



DANILO DE ARAÚJO SOARES

**EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO
NITROGENADA NO FEIJOEIRO SOB SISTEMA
DE PLANTIO DIRETO**

LAVRAS - MG

2011

DANILO DE ARAÚJO SOARES

**EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NO FEIJOEIRO SOB
SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Valdemar Faquin

LAVRAS - MG

2011

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Soares, Danilo de Araújo.

Eficiência da adubação nitrogenada no feijoeiro sob sistema de
plantio direto / Danilo de Araújo Soares. – Lavras : UFLA, 2011.
59 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.
Orientador: Valdemar Faquin.
Bibliografia.

1. *Phaseolus vulgaris*. 2. Volatilização de amônia. 3. Fertilizantes
de liberação lenta. 4. Nitrato. 5. Amônio. I. Universidade Federal de
Lavras. II. Título.

CDD – 635.652894

DANILO DE ARAÚJO SOARES

**EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NO FEIJOEIRO SOB
SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 30 de Agosto de 2011.

Dr. João Cândido de Souza UFLA

Dr. Francisco Dias Nogueira EPAMIG

Dr. Valdemar Faquin
Orientador

LAVRAS - MG

2011

Ao Senhor, meu Deus, meu protetor e aos meus pais, Francisco e Celeste

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus, por seu amor e fidelidade.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciência do Solo (DCS), pela oportunidade de realização do Mestrado.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa.

Ao Prof. Valdemar Faquin, por seu orientação, apoio e confiança.

Aos professores Carlos Alberto, Antônio Eduardo Furtini Neto, Douglas Guelfi, Janice Guedes, Marx Leandro, Moacir Dias, Luiz Roberto, João José, Nilton Curi e Yuri Zinn por compartilharem o saber e pela constante disponibilidade para ensinar.

Aos membros da banca examinadora, Dr. João Cândido de Souza e Dr. Francisco Dias Nogueira, pelas correções e sugestões.

Aos orientados do Prof. Faquin, pelo apoio no experimento.

Aos amigos, em especial, Julian, Fabrício, Caroline, Thalita, Ana Clara, Nara e Nilma, pelos momentos juntos e amizade constante.

Aos funcionários e técnicos do DCS, em especial ao Roberto, companheiro de romaria.

A Produquímica, pelo fornecimento dos fertilizantes e apoio financeiro em parte do experimento.

Aos meus pais, Francisco e Celeste, por seu amor.

Aos meus irmãos Danyel e Dayane, pela força.

À minha namorada Rosália, pelo amor, carinho, incentivo e companheirismo nas horas boas e também nas horas difíceis.

Aos alunos de graduação, Andreane, Paulo Renato, André pela grande ajuda na execução do experimento.

A todos que contribuíram com essa realização pessoal e profissional.

“Tudo tem o seu tempo determinado e há tempo
para todo propósito debaixo do céu”.

Salomão

RESUMO

O manejo da adubação nitrogenada é complexo devido às diversas transformações do nitrogênio (N) que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera, diminuindo a eficiência da adubação, produtividade e rentabilidade das áreas de produção de feijão. Assim sendo, este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de diferentes fontes e doses de nitrogênio na volatilização de amônia, nutrição, eficiência e produtividade do feijoeiro. O experimento foi conduzido na área experimental do Setor de Genética da Universidade Federal de Lavras- MG. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, com dez tratamentos e três repetições, totalizando 30 parcelas. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de cinco doses (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) e duas formas comerciais de nitrogênio (ureia comum e ureia revestida com polímeros) aplicados em cobertura. A volatilização média de amônia do solo diminuiu com a aplicação da ureia revestida com polímeros, em comparação a ureia comum. A volatilização de amônia aumenta com o aumento da dose de N aplicado em cobertura. As doses e fontes de nitrogênio não influenciaram na produtividade, nos teores de N nas folhas e nos grãos, acúmulo de N nos grãos e teores de nitrato e amônio no solo nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

Palavras chave: *Phaseolus vulgaris*. Volatilização de amônia. Fertilizantes de liberação lenta. Nitrato. Amônio.

ABSTRACT

In the soil-plant-atmosphere system, nitrogen (N) undergoes many transformations, making it one of the most complex nutrient to manage which, reducing its efficiency as in the case of the areas common bean (*Phaseolus vulgaris*), compromising their productivity and profitability. Thus, the study aim is evaluate the effect of different sources and doses of nitrogen on ammonia volatilization, and on the common bean nutrition, productivity and efficiency. The experiment was conducted at the Genetics experimental field of the Universidade Federal de Lavras -MG. It was used the randomized block design with three repetitions and ten treatments, totaling 30 plots. The treatments were a combination of five doses (0, 60, 120, 180 and 240 kg ha⁻¹) and two nitrogen commercial forms (common urea and polymer-coated urea) used in coverage. The average rates of ammonia volatilization from soil decreased with the application of polymer-coated urea, compared to ordinary urea. The ammonia volatilization increased with the increase of the doses of N coverage applied. The doses and sources of nitrogen did not affect the productivity, the leaf and grain nitrogen contents, the N accumulation in grains and the levels of nitrate and ammonia in soil layers at 0-20, 20-40 and 40-60 cm.

Keywords: *Phaseolus vulgaris*. Volatilization of ammonia. Slow release fertilizer. Nitrate. Ammonium.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Imagens de microscopia eletrônica de varredura por elétrons (MEV) do grânulo de ureia de liberação controlada (Ureia com polímeros Policote®).....	26
Figura 2	Precipitação, temperaturas máximas e mínimas durante o período de condução do experimento.	27
Figura 3	Embebição da esponja com solução de ácido fosfórico e glicerina. ...	29
Figura 4	Coletor de amônia. Esponja inferior (4a); esponja superior (4b).....	29
Figura 5	Perda acumulada e diária de N por volatilização da amônia em área de cultivo de feijoeiro em função do tempo, após aplicação de ureia comum e ureia revestida com polímeros nas doses de 0 (a), 60 (b), 120 (c), 180 (d) e 240 (e) kg ha ⁻¹ de N.....	34
Figura 6	Perda média de N por volatilização da amônia em função da fonte de aplicação (a), e perda total de N por volatilização da amônia em função das doses de aplicação do nutriente (b), em área de cultivo de feijoeiro.....	35
Figura 7	Produtividade do feijoeiro em função das doses e fontes de N aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros.	36
Figura 8	Peso de cem sementes em função das doses e fontes de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros.	38
Figura 9	Teor de nitrogênio nas folhas (a) e leitura SPAD (b) em função das doses e fontes de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros.....	39
Figura 10	Teor de nitrogênio (a) e acúmulo de nitrogênio (b) nos grãos do feijoeiro em função das doses e fontes de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros.	41
Figura 11	Amônio e nitrato nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm em função das doses e fontes de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Consumo mundial de fertilizantes de liberação lenta e controlada (toneladas métricas).....	18
Tabela 2	Análise de variância para a perda acumulada por volatilização da amônia (kg ha^{-1}) em área de cultivo de feijoeiro adubado com ureia comum e revestida com polímeros nas doses de 60, 120, 180 e 240 kg ha^{-1} aplicadas em cobertura	56
Tabela 3	Análise de variância para a produtividade do feijoeiro em função das doses de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros	56
Tabela 4	Análise de variância para o peso de cem sementes em função das doses de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros.....	57
Tabela 5	Análise de variância para o teor de nitrogênio nas folhas em função das doses de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros	57
Tabela 6	Análise de variância para a leitura SPAD em função das doses de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros.....	57
Tabela 7	Análise de variância para o teor de nitrogênio nos grãos em função das doses de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros	58
Tabela 8	Análise de variância para o acúmulo de nitrogênio nos grãos em função das doses de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros	58
Tabela 9	Análise de variância para o amônio e nitrato na profundidade de 0-20 cm em função das doses de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros	58

- Tabela 10 Análise de variância para o amônio e nitrato na profundidade de 20-40 cm em função das doses de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros 59
- Tabela 11 Análise de variância para o amônio e nitrato na profundidade de 40-60 cm em função das doses de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros 59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Importância da cultura do feijoeiro	15
2.2	Importância dos fertilizantes	16
2.3	Fertilizantes de liberação lenta e controlada	16
2.3.1	Definição de fertilizante de liberação lenta e controlada	16
2.3.2	Conceito de Polímeros	19
2.4	Fertilizantes nitrogenados e sua eficiência	20
3	MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1	Caracterização da área experimental	24
3.2	Condução do experimento	25
3.3	Mensurações climatológicas	26
3.4	Variáveis Avaliadas	27
3.4.1	Avaliação das perdas de nitrogênio no solo	27
3.4.2	Avaliações das características produtivas do feijoeiro	29
3.4.3	Determinação da concentração de N-mineral do solo	30
3.4.4	Estimativas do teor de clorofila e N-total das folhas e grãos	30
3.5	Análises Estatísticas	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1	Perdas de amônia	32
4.2	Produtividade e peso de cem sementes	36
4.3	Teores de nitrogênio nas folhas e leitura SPAD	39
4.4	Teores e acúmulo de nitrogênio nos grãos	40
4.5	Concentração de amônio e nitrato nas camadas do solo	42
5	CONCLUSÕES	45
	REFERÊNCIAS	46
	APÊNDICES	56
	APÊNDICE A - TABELAS	56

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de feijão (BORÉM; CARNEIRO, 2008) e esta leguminosa, juntamente com o arroz constituem a alimentação básica da população brasileira, principalmente a de baixa renda.

Embora seja muito consumido, a produtividade média do feijoeiro é baixa, em torno de 700 kg ha⁻¹ (BORÉM; CARNEIRO, 2008). As principais causas desta baixa produtividade estão relacionadas à baixa tecnologia empregada pela maioria dos produtores, a acidez do solo, ao pouco uso de fertilizantes, à baixa fertilidade natural dos solos e ao déficit hídrico.

A cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é considerada altamente exigente em água e nutrientes e sua produtividade potencial é estimada em 6 toneladas por hectare. Na prática, produtividades entre 3000 e 3900 kg ha⁻¹ devem ser almejadas de acordo com a tecnologia empregada, bastando para tanto satisfazer necessidades básicas de clima e solo (FANCELLI; TSUMANUMA, 2007).

Diagnosticar a necessidade de nitrogênio da cultura contribui para maximizar a eficiência e retorno do investimento (GARCIA; DAVEREDE, 2007). O nitrogênio aplicado ao solo está sujeito a várias perdas: volatilização na forma de amônia (NH₃), óxido nitroso (N₂O), gás nitrogênio (N₂), e perdas associadas à movimentação da água tais como lixiviação, escoamento superficial e erosão.

Para melhor aproveitamento deste nutriente, é comum a recomendação do parcelamento da aplicação do fertilizante nitrogenado de maneira que haja sincronismo entre o nitrogênio disponível no solo e a capacidade de absorção da planta (VIEIRA, 2008). O uso da adubação de cobertura na cultura é uma realidade entre os produtores, principalmente os mais tecnificados que, em muitos casos, realizam o parcelamento ao longo do ciclo da cultura.

