroboram

com Amado et al. (2002) e Silva et al. (2005) em que o parcelamento e a época de aplicação do adubo nitrogenado constituem-se em alternativas para aumentar a eficiência da adubação com N pelas culturas e mitigar as perdas. Isso é respaldado pelo maior aproveitamento do N, resultante da sincronização entre as aplicações e o período de alta demanda do nutriente.

Pode ser observado no contraste C6 (Tabela 6) que ao se parcelar a aplicação dos fertilizantes nitrogenados com diferentes manejos (superficial e incorporado ao solo) as perdas por volatilização de N-NH₃ são minimizadas.

Desta forma, os resultados obtidos nesse trabalho com os fertilizantes nitrogenados de liberação controlada e estabilizados não corroboram com o que é indicado por Boman & Battikhi (2007), em que o uso do fertilizante nitrogenado de liberação lenta reduz a necessidade de parcelamento das adubações.

Para o contraste C7 (Tabela 6), observou-se que ao parcelar a aplicação das fontes nitrogenadas em três vezes, independentemente do tipo de manejo adotado (superficial e incorporado) a volatilização de N-NH₃ decresce. WILSON et al. (2009) demonstraram redução na necessidade de dividir a aplicação de N usando ureia revestida, o que não foi observado neste trabalho.

Os valores de volatilização acumulada de N-NH₃ em função do tempo de coleta foram ajustados a equação logística [$Y = a/(1+e^{-(b+cx)})$] (PASSOS et al., 2007; ANDRADE et al., 2013).

Tabela 6- Contrastes médios das perdas de N-NH₃ total pelas diferentes épocas de aplicação adotadas às fontes nitrogenadas

Contrastes	Manejos	UC	UZ	US	U _{NBPT}	UO
C6	Sup.	1,54**	1,89**	1,94**	2,47**	2,13**
	Inc.	1,38**	1,26**	0,32	4,56**	3,15**
C7	Sup.	1,44**	2,73**	1,61**	2,58**	3,19**
	Inc.	0,74**	2,00**	0,35	1,07**	4,12**

C₆ = Época 1: 100 % da dose de N aplicada no início do experimento vs Época 2: 50 % da dose de N aplicada no início do experimento e 50 % após sete dias mais Época 3: 33,4 % da dose de N aplicada no início do experimento e mais duas aplicações de 33,3 % em outros dois intervalos de sete dias. C₇ = Época 2: 50 % da dose de N aplicada no início do experimento e 50 % após sete dias vs Época 3: 33,4 % da dose de N aplicada no início do experimento e mais duas aplicações de 33,3 % em outros dois intervalos de sete dias. Inc. – Manejo incorporado, Sup. – Manejo superficial; UC: Ureia convencional; UZ: Ureia combinada com mineral zeólita; US: Ureia revestida com enxofre elementar; U_{NBPT}: Ureia revestida com NBPT; e UO: Ureia combinado com material orgânico, (organomineral); NBPT: tiofosfato de N-n-butiltriamida. °, * e **, Significativos a 10, 5 e 1 %, respectivamente.

Os coeficientes da equação logística (a, b, c) apresentam o seguinte significado: o “a” é a saturação da curva, que está associado ao máximo acúmulo de NH_3 volatilizado; o “b” é o parâmetro de posição que desloca a curva horizontalmente, e quanto maior seu valor maior é o tempo para atingir o pico de volatilizado de N-NH_3 ; e “c” é o parâmetro relacionado com a taxa de crescimento da função e que é diretamente associado à volatilização de N-NH_3 . Por intermédio desses coeficientes foi possível estimar o tempo necessário para atingir a metade da emissão máxima de N-NH_3 ($t_{1/2}$). O $t^{1/2}$ indica o tempo em que ocorreu inflexão da curva (Figura 2). Seu valor permite que se faça uma inferência sobre a velocidade no tempo (dias) e a emissão de NH_3 volatilizado.

Para todos os tratamentos (Tabela 7), de maneira geral, os maiores valores para saturação na evolução de N-NH_3 (coeficiente a) foram observados para época 1 (100 % da dose de N aplicada no início do experimento), indicando que este tipo de aplicação dos fertilizantes nitrogenados favoreceu à uma maior volatilização, independentemente do tipo de manejo.

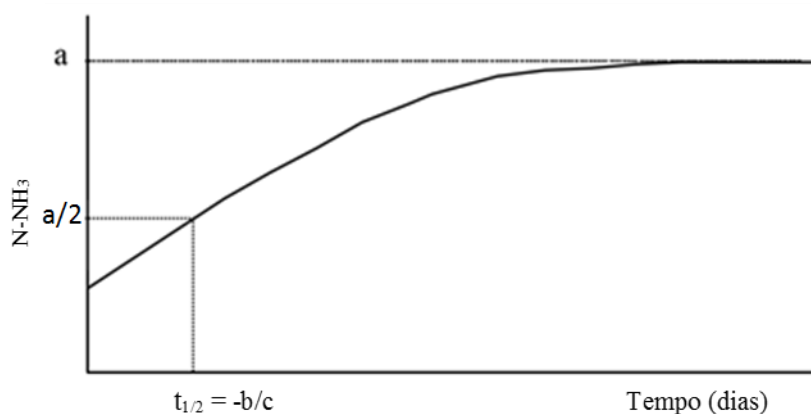


Figura 2 - Representação gráfica da curva de acumulativa de N-NH_3 , utilizando a equação logística [$Y = a/1+e^{-(b+cx)}$].

A produção acumulada de N-NH₃ volatilizado ajustou-se adequadamente à função logística de crescimento para todos os tratamentos (Tabela 7). Os maiores valores para saturação na evolução de NH₃ (coeficiente a) foram observados para o fertilizante UO, indicando que este possui características qualitativas que favoreceram sua volatilização e/ou, maior proporção de NH₃ facilmente volátil, tanto no manejo superficial como no incorporado. O parcelamento da dose de N implicou em menores valores de N-NH₃ capturados, independentemente da fonte aplicada. Nesse sentido, a Época 1 se mostrou superior à Época 3.

Observam-se, para o MS, maiores valores do coeficiente b (maior tempo para atingir a saturação de NH₃) para as aplicações dos fertilizantes em diferentes épocas (E₁, E₂, E₃), refletindo sua maior volatilização de NH₃. Esse fato não foi observado no MI.

Tabela 7 - Coeficientes da equação logística, determinação e tempo necessário para atingir a metade da produção máxima de N-NH₃ ($t_{1/2} = -b/c$) para as diferentes épocas de aplicação (E₁, E₂ e E₃) com manejo incorporado ao solo (MI) e manejo superficial (MS) em período de 28 dias.

Fontes	a ⁽¹⁾			b ⁽¹⁾			c ⁽¹⁾			R ²	t 1/2		
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₁	E ₂	E ₃	E ₁	E ₂	E ₃		E ₁	E ₂	E ₃
MS													
UC	7,83	7,10	6,12	-8,84	-5,72	-5,42	0,86	0,51	0,36	0,99	10,27	11,28	14,93
UZ	7,57	7,18	4,05	-8,14	-4,51	-10,8	0,61	0,35	1,03	0,99	13,39	13,04	10,49
US	7,96	6,79	5,10	-8,00	-4,22	-4,05	0,54	0,35	0,38	0,99	14,92	12,15	10,86
UNBPT	10,3	8,54	5,73	-3,59	-3,30	-4,69	0,27	0,31	0,38	0,98	13,49	10,80	12,21
UO	10,5	10,3	7,40	-4,60	-6,06	-4,19	0,45	0,43	0,28	0,99	10,17	13,99	14,80
MI													
UC	5,70	4,62	3,78	-8,99	-8,78	-7,18	0,59	0,56	0,66	0,99	15,25	15,73	10,97
UZ	5,13	4,59	2,99	-9,52	-6,66	-6,47	0,65	0,79	0,44	0,99	14,69	8,42	14,80
US	4,91	4,96	5,04	-8,91	-13,1	-3,04	0,66	0,82	0,23	0,99	13,57	15,93	13,40
UNBPT	7,41	3,39	2,39	-11,2	-9,00	-6,18	0,82	0,66	0,44	0,99	13,61	13,67	14,13
UO	10,0	9,22	4,84	-8,81	-6,41	-8,98	0,65	0,46	0,60	0,99	13,46	14,00	14,94

⁽¹⁾ equação logística $Y = a/(1+e^{-(b+cx)})$; MI = Manejo incorporado; MS = Manejo superficial; Época 1: 100 % da dose de N aplicada no início do experimento; Época 2: 50 % da dose de N aplicada no início do experimento e 50 % após sete dias; e Época 3: 33,4 % da dose de N aplicada no início do experimento e mais duas aplicações de 33,3 % em outros dois intervalos de sete dias; UC: Ureia convencional; UZ: Ureia combinada com mineral zeólita; US: Ureia revestida com enxofre elementar; UNBPT: Ureia revestida com NBPT; e UO: Ureia combinado com material orgânico, (organomineral); NBPT: tiofosfato de N-n-butiltriamida.

