



**TAINAH FREITAS**

**FERTILIZANTES NITROGENADOS CONVENCIONAIS,  
ESTABILIZADOS, DE LIBERAÇÃO LENTA OU  
CONTROLADA NA CULTURA DO CAFEIEIRO: EFICIÊNCIA  
E CUSTOS**

**LAVRAS - MG**

**2017**

**TAINAH FREITAS**

**FERTILIZANTES NITROGENADOS CONVENCIONAIS, ESTABILIZADOS, DE  
LIBERAÇÃO LENTA OU CONTROLADA NA CULTURA DO CAFEIEIRO:  
EFICIÊNCIA E CUSTOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Rubens José Guimarães

Orientador

Prof. Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva

Coorientador

**LAVRAS - MG**

**2017**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA,  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Freitas, Tainah.

Fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação lenta ou controlada na cultura do cafeeiro: eficiência e custos / Tainah Freitas. - 2017.

96 p. : il.

Orientador: Rubens José Guimarães.

Coorientador: Douglas Ramos Guelfi Silva.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Adubação nitrogenada. 2. Volatilização de amônia. 3. Polímeros.  
I. Guimarães, Rubens José. II. Silva, Douglas Ramos Guelfi. III.  
Título.

**TAINAH FREITAS**

**FERTILIZANTES NITROGENADOS CONVENCIONAIS, ESTABILIZADOS, DE  
LIBERAÇÃO LENTA OU CONTROLADA NA CULTURA DO CAFEEIRO:  
EFICIÊNCIA E CUSTOS**

***CONVENTIONAL, STABILIZED, SLOW- OR CONTROLLED-RELEASE  
NITROGEN FERTILIZERS IN COFFEE CULTIVATION: EFFICIENCY AND COSTS***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 25 de abril de 2017.

Prof. Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva	UFLA
Prof. Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes	UFLA
Dra. Milene Alves de Figueiredo Carvalho	EMBRAPA CAFÉ
Prof. Dra. Danielle Pereira Baliza	IFSULDESTE MG

Prof. Dr. Rubens José Guimarães  
Orientador

**LAVRAS - MG**

**2017**

Aos meus pais, Marcos Antonio de Freitas e Liliane Pereira e Freitas, e à minha irmã, Maeve Freitas, que nunca mediram esforços para me ajudar a alcançar meus sonhos;

**DEDICO.**

A todos os cafeicultores do Brasil, que cultivam com arte e amor a cultura do cafeeiro.

**OFEREÇO.**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por fazer de meus sonhos Seus planos;

À minha família, pelo apoio incondicional nesta caminhada;

À Universidade Federal de Lavras que me proporcionou um ensino de qualidade para minha formação;

Ao Departamento de Agricultura, ao Setor de Cafeicultura, à INOVACAFÉ e à parceria do Departamento de Ciência do Solo da UFLA (DCS), por todo apoio à concretização deste trabalho;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado;

Ao NECAF, pelo engrandecimento pessoal e profissional;

Ao professor Dr. Rubens José Guimarães e ao professor Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva, pela orientação e coorientação neste trabalho e pelos ensinamentos que não se encontram em livros;

À pesquisadora da Embrapa Café Dra. Milene Alves de Figueiredo Carvalho, pelo apoio constante e conhecimentos passados;

Ao Anderson Dominghetti, por toda atenção e auxílio indispensáveis para realização deste trabalho;

À Poly, à Anny, à Fernanda, ao Ricardo, ao Murillo e ao Ivens, por todo tempo dedicado a este trabalho e pela amizade;

Ao laboratorista do Departamento de Ciência de Solo, Adalberto, pelos auxílios nas análises, por todo aprendizado durante este tempo e pela amizade;

Aos amigos do Setor de Cafeicultura, José Maurício, Alexandre e Filipe, pelo auxílio nos trabalhos de campo e condução do experimento;

A meu namorado Estevam por toda ajuda, incentivo, amor e compreensão;

A todos que de alguma forma ajudaram na realização desse trabalho,

**MUITO OBRIGADO!**

*A esperança tem duas filhas lindas: a indignação e a coragem. A indignação nos ensina a não aceitar as coisas como estão; a coragem, a mudá-las.*

**Santo Agostinho**

## RESUMO

A adubação nitrogenada tem impacto econômico e ambiental direto no manejo da fertilidade do solo em plantações de café. A aplicação de ureia sobre a superfície dos solos pode resultar em perdas substanciais de nitrogênio por volatilização, lixiviação e desnitrificação, fazendo com que o aproveitamento e a recuperação deste nutriente sejam baixos. Com esse estudo, objetivou-se avaliar a eficiência, influência e custos dos fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação lenta e de liberação controlada em lavoura cafeeira em Lavras - MG. O delineamento experimental utilizado foi de blocos completamente casualizados, com três repetições. Os tratamentos foram divididos em dois grupos: Grupo 1, dos fertilizantes convencionais e estabilizados: Ureia convencional, Ureia dissolvida em água, Sulfato de amônio, Nitrato de amônio, Ureia + Cu + B, Ureia + polímero aniônico e Ureia + NBPT; Grupo 2, dos fertilizantes de liberação lenta ou controlada: Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros, Ureia + resina plástica, Ureia formaldeído e Ureia + polímero insolúvel em água. As adubações nitrogenadas foram feitas de maneira diferente entre os grupos dos tratamentos. Para o Grupo 1, o fornecimento de N foi feito em 3 adubações em intervalos de aproximadamente 60 dias, de novembro a março, cada uma na dose de 100 kg de N por hectare. Para o Grupo 2, fez-se somente uma adubação, conforme recomendação dos fabricantes, de 300 kg ha<sup>-1</sup>, juntamente a primeira adubação do Grupo 1. As características avaliadas foram: volatilização de amônia, pH superficial do solo, teores foliares de N, S e Cu, produtividade estimada e custo de produção. Os fertilizantes que apresentaram maiores perdas de nitrogênio por volatilização de amônia foram a Ureia + polímero aniônico (24,89%) e a Ureia convencional (22,98%). Os que tiveram menores perdas foram: Ureia formaldeído (0,46%), Sulfato de amônio (0,23%) e Nitrato de amônio (0,18%). O pH do solo na camada de 0 a 5 cm diminuiu após as adubações. As médias finais de pH do solo de cada fertilizante não diferiram entre si. A Ureia + polímero aniônico foi o fertilizante que mais acidificou o solo ao longo do experimento. Não houve relação entre as maiores perdas com a nutrição foliar por nitrogênio. Os teores foliares de N e S não variaram entre os fertilizantes após as adubações. Já os teores foliares de Cu variaram. A Ureia + S<sup>0</sup> + polímero proporcionou maior produtividade (48,27 sacas ha<sup>-1</sup>). O fertilizante que apresentou menor custo operacional total por hectare foi a Ureia + Cu + B (R\$ 11.018,68), enquanto que a Ureia + resina plástica obteve o maior (R\$ 16.358,05). O maior lucro bruto por hectare foi obtido pelos fertilizantes Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros (RS 10.743,76) e Ureia + NBPT (RS 9.784,61).

**Palavras-chave:** Adubação nitrogenada. Volatilização de amônia. Polímeros. Produtividade.

## ABSTRACT

Nitrogen fertilization has a direct economic and environmental impact in the management of soil fertility in coffee plantations. The application of urea on the soil surface can result in substantial losses of nitrogen by volatilization, leaching and denitrification, causing the low utilization and recovery of this nutrient. The purpose of this study was to evaluate the efficiency, influence and costs of conventional nitrogen fertilizers, stabilized, with a slow release and a controlled release in coffee plantations in Lavras – MG – Brazil. The experimental design used was with completely randomized blocks with three replicates. The treatments were divided into two groups: Group 1, of conventional and stabilized fertilizers: Conventional urea, Urea dissolved in water, Ammonium sulfate, Ammonium nitrate, Urea + Cu + B, Urea + anionic polymer and Urea + NBPT; Group 2 of the slow or controlled release fertilizers: Urea + S 0 + polymers, Urea + plastic resin, Urea formaldehyde and Urea + water insoluble polymer. Nitrogen fertilizations were done differently among the treatment groups. For Group 1, the N supply was made in 3 fertilizations at intervals of approximately 60 days, from November to March, each at a dose of 100 kg N per hectare. For Group 2, only one fertilization was done, according to the manufacturers' recommendations, of 300 kg ha<sup>-1</sup>, together with the first fertilization of Group 1. The evaluated characteristics were: volatilization of ammonia, superficial pH of soil, leaf N, S and Cu contents, estimated productivity and production cost. The fertilizers that presented higher losses of nitrogen by ammonia volatilization were Urea + anionic polymer (24.89%) and conventional Urea (22.98%). Those ones with the lowest losses were: Urea formaldehyde (0.46%), Ammonium sulphate (0.23%) and Ammonium nitrate (0.18%). The soil pH in the 0 to 5 cm layer decreases after fertilization. The final soil pH means of each fertilizer did not differ from each other. Urea + anionic polymer was the fertilizer that more acidified the soil throughout the experiment. There was no correlation between the highest losses with leaf nutrition by nitrogen. N and S leaf contents did not vary among fertilizers after the fertilizations. Cu leaf contents varied. Urea + S 0 + polymer provided higher productivity (48.27 bags ha<sup>-1</sup>). The fertilizer that presented the lowest total operating cost per hectare was Urea + Cu + B (R\$ 11,018.68), while Urea + plastic resin obtained the highest one (R\$ 16,358.05). The highest gross profit per hectare was obtained by the fertilizers Urea + S 0 + polymers (R\$ 10,743,76) and Urea + NBPT (R\$ 9,784,61).

**Keywords:** Nitrogen fertilization. Ammonia volatilization. Polymers. Productivity.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do coletor de amônia.....	33
Figura 2 - Perdas diárias de amônia por volatilização ocorridas após a primeira adubação nitrogenada dos fertilizantes convencionais e estabilizados.....	40
Figura 3 - Precipitações, temperaturas e umidades relativas do ar diárias após a primeira adubação nitrogenada dos fertilizantes convencionais e estabilizados. ....	40
Figura 4 - Perdas diárias de amônia por volatilização ocorridas após a segunda adubação nitrogenada dos fertilizantes convencionais e estabilizados. ....	43
Figura 5 - Precipitações, temperaturas e umidades relativas do ar diárias após a segunda adubação nitrogenada dos fertilizantes convencionais e estabilizados.....	43
Figura 6 - Perdas diárias de amônia por volatilização ocorridas após a terceira adubação nitrogenada dos fertilizantes convencionais e estabilizados. ....	45
Figura 7 - Precipitações, temperaturas e umidades relativas do ar diárias após a terceira adubação nitrogenada dos fertilizantes convencionais e estabilizados.....	45
Figura 8 - Perdas diárias de amônia ocorridas após a adubação nitrogenada dos fertilizantes de liberação lenta ou controlada. ....	49
Figura 9 - Precipitações, temperaturas e umidades relativas do ar diárias após a adubação nitrogenada dos fertilizantes de liberação lenta ou controlada .....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química e física do solo da área experimental (0-20 cm) antes da aplicação dos tratamentos no ano de 2015.....	29
Tabela 2 - Perdas acumuladas de amônia (% do nitrogênio aplicado) para os fertilizantes convencionais e estabilizados.....	47
Tabela 3 - Perdas acumuladas de amônia (% do nitrogênio aplicado) para os fertilizantes de liberação lenta ou controlada <sup>(1)</sup> .....	52
Tabela 4 - Perdas acumuladas de amônia para os fertilizantes nitrogenados convencionais <sup>(1)</sup> , estabilizados <sup>(1)</sup> , de liberação lenta <sup>(2)</sup> ou controlada <sup>(2)</sup> aplicados no cafeeiro.....	53
Tabela 5 - Variações no pH do solo na camada de 0 a 5cm durante a condução do experimento. ....	59
Tabela 6 - Teores foliares de nitrogênio ( $\text{g kg}^{-1}$ ) durante a condução do experimento.....	62
Tabela 7 - Teores foliares de enxofre ( $\text{g kg}^{-1}$ ) durante a condução do experimento.....	64
Tabela 8 - Teores foliares de cobre ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) durante a condução do experimento. ....	65
Tabela 9 - Produtividade estimada (sacas $60 \text{ kg ha}^{-1}$ ) obtida nos tratamentos em 2017. ....	67
Tabela 10 - Quantidade de N efetivamente aproveitado, relação entre a produtividade dos tratamentos (kg) e a quantidade de N (kg) efetivamente utilizada e quantidade de N utilizada para produzir uma saca de café beneficiado. ....	68
Tabela 11 - Custos com operações (manuais e mecanizadas) para implantação da lavoura considerando uma área de 1 hectare na região de Lavras-MG. ....	70
Tabela 12 - Custos com insumos para a implantação da lavoura considerando uma área de 1 hectare na região de Lavras-MG. ....	71
Tabela 13 - Custos com operações (manuais e mecanizadas) para condução de 6 a 18 meses da lavoura considerando uma área de 1 hectare na região de Lavras-MG. ....	71
Tabela 14 - Custos com insumos para condução da lavoura de 6 a 18 meses considerando uma área de 1 hectare na região de Lavras-MG.....	72
Tabela 15 - Resumo dos custos para implantação, condução de 6 a 18 meses e depreciação da lavoura considerando uma área de 1 hectare na região de Lavras-MG. ....	72