A época da adubação normalmente é determinada em função dos dias transcorridos após a emergência, após o plantio ou mesmo pelo estado visual da coloração da cultura. Tal determinação pode ser falha, pois o sintoma visual é o último passo de um processo metabólico irreversível que afetará a produção, podendo ocorrer casos de fome oculta onde a sintomatologia não é visível (FAQUIN, 2005).

O nitrogênio é aplicado em grandes quantidades na agricultura moderna sob a forma de fertilizantes e, dentre estes, a ureia é a fonte mais utilizada no mundo. De acordo com Cantarella (2007), quando a ureia é aplicada à superfície do solo, mesmo em solos ácidos, ocorre grande perda de N por volatilização na forma de amônia. Assim, a avaliação de práticas de manejo da adubação e o uso de tecnologias que promovam aumento na eficiência de utilização do nitrogênio pelas culturas precisam ser mais estudadas nas condições brasileiras. Uma das alternativas para tentar reduzir as perdas de N na forma de amônia (NH₃) para a atmosfera é a utilização de fertilizantes de liberação lenta e controlada. Esses fertilizantes possuem em sua composição substâncias que podem reduzir a atividade da urease e a intensidade da reação de nitrificação no solo, contribuindo para a diminuição da volatilização da amônia e lixiviação do nitrato.

Nesse contexto, o presente estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito do fornecimento de doses e fontes de nitrogênio aplicados em cobertura sobre a volatilização de amônia, características produtivas e nutricionais do feijoeiro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância da cultura do feijoeiro

Em função de seu potencial produtivo, composição química e valor nutritivo, o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) constitui-se em um dos mais importantes alimentos cultivados e consumidos no país. Excelente fonte proteica, possuindo relevantes quantidades de carboidratos, vitaminas, minerais, fibras e compostos fenólicos com ação antioxidante. O feijão é componente básico da dieta alimentar do brasileiro (WANDER; RAMALHO; ANDRADE, 2005).

Além das vantagens nutricionais, o feijão possui grande importância econômico-social, sendo responsável por geração de grande número de empregos. Estima-se uma demanda de cerca de 7 milhões de homens por dia-ciclo de produção, abrangendo cerca de 295 mil produtores para a cultura do feijão no estado de Minas Gerais (WANDER; RAMALHO; ANDRADE, 2005).

Na safra 2010/2011, considerando-se as três safras, a área estimada cultivada com feijão no Brasil é da ordem de 3,9 milhões de hectares, sendo esperado um aumento de 7,5% em relação à safra anterior; a produção poderá alcançar 3,7 milhões de toneladas, o que significaria um aumento de 12,5% em relação à safra 2009/2010 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2011).

Seis estados responderão por aproximadamente 70% da produção nacional na safra 2010/2011, que, em ordem decrescente, são: Paraná, Minas Gerais, Bahia, Ceará, Goiás e São Paulo (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2011). No Estado de Minas Gerais, segundo maior produtor da leguminosa, a estimativa de produção da safra

2010/2011 está em torno de 600 mil toneladas, permitindo ao estado responder por aproximadamente 15,7% da produção de todo o país (IBGE, 2011).

2.2 Importância dos fertilizantes

Fertilizantes minerais são utilizados para suprir a demanda das plantas por nutrientes e seu papel é inquestionável na agricultura, sendo um dos principais responsáveis pelas altas produtividades das culturas tecnificadas.

Um dos pilares da revolução verde proposta pelo agrônomo Norman Borlaug, prêmio Nobel da paz, o uso de fertilizantes juntamente com o uso de herbicidas e sementes melhoradas determinou o fim da ameaça dos anos 60: a fome em massa (BALSAN, 2006).

Com o aumento da produtividade agrícola, decorrente do uso dos fertilizantes, milhares de hectares de florestas e matas nativas são preservados, assim como a fauna e a flora. Logo, o uso adequado de fertilizantes é um aliado na luta mundial de combate à fome e à subnutrição (PUGGINA, 2000).

2.3 Fertilizantes de liberação lenta e controlada

2.3.1 Definição de fertilizante de liberação lenta e controlada

Fertilizante de liberação lenta ou de liberação controlada é aquele que promove o atraso na disponibilidade inicial ou apresenta tempo prolongado de disponibilidade do nutriente. Entre os mecanismos de controle estão a diminuição da solubilidade em água do material por revestimentos semipermeáveis de polímeros naturais orgânicos nitrogenados ou por materiais de proteína (ASSOCIATION OF AMERICAN PLANT FOOD CONTROL OFFICIALS - AAPFCO, 1995).

Entre os fertilizantes com liberação lenta ou controlada do nitrogênio, se destacam os inibidores da urease e os inibidores da nitrificação. Os compostos inibidores da nitrificação dificultam a oxidação bacteriana do íon amônio (NH_4^+) e retardam, durante certo período de tempo, as atividades das bactérias *Nitrosomonas* no solo, responsáveis pela transformação de amônio em nitrito (NO_2^-) que é passado a nitrato (NO_3^-).

O objetivo do uso de inibidores da nitrificação é o de aumentar a eficiência da adubação nitrogenada, evitando altas taxas de nitrificação do amônio a nitrato, sendo o cátion menos lixiviado (REIS JÚNIOR; TISKE, 2009).

Ao longo de um período de tempo, os compostos da classe dos inibidores da urease evitam ou diminuem a transformação do nitrogênio da forma amídica ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) da ureia, a amônia (NH_3). Eles fazem isso ao abrandar o ritmo da hidrólise de ureia no solo, evitando ou reduzindo as perdas por volatilização de amônia no ar (bem como outras perdas por lixiviação de nitrato). Estes inibidores competem com a ureia pelo sítio de ativação da urease, determinando a maior estabilidade da ureia (CONTIN, 2007).

No Brasil, o potencial dos chamados fertilizantes de liberação lenta e controlada ainda é pouco explorado, visto que, no mundo, o crescimento da utilização desse tipo de fertilizante ocorreu a taxas de 45% entre os anos de 1995 e 1996 e, entre os anos de 2004 e 2005, quando o consumo atingiu 786.000 toneladas métricas (Tabela 1), totalizando 0,20% do consumo mundial de fertilizantes (INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION - IFA, 2010).

Os fertilizantes de liberação lenta e controlada podem também ser definidos como fertilizantes que contêm compostos capazes de controlar química, física ou microbiologicamente as taxas de liberação dos nutrientes presentes no fertilizante (SHAVIV, 2005), tentando sincronizar sua liberação

com a demanda pela planta, além de diminuir as perdas de nutrientes no sistema solo-planta-atmosfera. Dessa forma, a principal vantagem dos fertilizantes de liberação controlada em relação aos fertilizantes comuns é que eles têm o potencial de aumentar ainda mais a eficiência da adubação nitrogenada e diminuir as perdas de N no sistema solo-planta-atmosfera, refletindo-se num impacto ambiental menor (SHAVIV, 2005; TRENKEL, 2010).

Tabela 1 Consumo mundial de fertilizantes de liberação lenta e controlada (toneladas métricas)¹

Região do mundo	1983	1995/1996	2004/2005	2006/2007 (estimado)
Est. Unidos	202.000	357.000	569.000	590.000
Canadá	-	-	-	150.000 ²
Europa Ocid.	76.000	87.000	120.000	125.000
Japão	47.000	96.000	97.000	110.000
China	-	-	-	1.350.000 ²
Total	325.000	540.000	786.000	2.275.000

¹Fonte: Trenkel (2010)

²Somente capacidade de produção, consumo desconhecido.

Existem diversos compostos que influenciam nos mecanismos de controle da liberação de nutrientes do fertilizante e, dentre os mais conhecidos e promissores no Brasil, estão os polímeros e os inibidores da atividade da urease e nitrificação.

Trenkel (2010) dividiu os compostos que controlam a liberação de nutrientes nos fertilizantes de liberação lenta ou controlada em três grupos: 1) fertilizantes com revestimentos orgânicos e inorgânicos (subdividido em três grupos: revestidos com enxofre; revestidos com polímeros e revestidos com enxofre e polímeros); 2) fertilizantes revestidos com inibidores da urease (NBPT - N-(n-butyl) thiophosphoric triamide; N-phenylphosphoric triamides (2-NPT); Hydroquinone; Phenyl phosphorodiamidate) e 3) com inibidores da nitrificação

(Nitrapyrin, DCD, DMPP, Triazol, 3-MP e 2-amino-4-chloro-6-methyl-pyrimidine).

Os compostos que controlam a liberação de nutrientes presentes em fertilizantes de liberação lenta ou controlada contribuem para uma melhor utilização do nitrogênio (N) e, conseqüentemente, para menores emissões de gases do efeito estufa (GEE), como o óxido nitroso, oriundo de áreas agrícolas (CHU; HOSEN; YAGI, 2004; SHAVIV; MIKKELSEN, 1993; SHOJI et al., 2001; SHOJI; KANNO, 1993, 1994).

Dessa forma, em se tratando dos fertilizantes de liberação lenta e controlada, umas das principais questões a serem resolvidas é a avaliação dos benefícios esperados para o meio ambiente nas áreas agrícolas onde esses produtos são aplicados (SHAVIV, 2005).

2.3.2 Conceito de Polímeros

O termo polímero é derivado do grego *polymerés* (*poly* = muitas e *merés* = unidades) e vem sendo utilizado para caracterizar alguns revestimentos destinados a recobrir fertilizantes. Este é um termo genérico, porém, segundo Bueno (1996), significa uma substância que possui fórmula molecular múltipla de outra.

Assim, a polimerização é uma reação em que as moléculas menores (monômeros) se combinam quimicamente (por valências principais) para formar moléculas longas, ramificadas ou não.

Dentre os polímeros indicados para o recobrimento de fertilizantes, encontra-se o revestimento Policote, que consiste na utilização de polímeros aniônicos solúveis em água. Reis Júnior e Tiske (2009) observaram melhores qualidades físico-químicas dos fertilizantes recobertos com polímero Policote

tais como, aumento de dureza, redução de acidez livre, redução da higroscopicidade e redução do teor de pó de fertilizantes.

Sendo solúvel em água, o Policote não interfere significativamente na dissolução dos fertilizantes.

2.4 Fertilizantes nitrogenados e sua eficiência

O nitrogênio pode sofrer diversas transformações no sistema solo-planta-atmosfera, o que o torna um elemento com grande interação com o meio ambiente. Grande parte da preocupação ambiental associada a fertilizantes nitrogenados está relacionada à emissão de óxido nitroso e amônia para a atmosfera.

A utilização de fertilizantes nitrogenados tem aumentado ao longo dos anos, principalmente em países em desenvolvimento, como o Brasil. Porém, devido a grandes perdas, a eficiência do aproveitamento do N pelas plantas gira em torno de apenas 50% do que é aplicado (BYRNES, 2000).