Houve pequena variação entre a taxa de crescimento da função (coeficiente c), tanto para o MS como MI, sugerindo que esta foi pouco sensível às variações qualitativas entre as épocas de aplicação dos fertilizantes nitrogenados (Tabela 7). Esse fato induziu, aparentemente, o mesmo padrão de crescimento da curva.

Maiores valores de $t^{1/2}$ foram encontrados para o UZ, indicando que este fertilizante possui menor velocidade de volatilização. Infere-se que essa menor velocidade de perda de N volatilizado na forma de NH_3 pode estar relacionada à adição de zeólitas (mineral) aos grânulos de ureia, por recobrimento ou granulação de mistura dos materiais em pó, reduzindo as perdas de amônia por volatilização quando o fertilizante foi aplicado ao solo.

6. CONCLUSÕES

A ureia combinada com mineral zeólita (UZ) apresentou os menores valores de volatilização de NH_3 em relação às fontes utilizadas;

A ordem crescente de volatilização de N- NH_3 foi: UZ < US < UC < UNBPT < UO, independente da época e do manejo adotado;

A incorporação das fontes nitrogenadas ao solo reduziu as perdas por volatilização, mesmo para os fertilizantes com tecnologia associada;

O parcelamento da adubação nitrogenada diminuiu as perdas de nitrogênio na forma de NH_3 , mesmo para os fertilizantes com tecnologia associada.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, R.F.; SANCHES, B.C. Fertilizantes nitrogenados com liberação lenta e estabilizada na agricultura. *Revista Verde Mossoró*, 7:31-35, 2012.
- ALMEIDA, B. G. de; DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; BRAIDA, J. A.; VIANA, J. H. M.; REICHERT, J. M. M.; OLIVEIRA, L. B.; CEDDIA, M. B.; WADT, P. G. S.; FERNANDES, R. B. A.; PASSOS, R. R.; DECHEN, S. C. F.; KLEIN, V. A.; TEIXEIRA, W. G. Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil. Embrapa Solos, 2012. 11p. (Embrapa Solos: Comunicado Técnico, 66).
- ALVAREZ V, V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V, V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação. Viçosa, MG. 1999. p.43-60
- AMADO, T. J. C.; MILNICZUK, J.; FERNANDEZ, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fonte de nitrogênio para o milho em sistemas de reparo do solo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 24:179-189, 2002.
- ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R. Organic acids adsorption and mineralization in oxisols with different textures. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37:976-985, 2013.
- ARAÚJO, E.S.; MARSOLA, T.; MIYAZAWA, M.; SOARES, L.H.B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R. Calibração de câmara semiaberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44:769-776, 2009.
- BENNETT, E. Slow-release fertilizers. *Virginia Gardener Newsletter*, v. 11, n. 4, 1996. Disponível em: <<http://www.ext.vt.edu/departments/envirohort/articles/misc/slowrels.html>>. Acesso em 01 out 2014.
- BOMAN, B.J.; BATTIKHI, A.M. Growth, evapotranspiration, and nitrogen leaching from young lysimeter-grown orange trees. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133:350-358, 2007.
- BONO, J.A.M.; SETTI, J.C.A.; SPEKKEN, S.S.P. O nitrogênio protegido como alternativa de fertilizante para o uso no plantio da cultura do algodão. *Ensaio e Ciência*, 10:39-45, 2006.
- CAHILL, S.; OSMOND, D.; WEISZ, R.; HEINIGER, R. Evaluation of alternative nitrogen fertilizers for corn and winter wheat production. *Agronomy Journal*, 102:1226-1236, 2010.
- CANCELLIER, E. L. Eficiência da ureia estabilizada de liberação controlada no milho cultivado em solo de fertilidade construída. Lavras, MG, Universidade Federal de Lavras, 2013. 76p. (Dissertação de Mestrado).

- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; CONTIN, T. L. M.; DIAS, F. L. F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R. B.; QUAGGIO, J. A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. *Scientia Agricola*, 65:397-401, 2008.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.V.H.; BARROS, N. F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. Fertilidade do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.
- CARMONA, G.; CHRISTIANSON, C.B.; BYRNES, B.H. Temperature and low concentration effects of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (nBTPT) on ammonia volatilization from urea. *Soil Biology and Biochemistry*, 22:933-937, 1990.
- CERETTA, C.A.; BASSO, C.J; FLECHA, A.M.T.; PAVINATO, P.S.; VIEIRA, F.C.B.; MAI, M.E.M. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26:163-171, 2002.
- CIVARDI, E. A.; SILVEIRA NETO, A. N.; RAGAGNIN, V. A.; GODOY, E. R.; BROD, E. Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 41:52-59, 2011.
- COLE, N., TODD, R., PARKER, D., RHOADES, M. Challenges in using flux chambers to measure ammonia emissions from simulated feedlot pen surfaces and retention ponds. In: *Proceedings International Symposium on Air Quality and Waste Management for Agriculture*. 9. USA. American Society of Agricultural and Biological Engineers, Broomfield, 2007.
- CONNEL, J.H.; MEYER, R.D.; MEYER, J.L.; CARLSON, R.M. Gaseous ammonia losses following nitrogen fertilization. *California Agriculture*, 33:11-12, 1979.
- 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 Ciência do Solo*, 27:631-637, 2003.
- EUCLYDES, R. F. Manual de utilização do programa SAEG (Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas). Viçosa: UFV, 1983. 53p.
- FAN, X.; LI, F.; LIU, F. Fertilization with a new type of coated urea: evaluation for nitrogen efficiency and yield in winter wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 27:853-865, 2004.
- FERNANDES, F.C.S.; BUZETTI, S.; ARF, O.; ANDRADE, J.A.C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 4:195-204, 2005.

- FRAZÃO, J. J.; SILVA, A. R.; SILVA, V.L.; OLIVEIRA, V. A.; CORRÊA, R. S. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18:1262-1267, 2014
- GIOACCHINI, P.; NASTRI, A.; MARZADORI, C.; GIOVANNINI, C.; ANTISARI, L.V.; GESSA, C. Influence of urease and nitrification inhibitors on N losses from soils fertilized with urea. *Biology and Fertility of Soils*, 36:129-135, 2002.
- GOMES, C. A.; DIAS, K. G. L.; COGO, F. D.; ORFÃO, P. A. S.; CEREDA, G. J.; TOLEDO, G. C. Fertilizante de liberação gradativa em cafeeiros em produção. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, 5:35-39, 2011.
- GOTT, R. M.; SICHOCKI, D.; AQUINO, L. A.; XAVIER, F.O.; SANTOS, L. P. D.; AQUINO, R. F. B. A. Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio no milho safrinha. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 13:24-34, 2014.
- KANEKO, F. H.; LEAL, A. J. F.; ANSELMO, J. L.; BUZETTI, S.; TOSTA, F. DA S. Fontes e manejos da adubação nitrogenada em algodoeiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 43:57-63, 2013.
- KHALIL, M.I.; SCHMIDHALTER, U.; GUTSER, R. N₂O, NH₃ and NO_x emissions as a function of urea granule size and soil type under aerobic conditions. *Water Air Soil Pollution*, 175:127-148, 2006.
- KOEFENDER, E. Enriquecimento da cana-de-açúcar com fontes de nitrogênio em agroecossistemas do norte e noroeste do Paraná. Florianópolis, SC, Universidade de Federal de Santa Catarina, 2012. 76p. (Dissertação de Mestrado).
- LANNA, A. C.; SILVEIRA, P. M. DA; SILVA, M. B. DA; FERRARESI, T. M.; KLIEMANN, H. J. Atividade de urease no solo com feijoeiro influenciada pela cobertura vegetal e sistemas de plantio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:1933-1939, 2010.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDÖRFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da ureia por sulfato de amônio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21:481-487, 1997.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; BOARETTO, A.E. Efeito do tamanho de grânulo e relação N/S da ureia aplicada em superfície na volatilização de amônia sob diferentes umidades iniciais do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 16:409-413, 1992.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado da ureia aplicada ao solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 14:345-352, 1990.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLLI, J.A.; GASCHO, G.J. Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizers. *Communications in Soil Science Plant Analysis*, 30:389-406, 1999.

- LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; KORNODÓRF, G.H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 14:363-376, 2000.
- MCKENZIE, R. H.; MIDDLETON, A. B.; PFIFFNER, P. G.; BREMER, E. Evaluation of polymer-coated urea and urease inhibitor for winter wheat in Southern Alberta. *Agronomy Journal*, 102:1210-1216, 2010.
- MALAJOVICH, M.A. *Biotechnologia 2011*. Rio de Janeiro: Biblioteca Max Feffer do Instituto de Tecnologia ORT, 2012. 304p.
- MARCONDES, Â.L.P. Volatilização de amônia de adubos nitrogenados aplicados em superfície na cultura do milho em ambientes distintos. Rondônia, RO, Unioeste. Marechal Cândido, 2007. 66p. (Dissertação de mestrado em Agronomia).
- MARSOLA, T.; TAKAHASHI, H.W.; MIYAZAWA, M. Calibração de um sistema coletor de amônia volatilizada do solo e aplicada em campo. In: IV Mostra Acadêmica de Trabalhos de Agronomia, 4:123-123, 2000.
- MARTINS, I. S.; CAZETTA, J. O.; FUKUDA, A. J. F. Condições, modos de aplicação e doses de ureia revestida por polímeros na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 44:271-279, 2014.
- MEDINA, L.C.; OBREZA, T.A.; SARTAIN, J.B.; ROUSE, R.E. Nitrogen release patterns of a mixed controlled-release fertilizer and its components. *Horttechnology*, Alexandria, 18:475-480, 2008.
- MUMPTON, F.A. La roca magica: Uses of natural previous zeolites in agriculture and industry. *Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America*, 96:3463-3470, 1999.
- NASTRI, A.; TODERI, G.; BERNATI, E.; GOVI, G. Ammonia volatilization and yield response from urea applied to wheat with urease (NBPT) and nitrification (DCD) inhibitors. *Agrochimica*, 44:231-239, 2000.
- NELSON, K. A.; PANIAGUA, S. M.; MOTAVALLI, P. P. Effect of polymer coated urea, irrigation, and drainage on nitrogen utilization and yield of corn in a claypan soil. *Agronomy Journal*, 101:681-687, 2009.
- NOELLSCH, A. J.; MOTAVALLI, P. P.; NELSON, K. A.; KITCHEN, N. R. Corn response to conventional and slow-release nitrogen fertilizers across a claypan landscape. *Agronomy Journal*, 101:607-614, 2009.
- NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A.J.; GARRIDO, W.E.; ARAÚJO, J.D.; LOURENÇO, S. *Métodos de pesquisa em fertilidade do solo*. EMBRAPA-SAE, Brasília, 1991. p.189-254.

- PASSOS, R. R.; RUIZ, H. A.; MENDONÇA, E. S.; CANTARUTTI, R. B.; SOUZA, A. P. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:1119-1129, 2007.
- PRANDO, A. M.; ZUCARELI, C.; FRONZA, V.; OLIVEIRA, F. A.; JUNIOR, A. O. Características produtivas do trigo em função de fontes e doses de nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 43:34-41, 2013.
- REICHARDT, K. Capacidade de campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 12:211-216, 1988.
- RESENDE, N.G.A.; MONTE, M.B.M. In: *Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações*, Editores Adão Benvindo da Luz e Fernando Freitas Lins, Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p.699-717, 2005.
- RODRIGUES, M.B.; KIEHL, J.C. Volatilização de amônio após emprego de ureia em diferentes doses e modos de aplicação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 10:37-43, 1986.
- SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. *Ciência Rural*, 33:687-692, 2003.
- SATO, S.; MORGAN, K.T. Nitrogen recovery and transformation from a surface or sub-surface application of controlled-release fertilizer on a sandy soil. *Journal of Plant Nutrition*, 3:2214-2231, 2008.
- SENGIK, E.; KIEHL J.C. Efeito de resíduos orgânicos e do fosfato monocálcico na volatilização de amônia em terra tratada com ureia. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 19:321-326, 1995.
- SHARPE, R.R.; HARPER, L.A. Soil, plant and atmospheric conditions as they relate to ammonia volatilization. *Fertilizer Research*, 42:149-158, 1995.
- SILVA D. F.; ANDRADE, C.L.T.; SIMEONE, M.L.F.; AMARAL, T.A.; CASTRO L.A. Análise de nitrato e amônio em solo e água. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 55p.
- SILVA, A.J.; LIMA JÚNIOR, M.A.; FERREIRA, N.C.M.; FRAGA, V.S. Perdas de amônia por volatilização proveniente da ureia aplicada a solos dos trópicos úmidos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 19:141-144, 1995.
- SILVA, E.C.; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G.L.; LAZARINI, E.; SÁ, M.E. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:353-362, 2005.

- SOUZA, J. R.; CASTRO, G. S. A.; RIBEIRO, B. N.; ROLIM, M.; V; KANEKO, F. H. Manejo de nitrogênio revestido com polímeros na cultura do algodão. *Acta Iguazu*, 2:43-49, 2013.
- STAFANATO, J.B. Volatilização de amônia oriunda de ureia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37:726-732, 2013.
- STEVENSON, F.J. Cycles of soil carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. Wiley-Interscience, 1986. 380 p
- TASCA, F. A.; ERNANI, P. R.; ROGERI, D. A.; GATIBONI, L. P.; CASSOL, P. C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de uréase. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35:493-502, 2011.
- TRENKEL, M.E. Slow and controlled-release and stabilized fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Efficiency in Agriculture. 2.ed. Paris: IFA, 2010. 163p.
- TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; VITTI, A.C.; GAVA, G.J.C.; BENDASSOLLI, J.A. Perdas do nitrogênio da ureia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37:193-201, 2002.
- VOLK, M.G. Volatile loss of ammonia following surface application of urea to turf of bare soils, *Agronomy Journal*, 51:746-749, 1959.
- WERNECK, C.G. Perdas por volatilização e eficiência agronômica da mistura de ureia com zeólita natural aplicada na cultura da roseira (*Rosa spp.*). Seropédica, RJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008. 90p. (Dissertação de Mestrado).
- WILSON, M.L.; ROSEN, C.J.; MONCRIEF, J.F. Potato response to polymer-coated urea on an irrigated, coarse textured soil. *Agronomy Journal*, 101:897-905, 2009.
- YANG, Y.C.; ZHANG, M.; ZHENG, L.; CHENG, D.D.; LIU, M.; GENG, Y.Q. Controlled Release Urea Improved Nitrogen Use Efficiency, Yield, and Quality of Wheat. *Agronomy Journal*, 103:479-485, 2011.
- YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476, 1988.
- ZAMAN, M.; SAGGAR, S.; BLENNERHASSETT, J. D.; SINGH, J. Effect of urease and nitrification inhibitors on N transformation, gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, pasture yield and N uptake in grazed pasture system. *Soil Biology and Biochemistry*, 41:1270–1280, 2009.

ZAVASCHI, E. Volatilização de nitrogênio, nutrição e produtividade da cultura do milho com a aplicação de ureia de liberação controlada. Piracicaba, SP, Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2010. 69p. (Dissertação Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

CAPÍTULO 3

FERTILIZANTES NITROGENADOS ESTABILIZADOS E DE LIBERAÇÃO LENTA NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO CAFÉ ARÁBICA

1. RESUMO

Atualmente tem-se buscado agregar tecnologias aos fertilizantes no sentido de aumentar sua eficiência. Um bom exemplo é a utilização de fertilizantes nitrogenados de liberação lenta, controlada ou estabilizada. O presente trabalho foi conduzido em casa de vegetação com objetivo de avaliar a eficiência de fontes nitrogenadas de liberação controlada e estabilizados no desenvolvimento inicial de *Coffea arabica* L.. Os tratamentos seguiram esquema fatorial 6 x 3 em que os fatores em estudo foram: seis fontes de fertilizantes nitrogenados (ureia convencional – UC; nitrato de amônio – NA; ureia revestida com enxofre elementar – US; ureia revestida com enxofre elementar e polímero – USP; ureia combinado com material orgânico – UO; e ureia combinado com material orgânico e NBPT - UO_{NBPT}); três épocas de aplicação do fertilizante (Época 1: 100 %; Época 2: 50 % + 50 % e Época 3: 33,4 % + 33,3 % + 33,3 %). O experimento foi conduzido por 150 dias com o objetivo de avaliar a produção de massa seca da parte aérea (MSPA), de folha (MSF), os teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e o conteúdo de N, em mudas de café (*Coffea arabica* L.). A utilização dos fertilizantes de liberação controlada e estabilizados de N, influenciou a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), e da folha (MSF), bem como, os teores de N, Ca, Mg, P e K e conteúdo de N nas plantas de café (*Coffea arabica* L.). Para o conteúdo de N nas folhas observou a seguinte ordem: UO_{NBPT} < UO < USP < US < NA < UC, contrariando os efeitos benéficos em relação à disponibilidade de N para os fertilizantes com tecnologia associada em relação à fonte convencional - Ureia.