Tabela 16 - Custos com operações (manuais e mecanizadas) para produção da lavoura considerando uma área de 1 hectare na região de Lavras-MG para os tratamentos dos fertilizantes parcelados.....	73
Tabela 17 - Custos com operações (manuais e mecanizadas) para produção da lavoura considerando uma área de 1 hectare na região de Lavras-MG para os tratamentos dos fertilizantes aplicados em dose única.....	74
Tabela 18 - Custos com insumos para condução da lavoura em produção considerando uma área de 1 hectare na região de Lavras-MG. ....	75
Tabela 19 - Custos com fertilizantes nitrogenados para condução da lavoura em produção considerando uma área de 1 hectare na região de Lavras-MG. ....	75
Tabela 20 - Custos para colheita e processos pós-colheita do café considerando uma lavoura de 1 hectare na região de Lavras-MG.....	76
Tabela 21 - Custos operacional efetivo (COE) dos tratamentos para condução da lavoura em produção considerando uma área de 1 hectare na região de Lavras-MG. ....	76
Tabela 22 - Custos operacional total (COT), saldo e lucro bruto dos tratamentos para condução da lavoura em produção considerando uma área de 1 hectare na região de Lavras-MG. ....	77
Tabela 23 - Razão entre o Custo Operacional Total (R\$) e a produtividade de café (sacas ha <sup>-1</sup> ). ....	78
Tabela 24 - Porcentagem de nitrogênio efetivo contido em cada fertilizante e preços por quilo de nitrogênio de cada tratamento sem perdas e com perdas por volatilização.....	79
Tabela 25 - Comparativo de diferenças em produtividade (sacas ha <sup>-1</sup> ) e rendimentos financeiros obtidos pelos fertilizantes em relação à utilização da ureia em lavoura em produção considerando uma área de 1 hectare na região de Lavras-MG. ....	80

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	15
2.1	Adubação nitrogenada do cafeeiro .....	15
2.2	Perdas de nitrogênio .....	17
2.3	Fertilizantes de eficiência aumentada .....	19
2.4	Eficiência de fertilizantes e custo de produção .....	25
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	28
3.1	Caracterização da área experimental .....	28
3.2	Condução do experimento .....	29
3.3	Tratamentos .....	30
3.4	Adubações NPK .....	32
3.5	Características avaliadas .....	32
3.5.1	Volatilização de amônia .....	32
3.5.2	pH superficial do solo e teores foliares de nutrientes .....	34
3.5.3	Produtividade .....	35
3.5.4	Custo de produção .....	36
3.6	Análises estatísticas dos dados .....	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	39
4.1	Volatilização de amônia .....	39
4.2	pH do solo .....	58
4.3	Teores foliares de nutrientes .....	62
4.4	Produtividade .....	66
4.5	Custo de produção .....	70
5	CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	82
6	CONCLUSÃO .....	83
	REFERÊNCIAS .....	84

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil e em todo o mundo, a produtividade das culturas agrícolas vem crescendo devido ao desenvolvimento e uso de novas tecnologias. Na cafeicultura, o aumento de produtividade média brasileira nos últimos 20 anos foi de mais de 20 sacas por hectare (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB, 2017a; MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2016a). Esse aumento de produtividade aconteceu especialmente pelo melhor manejo do solo e da adubação, uso de genótipos melhorados e controle mais eficiente de pragas e de doenças.

Visando atender essa demanda produtiva, há a necessidade de um maior consumo de fertilizantes, fato comprovado pelo aumento de 22,4 milhões de toneladas de fertilizantes entregues ao consumidor em 2008 para 34,1 milhões de toneladas em 2016 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB, 2017b).

O nitrogênio (N) é o nutriente mais exigido pelo cafeeiro, podendo sua recomendação chegar até 450 kg ha<sup>-1</sup> para plantas em produção (GUERREIRO FILHO et al., 2014; GUIMARÃES et al., 1999). Sendo assim, há um grande consumo de adubos nitrogenados pelos cafeicultores. É estimado um consumo médio de 6,2 kg de N para cada saca de 60 kg de café beneficiado produzido (MATIELO et al., 2010).

A principal fonte de N utilizada no mundo para a agricultura é a ureia, representando 57,6% do consumo mundial de fertilizantes nitrogenados em 2014 (INTERNATIONAL FERTILIZER ASSOCIATION-IFA, 2017). Esse fertilizante possui alta concentração e baixo custo por unidade de N. No entanto, a aplicação de ureia sobre a superfície dos solos pode resultar em perdas substanciais de N por volatilização, lixiviação e desnitrificação, fazendo com que o aproveitamento e a recuperação deste nutriente sejam baixos. Em cafeeiros, alguns trabalhos relatam perdas de N por volatilização de 11,44 até 31,20% (CHAGAS et al., 2016; DOMINGHETTI et al., 2016; FENILLI et al., 2007; SOUZA, 2012).

Novas tecnologias têm sido desenvolvidas, buscando aumentar a eficiência do uso de nitrogênio na agricultura, como fertilizantes nitrogenados de baixa solubilidade, de liberação lenta ou controlada, ou estabilizados com inibidores capazes de minimizar as perdas de N para o ambiente. Eles são classificados como “Fertilizantes de Eficiência Aumentada” (HALL, 2005).

Eles podem ser divididos em três categorias: estabilizados, de liberação controlada e de liberação lenta (SHAVIV, 2005; TRENKEL, 2010). Os fertilizantes nitrogenados estabilizados são aqueles em que é adicionado algum aditivo capaz de inibir a transformação

do nitrogênio em alguma forma não desejável. Os de liberação controlada são fertilizantes solúveis convencionais rapidamente disponibilizados para o solo, como a ureia, que são revestidos ou encapsulados por materiais orgânicos ou inorgânicos capazes de controlar a liberação do nitrogênio. Já os fertilizantes de liberação lenta são definidos como aqueles que, após a sua aplicação, são capazes de retardar a disponibilidade de absorção e uso do nutriente pelas plantas, ou que consigam estender sua disponibilidade à planta por mais tempo do que os convencionais.

Os principais objetivos destes fertilizantes são: diminuir as perdas de nutrientes no sistema solo-planta-atmosfera e melhor disponibilizá-los, de forma ajustada, às necessidades das plantas. Sendo assim, eles podem aumentar a eficiência do uso de N pelas plantas e minimizar impactos ambientais causados pela adubação nitrogenada convencional, reduzindo, por exemplo, a lixiviação do nitrato para as camadas mais profundas do solo, evitando que este atinja o lençol freático e contamine a água, e diminuindo a emissão de gases causadores do efeito estufa para a atmosfera, como dióxido de carbono e óxido nitroso.

Com esses benefícios, o cafeicultor pode ter um uso mais racional do fertilizante nitrogenado, de modo que produza com eficiência, aumentando a produtividade e reduzindo os custos. No entanto, fertilizantes com essas tecnologias são geralmente caros, mas, por outro lado, podem aumentar a produtividade devido ao maior aproveitamento de N. Sendo assim, deve-se escolher com cuidado os insumos adequados que proporcione menor custo por unidade de N efetivamente utilizada e melhor relação custo/benefício.

Diante disso, objetivou-se com este trabalho avaliar a eficiência e os custos de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação lenta e de liberação controlada na cultura do cafeeiro.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Adubação nitrogenada do cafeeiro

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café (INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION-ICO, 2017), com produção na safra 2016 de aproximadamente 51,4 milhões de sacas de 60 quilos de café beneficiado, sendo 43,4 milhões de café arábica (*Coffea arabica* L.) e 8,0 milhões de café robusta (*Coffea canephora* Pierre) (CONAB, 2017a).

A produtividade das culturas agrícolas vem crescendo em todo o mundo devido ao desenvolvimento e uso de novas tecnologias. O aumento de produtividade média na cafeicultura brasileira nos últimos anos foi significativo, passando de 8,0 sacas por hectare em 1997 (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2016a), para 28,43 sacas por hectare na safra de 2016-2017 (CONAB, 2017a).

Esse incremento de produtividade acontece especialmente devido ao melhor manejo do solo e da adubação, uso de genótipos melhorados e do controle mais eficiente de pragas e de doenças. Visando atender essa demanda produtiva, há a necessidade de um maior consumo de fertilizantes, fato comprovado pelo aumento de 22,4 milhões de toneladas de fertilizantes entregues ao consumidor em 2008 para 34,1 milhões de toneladas em 2016 no Brasil (CONAB, 2017b). Já na cafeicultura brasileira, houve um aumento do consumo de nitrogênio de 261.979 toneladas (CUNHA; CASARIN; PROCHNOW, 2010) para um valor médio anual de 359.332 toneladas no período de 2009 a 2012 (CUNHA et al., 2014).

O cafeeiro é uma das culturas mais exigentes em nitrogênio (MALAVOLTA, 1993; RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVARES, 1999), sendo que a recomendação deste nutriente pode variar de 50 a 450 kg ha<sup>-1</sup> para cafeeiros em produção, de acordo com a produtividade esperada da lavoura (GUERREIRO FILHO et al., 2014; GUIMARÃES et al., 1999). As adubações devem ser realizadas no período chuvoso, de setembro a março, compreendendo as fases de floração, frutificação e desenvolvimento vegetativo (RENA; MAESTRI, 1987). Matiello et al. (2010) estimam que para cada saca de 60kg de café produzida há um consumo médio de 6,2 kg, valor este que pode variar em função de fatores edafoclimáticos de cultivo.

A adequada adubação nitrogenada promove o rápido crescimento com folhas novas verdes e brilhantes, estimula a formação e o desenvolvimento de gemas floríferas e frutíferas, além de fazer parte da composição estrutural de aminoácidos, proteínas, enzimas, vitaminas, pigmentos, entre outros produtos (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Também proporciona aumento da ramificação dos ramos plagiotrópicos, maior área foliar, maior

produção de amido e outros carboidratos indispensáveis para formação e crescimento dos frutos (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

Devido ao N ser constituinte de muitos componentes da célula vegetal, como aminoácidos e ácidos nucleicos, sua deficiência inibe o crescimento vegetal, provocando clorose nas folhas mais velhas, que, posteriormente, podem entrar em senescência (TAIZ; ZAIGER, 2004). Além disso, é possível que ocorra um pronunciamento delgado dos caules e que estes fiquem lenhosos devido ao acúmulo de carboidratos em excesso, por não serem usados no metabolismo do nitrogênio (TAIZ; ZAIGER, 2004).

O nitrogênio no cafeeiro é imobilizado em ritmo diferente na floração e nas fases do chumbinho, de granação e de maturação (MALAVOLTA, 1986). Uma planta de café com mais de três anos de idade retira mensalmente do solo quantidades diferentes de nitrogênio, variando de 3,0 a 3,5 kg de N ha<sup>-1</sup> nos meses de dezembro a março e 2,0 kg de N ha<sup>-1</sup> nos demais meses, sendo essas quantidades presentes nas partes vegetativas (KÜPPER, 1976). Sendo assim, a adubação nitrogenada deve ter uma distribuição parcelada, visando fornecer o nutriente de maneira suficiente durante todo período vegetativo e de frutificação, atentando-se para não haver excesso nem falta de N nessas fases.

O nitrogênio é fornecido para as plantas essencialmente pela matéria orgânica do solo (MO) e por fertilizantes nitrogenados. O grande estoque de N no solo é a matéria orgânica, que normalmente representa 95% do nitrogênio total; entretanto, na forma orgânica ele não é diretamente aproveitado pelas plantas, devendo ser mineralizado para produzir NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (amônio), o qual pode ser posteriormente nitrificado, gerando NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (nitrato), ambos íons disponíveis para as plantas (CANTARELLA; MONTEZANO, 2010). Além disso, o processo de mineralização é afetado por condições de clima e solo e não consegue suprir toda quantidade de N requerida pela planta em cultivos comerciais (MALAVOLTA, 1986). Visando atender essa demanda, utilizam-se os fertilizantes nitrogenados.

Em 2014, a ureia representou 57,6% do consumo mundial de fertilizantes nitrogenados e 54,6% no Brasil (IFA, 2017). Esse fertilizante possui alta concentração e baixo custo por unidade de N, fatores esses que reduzem custos, principalmente com o frete. No entanto, a aplicação da ureia sobre a superfície do solo resulta em perdas de nitrogênio por volatilização, fazendo com que o aproveitamento e a recuperação deste nutriente sejam baixos (CABEZAS; SOUZA, 2008; ROCHETTE et al., 2013; ROS; AITA; GIACOMINI, 2005; TASCIA et al., 2011). Normalmente mais de 50% do N aplicado não é absorvido pela cultura

(BORTOLOTTI, 2011; BUSTAMANTE; OCHOA; RODRIGUEZ, 1997; PEDROSA, 2013).

## 2.2 Perdas de nitrogênio

Dentre todos os nutrientes, o nitrogênio é o que apresenta maiores interações com o ambiente, devido às inúmeras reações que ocorrem no solo, nas quais está sujeito a diversos processos de perdas. Estas perdas podem ocorrer por lixiviação ( $\text{NO}_3^-$ ), desnitrificação ( $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{N}_2$ ) e volatilização ( $\text{NH}_3$ ).