Entre os principais processos de perdas de N, podem ser citados a volatilização, a nitrificação e a desnitrificação, que contribuem para liberação de NH_3 , NO, N_2O e N_2 para a atmosfera (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2001; SHAVIV, 2005; TRENKEL, 2010).

A volatilização ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}^+$) consiste na perda de N do solo na forma de gás amônia. Essa reação ocorre principalmente em condições alcalinas, na presença da enzima urease (CANTARELLA; MONTEZANO, 2010).

No mundo, a ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado na agricultura que, além de uma porcentagem elevada de nitrogênio (IFA, 2006 citado por VAIO, 2006), é também a fonte nitrogenada mais econômica utilizada na adubação das culturas. Entretanto, as perdas de nitrogênio por volatilização

ocorridas durante sua aplicação em solos de cultivo contribuem para o aproveitamento reduzido do nitrogênio aplicado.

Quando a adubação nitrogenada é realizada sem incorporação de ureia ao solo, ocorrem grandes perdas de nitrogênio na forma de gás amônia (NH_3) para a atmosfera porque a urease hidrolisa a ureia com liberação de NH_3 e CO_2 . Dessa forma, esse processo contribui efetivamente para a diminuição da eficiência da adubação nitrogenada e, conseqüentemente, para diminuição da produção e ecoeficiência dos sistemas de produção agrícola.

Geralmente, uma cultura raramente aproveita mais que 60% do N aplicado e o restante tanto pode permanecer no solo para as culturas subseqüentes, como pode se perder por diversos processos, sendo a volatilização de N- NH_3 um dos mais importantes (CASSOL et al., 2005; WATSON, 2005).

A volatilização da amônia está diretamente associada à atividade da urease (LANNA et al., 2010) no solo. A urease é uma enzima produzida por fungos, bactérias, actinomicetos ou originada de restos vegetais (TABATABAI; BREMNER, 1972) e um indicativo da intensidade da transformação do N orgânico para N mineral, conseqüentemente, da volatilização de amônia. Quanto mais intensa for a atividade da urease maior será o potencial de perdas de N- NH_3 para a atmosfera.

Além disso, alguns fatores climáticos, como temperatura (LONGO; MELO, 2005; SENGIK et al., 2001), fatores do solo, como pH, potencial de água, aeração, textura e quantidade de C orgânico são determinantes da atividade da urease (SENGIK et al., 2001).

Sendo assim, é através de etapas das reações descritas anteriormente que os compostos presentes em alguns fertilizantes nitrogenados de liberação lenta ou controlada podem atuar para diminuir as perdas de N e aumentar a eficiência da adubação nitrogenada.

Isso ocorre porque esses compostos controlam a liberação dos nutrientes do fertilizante inibindo, por exemplo, a nitrificação e a atividade da urease no solo, melhorando o aproveitamento do N aplicado às culturas.

Os inibidores da nitrificação recobrem os fertilizantes nitrogenados tendo como objetivos o controle das perdas por lixiviação e a emissão de gases como amônia e óxido nitroso (EDMEADES, 2004).

Muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de encontrar materiais que, adicionados aos fertilizantes nitrogenados, possam diminuir as perdas de N na forma de gases para a atmosfera e na forma de íons NO_3^- por lixiviação, aumentando a eficiência da adubação nitrogenada. Porém, somente algumas dessas substâncias reuniram as exigências agrônômicas, econômicas e ambientais que um inibidor da nitrificação ou da atividade da urease precisa cumprir para ser comercializado e podem ser observados em (SNYDER; BRUULSEMA; JENSEN, 2007).

Além dos inibidores da nitrificação, alguns inibidores da atividade da urease também vêm sendo avaliados na tentativa de reduzir as perdas de amônia (NH_3) por volatilização (CANTARELLA et al., 2003; CLAY; MALZER; ANDERSON, 1990; MENÉDEZ et al., 2009; RAWLUK; GRANT; RACZ, 2001). Dentre os inibidores da urease, o NBPT é um dos mais importantes e seu mecanismo de atuação consiste na redução da conversão da ureia em amônio ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{CO}_3$) (CANTARELLA, 2007; KOELIKER; KISSEL, 1988; WATSON, 2000), diminuindo a volatilização. O NBPT atua indiretamente como inibidor da urease, pois ele precisa ser convertido ao seu análogo de oxigênio, o NBPTO, que é a substância inibidora. Essa conversão pode levar desde alguns minutos e horas a até dias em solos inundados (WATSON, 2000).

Atualmente, além da mistura do NBPT com fertilizantes minerais, como com a ureia comum, a viabilidade de sua utilização na mistura com fertilizantes

orgânicos vem sendo avaliada com o mesmo objetivo da mistura a fertilizantes minerais, que é o de reduzir perdas de N na forma de gases e melhorar o aproveitamento do N do fertilizante (MENÉDEZ et al., 2009; MERINO et al., 2005).

Dessa forma, pode-se dizer que o uso destes compostos em fertilizantes nitrogenados pode ser uma estratégia de manejo com potencial para reduzir as perdas por volatilização de amônia e as emissões de óxido nitroso, aumentando a eficiência da adubação nitrogenada seja na adição a fertilizantes minerais ou orgânicos.

Perdas gasosas por emissão de óxidos de nitrogênio e de amônia na atmosfera são os principais fatores de ineficiência do uso dos fertilizantes nitrogenados. Conhecer o real benefício dos produtos comerciais destinados à otimização destes fertilizantes nas diferentes culturas e em diferentes ambientes poderá contribuir para aumentar sua eficiência, bem como diminuir os impactos ambientais causados pelo seu uso.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O estudo foi conduzido na área experimental do Setor de Genética do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras, localizada no município de Lavras/MG, com coordenadas UTM 23k 501916 metros de longitude, 7652886 metros de latitude e altitude de 907 m. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é caracterizado como Cwa. A temperatura média anual é de 19,4°C, medida entre os anos de 1961 a 1994 e a precipitação média anual, referente ao período descrito, é de 1.530 mm, com período chuvoso de outubro a março e menores índices pluviométricos no restante do ano (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007). O experimento foi conduzido durante o período de outubro de 2010 a fevereiro de 2011, sem irrigação. A área onde se instalou experimento está sob sistema de plantio direto há quinze anos, sendo cultivada nos últimos três anos agrícolas com milho, sem aplicação de N, o que a caracterizava como de alta resposta à aplicação de N para o feijoeiro (AMBROSANO et al., 1996).

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico Argiloso. As características químicas e físicas da camada 0-0,2 m determinadas segundo metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2009) foram: $\text{pH}_{\text{água}} = 6,0$; $\text{M.O} = 34,0 \text{ g dm}^{-3}$; $\text{K}^+ = 53 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{S} = 77,2 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{P}_{(\text{Mehlich1})} = 23,4 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{P}_{(\text{Remanescente})} = 11 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{Ca}^{2+} = 2,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Mg}^{2+} = 0,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Al}^{3+} = 0,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{H+Al} = 3,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{SB} = 3,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{t} = 3,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{T} = 7,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{V} = 48\%$; $\text{m} = 0 \%$; $\text{Fe}^{2+} = 43,2 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{Zn}^{2+} = 6,7 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{Cu}^{2+} = 4,9 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{B} = 0,2 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{Mn}^{2+} = 33,8 \text{ mg dm}^{-3}$; Areia = 90 g kg^{-1} ; Silte = 260 g kg^{-1} ; Argila = 650 g kg^{-1} .

Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso, com dez tratamentos e três repetições, totalizando 30 parcelas. Os tratamentos foram constituídos pelo fatorial 5 x 2, sendo cinco doses de N aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) e duas fontes de N: ureia comum e ureia revestida com polímeros (Policote[®]). As parcelas experimentais foram constituídas por cinco linhas com seis metros de comprimento, espaçadas de 0,6 m. Como área útil, foram considerados quatro metros das três linhas centrais (a bordadura foi dada pelas outras duas linhas externas e um metro de cada extremidade das linhas centrais).

3.2 Condução do experimento

A semeadura do feijoeiro foi realizada em 18/11/2010, com auxílio de uma semeadora-adubadora acoplada ao trator, com profundidade de plantio de aproximadamente 5 cm, utilizando-se 13 sementes por metro linear, com espaçamento entre linhas de 0,60 m. O cultivo do feijoeiro ocorreu durante o período de verão, em condições de sequeiro. As sementes foram tratadas com inseticida (thiamethoxan) e fungicida (carboxin + thiram), nas doses de 150 e 250 mL por 100 kg de sementes, respectivamente.

A cultivar utilizada foi a BRSMG Majestoso, originada do cruzamento entre as cultivares Ouro Negro, de grãos pretos e Pérola, de grãos tipo carioca. Por apresentar alta produtividade, qualidade de grão e resistência a algumas doenças, a cultivar BRSMG Majestoso é uma opção de feijoeiro comum do grupo carioca para o Estado de Minas Gerais (ABREU et al., 2006).

A adubação mineral de base nos sulcos de semeadura visou adequar os valores de P, K e S e micronutrientes no solo para um alto nível tecnológico segundo Vieira (2008) e foi constituída por 350 kg ha⁻¹ do fertilizante formulado 08-28-16 + 0,3% B. A adubação de cobertura foi realizada 30 dias após o plantio (18/12/2010), com doses de 0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ de N por meio da

aplicação de duas fontes nitrogenadas (ureia comum e ureia revestida com polímeros Policote[®]). Ambos os fertilizantes nitrogenados aplicados em cobertura foram distribuídos a 10 cm da linha de plantio, na superfície do solo. Os demais tratos culturais foram efetuados conforme a necessidade e recomendação para a cultura.

O Policote[®] utilizado no recobrimento dos grânulos da ureia utilizada nesse estudo (Figura 1) é composto por polímeros aniônicos solúveis em água, que afetam a taxa de dissolução do nitrogênio do grânulo do fertilizante para a solução do solo e, conseqüentemente, a dinâmica do nitrogênio no sistema solo – planta – atmosfera.

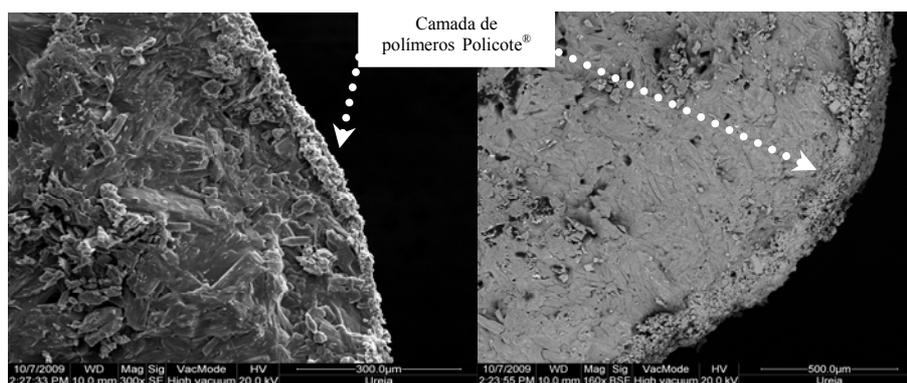


Figura 1 Imagens de microscopia eletrônica de varredura por elétrons (MEV) do grânulo de ureia de liberação controlada (Ureia com polímeros Policote[®])

3.3 Mensurações climatológicas

Durante a condução do experimento, a precipitação pluviométrica, temperaturas máximas e mínimas foram monitoradas (Figura 2).