Termos de indexação: tecnologia, nitrogênio, fertilizantes

CHAPTER 3

STABILIZED AND SLOW-RELEASE NITROGEN FERTILIZERS ON COFFEE ARABICA INITIAL DEVELOPMENT

2. ABSTRACT

New technologies have been developed and largely used to increase nutritional efficiency on plants, such as the use of slow-release, controlled-release and stabilized fertilizers. The present work was carried out in greenhouse aiming to evaluate the efficiency of controlled-released and stabilized nitrogen sources on initial development of *Coffea arabica* L.. The treatments followed a factorial 6 x 3 in which the factors studied were: six nitrogen fertilizers sources (conventional urea – CU; ammonium nitrate – AN; elemental sulfur coated urea - SU; elemental sulfur and polymer coated urea - SPU; urea mixed with organic material - UO; and urea mixed with organic material and NBPT - UONBPT); three seasons of fertilizer application (Season 1: 100 %; Season 2: 50 % + 50 % and Season 3: 33.4 % + 33.4 % + 33.3 %). The experiment was conducted for 150 days in order to evaluate the dry matter production of shoot (DMAP), leaf (DML), the N, P, K, Ca, Mg and the N content in seedlings coffee (*Coffea arabica* L.) after application of stabilized nitrogen fertilizers and slow release at different times. The use of controlled and stabilized N release urea-based fertilizers affected the dry matter of aerial part (DMAP) and leaves (DML) production, such as N, Ca, Mg, P and K concentrations and N content in the coffee plants (*Coffea arabica* L.). For the N content in the leaves, it was observed the following order: UONBPT < UO < SPU < SU < AN < CU, contrary to the beneficial effects on the availability of N in fertilizers with added technology in relation to conventional source - Urea.

Index terms: fertilizer technology, nitrogen.

3. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o mercado agrícola nacional e internacional tem-se movimentado em função de melhorias tecnológicas, com espécies geneticamente modificadas, controle de pragas, plantas daninhas e doenças, o uso de fertilizantes com reações controladas, com inibidores químicos, físicos ou biológicos.

Vários estudos estão sendo realizados no Brasil com a utilização de fertilizantes com maior eficiência (fertilizantes de liberação lenta; fertilizantes de liberação controlada; e fertilizantes estabilizados) (TRENKEL, 2010) na produção de várias culturas. Os resultados positivos têm sido relatados por diversos autores (SERRANO, et al., 2010; BRONDANI, et al., 2008; SCIVITTARO, et al., 2004; CHU, et al., 2005), indicando a eficiência no uso de grânulo protegido que atua na liberação dos nutrientes.

Existem relatos da maior eficiência das fontes revestidas em culturas como soja (*Glycine max*), algodão (*Gossypium sp.*) (TINDALL, 2007; GUARESCHI, et al., 2011), e milho (*Zea mays*) (TINDALL, 2007; RIBEIRO et al., 2011). Entretanto, outros autores não observaram diferenças entre fontes convencionais e revestidas em feijão (*Phaseolus vulgaris*) e milho (VALDERRAMA et al., 2011; BRACCINI, et al., 1999).

Grohs et al. (2011) relataram que a utilização da ureia revestida com B e Cu retarda e reduz as perdas de N por volatilização de amônia em comparação com a ureia convencional, estando sua eficiência associada às condições do solo e do clima, influenciadas pelo sistema de cultivo do arroz (*Oryza sativa*).

Valderrama et al. (2011), em estudo com aplicação de fertilizantes nitrogenados em milho, relataram que os fertilizantes revestidos por polímeros não foram eficientes nas condições edafoclimáticas estudadas, pois proporcionaram resultados (teores foliares, componentes de produção e produtividade de grãos de milho irrigado) semelhantes aos fertilizantes convencionais.

A eficiência de fertilizantes solúveis, em especial os nitrogenados, aplicados nos pomares de citros em formação, demonstra o aumento de interesse pelo emprego dos fertilizantes de liberação lenta como opção para adubação de replantios (GIRARDI & MOURÃO, 2003). No entanto, trabalhos visando à utilização de fertilizantes de maior eficiência em cafeeiros em início de crescimento são escassos.

O presente trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar a produção de massa seca da parte aérea (MSPA), de folha (MSF), os teores de N, P, K, Ca, Mg e o conteúdo de N, em mudas de café (*Coffea arabica* L), após aplicação de fertilizantes nitrogenados estabilizados e de liberação lenta, em diferentes épocas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Para montagem deste experimento utilizaram-se amostras subsuperficiais (20 - 40 cm) de um Latossolo Vermelho-Amarelo textura muito argilosa (LVA), coletado na região de Alegre - ES (Tabela 2). O material coletado foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira de 2,0 mm para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA).

Adicionaram-se às amostras de solo diferentes fontes de N, em diferentes épocas de aplicação. As fontes de N utilizadas foram ureia convencional – UC; nitrato de amônio – NA; ureia revestida com enxofre elementar – US; ureia revestida com enxofre elementar e polímero – USP; ureia combinada com material orgânico (organomineral) – UO; e ureia combinada com material orgânico (organomineral) e NBPT (tiofosfato de N-n-butiltriamida) – UO_{NBPT} (Tabela 1). A dose utilizada de N foi de 75 mg dm⁻³, considerando o volume de solo utilizado, e aplicada a 2 cm de profundidade.

Os tratamentos seguiram esquema fatorial 6 x 3 em que os fatores em estudo foram: seis fontes de N (UC, NA, US, USP, UO, UO_{NBPT}) x três épocas de aplicações, (Época 1: 100 % da dose de N aplicada no início do experimento); Época 2: (50 % da dose de N aplicada no início do experimento e 50 % após quarenta e cinco dias); e Época 3: (33,4 % da dose de N aplicada no início do experimento e mais duas aplicações de 33,3 % em outros dois intervalos de quarenta e cinco dias). O experimento foi disposto em delineamento em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições.

Tabela 1- Fertilizantes nitrogenados utilizados com suas formulas químicas e concentrações de nitrogênio

Fontes	Formulas	% N
UC	CH ₄ N ₂ O	45
NA	NH ₄ NO ₃	32
US	CH ₄ N ₂ O + S ⁰	38
USP	CH ₄ N ₂ O + S ⁰ + (C ₂ F ₄) _n	37
UO	CH ₄ N ₂ O + Torta de filtro ¹	26
UO _{NBPT}	CH ₄ N ₂ O + Torta de filtro ¹ + C ₄ H ₁₄ N ₃ PS	26

¹-Torta de filtro: 8 % de carbono orgânico.

Amostras de solo de 2 dm³ foram colocadas em sacos plásticos para realização da calagem, pelo método da neutralização do Al³⁺ e elevação dos teores de Ca²⁺ + Mg²⁺ (ALVAREZ V.& RIBEIRO, 1999), com calcário calcítico comercial, (relação Ca:Mg 4:1). Em seguida, a umidade do solo foi ajustada para 60 % da capacidade de campo, determinada pelo extrator de placa porosa a uma tensão de 10 kPa (REICHARDT, 1988). Após 21 dias de incubação, o solo foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira de 2 mm (TFSA).

Tabela 2 - Caracterização física e química de um Latossolo Vermelho-Amarelo textura muito argilosa (LVA) coletado na profundidade de 20-40 cm em Alegre ES

Característica	LVA
Argila (%) ^{1/}	67,21
Silte (%) ^{1/}	3,14
Areia (%) ^{1/}	29,65
Densidade (g cm ⁻³) ^{2/}	1,05
M.O. (g kg ⁻¹) ^{3/}	7,21
pH-H ₂ O ^{4/}	4,80
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) ^{5/}	0,25
H + Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) ^{7/}	4,29
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ^{5/}	0,70
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ^{5/}	0,70
K ⁺ (mg dm ⁻³) ^{6/}	14,00
P (mg dm ⁻³) ^{6/}	6,34
SB (cmol _c dm ⁻³)	1,44
CTC _(t) (cmol _c dm ⁻³)	1,69
CTC _(T) (cmol _c dm ⁻³).	5,73
V %	25,13

^{1/} Método da pipeta (ALMEIDA et al, 2012); ^{2/} Método da proveta; ^{3/} Yeomans & Bremner (1988); ^{4/} Relação solo-água 1:2,5; ^{5/} Extrator KCl 1 mol/L; ^{6/} Extrator Mehlich-1; ^{7/} Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ - pH 7, 0.

As amostras de solo (TFSA) foram pesadas (10 dm^{-3}) e acondicionadas em vasos com capacidade de 12 dm^3 , respeitando a densidade do solo estudado e com pH de 6,1. A adubação (P, K e micronutrientes) foi realizada segundo Novais et al. (1991) em todo o volume de solo antes do plantio das mudas de café Arábica, Cultivar Catuaí Vermelho, IAC 44, no estágio de três a quatro pares de folhas definitivas. A irrigação dos vasos foi realizada diariamente de acordo com a necessidade, mantendo a umidade constante para todos os vasos a 60 % da capacidade de campo. O controle de plantas daninhas, pragas e doenças foi realizado quando necessário.

Ao final do experimento (150 dias), as plantas foram seccionadas a cerca de 1 cm do solo, separando-se o caule e as folhas, as quais foram acondicionadas separadamente em sacos de papel e levados à estufa de circulação forçada de ar à temperatura de $65 \text{ }^\circ\text{C}$, para determinação da produção de massa seca de folha (MSF) e da parte aérea (MSPA). Em seguida, as amostras foram moídas e digeridas para obtenção dos teores e conteúdo de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg).