O nitrogênio está presente no sistema solo-planta em ampla diversidade de formas químicas. Os fertilizantes nitrogenados mais comuns presentes no mercado possuem nitrogênio solúvel nas formas amídica (ureia), amoniacal ou nítrica. Já o N disponível na MO deve ser mineralizado para produzir  $\text{NH}_4^+$ , que em condições aeróbias específicas é nitrificado por um grupo de bactérias, formando  $\text{NO}_2^-$  (nitrito) e, posteriormente,  $\text{NO}_3^-$ , sendo esta reação afetada por atividade microbiana, temperatura, pH, umidade, entre outros fatores (CANTARELLA; MONTEZANO, 2010).

O  $\text{NO}_3^-$ , por ter carga negativa, é pouco retido no solo, estando sujeito a perdas por lixiviação. A lixiviação representa em média 10 a 30% das perdas do nitrogênio adicionado ao solo (MEISINGER; CALDERÓN; JENKINSON, 2008). Cantarella (2007), observando diversos experimentos com medição de lixiviação de nitrato no Brasil, verificou que as perdas por este processo têm sido pequenas, provavelmente pelas doses de N usadas no Brasil serem relativamente baixas e a adubação nitrogenada ser parcelada.

A adsorção de nitrato no solo é apenas eletrostática, dependendo exclusivamente do balanço de cargas do solo, podendo ser adsorvidos somente por superfícies carregadas positivamente (POZZA et al., 2009). Em solos de regiões tropicais úmidas, com menores teores de matéria orgânica e estágio de intemperismo-lixiviação mais avançado que em solos de regiões temperadas, a presença de cargas positivas tende a ser maior, portanto a lixiviação de nitrato é dificultada, embora não totalmente impedida (ARAÚJO et al., 2004; POZZA et al., 2009)

O processo de desnitrificação ocorre em condições de anaerobiose (solos inundados ou com acúmulo de água), ou seja, na ausência de  $\text{O}_2$ . Nessa situação, o  $\text{NO}_3^-$  funciona como receptor de elétrons na respiração de micro-organismos do solo, podendo ser convertido pelo processo de desnitrificação a formas voláteis:  $\text{N}_2$ , principalmente, ou  $\text{N}_2\text{O}$  (óxido nitroso), que se perdem na atmosfera (CANTARELLA; MONTEZANO, 2010). As perdas por esse

processo quantificam 5 a 25% do N adicionado ao solo (MEISINGER; CALDERÓN; JENKINSON, 2008).

O  $\text{NO}_3^-$  disponibilizado pela MO e os fertilizantes de fontes nítricas, como o nitrato de amônio, estão sujeitos a esses dois tipos de perda. Já o  $\text{NH}_4^+$  oriundo da MO e as fontes amídicas (ureia) e amoniacais (como o sulfato de amônio e nitrato de amônio) estão sujeitos a perda por volatilização de amônia, como será explicado a seguir. Em café, alguns trabalhos relatam perdas de 11,44, podendo chegar até 31,20% (CHAGAS et al., 2016; DOMINGHETTI et al., 2016; FENILLI et al., 2007; SOUZA, 2012).

As perdas de  $\text{NH}_3$  por volatilização na agricultura ocorrem devido a diversos fatores, sendo os principais: pH do solo, capacidade de troca catiônica (CTC), cobertura do solo, atividade da urease (enzima responsável pela hidrólise da molécula de ureia), temperatura ambiente, umidade do solo no momento da adubação, volume de chuvas após adubação, matéria orgânica do solo (CORSI, 1994; NÔMMIK, 1973; SANGOI et al., 2003; TASCA et al., 2011; TISDALE; NELSON; BEATON, 1985).

Após a aplicação da ureia ao solo, ocorrem as seguintes reações:



Na reação 1, a ureia [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ] é hidrolisada pela enzima urease, formando carbamato de amônio [ $\text{NH}_2\text{COONH}_4$ ]. Em seguida, em meio aquoso, ocorre a reação 2, na qual o carbamato de amônio se transforma em carbonato de amônio [ $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ], que é instável em meio ácido, portanto, na presença de prótons ( $\text{H}^+$ ) livres, ele se decompõe rapidamente, produzindo amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) (reação 3), o que implica elevação do pH ao redor dos grânulos do fertilizante (ERNANI; BAYER; STECKLING, 2001; LADHA et al., 2005; MIKKELSEN, 2009; ROCHETTE et al., 2009a; TASCA et al., 2011, TRENKEL, 2010).

Na reação 4, uma molécula de amônio reage com uma hidroxila ( $\text{OH}^-$ ), formando amônia ( $\text{NH}_3$ ), que é volátil, sendo facilmente perdida para a atmosfera. Em um pH de 9,3,

metade das moléculas se transformam em  $\text{NH}_3$  (STEVENSON, 2008). O  $\text{CO}_2$  formado como produto da Reação 3 estará dissolvido em solução, elevando a pressão parcial desse gás. Esse aumento faz com que parte do  $\text{CO}_2$  se transforme ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) (Reação 5). Esse ácido carbônico é dissociado, liberando um próton (Reação 6), reduzindo o pH até que os processos se equilibrem.

Portanto, o pH altera o equilíbrio de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NH}_3$  na solução do solo, sendo que seu aumento eleva a concentração relativa de amônia e seu potencial de volatilização (TRIVELIN; CABEZAS; BOARETTO, 1994). Sendo assim, adubos contendo nitrogênio amoniacal não devem ser aplicados em superfície de solos com pH em torno ou acima de 7, uma vez que ele se transformará em  $\text{NH}_3$  na presença de hidroxilas, estando sujeita a perdas por volatilização, acontecendo da mesma maneira que a reação 4 da hidrólise da ureia.

Com relação às condições climáticas, a temperatura e a precipitação pluviométrica (quantidade e momento em que ocorrem após a aplicação do fertilizante) são consideradas as principais variáveis que atuam sobre as perdas de  $\text{NH}_3$  (LIGTHNER; MENGEL; RHYKERD, 1990). Aumento nas temperaturas acelera o processo de hidrólise da ureia, necessitando valores menores de pH, para formação de  $\text{NH}_3$  durante as reações (CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT, 2010; TISDALE; NELSON; BEATON, 1985).

Já as chuvas, proporcionam o movimento do adubo para camadas mais profundas do solo, reduzindo a volatilização de amônia. Se chover pouco, pode ocorrer hidrólise e dissolução do adubo, sem que ele desça no perfil do solo por não haver água suficiente para isso, potencializando as perdas de amônia (FRENEY et al., 1991).

Além disso, se o solo estiver úmido no momento da aplicação e não ocorrerem precipitações subsequentes, as perdas por volatilização podem ser intensificadas. Precipitações ocorridas somente antes da adubação nitrogenada podem favorecer maiores perdas de amônia, uma vez que a palhada em superfície fica úmida no momento da aplicação e não há posterior incorporação do adubo (COSTA; VITTI; CANTARELLA, 2003). A ureia aplicada em solo úmido, solo saturado ou sobre lâmina de água sofre perdas maiores do que a ureia aplicada em solo seco (DUARTE et al., 2007).

### **2.3 Fertilizantes de eficiência aumentada**

Visando aumentar a eficiência do uso de nitrogênio na agricultura, novas tecnologias têm sido desenvolvidas, como fertilizantes nitrogenados de baixa solubilidade (de liberação lenta ou controlada), ou aditivados (estabilizados) com inibidores capazes de minimizar as perdas de N. Essas classes de fertilizantes são classificadas como “Fertilizantes de Eficiência

Aumentada” (HALL, 2005), que podem ser divididos em três categorias: estabilizados, de liberação controlada e de liberação lenta. Os principais objetivos destes fertilizantes são diminuir as perdas de nutrientes no sistema solo-planta-atmosfera e melhor disponibilizá-los, de forma ajustada, às necessidades das plantas (SHAVIV, 2005; TRENKEL, 2010).

Segundo a Association of American Plant Food Control Officials (AAPFCO, 1997), fertilizantes nitrogenados estabilizados são aqueles em que é adicionado algum aditivo capaz de inibir a transformação do nitrogênio em alguma forma não desejável. Estes aditivos, também chamados de estabilizantes, são substâncias que aumentam o tempo em que o nitrogênio permanece em uma determinada espécie, seja ela ureia ou amônio (TRENKEL, 2010). O mesmo autor divide os fertilizantes estabilizados em duas classes: inibidores da nitrificação (substância que inibe a oxidação biológica do nitrogênio de amônio a nitrato) e inibidores da urease (substância que inibe a atividade da enzima urease, retardando o processo de hidrólise da ureia, em condições adversas de clima, reduzindo a volatilização de amônia).

O desenvolvimento de fertilizantes nitrogenados com estes aditivos é demorado e caro, pois eles apresentam características especiais como: não ter efeitos colaterais desfavoráveis na fertilidade do solo; não são tóxicos para o solo, plantas, animais e seres humanos; o processo de registro é demorado; se enquadram nos sistemas de produção dos produtores por serem ambientalmente corretos; mas podem até ser economicamente viáveis por diminuir as perdas (TRENKEL, 2010).

Os inibidores da nitrificação bloqueiam a ação de bactérias do gênero *Nitrosomonas* na oxidação do  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$ , visando manter o N na forma amoniacal por mais tempo e, assim, reduzir perdas por desnitrificação e por lixiviação de nitrato (CANTARELLA; MONTEZANO, 2010). Alguns exemplos de inibidores da nitrificação são: nitrapirina, dicianodiamida (DCD) e fosfato de 3,4-dimetilpirazol (DMPP) (FRYE, 2005; RUSER; SCHULZ, 2015; SUBBARAO et al., 2006).

O uso de fertilizantes nitrogenados estabilizados contendo inibidores da urease tem aumentado nos últimos anos, uma vez que a ureia é o fertilizante nitrogenado sólido mais importante no mercado mundial e há chance de ocorrer grandes perdas de  $\text{NH}_3$  quando este fertilizante é aplicado na superfície dos solos (CANTARELLA; MONTEZANO, 2010).

Upadhyay (2012) ao fazer uma revisão sobre inibidores da urease classificou-os amplamente em duas categorias: Estruturas análogas de substrato (hidroxiureia e ácido hidroxâmico); e Inibidores que afetam o mecanismo de reação da urease (fosfodiamidatos). Já por estrutura química, a autora os dividiu em quatro grupos principais. O primeiro grupo é

formado por compostos tiólicos, uma vez que os ânions tiolato reagem diretamente com o metalocentro da urease. O segundo grupo é de ácido hidroxâmico e seus derivados, que competem com a ureia pela ligação com o sítio ativo da urease. O terceiro inclui os fosforodiamidatos (organofosforados), que são os inibidores mais eficazes capazes de bloquear o local ativo da enzima (WATSON, 2005). O quarto grupo é composto por moléculas que reagem com o átomo de níquel. Elas exibem atividade inibidora moderada, inativam o sítio ativo da urease e adicionam moléculas que reagem com o níquel presente na urease, inativando-a (KRAJEWSKA; ZABORSKA; CHUDY, 2004).

A triamida N- (n-butil) tiofosfórica (NBPT), o fenilfosforodiamidato (PPD / PPDA) e a hidroquinona são provavelmente os inibidores da urease mais estudados (KISS; SIMIHAIAN, 2002). O NBPT tem se mostrado o mais eficiente inibidor da urease (CHIEN; PROCHNOW; CANTARELLA, 2009). Quando em contato com o solo, o NBPT decompõe rapidamente a NBPTO (N-(n-butil) fosfórico triamida), tornando-se, assim, capaz de inativar a urease pela substituição das moléculas da água próximas ao seu sítio ativo, ligando-se aos átomos de níquel (KRAJEWSKA, 2009).

O NBPT pode inibir a hidrólise da ureia por períodos de 7 a 14 dias dependendo dos atributos do solo, tais como pH, umidade inicial, temperatura e outras condições ambientais (DAWAR et al., 2011; HENDRICKSON; DOUGLASS, 1993; SANZ-COBENA et al., 2008). Porém, quando as condições são adequadas para a rápida hidrólise da ureia (alta umidade e temperatura), a duração da atividade do NBPT é menor (DAWAR et al., 2011). Tasca et al. (2011) verificaram que esse período foi de dois dias apenas em condições laboratoriais, o que poderia inviabilizar sua utilização como protetivo.

Em lavoura comercial de café em condição de sequeiro, a ureia com NBPT pode minimizar 70-85% das perdas de N por volatilização de amônia quando comparada a ureia convencional (DOMINGHETTI et al., 2016; SOUZA, 2012). O uso de ureia com NBPT em mudas de cafeeiros conduzidas em vasos permite maior aproveitamento do N, com ganho de 18% na produção de matéria seca das plantas e de 32% no N absorvido por elas (GARCIA et al., 2011).

Em cana-de-açúcar, Cantarella et al. (2002) registraram reduções de perda de 50% de amônia pelo uso de NBPT quando comparados à ureia convencional. Entretanto, a ureia com NBPT não aumentou o rendimento de colmos. Portanto, não se pode afirmar que a diminuição das perdas será convertida em produção, pois os efeitos proporcionados pelo uso do NBPT variam em função de fatores diversos (DAWAR et al., 2011; SANZ-COBENA et al., 2008).

Ainda dentre os fertilizantes estabilizados, há aqueles revestidos por cobre e boro. Segundo a patente brasileira PI 0700921-6 A (HERINGER, 2008), relacionada ao processo de produção da ureia recoberta com Cu e B, o fertilizante a que se refere consiste em grânulos de ureia revestidos uniformemente com ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) e sulfato de cobre ( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ), capaz de reduzir a perda de nitrogênio volatilizado da ureia na forma de amônia ( $NH_3$ ), devido sua ação inibitória da urease. O revestimento da ureia por Cu e B pode diminuir aproximadamente 50% das perdas por volatilização de amônia, quando comparadas à ureia convencional (DOMINGHETTI et al., 2016).