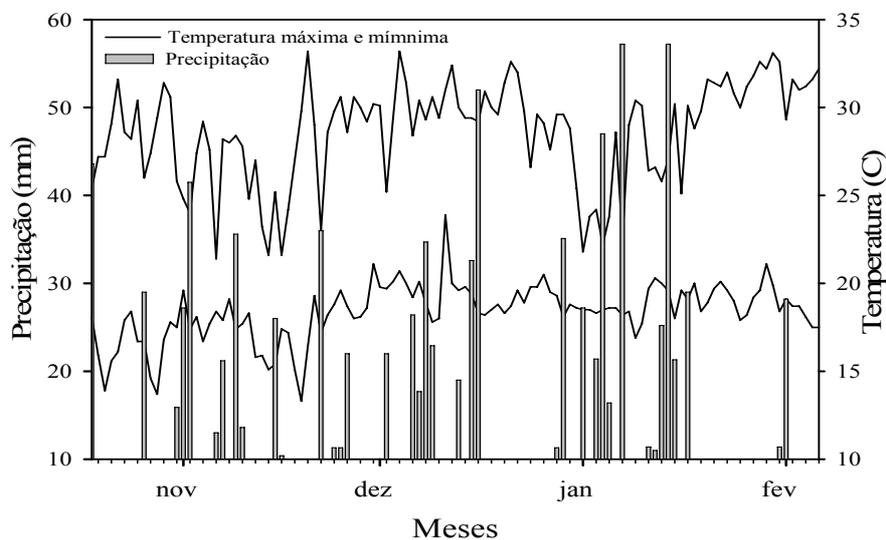


Figura 2 Precipitação, temperaturas máximas e mínimas durante o período de condução do experimento

3.4 Variáveis Avaliadas

3.4.1 Avaliação das perdas de nitrogênio no solo

As mensurações de volatilização de amônia foram realizadas utilizando o método do coletor semi-aberto, desenvolvido por Nonmik (1973) e adaptado por Lara-Cabezas et al. (1999). Os coletores foram confeccionados a partir de tubos de PVC com 50 cm de altura e 25 cm de diâmetro. Esses coletores semi-abertos foram instalados nas parcelas antes da aplicação dos fertilizantes nitrogenados em cobertura, sendo que dos 50 cm de altura, 5 cm foram enterrados no solo, permanecendo 45 cm acima da superfície. Para evitar a incidência de chuvas dentro dos coletores, bacias de 35 cm de diâmetro foram atravessadas por dois fios perpendiculares de arame e colocadas sobre cada coletor, o que permitiu a circulação de ar dentro dos coletores e impediu a

incidência de água dentro dos mesmos. A quantidade de fertilizante nitrogenado colocada em cada coletor, equivalente às doses referidas a cada tratamento, foi pesada no laboratório em balança de precisão e colocada em copo descartável tampado com papel filme para transporte até o campo.

Dentro de cada coletor foram acondicionadas duas espumas (densidade de $0,02 \text{ g cm}^{-3}$) embebidas com 170 mL de solução de ácido fosfórico (50 mL L^{-1}) e glicerina (40 mL L^{-1}), uma a 15 cm de altura do solo (Figura 4a) e outra a 40 cm (Figura 4b), com a função de absorver a amônia volatilizada. A espuma localizada na parte superior do coletor tem a função de evitar a contaminação da espuma inferior, enquanto a amônia é captada pela espuma inferior (LARA-CABEZAS; TRIVELIN, 1990). Após cada coleta, novas espumas embebidas em ácido foram colocadas nos coletores.

As coletas foram realizadas no primeiro dia (19/12/2010), no terceiro (21/12/2010), quinto (23/12/2010), oitavo (26/12/2010), décimo primeiro (29/12/2010), décimo quinto (03/01/2011), vigésimo (08/01/2011), vigésimo sétimo (14/01/2011) e trigésimo primeiro dia (18/01/2011) após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados em cobertura. Em cada coleta, as espumas foram acondicionadas em sacos plásticos e identificadas, sendo transportadas em caixa de isopor com gelo até o laboratório, onde foram armazenadas sob refrigeração.

Para determinação do N volatilizado e capturado pelas espumas, as mesmas foram lavadas com água destilada (1100 mL) sobre funil de Büchner com placa porosa e auxílio de uma bomba a vácuo. O volume de solução extraído de cada espuma foi mensurado. Uma alíquota de 20 ml foi transferida para tubo de ensaio e levado para destilação pelo método semimicro Kjeldahl (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).



Figura 3 Embebição da esponja com solução de ácido fosfórico e glicerina



Figura 4 Coletor de amônia. Esponja inferior (4a); esponja superior (4b)

3.4.2 Avaliações das características produtivas do feijoeiro

No final do ciclo do feijoeiro, as plantas das três fileiras centrais de cada parcela foram arrancadas e deixadas secar ao sol e, em seguida, submetidas à trilha mecânica; a umidade dos grãos foi corrigida para $0,13 \text{ kg kg}^{-1}$ (base úmida), obtendo-se a produtividade de grãos.

O peso de cem sementes foi obtido a partir da média de três pesagens de cem sementes da produção de cada parcela.

3.4.3 Determinação da concentração de N-mineral do solo

No florescimento do feijoeiro, foram coletadas amostras de solo das parcelas, a 10 cm da linha de plantio (local de aplicação do fertilizante nitrogenado em cobertura), em três profundidades (0-20, 20-40 e 40-60 cm) para determinação da concentração de nitrato e amônio do solo. Nesta mesma data, também foi realizada a coleta de folhas para determinação de N nas folhas e para leitura SPAD.

As amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e colocadas em caixa de isopor com gelo e transportadas para o refrigerador onde permaneceram até o momento da análise.

O N amoniacal e nítrico (N-NO_3^- e N-NH_4^+) foi determinado pelo método de destilação a vapor, conforme metodologia proposta por Tedesco, Volkweiss e Bohnen (1985).

3.4.4 Estimativas do teor de clorofila e N-total das folhas e grãos

Para a avaliação indireta do teor de clorofila nas folhas, foi empregado o clorofilômetro SPAD-502 (Soil and Plant Analysis Development), que fornece as leituras em unidades SPAD.

Para avaliação do teor de N nas folhas do feijoeiro, na época do florescimento, foram coletadas folhas do terço médio das plantas. Para avaliação do teor de N nos grãos do feijoeiro, foram coletadas amostras em cada parcela após a colheita. Folhas e grãos foram secos em estufa de ventilação forçada de ar, com temperaturas de 58 a 65°C por 72 horas. Posteriormente, as amostras foram moídas em moinho do tipo Willey, com peneira de 1 mm, armazenadas em sacos de papel e identificadas. Os teores de N nas folhas e nos grãos foram

determinados conforme metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

3.5 Análises Estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos às análises de variância e equações de regressão foram ajustadas quando diferenças significativas na variável analisada foram verificadas em função das doses de N aplicadas. Todas as operações estatísticas foram realizadas com auxílio do programa Sisvar (FERREIRA, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Perdas de amônia

A Figura 5 apresenta as perdas acumuladas e diárias de nitrogênio (N) por volatilização de amônia ao longo de 31 dias após a aplicação em cobertura da ureia comum e da ureia revestida com polímeros. Como esperado, observa-se que a volatilização de amônia foi bastante baixa, não sendo superior a 1,15 kg ha⁻¹ de perda acumulada de N ao longo dos 31 dias, na dose de 0 kg ha⁻¹ de N (Figura 5a). Provavelmente, essa pequena quantidade de amônia volatilizada nesse tratamento seja oriunda das atividades dos microrganismos sobre a matéria orgânica do solo e/ou, talvez, devido aos resíduos de N oriundos da adubação de plantio. Ao avaliar a volatilização de amônia na cultura da cana-de-açúcar em função de diferentes fontes nitrogenadas, Contin (2007) verificou que as testemunhas (parcela sem aplicação de N) apresentaram perdas de N-NH₃ por volatilização próximas de zero, tanto no experimento instalado na Usina São Martinho (Pradópolis - SP), quanto no experimento instalado na Usina São Luís (Santa Rita do Passa Quatro - SP).

Nos tratamentos que receberam adubação de cobertura de N, observou-se que as perdas acumuladas e diárias do nutriente foram significativamente maiores com os aumentos das doses, independentemente da fonte utilizada (ureia comum e ureia revestida com polímeros). As perdas acumuladas de N ao longo de 31 dias foram, em média, de 8, 17, 27 e 35 kg ha⁻¹ para as doses de 60 (Figura 5b), 120 (Figura 5c), 180 (Figura 5d) e 240 (Figura 5e) kg ha⁻¹ do nutriente aplicado em cobertura, respectivamente. Analisando a volatilização de amônia dentro de cada dose de N aplicada em função da época de avaliação, verificou-se que, em geral, as perdas diárias de N aumentaram sobremaneira nos três primeiros dias após aplicação do fertilizante. A partir desta época, iniciou-se

considerável redução na volatilização de amônia, quando, a partir do décimo primeiro dia após a aplicação, as perdas diárias de N foram irrelevantes, com valores próximos aos observados no tratamento controle (0 kg ha^{-1} de N).

Dessa maneira, a partir do décimo primeiro dia após aplicação do fertilizante as perdas acumuladas de N não sofreram aumentos relevantes.

Com relação às fontes utilizadas, verificou-se que não houve diferenças significativas entre a ureia comum e a ureia revestida com polímeros quanto às perdas de N por volatilização de amônia ao longo das épocas de avaliação, exceto para o tratamento que recebeu 180 kg ha^{-1} de N (Figura 5d). Nesse tratamento, a utilização da ureia revestida com polímeros diminuiu a perda de N e retardou a época máxima de volatilização, que ocorreu somente após o sexto dia da aplicação do fertilizante nitrogenado. Para os demais tratamentos, esse evento ocorreu já no terceiro dia, conforme discutido. Esse fato contribuiu positivamente para que, no tratamento com 180 kg ha^{-1} de N, a aplicação da ureia revestida com polímero, comparada à ureia comum, apresentasse uma volatilização total de amônia significativamente menor, fato verificado pela menor perda de N acumulada ao longo dos 31 dias após aplicação do fertilizante.