Os teores de P, K, Ca, Mg presentes nas folhas, após digestão nitroperclórica, foram determinados de acordo com Silva et al. (1999). O teor de N foi obtido digerindo-se 0,5 g de matéria seca, com H_2SO_4 e H_2O_2 mais a mistura de digestão (Na_2SO_4 , $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) seguida da destilação de arraste de vapor semimicro Kjeldahl, segundo Tedesco et al. (1995).

O conteúdo dos nutrientes nos órgãos da planta foi calculado multiplicando-se os teores dos nutrientes pelos respectivos valores do peso da matéria seca, obtido nas amostras, ($C = \text{MS} \times T / 1000$, em que C = conteúdo do nutriente (mg vaso^{-1}); MS = peso da matéria seca (g vaso^{-1}); e T = teor do nutriente (g kg^{-1}).

Os resultados foram submetidos à análise de variância, utilizando programa SAEG (Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas) descrito por Euclides (1983), sendo que os efeitos dentro dos fatores qualitativos (fontes, épocas) foram desdobrados em contrastes.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação dos fertilizantes nitrogenados alterou a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) e da folha (MSF), bem como o teor de nutrientes e conteúdo de N na parte aérea das plantas de café (Tabela 3).

Os resultados com base no conteúdo de N também foram apresentados, uma vez que os tratamentos com fertilizantes nitrogenados proporcionaram crescimento (MSF e MSPA) diferenciado das plantas de café. Tratamentos em que há maior produção de matéria seca acarreta efeito de diluição dos nutrientes (JARRELL & BEVERLY, 1981; PARTELLI et al., 2014).

Tabela 3 - Média da produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) e de folha (MSF), teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), potássio (K), nitrogênio (N) e conteúdo de N em plantas de café Arábica conduzidos por período de 150 dias, considerando diferentes fontes de N e épocas de aplicação

Fontes	Época	MSPA	MSF	N _{cont.}	N _{teor}	Ca	Mg	P	K
		--- g vaso ⁻¹ ---		mg vaso ⁻¹		----- g kg ⁻¹ -----			
UC	E ₁	19,24	12,86	455,66	35,44	15,56	3,54	1,75	14,73
	E ₂	16,19	11,01	386,83	35,14	15,07	3,34	1,80	15,72
	E ₃	21,17	14,23	569,30	40,05	13,74	3,33	1,96	10,45
NA	E ₁	18,47	11,36	431,80	38,06	12,39	2,83	1,74	11,98
	E ₂	17,67	11,00	411,58	37,43	12,70	3,05	1,61	12,57
	E ₃	19,32	12,29	514,65	41,83	13,91	3,21	1,64	13,02
US	E ₁	20,62	13,21	468,65	35,51	13,56	3,52	1,92	16,05
	E ₂	19,79	12,31	424,02	34,43	16,27	3,57	1,97	13,18
	E ₃	20,18	14,70	542,77	36,91	13,52	3,30	1,69	14,78
USP	E ₁	16,70	11,53	419,86	36,42	14,84	3,34	1,62	14,28
	E ₂	19,22	12,39	431,85	34,95	12,49	3,22	1,79	13,57
	E ₃	18,13	11,68	415,80	35,65	12,44	3,10	1,68	14,26
UO	E ₁	17,77	11,25	398,63	35,44	14,02	3,17	1,88	11,01
	E ₂	21,12	13,65	475,16	34,99	14,58	3,11	1,65	13,58
	E ₃	19,36	12,16	454,67	37,39	13,80	2,99	1,91	16,12
UO _{NBPT}	E ₁	17,18	11,39	382,45	33,59	13,61	3,26	1,85	16,21
	E ₂	13,95	9,54	313,59	32,89	12,39	3,22	1,79	13,10
	E ₃	19,10	12,35	470,33	38,13	14,30	3,37	1,56	14,39

UC: Ureia convencional; NA: Nitrato de Amônio; US: Ureia revestida com enxofre elementar; USP: Ureia revestida com enxofre elementar mais polímero; UO: Ureia combinado com material orgânico, (organomineral); UO_{NBPT}: Ureia combinado com material orgânico, (organomineral) mais NBPT; Época 1: 100 % da dose de N aplicada no início do experimento; Época 2: 50 % da dose de N aplicada no início do experimento e 50 % após quarenta e cinco dias; e Época 3: 33,4 % da dose de N aplicada no início do experimento e mais duas aplicações de 33,3 % em outros dois intervalos de quarenta e cinco dias. NBPT: tiosfato de N-n-butiltriamida; cont.: conteúdo.

Para o contraste C1 (Tabela 4) que compara os fertilizantes convencionais com os demais fertilizantes com tecnologia associada, não se observou diferença para MSPA, MSF, Ca Mg e P para a fonte convencional, mas houve diferença para teor de N e K mais conteúdo de N.

Para o teor e conteúdo de N nas folhas foi observado a seguinte ordem: UC > NA > US > USP > UO > UO_{NBPT} (Tabela 3), demonstrando a superioridade das fontes convencionais (UC e NA) em relação as fontes com tecnologia associada, conforme o contraste C1 (Tabela 4). Resultados semelhantes foram observados para MSF, MSPA, e os teores de Ca, Mg e P (Tabela 3 e 4), independente da época de aplicação das fontes.

Esse resultado não era esperado, tendo em vista que a utilização de fertilizantes nitrogenados de liberação lenta e estabilizados constitui, a princípio, uma alternativa para diminuir as perdas de N, principalmente por volatilização de NH₃ e aumentar a disponibilidade para as plantas, fornecendo N de forma constante e gradual às plantas (ALMEIDA & SANCHES, 2012).

Em caso semelhante, Vasconcelos et al. (2010) não encontraram diferenças comparando fertilizante nitrogenado convencional e duas fontes de fertilizantes revestidas com polímeros em relação ao teor de N foliar na cultura do milho conduzido em casa de vegetação.

Borges et al. (2010), comparando diferentes fertilizantes com tecnologia associadas e convencional em casa de vegetação na cultura do milho, não observaram diferença significativa entre fontes para o teor de nitrogênio foliar e nitrogênio na matéria seca.

Tabela 4 - Contrastes das médias de matéria seca da parte aérea (MSPA) e de folha (MSF) e teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), potássio (K), nitrogênio (N) e conteúdo de N para diferentes fontes de N

Contrastes	MSPA	MSF	N _{cont.}	N _{teor}	Ca	Mg	P	K
C1	0,08	-0,06	28,49**	2,47**	0,08	-0,05	-0,03	-1,13**
C2	1,02**	0,91**	34,69**	0,24	0,07	0,15	0,01	0,29*
C3	2,18**	1,54**	55,98**	-0,06	1,19**	0,25	0,16	0,64**
C4	-2,67**	-1,26**	-54,03**	-1,07°	-0,70	0,19	-0,08	1,00**

C1 = (UC + NA) vs (US + USP + UO + UO_{NBPT}); C2 = US + USP vs UO + UO_{NBPT}; C3 = US vs UPS; C4 = UO_{NBPT} vs UO; UC: Ureia convencional; NA: Nitrato de Amônio; US: Ureia revestida com enxofre elementar; USP: Ureia revestida com enxofre elementar mais polímero; UO: Ureia combinado com material orgânico, (organomineral); UO_{NBPT}: Ureia combinado com material orgânico (organomineral) mais NBPT; cont.: conteúdo; °, * e **, Significativos a 10, 5 e 1 %, respectivamente

Segundo Silva et al. (2012) o uso destes fertilizantes com tecnologia associada, como os encapsulados, pode ocasionar um revestimento muito espesso e tão forte que prejudique a disponibilização do nutriente para o solo e conseqüentemente para a planta.

Civardi et al. (2011) comparando ureia convencional incorporada e ureia revestida a lanço no plantio do milho, também não observou diferença entre as fontes para altura da planta, altura de inserção da primeira espiga e diâmetro do colmo. Porém, os mesmos autores notaram diferença na produtividade de grãos sendo que a ureia convencional sem revestimento incorporada conseguiu uma produtividade (232 kg ha⁻¹) maior em relação às fontes revestidas.

Melo et al. (2001), avaliando fertilizantes de liberação controlada em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica*), constataram que a aplicação de 473,33 g de fertilizante de liberação controlada em 55 litros de substrato, as mudas apresentaram cerca de 2,47 pares de folhas a mais que as plantas que não receberam os fertilizantes.

Fernandes & Júnior (2010), avaliando doses e fontes nitrogenadas na produtividade e maturação do cafeeiro irrigado, concluíram que a produtividade (84,37 sc ha⁻¹) foi maior com a utilização de fertilizantes de liberação controlada de N, fato justificado pelos autores à redução de perdas do nutriente e maior aproveitamento deste pelas plantas.

Ao compararem-se as tecnologias de revestimento físicos (US + USP) e as de revestimentos orgânicos (UO + UO_{NBPT}) (Contraste C2, Tabela 4), observou-se que os fertilizantes revestidos com proteção física foram mais eficientes na produção de MSPA, MSF, N_{teor} e N_{cont.} para as condições experimentais deste estudo.