O ácido bórico, devido sua conformação semelhante à da ureia, atua como inibidor competitivo da urease pelo mesmo sitio ativo do substrato (ureia) (BENINI et al., 2004). Já o sulfato de cobre atua reduzindo a atividade da urease no solo, uma vez que o Cu afeta a afinidade entre a urease e a ureia. O Cu afeta levemente a afinidade entre a urease do solo e o substrato (ureia); ou seja, ele não altera a configuração da urease no solo (LIJUN; YANG; YANGYE, 2009). Portanto, a diminuição da atividade da urease no solo pode ser ocasionada pela dissociação dos compostos ureia-urease (DALAL, 1985), indicando que o mecanismo de reação entre o Cu e a urease do solo é caracterizado por ser uma inibição competitiva não reversível. A inibição ocasionada pelo Cu parece ocorrer também por causa da competição desse com o níquel, que é o componente ativador da enzima urease (MORAES; ABREU JÚNIOR; LAVRES JÚNIOR, 2010).

A AAPFCO (1997) caracteriza os fertilizantes de liberação lenta ou controlada como aqueles capazes de atrasar ou prolongar a sua disponibilidade para a planta após a aplicação quando comparados a um fertilizante de referência, cuja disponibilidade de nutrientes é imediata, como a ureia, nitrato de amônio, entre outros. O atraso na disponibilidade inicial ou a disponibilidade contínua pode ocorrer por diversos mecanismos. Estes incluem a solubilidade controlada do material em água devido a revestimentos semipermeáveis, obstrução, materiais proteicos, ou outras formas químicas, por hidrólise lenta de compostos de baixo peso molecular solúveis em água, ou por outros meios desconhecidos. Nesta definição, não há diferenciação entre liberação lenta ou controlada.

Os fertilizantes de liberação lenta e controlada são definidos como aqueles nos quais existem compostos capazes de controlar quimicamente, fisicamente ou microbiologicamente as taxas de liberação dos nutrientes presentes nos fertilizantes (SHAVIV, 2005). Esses fertilizantes retardam a disponibilidade inicial dos nutrientes ou aumentam sua disponibilidade no tempo por meio de diferentes mecanismos, visando sincronizar a liberação

com a demanda da planta pelo nutriente e diminuindo as perdas deste no ambiente. Sendo assim, as principais vantagens desses fertilizantes em relação aos comuns são que eles apresentam potencial de aumentar a eficiência da adubação nitrogenada e reduzir as perdas de N no sistema solo-planta-atmosfera, implicando em menor impacto ambiental (SHAVIV, 2005; TRENKEL, 2010), além de proporcionar melhor ajuste da disponibilidade à demanda dos nutrientes pelas plantas.

Os fertilizantes de liberação lenta e controlada podem ser divididos em dois grupos mais importantes disponíveis no mercado, de acordo com o seu processo de produção, que são: produtos de condensação de ureia-aldeídos (adubos de liberação lenta), e fertilizantes revestidos ou encapsulados (fertilizantes de liberação controlada) (TRENKEL, 2010). Supergrânulos e outros são de menor ou única importância regional.

O termo “fertilizante de liberação controlada” deve ser utilizado quando se conhece o padrão, a taxa e a duração da liberação do nutriente, sendo possível controlar essas variáveis durante a fabricação do fertilizante (SHAVIV, 2005). Já para os “fertilizantes de liberação lenta”, não há conhecimento desses parâmetros, eles são influenciados pelo solo e pelas condições climáticas, não podendo ser previstos no tempo, eles apenas liberam o nutriente em ritmo mais lento do que um fertilizante de referência de liberação imediata, como a ureia (SHAVIV, 2005).

Os fertilizantes nitrogenados de liberação controlada são fertilizantes solúveis convencionais rapidamente disponíveis nas plantas, como a ureia, que são revestidos ou encapsulados por materiais orgânicos ou inorgânicos capazes de controlar a liberação do nitrogênio para o solo (CAHILL et al., 2010; NASH; MOTAVALLI; NELSON, 2012; TRENKEL, 2010). A Association of American Plant Food Control Officials (AAPFCO, 1995) os definiu como "produtos contendo fontes de nutrientes solúveis em água, cuja liberação no solo é controlada por um revestimento aplicado ao fertilizante".

Este revestimento é insolúvel em água para controlar a penetração da mesma e assim a taxa de dissolução, liberação de nutrientes e duração da liberação, uma vez que protege o grânulo do fertilizante contra ação da água e do ar, diminuindo sua dissolução imediata (TRENKEL, 2010). Esse processo permite maior sincronia entre quantidade liberada e quantidade requerida pela cultura.

Alguns dos mais importantes compostos utilizados no revestimento da ureia são: enxofre, polímeros, poliestireno, poliésteres, poliuretano, ácidos graxos, látex, produtos à base de petróleo (resinas), magnésio e fosfato de cálcio, gesso e cera (TIMILSINA et al., 2014).

Eles podem ser divididos com base nos seguintes materiais de revestimento em três grupos: enxofre; enxofre mais polímeros, incluindo materiais poliméricos de cera; e materiais poliméricos/poliolefinicos (TRENKEL, 2010).

Fertilizantes de liberação controlada podem ser utilizados de forma conjunta ou isolada nos grânulos e normalmente apresentam um padrão sigmoidal de liberação do nitrogênio. Nestes fertilizantes, a camada de S impede o contato físico da água com a ureia no interior do grânulo, influenciando sua liberação para o solo. Geralmente, a liberação do nutriente ocorre quando algum fator de intemperismo como variações de temperatura, forças mecânicas, agentes químicos, entre outros, agem sobre o revestimento rompendo-o, o que permite a entrada de água e dissolução do fertilizante no núcleo do grânulo, disponibilizando-o para o solo (CANCELLIER, 2013).

Essa liberação também depende da espessura do revestimento e da qualidade do processo de revestimento por parte da indústria de fertilizantes (TRENKEL, 2010). Se houver imperfeições no revestimento dos grânulos de ureia, que permitam a entrada de água, o N pode ser liberado quase instantaneamente, perdendo seu objetivo. Devido às frequentes imperfeições no revestimento de enxofre uma camada adicional de polímeros tem melhorado o padrão de liberação do nitrogênio (CANCELLIER, 2013).

O padrão de liberação de nutrientes dos fertilizantes de liberação controlada apresenta modelo sigmoidal, com a primeira fase de lenta liberação, passando para uma segunda fase de liberação mais rápida (fase linear) e, posteriormente, na terceira fase, com disponibilização total do nutriente (SHAVIV; RABAN; ZAIDEL, 2003). Esse padrão seria o adequado para atender à demanda das plantas, de forma a aumentar a eficiência de uso (TRENKEL, 2010).

Fertilizantes de liberação lenta são definidos como aqueles que, após a sua aplicação, são capazes de retardar a disponibilidade de absorção e uso do nutriente pelas plantas, ou que consigam estender sua disponibilidade à planta por mais tempo do que os convencionais (ureia). O atraso na disponibilidade inicial ou no tempo prolongado da disponibilidade do adubo pode ocorrer por 3 fatores: variedade de mecanismos que incluem solubilidade controlada do material em água através dos revestimentos com materiais de proteína semipermeáveis ou outras formas químicas; hidrólise lenta de compostos hidrossolúveis de baixo peso molecular; por outros meios desconhecidos (MOTA, 2013).

Entre os fertilizantes de liberação lenta, três tipos ganharam importância prática: Ureia-formaldeído (UF), ureia-isobutiraldeído / isobutilideno-diureia (IBDU®), ureia-acetaldeído / ciclo-diureia (CDU®) (GOERTZ, 1993; SHAVIV, 2005).

A ureia formaldeído é um dos fertilizantes de liberação lenta mais utilizados na cafeicultura. Essa fonte é obtida pela reação de condensação de formaldeídos ( $H_2CO$ ) com moléculas de ureia durante o processo de fabricação, que se dá em condições controladas. O resultado é uma mistura de moléculas de ureias metiladas em formato de longas cadeias poliméricas de diferentes tamanhos (TRENKEL, 2010). O autor ressalta que estas longas cadeias moleculares aumentam o tempo para liberação do N, sendo esse processo dependente da ação de microorganismos do solo, que decompõem a cadeia lentamente em pequenas unidades prontamente absorvidas pelas plantas. Em café, esse fertilizante foi capaz de reduzir mais de 97% das perdas de amônia por volatilização em relação à ureia comum (DOMINGHETTI, 2016).

As tecnologias de fertilizantes de liberação lenta ou controlada e de fertilizantes estabilizados têm sido usadas há muito tempo. A ureia revestida por enxofre é produzida comercialmente desde 1961 (TRENKEL, 2010). No entanto, fertilizantes com essas tecnologias são geralmente caros, o que inviabiliza seu uso. Atualmente, as fábricas de fertilizantes estão tentando tornar os processos industriais mais eficientes e criar inibidores enzimáticos melhores que possibilitam a redução dos preços desses adubos (CANTARELLA; MONTEZANO, 2010).

As pesquisas têm buscado desenvolver tecnologias viáveis de fertilizantes nitrogenados com menores perdas de N para o ambiente e de liberação gradual desse nutriente, o que traz inúmeras vantagens à cafeicultura. Dentre elas, destaca-se a possibilidade de redução do parcelamento das adubações na cultura, que possibilita minimizar, em partes, os custos de produção, como os gastos com maquinário, combustível e mão de obra, além de poder ser um facilitador do manejo de lavouras, principalmente aquelas situadas em montanhas.

#### **2.4 Eficiência de fertilizantes e custo de produção**

Um dos desafios da cafeicultura brasileira consiste no emprego de sistemas sustentáveis de produção que diminuam as perdas, em especial dos fertilizantes, visando o uso eficiente destes, para que a produtividade seja compatível com os investimentos realizados, de modo a alcançar a máxima produtividade econômica. A eficiência da adubação nitrogenada pode ser conhecida de maneira indireta, por meio da produção da cultura como resposta a adubação.

A produtividade depende diretamente da adubação, porém os gastos com os fertilizantes não devem ser muito altos para não elevar demasiadamente o custo de produção e

comprometer a renda do produtor. Estima-se que 73% do nitrogênio sejam importados pelo país (ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS-ANDA, 2014), o que torna o mercado brasileiro muito dependente da importação de nutrientes.

O preço dos insumos está diretamente relacionado com as oscilações no mercado nacional e internacional, variações no preço do dólar ou por falta de matéria-prima, sendo que a elevação do custo destes preocupa o setor produtivo. Os gastos com fertilizantes e corretivos em lavouras cafeeiras no Sul de Minas Gerais podem chegar a 26% do custo de implantação e formação da lavoura e a 22% na fase de produção (NASSER et al., 2012).

Os custos de produção do café em diferentes faixas de produtividade e em diferentes locais foram avaliados por Reis et al. (2001). Segundo os autores, a cafeicultura responde aos investimentos econômicos, pois se há mudança da faixa de produtividade menor para a maior, os custos médios decrescem com o volume produzido, conduzindo a uma atividade competitiva.

Analisar os custos de produção é importante para um bom gerenciamento da empresa rural. O cafeicultor deve conhecer as suas despesas, adequando-as de maneira que permita uma boa administração do seu empreendimento de acordo com sua realidade. Assim, terá um controle gerencial adequado, possibilitando o uso mais racional dos fatores produtivos na busca de competitividade e renda, sendo eficiente e alcançando os objetivos previamente planejados.

Nesse aspecto, a escolha dos insumos adequados, ou seja, daqueles que proporcionem melhor relação custo/benefício, deve ser analisado com cuidado. De acordo com Nogueira (2007), o produtor deve buscar incrementar em sua lavoura todas as técnicas e procedimentos modernos possíveis, de modo que produza com eficiência, visando produzir mais e diminuir os custos. Para isso, deve optar pelo uso de novas tecnologias, de acordo com sua capacidade de adoção.

Dentre estas tecnologias, o uso de fertilizantes de eficiência aumentada se torna interessante, pois são capazes de minimizar as perdas de nutrientes no ambiente e podem disponibilizá-los de forma ajustada às necessidades das plantas (SHAVIV, 2005; TRENKEL, 2010). Porém, além do Brasil depender da importação de nutrientes (ANDA, 2014), as tecnologias utilizadas para produção de fertilizantes de maior eficiência são geralmente desenvolvidas no exterior. Com isso, esses fertilizantes chegam mais caros para os produtores brasileiros, sendo um entrave para o emprego destes na cafeicultura.

Diante disso, observa-se a necessidade de realizar estudos para avaliar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados em fornecer N para as plantas, quantificando as perdas de N por volatilização na forma de amônia de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação lenta e de liberação controlada. Desse modo, será possível avaliar o custo efetivo por ponto de N (Custo por unidade de fertilizante/unidade de N efetivamente utilizado) em lavouras cafeeiras.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado em área situada no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura, na Universidade Federal de Lavras (UFLA), município de Lavras, Minas Gerais, no período de agosto de 2015 a julho de 2016.

A área experimental está situada em latitude 21° 14' 06'' Sul e longitude de 45° 00' 00'' Oeste, a altitude de 910 metros. O clima da região é classificado como Cwa, mesotérmico com verões brandos e suaves e estiagens de inverno (SÁ JUNIOR et al., 2012).