Ressalta-se que precipitações de 32 e 52 mm ocorreram nos dias 15 e 16/12/2011 (terceiro e segundo dia anteriores à aplicação das doses de N em cobertura no solo). Esse evento contribuiu para o aumento da umidade do solo dias antes e depois da adubação de cobertura, conseqüentemente tornando as condições favoráveis para a volatilização da amônia após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados. Após o décimo primeiro dia da aplicação dos tratamentos, ocorreu nova precipitação, o que contribuiu ainda mais para a redução da perda diária de N para valores próximos de zero.

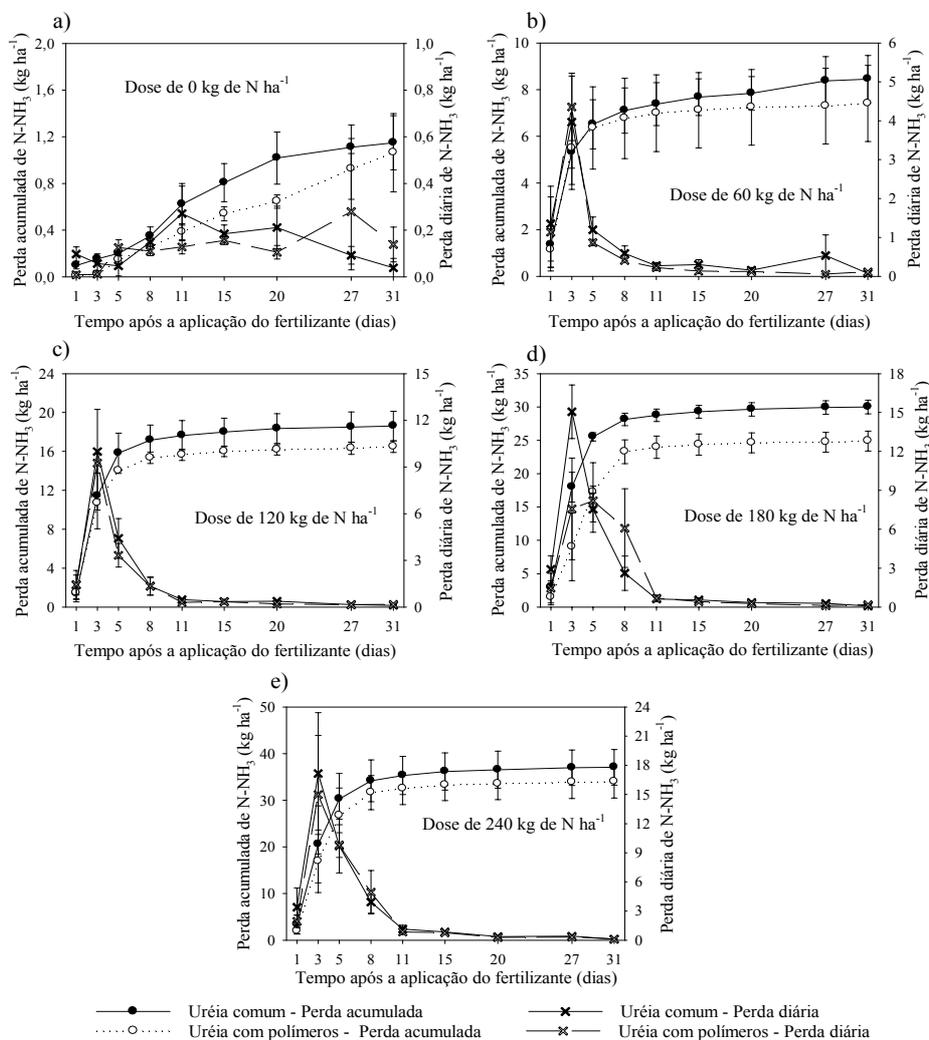


Figura 5 Perda acumulada e diária de N por volatilização da amônia em área de cultivo de feijoeiro em função do tempo, após aplicação de ureia comum e ureia revestida com polímeros nas doses de 0 (a), 60 (b), 120 (c), 180 (d) e 240 (e) kg ha⁻¹ de N

Embora os efeitos das fontes de N sobre as perdas de N tenham sido pouco pronunciados, quando analisados para cada dose em função das épocas de avaliação, a análise de variância dos valores totais de N volatilizados (análise

feita apenas com os valores das perdas acumulada de N aos 31 dias após aplicação dos fertilizantes) mostrou que houve significativos efeitos isolados dos fatores fontes de N ($P < 0,05$) e doses de N ($P < 0,01$) sobre a volatilização de amônia (Figura 6).

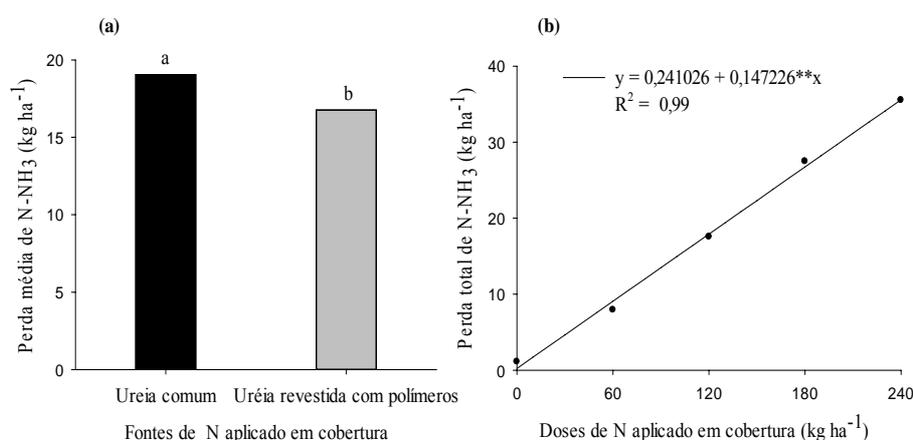


Figura 6 Perda média de N por volatilização da amônia em função da fonte de aplicação (a), e perda total de N por volatilização da amônia em função das doses de aplicação do nutriente (b), em área de cultivo de feijoeiro. Médias seguidas de letra diferente diferem entre si (Scott-Knott, 5%). ** Significativo a 1% pelo teste F

Na Figura 6a, observa-se que a volatilização de amônia foi menor quando se aplicou a ureia revestida por polímeros. As perdas médias de N foram de 19,1 e 16,8 kg ha⁻¹ para a aplicação da ureia comum e ureia revestida por polímeros, respectivamente; portanto, uma diferença de 15,6%. Na cultura do milho, Leão (2008) observou que a ureia com polímeros reduziu em até 50% a perda de N por volatilização de amônia em relação à ureia comum e com NBPT. Pereira et al. (2009) observaram redução significativa de N volatilizado, cerca de 50%, pela ureia revestida com polímeros em comparação a ureia comum no plantio de milho safrinha nas duas épocas de aplicação de N em cobertura.

A Figura 6b mostra que os incrementos das doses dos fertilizantes nitrogenados aumentaram linearmente a volatilização de amônia do solo, fato esse já esperado. Nesse trabalho, para cada unidade (em kg ha^{-1}) de N adicionado ao solo, houve aumento da perda do nutriente por volatilização de amônia em $0,147 \text{ kg ha}^{-1}$. Aumento das perdas de N por volatilização de amônia, quando há aumentos das doses de ureia são relatados por diversos autores (DUARTE, 2007; MARTHA JÚNIOR; TRIVELIN; CORSI, 2009; PRIMAVESI et al., 2001).

4.2 Produtividade e peso de cem sementes

A produtividade do feijoeiro não foi influenciada pelos efeitos isolados das doses e fontes de N e nem pela interação entre esses fatores (Figura 7).

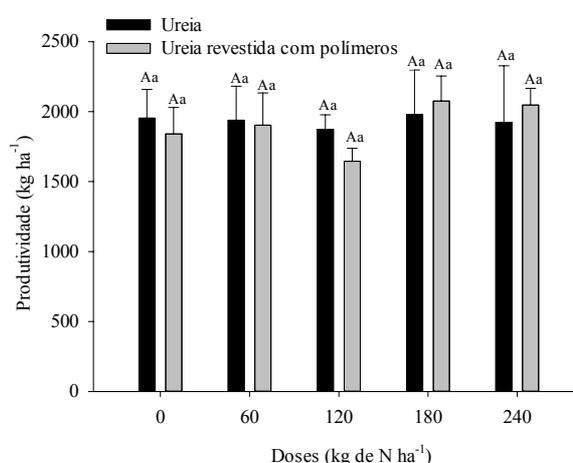


Figura 7 Produtividade do feijoeiro em função das doses e fontes de N aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros. Médias seguidas de mesma letra minúscula, comparando fontes dentro de cada dose e maiúscula, comparando as doses dentro de cada fonte de N, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). Barra de erro representa o Desvio Padrão

Foi observada uma produtividade média de 1918 kg ha⁻¹. Resultados similares foram obtidos por Rapassi et al. (2003), testando doses e fontes de nitrogênio em feijoeiro no sistema de plantio direto, que constataram não haver diferenças de produtividade em função das doses de N aplicadas.

Comparando a produção do feijoeiro em sucessão à cultura da soja e em sucessão à cultura do arroz, Barbosa Filho, Fageria e Silva (2005) observaram menor produtividade do feijoeiro em relação a esta última, mesmo aplicando as mesmas quantidades de N. Estes autores apontam que a menor produtividade do feijoeiro após a cultura do arroz esteja relacionada à imobilização do N por microrganismos, visto que havia disponibilidade de energia (carbono reduzido) deixado pelos restos culturais do arroz, havendo proliferação dos microrganismos e incorporação de N à massa microbiana.

Neste trabalho, embora o experimento conduzido tenha sido conduzido em sistema de plantio direto, em sucessão a cultura de milho, não há indícios de imobilização concorrente de N pela microbiota do solo com a cultura do feijoeiro, uma vez que todos os tratamentos do experimento inclusive o tratamento sem aplicação de N obtiveram teores de N adequados nas folhas: 20-40 mg kg⁻¹ (BULL, 1993); 20-30 mg kg⁻¹ (RAIJ et al., 1996); 25-35 mg kg⁻¹ (FANCELLI, 2000), como será apresentado e discutido adiante.

Avaliando a inoculação de feijoeiro com *Rhizobium* e exsudato de *Mimosa flocculosa* e doses de N mineral, na ausência de diferenças significativas entre os diferentes tratamentos realizados comparados à testemunha, Silva et al. (2009) concluíram que as estirpes de rizóbio nativas, presentes naquele solo, apresentavam elevada eficiência no processo simbiótico com o feijoeiro, garantindo à testemunha uma produtividade acima dos 2500 kg ha⁻¹, sem aplicação de N e sem inoculação.

Estudando estirpes de *Rhizobium*, Ferreira et al. (2000) concluíram que a inoculação de estirpes eficientes de *Rhizobium* em cultivares nodulantes de

feijoeiro ou mesmo o cultivo do feijoeiro em solos com população nativa eficiente pode promover altas produtividades sem utilização de nitrogênio em cobertura.