Fertilizantes recobertos por enxofre e polímeros representam significativa fração do mercado dos fertilizantes de liberação controlada. Estes fertilizantes normalmente apresentam um padrão parabólico de liberação do N. Esta liberação depende, principalmente, da qualidade e espessura do revestimento do grânulo (TRENKEL, 2010).

Fontoura & Bayer (2010) não encontraram diferenças na produtividade de milho adubado com a ureia e fontes estabilizadas e de liberação controlada. Entretanto, a resposta de produtividade a adição de N encontrada por esses autores foi relativamente alta, entre 15 a 22 kg de grãos por kg de N aplicado, com aumento de até 29 % de produtividade em relação ao controle sem N.

No contraste C3 (Tabela 4), em que se comparam US com USP, observou-se que o fertilizante revestido com polímero e enxofre (USP) não promoveu aumento no teor de N na folha. Valderrama et al. (2011) e Maestrello et al. (2014) não observaram diferenças nos teores foliares de N em milho comparando ureia comum e ureia revestida com polímeros. Para o conteúdo de N, MSPA, MSF, e os teores de Ca e K, o fertilizante nitrogenado US foi mais eficiente.

Diversos estudos têm demonstrado que o revestimento da ureia com polímeros não tem sido eficiente em aumentar a produtividade de grãos de milho (CIVARDI et al., 2011; GUARESCHI et al., 2013; MAESTRELO et al., 2014). Segundo Trenkel (2010) isso pode acontecer devido o revestimento do fertilizante ser muito expeço, podendo atrasar a liberação do nutriente.

Quando compara-se UO com UO_{NBPT} (C4, Tabela 4), o fertilizante UO foi mais eficiente na produção de MSPA, MSF, K e no teor e conteúdo de N. Esses resultados são contrários aos obtidos por Espíndula et al. (2013) que observaram aumentos lineares na produção de massa seca de plantas de trigo com o aumento das doses de ureia tratada com NBPT, sendo superior às produções obtidas com ureia nas doses de 90 e 120 kg ha⁻¹ de N e com Garcia et al. (2011) em que o uso de NBPT associado à ureia em cafeeiros (*Coffea arábica* L.) conduzidos em vasos promoveu maior aproveitamento do N com ganho de 18 % na produção de matéria seca das plantas e de 32 % no N absorvido por elas.

Para as épocas de aplicação dos fertilizantes, todas as fontes se comportaram de maneira semelhante (Tabela 5). Quando se parcelou a adubação, obteve-se maior eficiência (ou disponibilidade) do fertilizante nitrogenado. Esses resultados corroboram com Amado et al. (2002) e Silva et al. (2005) em que o parcelamento e a época de aplicação do adubo nitrogenado constituem-se em alternativas para aumentar a eficiência da adubação com N pelas culturas e mitigar as perdas. Isso é respaldado pelo maior aproveitamento do N, resultante da sincronização entre as aplicações e o período de alta demanda do nutriente (AMADO et al., 2002).

Tabela 5 - Contrastes das médias das épocas de aplicação das fontes nitrogenadas com o teor e conteúdo de N, mais matéria seca total (MST), parte aérea (MSPA) e teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), potássio (K), considerando diferentes fontes de N e épocas de aplicação

Contrastes	Fontes	MSPA	MSF	N _{cont.}	N _{teor}	Ca	Mg	P	K
C5	UC	18,11**	12,37**	500,47**	39,75**	13,25**	3,12**	2,01	11,44**
	NA	18,53**	11,93**	494,44**	41,20**	14,22**	3,43**	1,50	13,61**
	US	19,35**	13,81**	498,14**	35,82**	16,24**	3,36**	1,73	11,91**
	USP	20,65**	12,54**	427,79**	34,18**	10,10**	2,98**	1,85	13,56**
	UO	22,71**	14,56**	531,20**	36,94**	14,36**	2,93**	1,68	18,68**
	UO _{NBPT}	15,87**	10,50**	401,46**	37,43**	13,09**	3,33**	1,51	11,28**
C6	UC	4,98**	3,22**	182,47**	4,9**	-1,33**	-0,01	0,16	-5,27**
	NA	1,65**	1,29**	103,07**	4,40**	1,21**	0,17	0,03	0,45°
	US	0,39	2,39**	118,75**	2,48**	-2,75**	-0,27	-0,28	1,60**
	USP	-1,10**	-0,71**	-16,04	0,70	-0,05	-0,12	-0,11	0,69**
	UO	-1,76**	-1,49**	-20,49	2,41**	-0,77	-0,12	0,27	2,54**
	UO _{NBPT}	5,15**	2,82**	156,74**	5,24**	1,91**	0,14	-0,23	1,29**

C₅ = Época 2: 50 % da dose de N aplicada no início do experimento e 50 % após quarenta e cinco dias, mais a Época 3: 33,4 % da dose de N aplicada no início do experimento e mais duas aplicações de 33,3 % em outros dois intervalos de quarenta e cinco dias vs Época 1: 100 % da dose de N aplicada no início do experimento. C₆ = Época 3: 33,4 % da dose de N aplicada no início do experimento e mais duas aplicações de 33,3 % em outros dois intervalos de quarenta e cinco dias vs Época 2: 50 % da dose de N aplicada no início do experimento e 50 % após quarenta e cinco dias. UC: Ureia convencional; NA: Nitrato de Amônio; US: Ureia revestida com enxofre elementar; USP: Ureia revestida com enxofre elementar mais polímero; UO: Ureia combinado com material orgânico, (organomineral); UO_{NBPT}: Ureia combinado com material orgânico, (organomineral) mais NBPT; NBPT: tiofosfato de N-n-butiltriamida; cont.: conteúdo; * e **, Significativos a 5 e 1 %, respectivamente.

Pode ser observado no contraste C5 (Tabela 5), que ao dividir a aplicação dos fertilizantes nitrogenados houve maior teor e conteúdo de N na folha, MSPA, MSF, e os teores de Ca, Mg, P e K.

Desta forma, os resultados obtidos nesse trabalho não corroboram com o que é indicado por Zabini et al. (2008). Esses autores, ao avaliarem a viabilidade da adubação do cafeeiro com aplicação de N de liberação controlada, verificaram que os usos de fertilizantes formulados com N de liberação controlada são tecnicamente viáveis no fornecimento de N para o cafeeiro em uma única aplicação, com redução de doses de nutrientes e mão de obra.

Para o contraste C6 (Tabela 5), observou-se que ao parcelar a aplicação das fontes nitrogenadas em três vezes o conteúdo de N e os teores dos nutrientes aumentam nas folhas.

Teixeira et al. (2010), aplicando as doses de 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio, ureia com NBPT e ureia, em duas épocas de aplicação (na semeadura, ao lado das linhas ou em cobertura), observaram que as fontes de N tiveram efeito semelhante sobre a altura de plantas e a produtividade de grãos do trigo irrigado, para ambas as épocas.

Machado (2012) não encontrou diferença entre as fontes ureia convencional e com revestimento de polímero, para as doses de N aplicadas em cobertura e para a época de aplicação em lavoura de milho, tanto para produtividade quanto para o teor de N foliar.

Esses resultados contraditórios reforçam a necessidade de maiores estudos a respeito dessas tecnologias de revestimento relacionadas ao fornecimento de N de forma constante e gradual às plantas, considerando tipo de revestimento, conforme relatado por Guareschi et al. (2013); qualidade e espessura do revestimento relatado por Rodrigues et al. (2013); controle do ambiente experimental como temperatura, teor de umidade do solo, relatado por Lanna et al. (2010) e Costa et al. (2003). Quaisquer alterações nessas características podem refletir em resultados e interpretações contraditórias ou inconsistentes.

6. CONCLUSÕES

Os fertilizantes convencionais (ureia, nitrato de amônio) proporcionaram maior conteúdo e teor de N no cafeeiro em relação aos fertilizantes nitrogenados com tecnologia associada, a seguinte ordem: UC > NA > US > USP > UO > UO_{NBPT}.