Considerando-se o período de 01/01/2015 a 31/12/2016 para o município de Lavras, a temperatura média foi de 21,2 °C, variando de 12,2 °C em junho de 2016 a 28,3 °C em outubro de 2015; e a precipitação média anual foi de 1.243,3 mm (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA-INMET, 2017).

A cultivar utilizada foi a Catuaí Vermelho IAC 144 da espécie *Coffea arabica* L. O plantio foi realizado em janeiro de 2010, com espaçamento de 3,7m entre linhas por 0,7m entre plantas. Adotou-se o delineamento em blocos casualizados, com três repetições. As parcelas foram compostas por 12 plantas, sendo as 8 plantas centrais consideradas úteis para as avaliações. As parcelas foram distribuídas nas linhas de plantio dos blocos, sendo os tratamentos distribuídos nestas conforme sorteio, saltando-se sempre uma linha de plantio, que tinha função de bordadura.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA, 2013) de textura argilosa, cujas principais características físicas e químicas da camada de 0 a 20 cm antes do início dos tratamentos podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização química e física do solo da área experimental (0-20 cm) antes da aplicação dos tratamentos no ano de 2015.

Característica	Unidade	Valores
pH	-	4,28
P	mg dm <sup>-3</sup>	2,20
K	mg dm <sup>-3</sup>	105,80
Ca	mg dm <sup>-3</sup>	1,78
Mg	mg dm <sup>-3</sup>	0,31
S	mg dm <sup>-3</sup>	45,04
Cu	mg dm <sup>-3</sup>	2,28
B	mg dm <sup>-3</sup>	0,35
Zn	mg dm <sup>-3</sup>	3,08
Fe	mg dm <sup>-3</sup>	65,84
Mn	mg dm <sup>-3</sup>	7,94
Al	mg dm <sup>-3</sup>	0,74
H+Al	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	9,00
CTC efetiva (t)	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	3,10
CTC potencial (T)	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	11,36
Saturação por alumínio (m)	%	24,84
Saturação por bases (V)	%	21,60
Matéria orgânica	g kg <sup>-1</sup>	2,37
P-Remanescente	mg L <sup>-1</sup>	17,97
Areia	%	18
Silte	%	24
Argila	%	58

Fonte: Dados da autora (2017).

Nota: pH = água (1:2); P, K, Fe, Zn, Mn e Cu = Extrator Mehlich-1; Ca, Mg e Al = Extrator KCl (1 mol L<sup>-1</sup>); S = Extrator fosfato monocálcico em ácido acético; H + Al = Extrator SMP; Matéria orgânica: oxidação com Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 4N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10N; B = Extrator água quente.

### 3.2 Condução do experimento

Desde o plantio da lavoura até agosto de 2013, os tratos culturais foram realizados seguindo as recomendações de Guimarães et al. (1999). A partir de então, a adubação nitrogenada foi feita de maneira diferente, pois os fertilizantes utilizados neste experimento foram aplicados nas parcelas, na dose de 450 kg ha<sup>-1</sup>, até agosto de 2015, com exceção ao tratamento Ureia + polímero insolúvel em água (DOMINGHETTI, 2016), que foi aplicado no início deste experimento, que se deu no período de agosto de 2015 a julho de 2016.

Para adubação com micronutrientes, tanto no período de formação quanto na condução do experimento, foi utilizado produto comercial com as seguintes garantias: 6,0% de zinco, 3,0% de boro, 2,0% de manganês, 10,0% de cobre, 10,0% de enxofre, 1,0% de magnésio e 10,0% de K<sub>2</sub>O, aplicado via foliar (300 L ha<sup>-1</sup> de calda) em três aplicações ao ano em intervalos de 45 dias entre novembro e fevereiro, com 5,0 kg do produto por aplicação.

O monitoramento de pragas e doenças foi realizado frequentemente e, quando atingiam os níveis de controle, este era realizado com produto químico registrado para a

cultura. Durante a condução do experimento, foram constatados maiores índices de ferrugem, cercosporiose e bicho-mineiro, que foram controlados quando necessário com uso de produtos comerciais, contendo mistura de epoxiconazol (triazol) + piraclostrobina (estrobirulina) na dose de  $1,5 \text{ L ha}^{-1}$  e clorraniliprole (antranilamida)  $90 \text{ g ha}^{-1}$ .

O controle de plantas daninhas foi realizado utilizando de herbicida à base de glyphosate ( $2 \text{ L ha}^{-1}$ ), alternado com capina mecânica com uso de roçadora e capina manual nas linhas de plantio.

A calagem foi realizada na área sessenta dias antes do início das adubações com os fertilizantes nitrogenados nas parcelas de cada tratamento, segundo recomendações de Guimarães et al. (1999), com total de  $2 \text{ t ha}^{-1}$  nos dois anos do experimento.

Aproximadamente 30 dias antes da colheita das parcelas, foi feita “arruação” da lavoura, ou seja, a limpeza das linhas de plantio, com retirada de folhas secas, mato, galhos e remanescente de fertilizantes, para que fosse possível a catação dos grãos de café que caíssem antes da colheita e, assim, quantificados na produtividade.

Foram monitoradas as temperaturas médias e precipitações diárias durante a condução do experimento por estação climatológica automática instalada nas adjacências da área experimental. Dados referentes à temperatura média e precipitação anual média da cidade de Lavras-MG no período de 01/01/2015 a 31/12/2016 foram obtidos pelo INMET (2017).

### 3.3 Tratamentos

Os tratamentos foram compostos por 11 fertilizantes nitrogenados comerciais com diferentes tecnologias utilizados na cafeicultura atualmente, com algumas de suas características descritas a seguir:

- a) Ureia convencional: fertilizante convencional com 45% de N;
- b) Ureia dissolvida em água: a ureia convencional (45% de N), em quantidade previamente calculada para a área (sendo a mesma do tratamento “ureia convencional”), foi diluída em água limpa na proporção de 50g de ureia para cada litro de água, sendo distribuído no mesmo local de adubação estipulado para as demais fontes, em proporções iguais entre as plantas.
- c) Sulfato de amônio: fertilizante convencional com 19% de N;
- d) Nitrato de amônio: fertilizante convencional com 31% de N;
- e) Ureia + Cu + B: fertilizante estabilizado que contém 44% de N; 0,15% de Cu ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) e 0,4% de B ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) (HERINGER, 2008). Os grânulos de ureia

foram recobertos por partículas de Cu e B com menos de 0,015mm de diâmetro por meio de processo industrial;

- f) Ureia + polímero aniônico: fertilizante estabilizado com 41% de N. Este polímero, solúvel em água, faz parte do grupo de inibidores da nitrificação, contendo cargas negativas capazes de reter  $\text{NH}_4^+$ ;
- g) Ureia + NBPT: fertilizante estabilizado com 44% de N. O tratamento consiste em ureia tratada com  $530 \text{ mg kg}^{-1}$  de NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida), um inibidor da urease;
- h) Ureia +  $\text{S}^0$  + polímeros: fertilizante de liberação controlada que contém 39% de N. A ureia foi recoberta com partículas de enxofre elementar ( $\text{S}^0$ ) que recebeu camada de polímeros orgânicos para auxiliar na selagem contra entrada de água;
- i) Ureia + resina plástica: fertilizante de liberação controlada com 39% de N. A resina revolve os grânulos de ureia, possibilitando o contato da água com a ureia de acordo com sua degradação pela ação de temperatura e umidade do solo;
- j) Ureia formaldeído: fertilizante de liberação lenta com 26% de N. Obtida pela reação entre moléculas de formaldeído ( $\text{H}_2\text{CO}$ ) com grandes quantidades de ureia, em condições controladas de fabricação, resultando em uma mistura de cadeias de ureias metiladas de diferentes tamanhos, liberadas, gradualmente, ao solo pela ação de microorganismos que decompõem a cadeia;
- k) Ureia + polímero insolúvel em água: fertilizante de liberação controlada com 40% de N. A ureia foi revestida com polímero que impede a dissolução imediata do adubo, quando aplicado ao solo.

Convencionou-se dividir os tratamentos em dois grandes grupos para facilitar a compreensão das adubações e avaliações. No Grupo 1, tem-se os fertilizantes convencionais e estabilizados, que são os tratamentos: Ureia convencional, Ureia dissolvida em água, Nitrato de amônio, Sulfato de amônio, Ureia + Cu + B, Ureia + polímero aniônico e Ureia + NBPT. Já o Grupo 2 é composto pelos fertilizantes de liberação lenta ou de liberação controlada, que são: Ureia +  $\text{S}^0$  + polímeros, Ureia + resina plástica, Ureia formaldeído e Ureia + polímero insolúvel em água.

### 3.4 Adubações NPK

Para o suprimento de NPK, foram utilizadas as dosagens de 300 kg ha<sup>-1</sup> de N, 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, conforme recomendação de Guimarães et al. (1999).

As adubações nitrogenadas foram realizadas de maneira diferente entre os grupos dos tratamentos. Para o Grupo 1, o fornecimento de N foi feito em 3 adubações em intervalos de aproximadamente 60 dias, cada uma na dose de 100 kg de N por hectare. A primeira foi realizada no dia 06 de novembro de 2015, a segunda dia 11 de janeiro de 2016 e a terceira na data 10 de março de 2016. Para o Grupo 2, fez-se somente uma adubação, conforme recomendação dos fabricantes, na dose pré-determinada de 300 kg ha<sup>-1</sup>, juntamente a primeira adubação do Grupo 1.

Também foi realizada adubação fosfatada em única aplicação, na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, utilizando-se Superfosfato Simples (20% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), junto a primeira adubação de nitrogênio. Para o fornecimento de K, foi feito parcelamento das aplicações, sendo três adubações de 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, com uso da fonte cloreto de potássio (60% K<sub>2</sub>O), nas mesmas datas das adubações nitrogenadas.

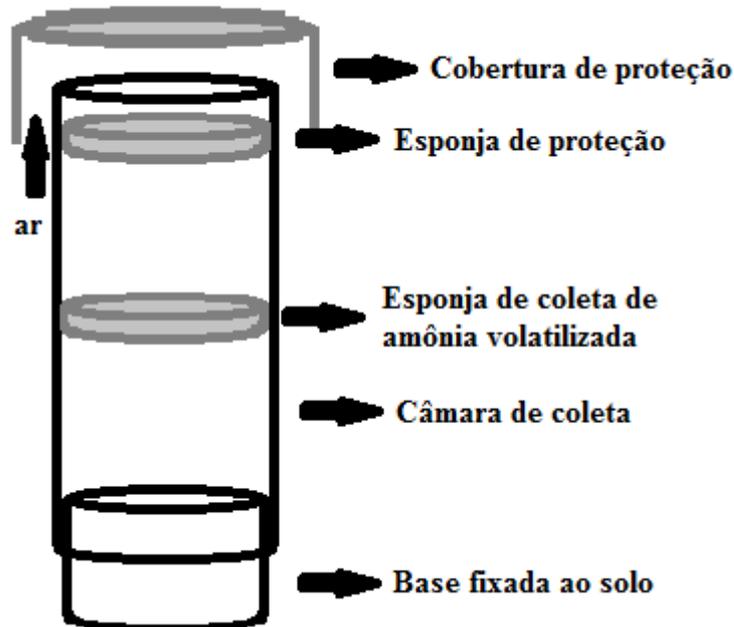
### 3.5 Características avaliadas

As características avaliadas foram: volatilização de amônia; pH superficial do solo; teores foliares de N, S e Cu; produtividade estimada e custo de produção.

#### 3.5.1 Volatilização de amônia

Para quantificar as perdas de nitrogênio por volatilização de amônia (N-NH<sub>3</sub>), foram instalados coletores semiabertos de amônia, adaptados de Nõmmik (1973), inseridos nas linhas de adubação. Para fabricação dos coletores, utilizou-se tubos de cor branca de cloreto de polivinila (PVC), com 50 cm de altura e 20 cm de diâmetro. Estes foram inseridos sobre bases fixas no solo produzidas com o mesmo material. Os coletores foram protegidos no topo com cobertura de plástico e arame, de modo a deixar um espaço entre a proteção e o coletor, permitindo a passagem de ar, conforme Figura 1.

Figura 1 - Esquema do coletor de amônia.



Fonte: Dados da autora (2017).

Foram fixadas três bases em cada parcela, sendo que os fertilizantes foram aplicados dentro destas, nas quantidades equivalentes a área aplicada. Para isso, os fertilizantes foram pesados em balança de precisão no dia anterior a cada adubação. Os coletores foram trocados de base a cada avaliação, no intuito de permitir que as bases pudessem sofrer as mesmas influências de temperatura, precipitação e umidade do ar.

Foram colocadas duas esponjas ( $0,02 \text{ g cm}^{-3}$  de densidade e 2 cm de espessura) no interior dos coletores, cortadas no mesmo diâmetro das câmaras. A esponja superior teve como função proteger a esponja inferior de possíveis contaminações causadas por impurezas ou insetos. A esponja inferior foi embebida em uma solução de ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ;  $60 \text{ ml L}^{-1}$ ) e glicerina ( $50 \text{ ml L}^{-1}$ ), para captura da amônia volatilizada e posicionada dentro do coletor a 30 cm do solo, enquanto a superior foi colocada a 40 cm do solo.