Cassini e Franco (2008) relatam grande variabilidade de respostas dos experimentos em relação à inoculação do feijoeiro, não sendo possível ainda uma recomendação segura para a retirada da adubação nitrogenada que, ao mesmo tempo, garanta alta produtividade para esta cultura.

Segundo Fancelli e Tsumanuma (2007), mesmo quando aplicado tardiamente, o N contribui para o aumento da massa dos grãos. Tal fato não foi observado neste experimento, onde doses de até 240 kg ha⁻¹ não incrementaram o peso dos grãos, como pode ser observado na Figura 8.

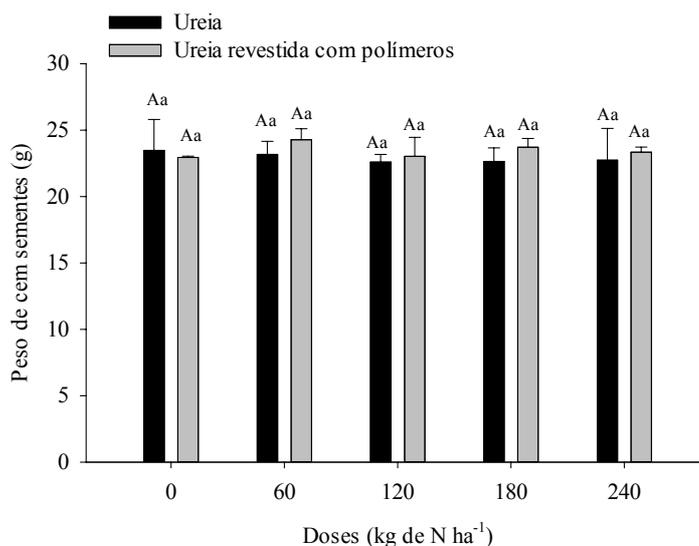


Figura 8 Peso de cem sementes em função das doses e fontes de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando fontes dentro de cada dose e maiúscula, comparando as doses dentro de cada fonte de N, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). Barra de erro representa o Desvio Padrão

Avaliando o peso de 100 grãos de feijão, Meira et al. (2005) relatam não haver efeito significativo tanto para doses, quanto para as épocas de aplicação de N. Ao estudar doses e formas de aplicação de N em feijoeiro, Crusciol et al. (2001) não obtiveram respostas a doses de N em cobertura para a massa de 100 grãos e concluíram que, entre as demais variáveis apresentadas, esta apresenta a menor variação percentual em função das alterações no cultivo.

4.3 Teores de nitrogênio nas folhas e leitura SPAD

Os teores de N e da leitura SPAD nas folhas do feijoeiro não foram influenciados significativamente pelas doses e fontes de N aplicadas em cobertura (Figura 9).

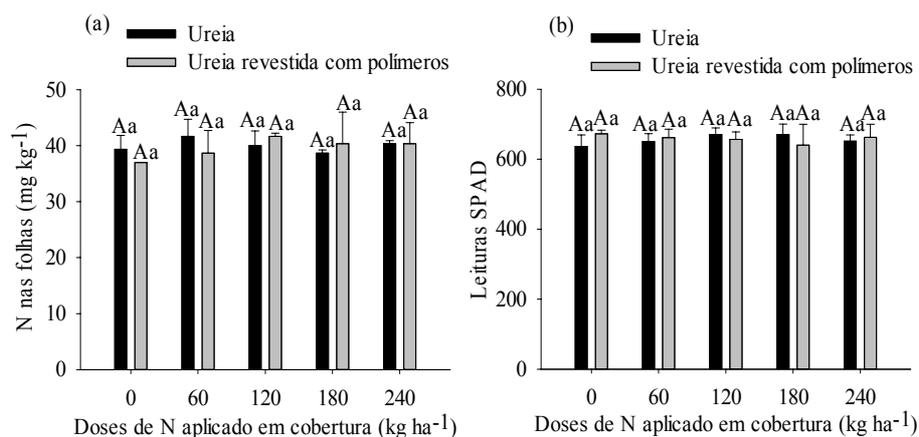


Figura 9 Teor de nitrogênio nas folhas (a) e leitura SPAD (b) em função das doses e fontes de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando fontes dentro de cada dose e maiúscula, comparando as doses dentro de cada fonte de N, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). Barra de erro representa o Desvio Padrão

A capacidade do feijoeiro em associar-se a bactérias fixadoras, o teor de nitrogênio contido na matéria orgânica do solo e o aplicado no plantio garantiram à testemunha teores adequados de N na folha, semelhantes aos demais tratamentos do experimento, não sendo então constatadas diferenças significativas no teor de N nas folhas e, também, na leitura SPAD.

Soratto et al. (2006) verificaram que a massa seca da parte aérea do feijoeiro não foi influenciada pela aplicação de N e explicam a não resposta à adição de N pela capacidade da cultura na obtenção deste nutriente, onde os teores de N encontrados nas folhas são considerados adequados, mesmo no tratamento que não recebeu N em cobertura. Teores adequados de N nas folhas do feijoeiro são relatados por alguns autores em faixas que variam de 20 a 50 mg kg⁻¹ (BULL, 1993; FANCELLI, 2000; RAIJ et al., 1996).

A leitura SPAD, que mede indiretamente o teor de clorofila, vem ao encontro dos resultados obtidos nos teores de N nas folhas do feijoeiro. Como era de se esperar, não havendo diferenças entre os teores de N nas folhas também não houve diferenças nas leituras indiretas SPAD.

Santa'Ana, Santos e Silveira (2010) encontraram correlações positivas entre o teor de N e leitura SPAD em folhas de feijoeiro nas diferentes doses de nitrogênio aplicadas em cobertura.

4.4 Teores e acúmulo de nitrogênio nos grãos

Os teores e o acúmulo de N nos grãos não foram influenciados pelas doses e fontes de nitrogênio aplicadas em cobertura (Scott-Knot, 5%), como pode ser observado na figura 10.

Crusciol et al. (2001) relatam que, em razão da tentativa de perpetuação da espécie, as plantas priorizam menor quantidade e maior qualidade de grãos, produzindo menos grãos por planta sob estresse, mas com substancial qualidade.

Trabalhando com fontes e épocas de aplicação de N no feijoeiro irrigado Meira et al. (2009) não encontraram diferenças significativas nos teores de N nos grãos, quando este foi fornecido nas formas de sulfato de amônio, Entec (Sulfonitrato de amônio com 26% N e presença do inibidor de nitrificação, dimetilpirazolfosfato - DMPP) e ureia comum.

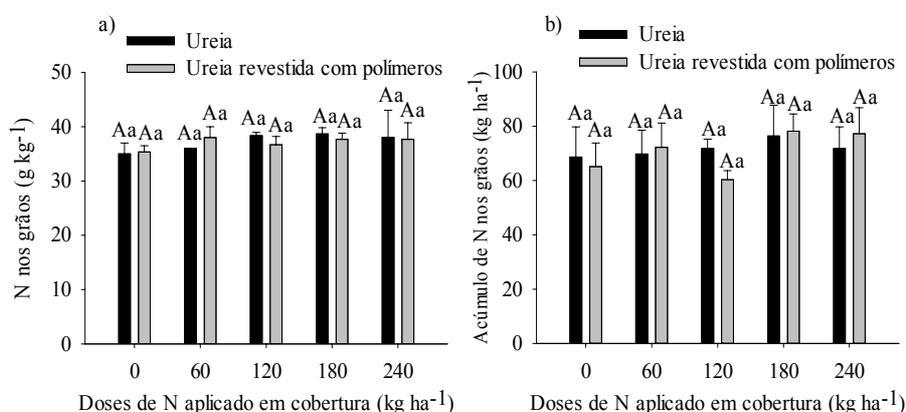


Figura 10 Teor de nitrogênio (a) e acúmulo de nitrogênio (b) nos grãos do feijoeiro em função das doses e fontes de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando fontes dentro de cada dose e maiúscula, comparando as doses dentro de cada fonte de N, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). Barra de erro representa o Desvio Padrão

Como a produtividade e o teor de N não apresentaram diferenças, os acúmulos de N nos grãos do feijoeiro também não foram influenciados pelas doses e fontes de N aplicados em cobertura. O valor médio do acúmulo de N nos grãos foi de 70,15 kg ha⁻¹ e a produtividade média de 1918 kg ha⁻¹. Estes valores revelam que, para cada tonelada de grãos de feijão produzido, cerca de 37 kg de N são retirados de um ha, considerando que a palha e os demais restos culturais permanecem na área de cultivo. Os valores encontrados fortalecem as

afirmações de Fancelli e Tsumanuma (2007). Segundo esses autores, as necessidades totais de N na cultura do feijoeiro são da ordem de 30 a 40 kg ha⁻¹ para cada tonelada de grãos produzida.

4.5 Concentração de amônio e nitrato nas camadas do solo

Os valores de nitrato e amônio no solo nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm de solo não foram influenciados pelas doses e fontes de nitrogênio aplicadas em cobertura, conforme observado na Figura 11.

Segundo Armstrong (1982 citado por POLETTO; GROHS; MUNDSTOCK, 2008), em solos aerados, com pH acima de 4,0, há predominância de NO⁻³. Stark e Hart (1997) apontam que a predominância do NH⁺⁴ em relação ao NO⁻³ pode ser vista em ambientes com baixo pH, baixa temperatura e alta umidade, com acúmulo de compostos fenólicos alelopáticos e anaerobiose que inibem a nitrificação. As concentrações de amônio e nitrato neste experimento discordam dos resultados obtidos pelos autores acima citados, pois não há predominância de NO⁻³ em relação a NH⁺⁴ em nenhuma das camadas do solo estudado.

Embora não se possa comparar estatisticamente as concentrações de amônio e nitrato entre as camadas do solo, pode-se inferir que as concentrações de ambos os íons foram pouco alteradas até a profundidade de 60 cm.

Owen e Jones (2001) afirmam que as concentrações de NO⁻³ nos solos variam de 1 a 5 mmol L⁻¹. Os valores encontrados de NO⁻³ no cultivo do feijoeiro foram menores do que os acima relatados e podem ser explicados pela época de avaliação. As amostras de solo foram coletadas no florescimento do feijoeiro, época onde há a maior demanda de N pela cultura.