O parcelamento da adubação nitrogenada proporcionou maior produção de MSPA e MSF e maiores teores de Ca, Mg, P, K, N e conteúdo de N no cafeeiro, independente dos fertilizantes com tecnologia associada e convencionais.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, B. G. de; DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; BRAIDA, J. A.; VIANA, J. H. M.; REICHERT, J. M. M.; OLIVEIRA, L. B.; CEDDIA, M. B.; WADT, P. G. S.; FERNANDES, R. B. A.; PASSOS, R. R.; DECHEN, S. C. F.; KLEIN, V. A.; TEIXEIRA, W. G. Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil. Embrapa Solos, 2012. 11p. (Embrapa Solos: Comunicado Técnico, 66).
- ALMEIDA, R. F.; SANCHES, B. C. Fertilizantes nitrogenados com liberação lenta e estabilizada na agricultura. *Revista Verde*, 7:31-35, 2012.
- ALVAREZ V, V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V, V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação. Viçosa, MG. 1999. p.43-60
- AMADO, T. J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26:241-248, 2002.
- BENETT, C. G. S.; BUZETTI, S.; SILVA, K. S.; FILHO, M. C. M. T.; ANDREOTTI, M.; ARF, O. Aplicação foliar e em cobertura de nitrogênio na cultura do trigo no cerrado. *Semina: ciências agrárias*, 32:829-838, 2011.
- BORGES, E. A. S.; AGOSTINHO, F. B.; REZENDE, W. S.; SANTOS, F. E.; SILVA, A. A.; LANA, R. M. Q. Efeito do uso de MAP revestido com polímeros de liberação gradual em teores de nitrogênio e fósforo foliares na cultura do milho. In: Congresso nacional de milho e sorgo, 2010, Goiânia. Resumos... Associação brasileira de milho e sorgo, 2010. p390.
- BRACCINI, M. C. L.; LUCCA, A.; FOLONI, J. M.; SILVA, J. R. T. Produção de biomassa seca e teor de nutrientes do milho em resposta a doses e localização de Osmocote em amostras de latossolo vermelho-escuro e areia quartzosa. *Acta Scientiarum*, 21:497-503, 1999.
- BRONDANI, G. E.; SILVA, A. J. A.; REGO, S. S.; GRISI, F. A. Fertilização de liberação controlada no crescimento inicial de angico-branco. *Scientia Agraria*, 9:167-176, 2008.
- CHU, H. Y.; HOSEN, Y.; YAGI, K. Soil microbial biomass and activities in a Japanese Andisol as affected by controlled release and application depth of urea *Biology Fertility of Soils*, 42:89-96, 2005.
- CIVARDI, E. A.; NETO, A. N. S.; RAGAGNIN, V. A.; GODOY, E. R.; BROD, E. Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 41:52-59, 2011.

- 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 Ciência do Solo*, 27:631-637, 2003.
- ESPÍNDULA, M. C.; ROCHA, V. S.; SOUZA, M. A. DE; CAMPANHARO, M.; PAULA, G. DE S. Rates of urea with or without urease inhibitor for topdressing wheat. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 73:160-167, 2013.
- EUCLYDES, R. F. Manual de utilização do programa SAEG (Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas). Viçosa: UFV, 1983. 53p.
- FERNANDES, A. L. T.; FRAGA-JUNIOR, E. F. Doses de fontes nitrogenadas convencionais e nitrogênio polimerizado na produtividade e maturação do cafeeiro irrigado. *Fazu em Revista*, 7:37-41, 2010.
- FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. Ammonia volatilization in no-till system in the south-central region of the State of Paraná, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:1677-1684, 2010.
- GARCIA, A. L. A.; PADILHA, L.; GARCIA, A. W. R.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, C. H. S. de. Efeito da ureia com inibidor de urease no crescimento de mudas de cafeeiro (*coffea arabica L.*). *Coffee Science*, 6:1-7, 2011.
- GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; GAZOLLA, P. R. Produtividade de milho submetido à aplicação de ureia revestida por polímeros. *Global Science and Technology*, 6:31-37, 2013.
- GIRARDI, E. A.; MOURÃO FILHO, F. A. A. Emprego de fertilizantes de liberação lenta na formação de pomares de citros. *Revista Laranja*, 24:507-518, 2003.
- GROHS, M.; MARCHESAN, E.; SANTOS, D. S.; MASSONI, P. F. S.; SARTORI, G. M. S.; FERREIRA, R. B. Resposta do arroz irrigado ao uso de inibidor de urease em plantio direto e convencional. *Ciência e Agrotecnologia*, 35:336-345, 2011.
- GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; PERIN, A.; SANTINI, J. M. K. Adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros. *Ciência e Agrotecnologia*, 35:643-648, 2011.
- GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; GAZOLLA, P. R. Produtividade de milho submetido à aplicação de ureia revestida por polímeros. *Global Science and Technology*, 6:31-37, 2013.
- JARRELL, W. M.; BEVERLY, R. B. The dilution effect in plant nutrition studies. *Advances in Agronomy*, 34:197-224, 1981.
- LANNA, A. C.; SILVEIRA, P. M. DA; SILVA, M. B. DA; FERRARESI, T. M.; KLIEMANN, H. J. Atividade de urease no solo com feijoeiro influenciada pela cobertura vegetal e sistemas de plantio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:1933-1939, 2010.

- MACHADO, V. J. Resposta da cultura do milho aos fertilizantes fosfatados e nitrogenados revestidos com polímeros. Uberlândia, MG, Universidade Federal de Uberlândia, 2012. 72p. (Dissertação de Mestrado em Agronomia).
- MAESTRELO, P. R.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GARCIA, C. M. P.; RODRIGUES, M. A. C.; LINO, A. C. M.; ANDREOTTI, M. Aplicação de ureia revestida em cobertura no milho irrigado sob sistema de semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 9:192-199, 2014.
- MELO, B.; MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, P. T. G. Doses crescentes de fertilizantes de liberação gradual na produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.), 17:97-113, 2001.
- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOURENÇO, S. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. EMBRAPA-SAE, Brasília, 1991. p.189-254.
- PARTELLI, F. L.; DIAS, J. R. M.; VIEIRA, H. D.; WADT, P. G. S.; JÚNIOR, E. P. Avaliação nutricional de feijoeiro irrigado pelos métodos CND, DRIS e faixas de suficiência. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38:858-866, 2014.
- REICHARDT, K. Capacidade de campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 12:211-216, 1988.
- RIBEIRO, V. J.; SOUZA, C. H. E.; CAIXETA, C. G.; SOUZA, L. F.; CASTRO, J. S. Avaliação da produção de milho sequeiro adubado com MAP polimerizado na região de Patos de Minas-MG. *Anais... XXXIII Congresso brasileiro de ciência do solo*. Uberlândia, 2011.
- RODRIGUES, M. A. C., BUZETTI, S.; MAESTRELO, P. R.; LINO, A. C. M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; ANDREOTTI, M.; GARCIA, C. M. P. Cloreto de potássio revestido em efeito residual no feijoeiro de inverno irrigado na região de cerrado. *Semina: Ciências Agrárias*, 34:1011-1022, 2013.
- SCIVITTARO, W. B.; OLIVEIRA, R. P.; RADMANN, E. B. Doses de fertilizante de liberação lenta na formação do porta enxerto 'Trifoliata'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26:520-523, 2004.
- SERRANO, L. A. L.; CATTANEO, L. F.; FERREGUETTI, G. A. Adubo de liberação lenta na produção de mudas de mamoeiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 32:874-883, 2010.
- SILVA, A. D. A., SILVA, T. S., VASCONCELOS, A. D., LANA, R. Aplicação de diferentes fontes de ureia de liberação gradual na cultura do milho. *Bioscience Journal*, 28:104-111, 2012.

- SILVA, E. C.; BUZETTI, S.; GUIMARAES, G. L.; LAZARINI, E.; SA, M. E. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre latossolo vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:353-362, 2005.
- SILVA, J. S.; BERBET, P. A. Colheita, Secagem e armazenagem de café. Viçosa: Aprenda Fácil, 1999. 146p.
- TEDESCO, M.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWISS, S. J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174p.
- TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; BENETT, C. G. S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45:797-804, 2010.
- TINDALL, T. A. Recent Advances in P Fertilizer Technologies Polymer Coatings and Avail Technology. Simpósio sobre Informações Recentes para Otimização da Produção Agrícola. IPNI. Piracicaba. 2007.
- TRENKEL, M.E. Slow and controlled-release and stabilized fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Efficiency in Agriculture. 2. ed. Paris: IFA, 2010. 163p.
- VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 41:254-263, 2011.
- VASCONCELOS, A. C. P.; JUNIOR, A. C. S.; SILVA, A. A.; LANA, R. M. Q. Conteúdo de fósforo e nitrogênio na massa seca do milho após aplicação de diferentes fontes de MAP revestidos com polímeros de liberação gradual. In: Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água, 18. 2010, Teresina. Trabalhos...Teresina: Embrapa meio-norte, 2010. CD-ROM.
- YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 19:1467-1476, 1988.
- ZABINI, A. V.; CARVALHO, M. L.; BARBOSA, C. M. Adubação do cafeeiro com nitrogênio de liberação gradual em lavouras de primeiro ano na região das Matas de Minas, In: Congresso brasileira de pesquisas cafeeiras, 34. 2008, Caxambu. Anais... São Domingos das Dores: FUNDAÇÃO PROCAFÉ, 2007.

APÊNDICE

Tabela 1A. Contrastes utilizados para comparação das fontes nitrogenadas estudadas, independente da época e do manejo adotado para o experimento de volatilização

Fontes	Contrastes			
	C1	C2	C3	C4
UC	4	0	0	0
UO	-1	3	0	0
U _{NBPT}	-1	-1	2	0
US	-1	-1	-1	1
UZ	-1	-1	-1	-1

C1 = UC vs (UZ + US + U_{NBPT} + UO); C2 = UO vs (UZ + US + U_{NBPT}); C3 = U_{NBPT} vs (US + UZ); C4 = US vs UZ; UC: Ureia convencional; UZ: Ureia combinada com mineral zeólita; US: Ureia revestida com enxofre elementar; U_{NBPT}: Ureia revestida com NBPT; e UO: Ureia combinado com material orgânico, (organomineral); NBPT: tiofosfato de N-n-butiltriamida.