Para os tratamentos do Grupo 1 (Ureia convencional, Nitrato de amônio, Sulfato de amônio, Ureia + Cu + B, Ureia + polímero aniônico, Ureia + NBPT e Ureia dissolvida em água), foram feitas 12 coletas de esponjas após cada adubação. Estas coletas ocorreram com mais intensidade nos primeiros dias após à aplicação dos tratamentos, sendo realizadas diariamente até o 5º dia após a adubação nitrogenada. Posteriormente, as coletas se estenderam conforme o comportamento das perdas de amônia, influenciadas pelas condições climáticas, ocorrendo em dias alternados até acabarem as volatilizações de amônia dos fertilizantes.

Já para os fertilizantes do Grupo 2 (Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros, Ureia + resina plástica, Ureia formaldeído e Ureia + polímero insolúvel em água), as coletas foram coincidentes com as do Grupo 1 referentes à primeira adubação. Assim que estas acabaram, continuou-se coletando a cada cinco dias até a 16<sup>a</sup> coleta, e a cada sete dias até cessarem as perdas de amônia nesses tratamentos.

Todas as coletas foram feitas em horários fixos (08 horas da manhã).

Em laboratório, extraiu-se a amônia volatilizada contida nas esponjas com auxílio de funil de Buchner e bomba de vácuo, após cinco lavagens sequenciais com água destilada em uma quantidade de 80 ml em cada lavagem, totalizando 400 ml por esponja. Após a extração, retirou-se uma alíquota de 50 ml de cada solução, que foram armazenadas em refrigerador a 5°C e, posteriormente, destiladas e tituladas pelo método Kjeldahl (1883) para quantificação da amônia volatilizada.

Para cada coleta avaliada, foram utilizadas três esponjas como teste em branco para correção de possíveis contaminações entre as amostras. Nelas continha apenas a solução preparada com ácido fosfórico e glicerina, sem contato com amônia dos tratamentos para servir de padrão de pureza. Os valores, após processamento das amostras, obtidos nesses padrões foram descontados dos valores obtidos, nas esponjas de captura de amônia, por se tratar então de contaminação.

A quantidade de N perdida por hectare após cada coleta de cada tratamento foi obtida com base em cálculos tendo em posse os resultados das titulações. Calculou-se, também, as perdas acumuladas de N de cada fertilizante após todas as adubações e completa liberação destes.

### **3.5.2 pH superficial do solo e teores foliares de nutrientes**

Foram coletadas cinco amostras de solo de toda as parcelas durante a realização do experimento, que foram feitas um dia antes de cada adubação do Grupo 1, 60 dias após a última adubação e 180 dias após a última adubação, para determinação do pH. Foram retiradas amostras na camada de 0-5 cm de solo com auxílio de trado de caneca, sendo coletadas cinco amostras simples por parcela que foram misturadas para formação de uma amostra composta por cada parcela. Estas foram secas à sombra e peneiradas em peneiras de 20 cm de diâmetro e malha de 2 mm (para obtenção de terra fina seca ao ar). De cada amostra, retirou-se o volume de 10 cm<sup>3</sup> a qual foi misturado 20 ml de água destilada e, posteriormente, agitado em agitador laboratorial por 1 minuto. Após a agitação, a amostra foi deixada em

repouso por 30 minutos e, assim, foi feita a leitura do pH da amostra (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA, 1997).

Após obtenção dos dados, foi calculada a diferença do pH do solo de cada tratamento entre as avaliações feitas antes da primeira adubação (primeira avaliação) e 180 dias após a última adubação (última avaliação) para verificar a acidificação do solo decorrente do fertilizante utilizado.

Para determinação do teor foliar de nutrientes, as folhas foram coletadas um dia antes de cada adubação e 60 dias após a última adubação. Foram retiradas folhas de cinco plantas centrais de cada parcela, sendo coletadas duas folhas de cada lado de cada planta, do terceiro ou quarto pares de folhas, totalizando 4 folhas por planta e 20 folhas por parcela. Todas as folhas que foram coletadas eram saudáveis, ou seja, sem sinais de ataque de pragas ou doenças ou distúrbios fisiológicos.

Logo após a coleta, as folhas foram levadas para laboratório, onde foram lavadas com água destilada e colocadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 60°C, até atingirem peso constante. Após a secagem, as folhas foram moídas em moinho tipo Wiley e procedeu-se às análises químicas do tecido. Foram avaliados os teores foliares de nitrogênio, enxofre e cobre. A escolha da avaliação desses nutrientes foi devido ao experimento se tratar de fontes diferenciadas de N e ao fato de que algumas dessas fontes apresentarem os elementos enxofre e cobre, utilizados para proteção dos grânulos de ureia, que poderiam, de alguma forma, influenciar a nutrição das plantas quanto a esses nutrientes.

### **3.5.3 Produtividade**

A produtividade da safra 2017 foi estimada com base na metodologia proposta por Fahl et al. (2005). Somente esta produtividade foi avaliada devido à bienalidade do cafeeiro, portanto somente essa safra teve total influência dos tratamentos, enquanto a anterior ainda foi influenciada pela adubação do ano de 2014, que não se refere à este experimento.

Em cada parcela, foram selecionadas cinco plantas centrais para avaliação. De cada planta, selecionou-se um ramo plagiotrópico do terço médio de cada lado, nos quais foram contados os números de frutos presentes no 4º e 5º nós produtivos, a contar do ápice para a base. Por tanto, no total, foram amostrados 10 ramos plagiotrópicos por parcela, sendo cinco de cada lado da planta, dos quais se obteve a média de frutos por nós.

Ao mesmo tempo, foi medida a altura das cinco plantas de cada parcela, obtendo-se a altura média das plantas por parcela. A partir desses dados, foi obtido o índice fenológico de produção correspondente ao produto do número médio de frutos do 4º e 5º nós produtivos do

ramo plagiotrópico, multiplicado pela área vegetal de produção, a qual foi calculada pela multiplicação do comprimento em metro de linha de café por hectare pelo dobro da altura da planta.

Posteriormente, os valores de índice fenológico foram aplicados na equação para estimar a produtividade média de cada parcela:  $Y = 0,0005 X$ , em que X representa o índice fenológico de produção e Y a produtividade estimada.

Também foi calculada a quantidade de N efetivamente aproveitada, descontando-se as perdas por volatilização de amônia de cada tratamento da quantidade aplicada no solo (300 kg de N), a relação entre a produtividade dos tratamentos (kg) e a quantidade de N (kg) efetivamente utilizada (kg café produzido por kg de N utilizado), e a quantidade de N efetivo que foi utilizada para produzir uma saca de 60 kg de café beneficiado (kg de N efetivo por saca beneficiada).

### **3.5.4 Custo de produção**

Para análise dos custos de produção, considerou-se neste trabalho, apenas uma parcela dos custos operacionais do café, ou seja, insumos, mão de obra, mecanização além de outros custos operacionais (contabilidade, telefone, taxas eventuais) necessários para a produção em 1 hectare de café na região de Lavras - MG, e depreciações relativas apenas à formação da lavoura, nessa mesma área. Portanto, não foram considerados os custos fixos relativos aos bens de capital (máquinas, equipamentos, implementos e benfeitorias) e nem a discriminação dos custos referentes à energia, armazenamento, pagamento de impostos, Pró-Labore e demais desembolsos envolvidos. Esses dados não foram inseridos na análise de custo por apresentarem muita variabilidade em condições reais de unidades produtivas, uma vez que se buscou a apresentação de informações mais concisas neste trabalho. Além disso, a parcela correspondente desses custos se tornaria constante em todos os tratamentos.

Foi realizado um levantamento minucioso de todos os fatores de produção envolvidos (insumos, mão de obra e mecanização), assim como suas quantidades requeridas desde a implantação, formação e produção da lavoura utilizada nesse experimento para obter a estimativa do custo.

Para efeito de cálculo, foram consideradas três fases do desenvolvimento da cultura, sendo a primeira correspondente a fase de implantação da lavoura, compreendendo um período de seis meses após o plantio, que envolveu os custos iniciais de implantação da lavoura. A segunda fase correspondeu ao período de formação inicial da lavoura, que

englobou o período de seis a 18 meses após o plantio, que se encerrou com a primeira florada. Já para a terceira fase, considerou um ano agrícola da lavoura em produção plena.

Foi feito levantamento de todos os gastos com manejo necessários em cada fase avaliada e suas quantidades utilizadas. Foram cotados mensalmente os preços de cada insumo entre os meses de agosto de 2015 a dezembro de 2016, no mercado local de Lavras/MG, obtendo-se o valor médio para cada produto (obtido pela média de preços entre lojas) e o valor médio entre os meses avaliados (obtido pela média entre os meses cotados). No caso específico da ureia aplicada de forma dissolvida, não foi considerado o custo de sua aplicação.

O custo operacional efetivo (COE) das fases de implantação e de formação foi composto pelos seguintes itens: operações mecanizadas, operações manuais, insumos, além da soma de 5% sobre os totais desses valores considerados como demais custos operacionais segundo Nasser et al. (2012). Os custos da fase de produção englobaram as operações mecanizadas, operações manuais, insumos, custos com colheita e pós-colheita, custos de cada fertilizante nitrogenado, além da soma de 5% do valor total. Portanto, foi calculado o COE para cada fertilizante.

Para obter o custo operacional total (COT) foi somado aos COEs o valor da depreciação da lavoura, sendo considerada vida útil de 15 anos para ela. O cálculo do custo operacional foi composto, então, pelo custo na fase de produção, com custo variável entre os fertilizantes nitrogenados, acrescido da depreciação da lavoura, baseado na metodologia proposta por Matsunaga et al. (1976) com adaptações.

O retorno financeiro proporcionado pelos tratamentos foi avaliado com o cálculo do lucro bruto segundo a equação:

$$\text{Lucro bruto} = [(\text{Produtividade} \times \text{Preço de venda}) - (\text{COT})]$$

Em que:

Produtividade: sacas de 60 kg de café por hectare.

Preço de venda: valor médio em 2016 em reais por saca de 60 kg de café = 482,00 (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2016b).

COT: Custo Operacional Total por saca de 60 kg de café.

Foi calculada também a quantidade investida (em Reais) para produção de cada saca de 60 kg de café beneficiado em cada tratamento, por meio da razão entre COT e produtividade decorrente de cada fertilizante.

Obteve-se o preço do quilo de N de cada fertilizante utilizando-se o preço médio da tonelada do fertilizante na região de Lavras no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2016 dividido por mil quilos e pela porcentagem de N do mesmo; e o preço do quilo de N efetivo, ou seja, do N que não foi perdido por volatilização, por meio do cálculo do preço médio da tonelada do fertilizante dividido por mil quilos e pela porcentagem de N efetivo do mesmo.

Além disso, foi feita uma comparação entre produtividade e rendimentos financeiros de cada tratamento em relação à ureia, com base na diferença entre cada fertilizante e a ureia, que é o fertilizante nitrogenado mais utilizado na cafeicultura atualmente.

### **3.6 Análises estatísticas dos dados**

Os dados de cada característica avaliada foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e, ocorrendo diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade, os dados foram submetidos ao teste de médias de Skott-Knott para comparação entre os valores. Todas as análises foram realizadas pelo software Sisvar (FERREIRA, 2011). Para avaliação dos teores foliares de N, S e Cu e pH do solo foi considerado o delineamento em blocos casualizados com parcelas subdivididas no tempo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

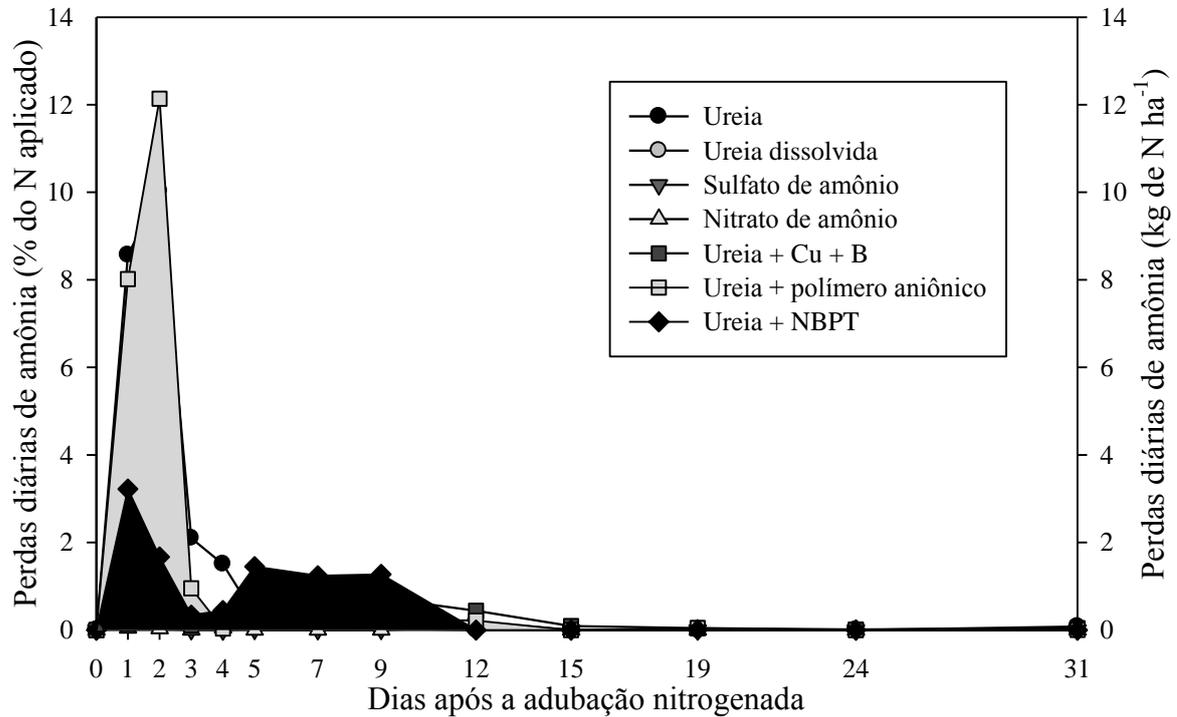
### 4.1 Volatilização de amônia

As Figuras 2, 4 e 6 apresentam gráficos de volatilização diária de amônia referentes à primeira, segunda e terceira adubação nitrogenada, respectivamente, dos tratamentos que foram parcelados: Ureia, Ureia dissolvida, Sulfato de amônio, Nitrato de amônio, Ureia + Cu + B, Ureia + polímero aniônico e Ureia + NBPT. Já as Figuras 3, 5 e 7 mostram as precipitações (mm), umidade relativa do ar (%) e temperaturas médias (°C) diárias nos períodos que sucederam a primeira, segunda e terceira adubação nitrogenada, respectivamente, dos mesmos tratamentos.