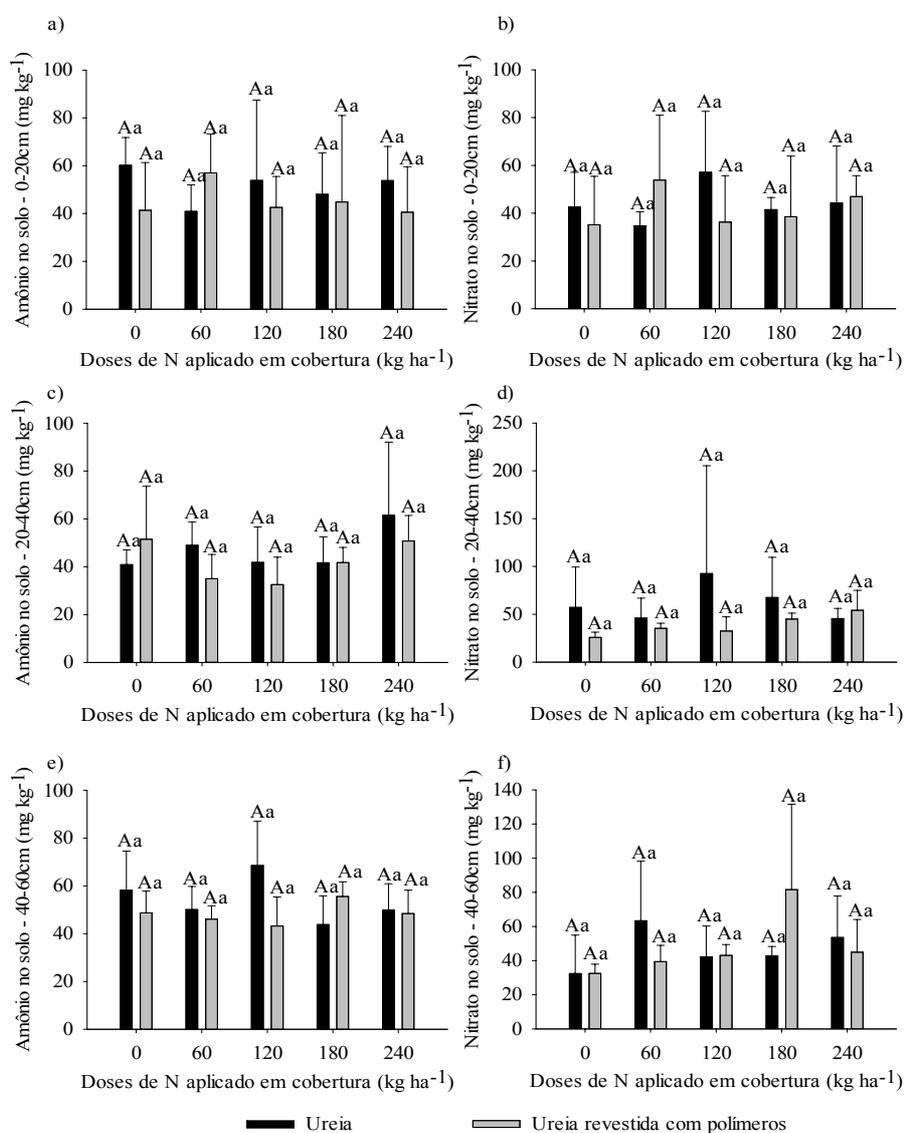


Figura 11 Amônio e nitrito nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm em função das doses e fontes de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros. Médias seguidas de mesma letra minúscula, comparando fontes dentro de cada dose e maiúscula, comparando as doses dentro de cada fonte de N, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). Barra de erro representa o Desvio Padrão

As concentrações de NO_3^- e NH_4^+ dos tratamentos com ureia revestida por polímeros não diferiu dos tratamentos com ureia comum em nenhuma das camadas estudadas. Estes dados corroboram os de Zavaschi (2010) que não verificou a influência das doses de nitrogênio na cultura do milho e das fontes de ureia comum e revestida nas concentrações de amônio e nitrato do solo, nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

Entretanto, Barth (2009) encontrou menores teores de nitrato no solo onde foi aplicada ureia revestida por DCD (Dicianodiamida), comparada à ureia comum e estes valores foram relevantes em solo de textura média, comparado ao solo de textura argilosa.

5 CONCLUSÕES

A ureia revestida com polímeros proporcionou menor perda acumulada de nitrogênio por volatilização do que a ureia comum. A perda acumulada de N-NH₃ aumenta com o incremento nas doses de nitrogênio aplicadas.

A aplicação de nitrogênio em cobertura não promoveu diferenças de produtividade, teor de N nas folhas e nos grãos, acúmulo de N nos grãos, leitura SPAD e teores de amônio e nitrato nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm, em nenhuma das doses e em nenhuma das fontes nitrogenadas estudadas.

REFERÊNCIAS

- ABREU, A. F. B. et al. **BRSMG majestoso**: mais uma opção de cultivar de grão carioca para o estado de Minas Gerais. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 2006. 2 p. (Comunicado Técnico, 134).
- AMBROSANO, E. J. et al. Feijão. In: RAIJ, B. van et al. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1996. p. 194-195. (Boletim Técnico, 100).
- ASSOCIATION OF AMERICAN PLANT FOOD CONTROL OFFICIALS. **Commercial fertilizers**. Lexington: University of Kentucky, 1995. 247 p.
- BALSAN, R. Impactos de correntes da modernização da agricultura brasileira. **Revista de Geografia Agrária**, Uberlândia, v. 1, n. 2, p. 123-151, ago. 2006.
- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F. Fontes, doses e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura para feijoeiro comum irrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 1, p. 69-76, jan./fev. 2005.
- BARTH, G. **Inibidores de urease e de nitrificação na eficiência do uso de adubos nitrogenados**. 2009. 78 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2009.
- BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. A cultura. In: VIEIRA, C. et al. (Ed.). **Feijão**. Viçosa, MG: UFV, 2008. p. 13-18.
- BUENO, F. S. **Minidicionário da língua portuguesa**. São Paulo: FTDA, 1996. 703 p.

BULL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 63-145.

BYRNES, B. H. Liquid fertilizers and nitrogen solutions. In: INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER. **Fertilizer manual**. Alabama: Kluwer Academic, 2000. p. 20-44.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

CANTARELLA, H. et al. Fruit yield of Valencia sweet orange fertilized with different N sources and the loss of applied N. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 67, n. 3, p. 215-223, Nov. 2003.

CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z. F. Nitrogênio e enxofre. In: PROCHOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba: IPNI, 2010. v. 2, p. 1-65.

CASSINI, S. T. A.; FRANCO, M. C. Fixação biológica de nitrogênio: microbiologia, fatores ambientais e genéticos. In: VIEIRA, C. et al. (Ed.). **Feijão**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2008. p. 143-170.

CASSOL, L. C. et al. Perdas de NNH_3 por volatilização após aplicação de diferentes níveis e fontes de nitrogênio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 38., 2005, Recife. **Anais...** Recife: CBCS, 2005. 1 CD-ROM.

CHU, H.; HOSEN, Y.; YAGI, K. Nitrogen oxide emission and microbial activities in a Japanese Andisol as affected by N-fertilizer management. **Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 50, n. 2, p. 287-292, Apr. 2004.

CLAY, D. E.; MALZER, G. L.; ANDERSON, J. L. Ammonia volatilization from urea as influenced by soil temperature, soil water content, and nitrification

and hydrolysis inhibitors. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, n. 1, p. 263-266, 1990.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo primeiro levantamento**, agosto 2011. Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_08_09_11_44_03_boletim_agosto-2011..pdf>. Acesso em: 15 ago. 2011.

CONTIN, T. L. M. **Ureia tratada com o inibidor da urease NBPT na adubação de cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo**. 2007. 55 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) - Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2007.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Adubação nitrogenada de semeadura e de cobertura sobre a produtividade do feijoeiro. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 10, n. 1, p. 119-133, 2001.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

DUARTE, D. S. A. **Perdas de amônia por volatilização em solo tratado com ureia na presença de resíduos culturais**. 2007. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2007.

EDMEADES, D. C. Nitrification and urease inhibitors: a review of the National and International literature on their effects on nitrate leaching, greenhouse gas emissions and ammonia volatilization from temperate legume-based pastoral system. **Environment Waikato Technology Report**, Waikato, v. 22, Aug. 2004. Disponível em:
<<http://www.waikatoregion.govt.nz/PageFiles/2883/TR04-22.pdf>>. Acesso em: 1 jul. 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, 2009. 627 p.

FANCELLI, A. L. Manejo do solo em plantio direto. In: _____. **Guia para plantio direto**. São Paulo: Grupo Plantio Direto, 2000. p. 16-29.

FANCELLI, A. L.; TSUMANUMA, G. M. Nitrogênio e enxofre nas culturas de milho e feijão. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: INPI, 2007. p. 445-486.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183 p. Texto acadêmico.

FERREIRA, A. N. et al. Estirpes de *rhizobium tropici* na inoculação do feijoeiro. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 3, p. 507-512, 2000.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Sociedade Internacional de Biometria, 2000. p. 255-258.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Global inventory of NH₃ emissions from mineral fertilizers and animal manure applied to croplands and grasslands**. Rome, 2001. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 10 mar. 2010.

GARCIA, F. O.; DAVEREDE, I. C. Diagnóstico para recomendação de adubação nitrogenada em culturas de interesse agrônomo. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: INPI, 2007. p. 277-320.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistêmico da produção agrícola: pesquisa mensal de previsão e**

acompanhamento das agrícolas no ano civil. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201106.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2011.

INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION. **Production, imports, exports and consumption data for nitrogen, phosphate and potash 1973/74 to 2007/2008**. Paris, 2010. Disponível em:

<<http://www.fertilizer.org/ifa/HomePage/STATISTICS>>. Acesso em: 12 mar. 2010.

KOELIKER, J. K.; KISSEL, D. E. Chemical equilibria affecting ammonia volatilization. In: BOCK, B. R.; KISSEL, D. E. (Ed.). **Ammonia volatilization from urea fertilizers**. Muscle Shoals: National Fertilizer Development Center, 1988. p. 37-52.

LANNA, A. C. et al. Atividade de urease no solo com feijoeiro influenciada pela cobertura vegetal e sistemas de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 6, p. 1933-1939, dez. 2010.

LARA-CABEZAS, W. A. R. et al. Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizers.

Communication in Soil Science and Plant Analysis, Athens, v. 30, n. 3, p. 389-406, 1999.

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**, Viçosa, MG, v. 14, n. 3, p. 345-352, set./dez. 1990.

LEÃO, A. F. **Redutores de volatilização do nitrogênio da ureia na cultura do milho safrinha, utilizando coletores semi-aberto estático**. 2008. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2008.

LONGO, R. M.; MELO, W. J. Atividade da uréase em Latossolos sob influência da cobertura vegetal e da época de amostragem. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 4, p. 645-650, jul./ago. 2005.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 308 p.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; TRIVELIN, P. C. O.; CORSI, M. Absorção foliar pelo capim-tanzânia da amônia volatilizada do 15N-ureia aplicado ao solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p. 103-108, jan./fev. 2009.

MEIRA, F. A. et al. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado cultivado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 4, p. 383-388, abr. 2005.

_____. Fontes e épocas de aplicação do nitrogênio na cultura do milho irrigado. **Semina**, Passo Fundo, v. 30, n. 2, p. 275-284, abr./jun. 2009.

MENÉDEZ, S. et al. Effect of N-(*n*-butyl) thiophosphoric triamide and 3,4 dimethylpyrazole phosphate on gaseous emissions from grasslands under different soil water contents. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 38, n. 1, p. 27-35, Jan. 2009.