Tabela 2A. Contrastes utilizados para comparação dos manejos dentro de cada fonte utilizada para o experimento de volatilização

Manejos	UC	US	UZ	U _{NBPT}	UO
	C5	C5	C5	C5	C5
Superficial	1	1	1	1	1
Incorporado	-1	-1	-1	-1	-1

C5 = Manejo superficial vs Manejo incorporado; UC: Ureia convencional; UZ: Ureia combinada com mineral zeólita; US: Ureia revestida com enxofre elementar; U_{NBPT}: Ureia revestida com NBPT; e UO: Ureia combinado com material orgânico, (organomineral); NBPT: tiofosfato de N-n-butiltriamida.

Tabela 3A. Contrastes utilizados para comparação das épocas de aplicação dos fertilizantes nitrogenadas dentro de cada fonte utilizada para o experimento de volatilização

Manejos	Épocas	UC		US		UZ		U _{NBPT}		UO	
		C6	C7	C6	C7	C6	C7	C6	C7	C6	C7
Superficial	1	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0
	2	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
	3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Incorporado	1	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0
	2	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
	3	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

C₆ = Época 1: 100 % da dose de N aplicada no início do experimento vs Época 2: 50 % da dose de N aplicada no início do experimento e 50 % após sete dias mais Época 3: 33,4 % da dose de N aplicada no início do experimento e mais duas aplicações de 33,3 % em outros dois intervalos de sete dias. C₇ = Época 2: 50 % da dose de N aplicada no início do experimento e 50 % após sete dias vs Época 3: 33,4 % da dose de N aplicada no início do experimento e mais duas aplicações de 33,3 % em outros dois intervalos de sete dias. Inc. – Manejo incorporado, Sup. – Manejo superficial; UC: Ureia convencional; UZ: Ureia combinada com mineral zeólita; US: Ureia revestida com enxofre elementar; U_{NBPT}: Ureia revestida com NBPT; e UO: Ureia combinado com material orgânico, (organomineral); NBPT: tiofosfato de N-n-butiltriamida.

Tabela 4A. Contrastes utilizados para comparação das fontes nitrogenadas estudadas, independente da época de aplicação, para matéria seca da parte aérea (MSPA), de folha (MSF), e teores de cálcio, magnésio, fósforo, potássio, nitrogênio e conteúdo de N na folha, para o experimento em casa de vegetação

Fontes	Contrastes			
	C1	C2	C3	C4
UC	2	0	0	0
NA	2	0	0	0
US	-1	1	1	0
USP	-1	1	-1	0
UO	-1	-1	0	1
UO _{NBPT}	-1	-1	0	-1

C1 = UC vs (NA + US + USP + UO + UO_{NBPT}); C2 = US + USP vs UO + UO_{NBPT}; C3 = US vs UPS; C4 = UO_{NBPT} vs UO; UC: Ureia convencional; NA: Nitrato de Amônio; US: Ureia revestida com enxofre elementar; USP: Ureia revestida com enxofre elementar mais polímero; UO: Ureia combinado com material orgânico, (organomineral); UO_{NBPT}: Ureia combinado com material orgânico (organomineral) mais NBPT.

Tabela 5A. Contrastes utilizados para comparação das épocas de aplicação dos fertilizantes nitrogenadas dentro de cada fonte utilizada para matéria seca da parte aérea (MSPA) de folha (MSF) e teores de cálcio, magnésio, fósforo, potássio, nitrogênio e conteúdo de N na folha para o experimento em casa de vegetação

Épocas	UC		NA		US		USP		UO		UO _{NBPT}	
	C5	C6	C5	C6	C5	C6	C5	C6	C5	C6	C5	C6
1	-2	0	-2	0	-2	0	-2	0	-2	0	-2	0
2	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

C₅ = Época 2: 50 % da dose de N aplicada no início do experimento e 50 % após quarenta e cinco dias, mais a Época 3: 33,4 % da dose de N aplicada no início do experimento e mais duas aplicações de 33,3 % em outros dois intervalos de quarenta e cinco dias vs Época 1: 100 % da dose de N aplicada no início do experimento. C₆ = Época 3: 33,4 % da dose de N aplicada no início do experimento e mais duas aplicações de 33,3 % em outros dois intervalos de quarenta e cinco dias vs Época 2: 50 % da dose de N aplicada no início do experimento e 50 % após quarenta e cinco dias. UC: Ureia convencional; NA: Nitrato de Amônio; US: Ureia revestida com enxofre elementar; USP: Ureia revestida com enxofre elementar mais polímero; UO: Ureia combinado com material orgânico, (organomineral); UO_{NBPT}: Ureia combinado com material orgânico, (organomineral) mais NBPT; NBPT: tiosulfato de N-n-butiltriamida; cont.: conteúdo.

Tabela 6A. Análise de variância dos resultados acumulativos de N-NH₃ volatilizado das fontes nitrogenadas aplicadas ao solo com diferentes manejos e épocas para o experimento de volatilização

FV	GL	Quadrado Médio
		N-NH ₃
Fontes	4	29,41**
Manejos x UC	1	24,48**
Manejos x US	1	0,16
Manejos x UZ	1	13,90**
Manejos x U _{NBPT}	1	50,52**
Manejos x UO	1	7,07**
Man. Sup. x Épocas x UC	2	3,09**
Man. Sup. x Épocas x US	2	0,06
Man. Sup. x Épocas x UZ	2	0,20
Man. Sup. x Épocas x U _{NBPT}	2	41,50**
Man. Sup. x Épocas x UO	2	19,89**
Man. Inc. x Épocas x UC	2	4,74**
Man. Inc. x Épocas x US	2	1,11
Man. Inc. x Épocas x UZ	2	7,43**
Man. Inc. x Épocas x U _{NBPT}	2	12,21**
Man. Inc. x Épocas x UO	2	9,00**
Resíduo	60	0,72
CV (%)		13,51

UC: Ureia convencional; UZ: Ureia combinada com mineral zeólita; US: Ureia revestida com enxofre elementar; U_{NBPT}: Ureia revestida com NBPT; e UO: Ureia combinado com material orgânico, (organomineral); NBPT: tiofosfato de N-n-butiltriamida. °, * e **, Significativos a 10, 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

Tabela 7A. Análise de variância dos resultados de matéria seca da parte aérea (MSPA), de folha (MSF), teores de cálcio, magnésio, fósforo, potássio, nitrogênio e conteúdo de N das folhas, após aplicação das fontes nitrogenadas em diferentes épocas, para o experimento em casa de vegetação

FV	GL	Quadrado Médio							
		MSPA	MSF	N _{cont.}	N _{teor}	Ca	Mg	P	K
Fontes	5	16,97**	8,37**	13133**	26,92**	6,15**	0,34	0,07	7,45**
Épocas	2	15,96**	10,35**	50732**	74,09**	0,94	0,02	0,01	1,07°
Épocas x UC	2	0,85	0,16	1338**	12,35**	3,56**	1,11	0,04	7,17**
Época x NA	2	0,01	0,21	2615**	6,58**	2,23*	2,23*	0,03	1,76**
Épocas x US	2	1,07	0,23	579,6**	0,06	4,78**	0,01	0,01	11,41**
Épocas x USP	2	10,36**	0,69	41,91**	3,32**	14,97**	0,08	0,03	0,34
Épocas x UO	2	16,22**	7,28**	11715**	1,50	0,07	0,04	0,02	39,20**
Épocas x UO _{NBPT}	2	1,15	0,51	240,8**	9,83**	0,17	0,02	0,07	16,25**
Resíduo	72	1,67	0,67	1179	4,18	2,38	0,37	1,29	0,12
CV (%)		6,95	6,73	7,75	5,63	11,16	5,99	20,34	4,87

UC: Ureia convencional; NA: Nitrato de Amônio; US: Ureia revestida com enxofre elementar; USP: Ureia revestida com enxofre elementar mais polímero; UO: Ureia combinado com material orgânico, (organomineral); UO_{NBPT}: Ureia combinado com material orgânico (organomineral) mais NBPT. °, * e **, Significativos a 10, 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.



Figura 1A. Fertilizantes nitrogenados utilizados nos experimentos de volatilização e disponibilidade para planta. ^{A/} Ureia; ^{B/} Nitrato de amônio; ^{C/} Ureia revestida com enxofre elementar; ^{D/} Ureia revestida com NBPT (Tiofosfato de N-n-butiltriamida); ^{E/} Ureia combinada com mineral zeólita; ^{F/} Organomineral; ^{G/} Ureia revestida com enxofre elementar mais polímero.



Figura 2A. Experimento de volatilização conduzido em ambiente controlado utilizando os coletores tipo SALE.