Nesse experimento foi verificado que pelo menos 80% das perdas referentes aos fertilizantes nitrogenados aplicados em 3 parcelamentos se concentraram nos primeiros cinco dias depois das adubações (FIGURAS 2, 4 e 6), muito provavelmente devido às precipitações que ocorreram logo após as adubações (FIGURAS 3, 5 e 7). Geralmente, o processo de hidrólise da ureia ocorre rapidamente, portanto as perdas de amônia por volatilização tendem a se concentrar nos primeiros seis dias após a aplicação do fertilizante (ALVES, 2006; CABEZAS; TRIVELIN, 1990; COSTA; VITTI; CANTARELLA, 2003). A volatilização da amônia está diretamente relacionada com a precipitação (BLACK; SHERLOCK; SMITH, 1987; KISSEL et al., 2004), temperatura (MARTHA JÚNIOR et al., 2004) e também com umidade relativa do ar (REYNOLDS; WOLF, 1987).

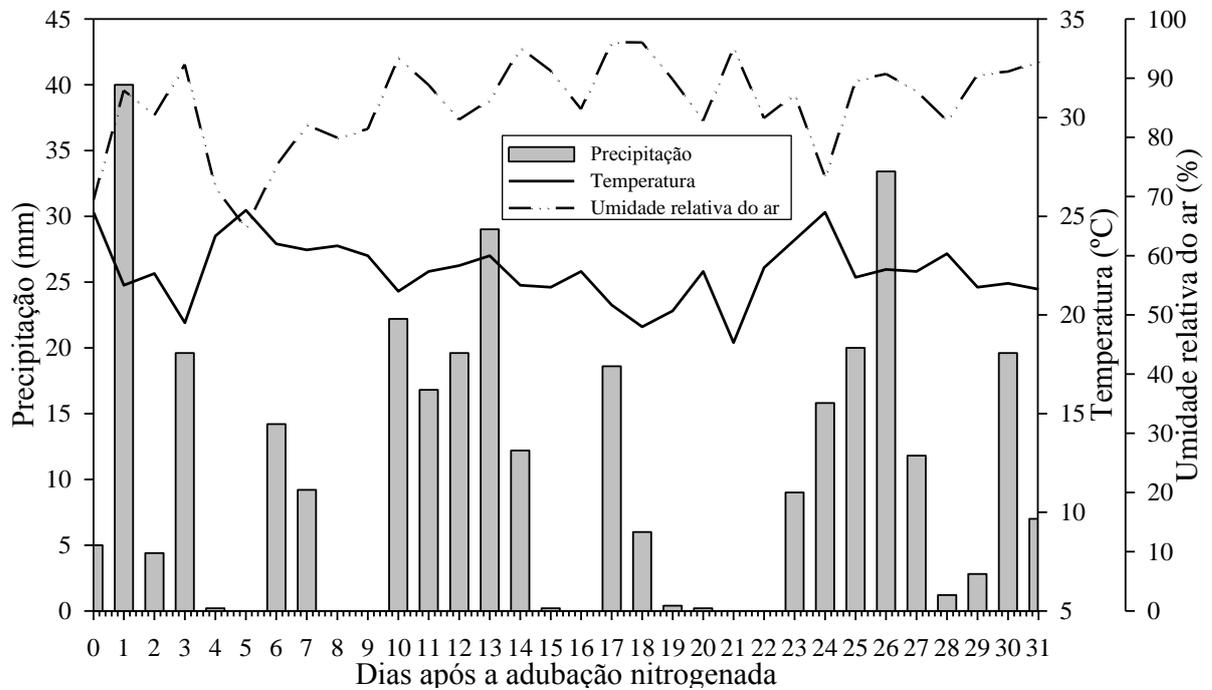
A precipitação durante o período avaliado referente à primeira adubação totalizou 346,2 mm, com 5 mm no dia da adubação e 40; 4,4; 19,6; 0,2; 0 e 14,2 mm nos seis primeiros dias após a adubação, totalizando 83,4 mm (FIGURA 3). Se ocorrerem chuvas em quantidade suficiente que permita a incorporação da ureia junto ao solo, a volatilização pode ser reduzida (CANTARELLA et al., 2008; PRASERTSAK et al., 2001), pois a amônia no interior do solo encontra barreiras físicas e químicas para atingir a superfície e ser perdida (COSTA et al., 2008). No entanto, ela só é eficaz para reduzir as perdas se ocorrer em um período curto após a aplicação da ureia (BLACK; SHERLOCK; SMITH, 1987; KISSEL et al., 2004). Porém, se a precipitação aumentar o índice de água no solo e não for suficiente para incorporação da ureia, haverá maiores perdas por volatilização, uma vez que aumentará a taxa de hidrólise (KISSEL et al., 2004; PRASERTSAK et al., 2001).

Figura 2 - Perdas diárias de amônia por volatilização ocorridas após a primeira adubação nitrogenada dos fertilizantes convencionais e estabilizados.



Fonte: Dados da autora (2017)

Figura 3 - Precipitações, temperaturas e umidades relativas do ar diárias após a primeira adubação nitrogenada dos fertilizantes convencionais e estabilizados.



Fonte: Dados da autora (2017)

Vale ressaltar que em 29 dos 33 dias avaliados do período da primeira adubação a umidade relativa do ar estava acima da umidade relativa crítica da ureia, que é 75,2% (T.V.A,

1970 apud ALCARDE et al., 1992, p. 141) (FIGURA 3), ou seja, a umidade a partir da qual a ureia começa a absorver água da atmosfera, iniciando os processos de hidrólise e, conseqüentemente, causando a volatilização da amônia quando não há incorporação da ureia ao solo. A atmosfera saturada por água contribui para as perdas de amônia, mesmo em solo com baixa umidade, por favorecer a hidrólise contínua da ureia (COSTA et al., 2008; SILVA; SENGIK, 1994).

As perdas de amônia se concentraram nos primeiros dias após a primeira adubação nitrogenada, sendo que logo no terceiro dia, 80,6% do total das perdas já haviam ocorrido (FIGURA 2). No quinto dia esse valor subiu para 89,1% e no nono dia já era de 98,1%.

Observa-se pela Figura 2, que os tratamentos Ureia e Ureia + polímero aniônico apresentaram picos de volatilização no primeiro dia após a adubação em torno de 8% do aplicado, que foi a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> nessa primeira adubação. Já no segundo dia, esses tratamentos mostraram volatilização igual a 10% e 12,3%, respectivamente, e nos demais dias apresentaram comportamento decrescente de volatilização. Provavelmente esse pico no segundo dia foi devido ao solo estar molhado por causa da chuva ocorrida no dia anterior e por ter chovido pouco nesse dia, o que faz com que a ureia seja hidrolisada sem que ocorra incorporação desta no solo (COSTA; VITTI; CANTARELLA, 2003), favorecendo a volatilização.

Além disso, a umidade relativa do ar estava acima de 75,2%, portanto o processo de hidrólise dos tratamentos que continham ureia já havia iniciado. A dinâmica da água na camada superficial do solo é muito influenciada por variáveis climáticas, como vento, chuvas e umidade relativa do ar, sendo que umidades de ar entre 80 e 95%, sem que ocorram precipitações significativas, são capazes de manter o solo úmido o suficiente para causar maiores perdas de amônia (BOUWMEESTER; VLEK; STUMPE, 1985).

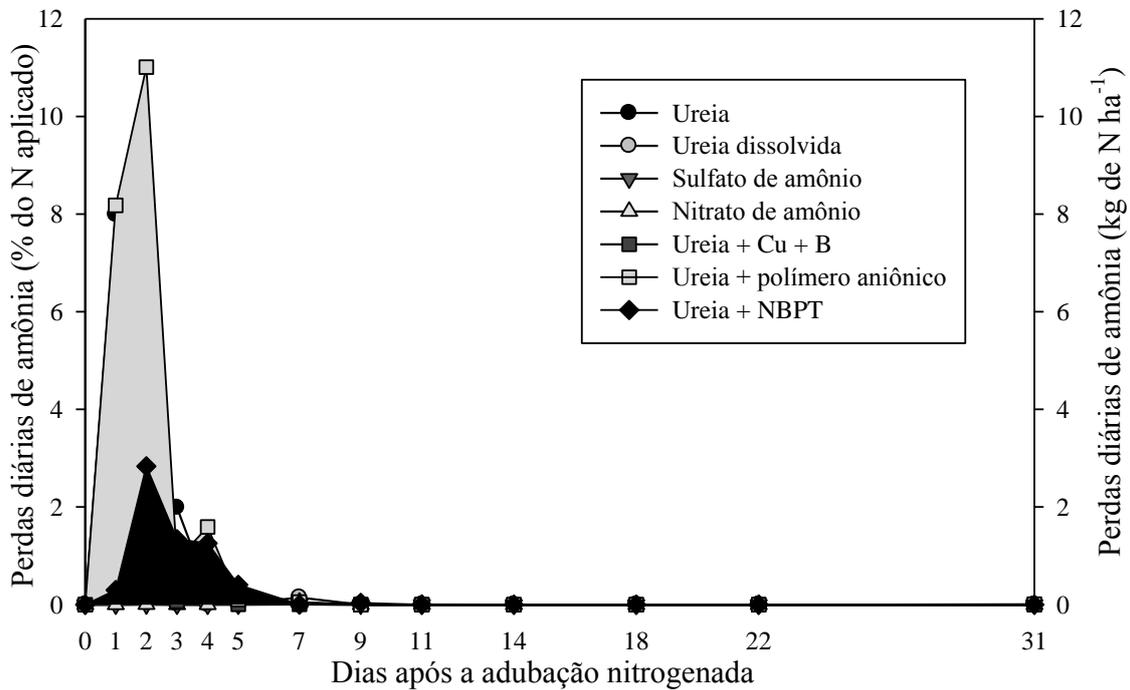
A Ureia dissolvida apresentou um pequeno pico de volatilização, igual a 2,5% no primeiro dia após a adubação, volatilizando menos nos demais dias (FIGURA 2), já que sua dissolução proporciona menores perdas por volatilização. Quando a ureia é aplicada na forma líquida, ou seja, dissolvida em água, algumas de suas moléculas descem no perfil do solo, diminuindo as perdas. Além disso, promove menor incremento no pH do solo na região adubada, quando comparada à ureia no estado sólido, pois a solução é capaz de entrar em contato com maior número de partículas de solo em relação aos grânulos (TASCA et al., 2011).

O fertilizante Ureia + NBPT teve um pico de volatilização igual a 3,2% do aplicado no dia seguinte à adubação (FIGURA 2). Verificou-se para este fertilizante, e também para Ureia + Cu + B e Ureia + polímero aniônico, um decréscimo na volatilização entre o 3º e 4º dia após as adubações, seguido de aumento no 5º dia, e decréscimo posteriormente. Este aumento das perdas no 5º está intimamente correlacionado com as precipitações avaliadas (FIGURA 3), pois não choveu tanto no 4º quanto no 5º dia, mas o solo estava úmido devido à precipitação do 3º dia, e, uma vez que a superfície do solo esteja úmida sem incorporação do adubo pelas chuvas, há maiores perdas de amônia (COSTA; VITTI; CANTARELLA, 2003).

Para os fertilizantes Sulfato de amônio e Nitrato de amônio, as perdas por volatilização de amônia foram menores que 0,5% (FIGURA 2). A utilização de fertilizantes amoniacais de reação ácida, como o sulfato de amônio e o nitrato de amônio, causa pouca ou nenhuma perda por volatilização de amônia (CABEZAS; KORNDORFER; MOTTA, 1997; CABEZAS; SOUZA, 2008; COSTA; VITTI; CANTARELLA, 2003), conforme foi verificado no presente estudo.