MERINO, P. et al. 3,4-dimethylpyrazole phosphate reduces nitrous oxide emissions from grassland after slurry application. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 21, n. 1, p. 53-57, Feb. 2005.

NÖNMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to Forest soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 39, p. 309-318, 1973.

OWEN, A. G.; JONES, D. L. Competition for amino acids between wheat roots and rhizosphere microorganisms and the role of amino acids in plant N

acquisition. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 33, p. 651-657, Feb. 2001.

PEREIRA, H. S. et al. Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 6, p. 1685-1694, nov./dez. 2009.

POLETTO, N.; GROHS, D. S.; MUNDSTOCK, C. M. Flutuação de área e estacional de nitrato e amônio em um argisolo vermelho distrófico típico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 1619-1626, jul./ago. 2008.

PRIMAVESI, O. et al. **Adubação com ureia em pastagem de *Cynodon dactylon* cv. Coastcross sob manejo rotacionado: eficiência e perdas**. São Carlos: EMBRAPA Pecuária Sudeste, 2001. 42 p. (Circular Técnica, 30).

PUGGINA, W. A. Presentation. In: INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION. **Mineral fertilizer use and the environment**. Paris, 2000. p. 5.

RAIJ, B. van et al. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1996. 267 p.

RAPASSI, R. M. A. et al. Análise econômica comparativa após um ano de cultivo do feijoeiro irrigado, no inverno, em sistemas de plantio convencional e direto, com diferentes fontes e doses de nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 397-404, jul. 2003.

RAWLUK, C. D. L.; GRANT, C. A.; RACZ, G. J. Ammonia volatilization from soils fertilized with urea and varying rates of urease inhibitor NBPT. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 81, n. 2, p. 239-246, May 2001.

REIS JÚNIOR, R. A.; TISKI, I. Características físico-químicas de fertilizantes revestidos por polímeros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 22., 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFC, 2009. 1 CD-ROM.

SANT'ANA, P. V. P.; SANTOS, A. B.; SILVEIRA, P. M. Adubação nitrogenada na produtividade, leitura SPAD e teor de nitrogênio em folhas de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 491-496, out./dez. 2010.

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

SHAVIV, A. Controlled release fertilizers. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, 1., 2005, Frankfurt. **Proceedings...** Paris: International Fertilizer Industry Association, 2005. p. 13.

SHAVIV, A.; MIKKELSEN, R. L. Controlled-release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation: a review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 35, n. 1, p. 1-12, Feb. 1993.

SHOJI, S. et al. Use of controlled release fertilizers and nitrification inhibitors to increase nitrogen use efficiency and to conserve air and water quality. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, n. 2, p. 1051-1070, Apr. 2001.

SHOJI, S.; KANNO, H. Innovation of new agrotechnology using controlled release fertilizers for minimizing the environmental deterioration. In: DAHLIA GREIDINGER MEMORIAL INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONTROLLED/SLOW RELEASE FERTILIZERS, 1., 1993, Haifa. **Proceedings...** Haifa: Israel Institute of Technology, 1993. 1 CD-ROM.

_____. Use of polyolefin-coated fertilizers for increasing fertilizer efficiency and reducing nitrate leaching and nitrous oxide emissions. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 39, n. 2, p. 147-152, June 1994.

SILVA, E. F. et al. Inoculação do feijoeiro com *Rhizobium tropici* associada à exsudato de *Mimosa flocculosa* com diferentes doses de nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 443-451, 2009.

SNYDER, C. S.; BRUULSEMA, T. W.; JENSEN, T. L. **Greenhouse gas emissions from Cropping Systems and the influence of fertilizer management**. Norcross: Georgia International Plant Nutrition Institute, 2007. 30 p.

SORATTO, R. P. et al. Parcelamento da adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro em sistema de plantio direto. **Científica**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 223-228, 2006.

STARK, J. M.; HART, S. C. High rates of nitrification and nitrate turnover in undisturbed coniferous forests. **Nature**, London, v. 385, n. 2, p. 61-64, Jan. 1997.

TABATABAI, M.; BREMNER, J. Assay of urease activity in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 4, n. 4, p. 479-487, 1972.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1985. 95 p. (Boletim Técnico, 5).

TRENKEL, M. E. **Slow and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient efficiency in agriculture**. Paris: IFA, 2010. 163 p.

VAIO, N. **Ammonia volatilization and n-uptake from urea, urea ammonium nitrate (UAN) and nitamin® (urea-polymer) applied to tall fescue in Georgia**. 2006. 76 p. Dissertation (Master in Science) - University of Georgia, Athens, 2006.

VIEIRA, C. Cultivos consorciados. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J. de; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2008. p. 493-528.

WANDER, A. E.; RAMALHO, M. A. P.; ANDRADE, M. J. B. de. **Cultivo do feijão da primeira e segunda safras na região sul de Minas Gerais**. Brasília: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 2 mar. 2011.

WATSON, C. J. Urease activity and inhibition: principles and practice. **The International Fertilizer Society Meeting**, London, v. 454, n. 1, p. 39-40, 2000.

_____. **Urease inhibitors**. Paris: IFA, 2005. 10 p.

ZAVASCHI, E. **Volatilização de amônia e produtividade do milho em função da aplicação de ureia revestida com polímeros**. 2010. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A - TABELAS

Tabela 2 Análise de variância para a perda acumulada por volatilização da amônia (kg ha^{-1}) em área de cultivo de feijoeiro adubado com ureia comum e revestida com polímeros nas doses de 60, 120, 180 e 240 kg ha^{-1} aplicadas em cobertura

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	7,064487	3,532243	0,521	0,6024 ^{ns}
Fonte	1	39,480177	39,480177	5,827	0,0267*
Dose	4	4698,071858	1174,517964	173,354	0,0000**
Fonte*Dose	4	22,537919	5,634480	0,832	0,5225 ^{ns}
erro	18	121,954357	6,775242		
Total	29	4889,108797			
C.V.(%)	14,53				

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste F

^{ns} = Não significativo ao nível de 5% probabilidade, pelo teste F

Tabela 3 Análise de variância para a produtividade do feijoeiro em função das doses de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	41414,678927	20707,339463	0,373	0,6938 ^{ns}
Fonte	1	7328,000488	7328,000488	0,132	0,7206 ^{ns}
Dose	4	253142,391206	63285,597801	1,140	0,3693 ^{ns}
Fonte*Dose	4	128288,737946	32072,184486	0,578	0,6824 ^{ns}
erro	18	998991,175946	55499,509775		
Total	29	1429164,984512			
C.V.(%)	12,28				

^{ns} = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F

Tabela 4 Análise de variância para o peso de cem sementes em função das doses de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	0,521605	0,260802	0,142	0,8690 ^{ns}
Fonte	1	2,122680	2,122680	1,152	0,2973 ^{ns}
Dose	4	2,709558	0,677389	0,368	0,8285 ^{ns}
Fonte*Dose	4	2,623972	0,655993	0,356	0,8365 ^{ns}
erro	18	33,164550	1,842475		
Total	29				
C.V.(%)	5,85				

^{ns} = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F

Tabela 5 Análise de variância para o teor de nitrogênio nas folhas em função das doses de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	41,600000	20,800000	2,842	0,0846 ^{ns}
Fonte	1	1,200000	1,200000	0,164	0,6903 ^{ns}
Dose	4	25,466667	6,366667	0,870	0,5009 ^{ns}
Fonte*Dose	4	28,800000	7,200000	0,984	0,4411 ^{ns}
erro	18	131,733333	7,318519		
Total	29	228,800000			
C.V.(%)	6,80				

^{ns} = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F

Tabela 6 Análise de variância para a leitura SPAD em função das doses de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	105,463162	52,731581	3,540	0,0505 ^{ns}
Fonte	1	1,247134	1,247134	0,084	0,7756 ^{ns}
Dose	4	6,781087	1,695272	0,114	0,9760 ^{ns}
Fonte*Dose	4	77,921185	19,480296	1,308	0,3046 ^{ns}
erro	18	268,131299	14,896183		
Total	29	459,543867			
C.V.(%)	4,13				

^{ns} = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F

Tabela 7 Análise de variância para o teor de nitrogênio nos grãos em função das doses de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	4,066667	2,033333	0,390	0,6829 ^{ns}
Fonte	1	0,133333	0,133333	0,026	0,8748 ^{ns}
Dose	4	33,466667	8,366667	1,603	0,2166 ^{ns}
Fonte*Dose	4	11,866667	2,966667	0,568	0,6888 ^{ns}
erro	18	93,933333	5,218519		
Total	29	143,466667			
C,V,(%)	6,15				

^{ns}= Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F

Tabela 8 Análise de variância para o acúmulo de nitrogênio nos grãos em função das doses de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	76,967875	38,483938	0,522	0,6022 ^{ns}
Fonte	1	8,455326	8,455326	0,115	0,7389 ^{ns}
Dose	4	560,287144	140,071786	1,899	0,1545 ^{ns}
Fonte*Dose	4	265,524738	66,381185	0,900	0,4846 ^{ns}
erro	18	1327,938979	73,774388		
Total	29	2239,174063			
C,V,(%)	12,07				

^{ns}= Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F

Tabela 9 Análise de variância para o amônio e nitrato na profundidade de 0-20 cm em função das doses de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	465,556336	232,778168	0,503	0,6129 ^{ns}
Fonte	1	279,290372	279,290372	0,604	0,4473 ^{ns}
Dose	4	69,364891	17,341223	0,037	0,9971 ^{ns}
Fonte*Dose	4	1109,695937	277,423984	0,600	0,6677 ^{ns}
erro	18	8328,228139	462,679341		
Total	29	10252,135674			
C,V,(%)	44,53				

^{ns}= Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F

Tabela 10 Análise de variância para o amônio e nitrato na profundidade de 20-40 cm em função das doses de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	347,071667	173,535833	0,739	0,4913 ^{ns}
Fonte	1	161,161733	161,161733	0,687	0,4181 ^{ns}
Dose	4	1231,768068	307,942017	1,312	0,3031 ^{ns}
Fonte*Dose	4	600,685949	150,171487	0,640	0,6409 ^{ns}
erro	18	4224,334957	234,685275		
Total	29	6565,022374			
C,V,(%)	34,30				

^{ns}= Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F

Tabela 11 Análise de variância para o amônio e nitrato na profundidade de 40-60 cm em função das doses de nitrogênio aplicadas em cobertura como ureia comum e ureia revestida com polímeros

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Bloco	2	985,818878	492,909439	5,101	0,0176
Fonte	1	248,056158	248,056158	2,567	0,1265 ^{ns}
Dose	4	256,362793	64,090698	0,663	0,6256 ^{ns}
Fonte*Dose	4	1087,325740	271,831435	2,813	0,0564 ^{ns}
erro	18	1739,413282	96,634071		
Total	29	1739,413282			
C,V,(%)	19,18				

^{ns}= Não significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F