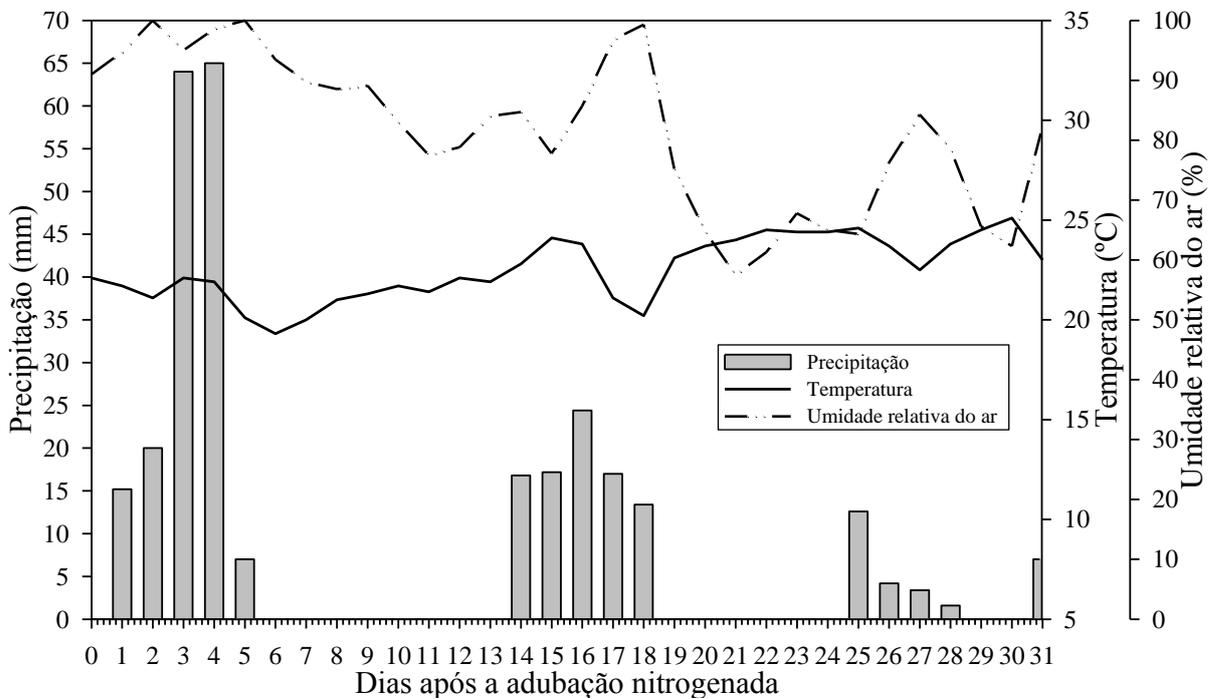
Com relação à segunda adubação nitrogenada, as perdas de amônia por volatilização ocorreram principalmente nos primeiros três dias após a aplicação dos fertilizantes convencionais e estabilizados (FIGURA 4). A precipitação e a umidade relativa do ar (UR) influenciaram no processo de perdas, uma vez que a UR estava muito elevada nos cinco primeiros dias após a adubação, e depois das chuvas ocorridas no terceiro e quarto dia, as volatilizações diminuíram (FIGURA 5). A precipitação média durante o período da segunda adubação foi de 288,8 mm, sendo que no dia da adubação não houve precipitação e nos seis dias seguintes foram iguais a 15,2; 20,0; 64,0; 65,0; 7,0 e 0 mm, totalizando 171,2 mm. A umidade relativa do ar foi maior que 75,2% em 25 dos 33 dias de avaliações.

Figura 4 - Perdas diárias de amônia por volatilização ocorridas após a segunda adubação nitrogenada dos fertilizantes convencionais e estabilizados.



Fonte: Dados da autora (2017)

Figura 5 - Precipitações, temperaturas e umidades relativas do ar diárias após a segunda adubação nitrogenada dos fertilizantes convencionais e estabilizados.



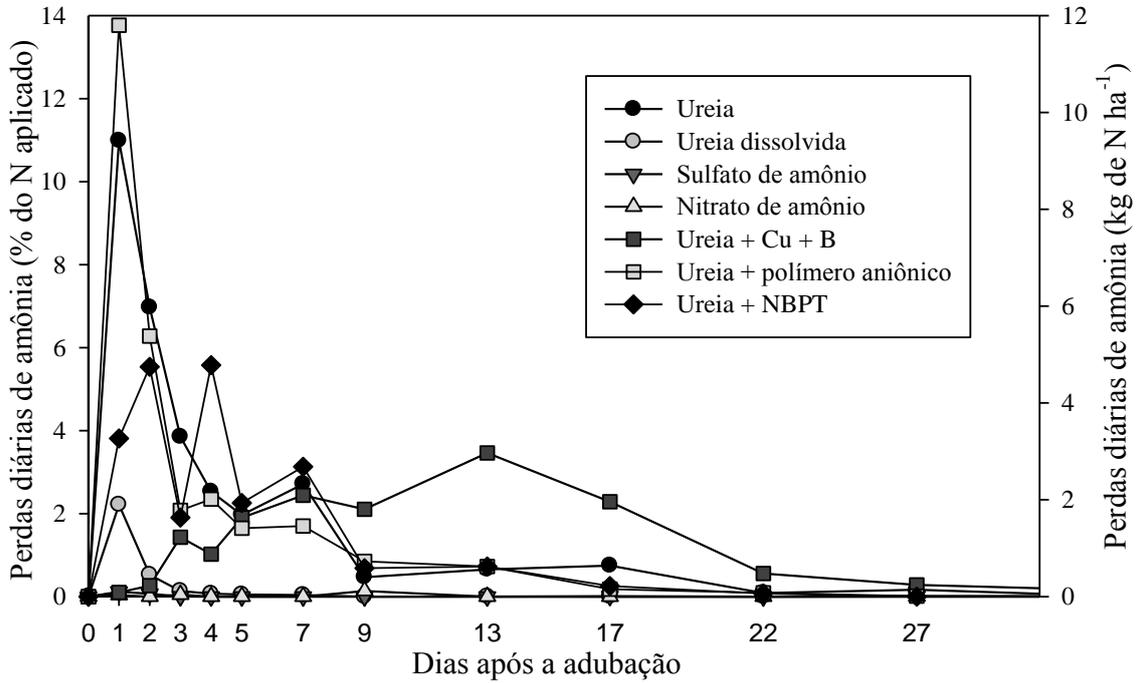
Fonte: Dados da autora (2017)

Logo nos primeiros dias após a adubação nitrogenada, praticamente todas as perdas já haviam acontecido. No segundo dia, o valor de volatilização dos tratamentos era de 81,1% do total das perdas, no terceiro dia subiu para 90,5% e no quinto dia 99,3% das perdas já tinham ocorrido.

Novamente, a Ureia e a Ureia + polímero aniônico apresentaram maiores picos de perdas de amônia por volatilização (FIGURA 4). Para a Ureia, o pico de volatilização se deu no primeiro dia após a adubação, com valor de 8,0%, já para a Ureia + polímero aniônico foi de 8,2% no primeiro dia e 11,1% no segundo, ambas decrescendo posteriormente. Os demais tratamentos apresentaram máxima volatilização diária inferiores a 2% do total aplicado.

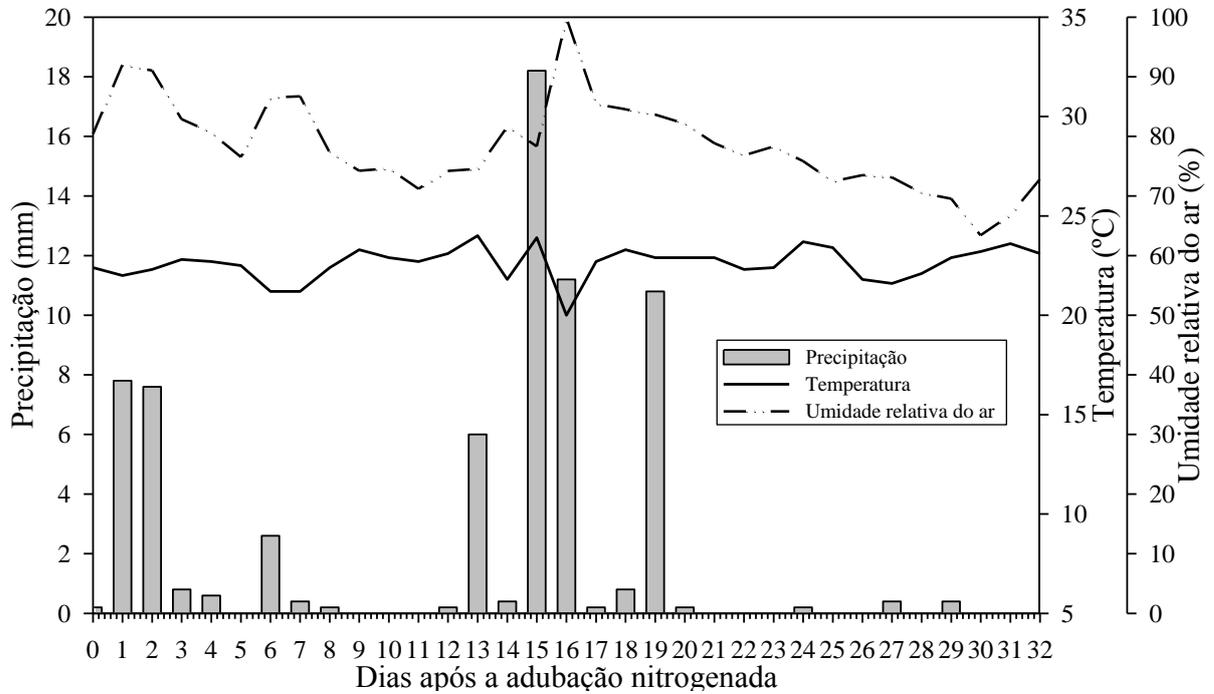
Durante o período após a terceira adubação nitrogenada, verificou-se que as perdas de amônia se estenderam por um período maior do que aos períodos após a primeira e segunda adubação (FIGURA 6). No quinto dia após a adubação, havia ocorrido 77,0% do total das perdas, no sétimo dia esse valor aumentou para 86,6, e apenas no nono dia atingiu 90,7%, enquanto que na primeira adubação esse valor foi atingido aproximadamente no sexto dia e na segunda adubação foi no terceiro dia. Esse fato está relacionado às poucas precipitações que ocorreram após a terceira adubação nitrogenada, precipitações essas que apresentaram pequeno volume de água, sendo iguais a 7,8; 7,6; 0,8; 0,6; 0 e 2,6 mm diários nos seis primeiros dias após a adubação, e totalizaram 69,2 mm durante todo o período avaliado (FIGURA 7).

Figura 6 - Perdas diárias de amônia por volatilização ocorridas após a terceira adubação nitrogenada dos fertilizantes convencionais e estabilizados.



Fonte: Dados da autora (2017)

Figura 7 - Precipitações, temperaturas e umidades relativas do ar diárias após a terceira adubação nitrogenada dos fertilizantes convencionais e estabilizados.



Fonte: Dados da autora (2017)

A umidade relativa do ar foi maior que 75,2% em 20 dos 33 dias avaliados, sendo que, desses 20 dias, dez foram logo após a adubação, período no qual se observou maiores perdas

por volatilização de amônia. Esses fatos indicam que as perdas por volatilização de amônia foram intensificadas devido à alta umidade relativa do ar, que favoreceu o processo de hidrólise da ureia nos tratamentos que continham ureia, que não desceu no perfil do solo, uma vez que nos poucos dias que choveu durante esse período, a quantidade de água foi pequena.

Os tratamentos Ureia e Ureia + polímero aniônico novamente apresentaram maiores perdas de amônia por volatilização (FIGURA 6). O maior pico de volatilização da Ureia aconteceu no primeiro dia após a adubação, com valor de 11% do total aplicado, ou seja, 11 kg dos 100 kg de N aplicado foram perdidos no primeiro dia. Para a Ureia + polímero aniônico a maior perda diária por volatilização também ocorreu no primeiro dia após a adubação, e correspondeu a 13,8% do aplicado. O fertilizante Ureia + NBPT apresentou dois picos de volatilização de 4,7 e 4,8% no segundo e no quarto dia após a adubação, respectivamente. As perdas diárias maiores que 1% desses três tratamentos se estenderam até o 7º dia após a adubação.

A Ureia + Cu + B teve perdas de amônia crescentes de volatilização até o 13º, quando atingiu valor máximo de 3,5%, decrescendo posteriormente. Faria et al. (2014) avaliando a higroscopicidade e as perdas por volatilização de amônia de ureia revestida com ácido bórico e sulfato de cobre, também verificaram que esse revestimento foi capaz de retardar os picos de volatilização de amônia.

A Ureia dissolvida apresentou máxima volatilização diária de 2,2% no primeiro dia após a adubação, sendo que nos demais dias as perdas foram menores. As perdas diárias de amônia pelos fertilizantes Sulfato de amônio e Nitrato de amônio foram muito pequenas, sendo que os valores máximos de volatilização foram iguais a 0,3% e 0,06%, respectivamente.

Na Tabela 2 se encontram as perdas acumuladas de amônia dos fertilizantes convencionais e estabilizados, referentes a cada adubação de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N e para o total acumulado após as três adubações. Observou-se diferença significativa entre os fertilizantes em todas as adubações e no total acumulado.

Tabela 2 - Perdas acumuladas de amônia (% do nitrogênio aplicado) para os fertilizantes convencionais e estabilizados.

Fertilizante	Adubação			Total <sup>(2)</sup>
	1 <sup>a(1)</sup>	2 <sup>a(1)</sup>	3 <sup>a(1)</sup>	
Ureia convencional	24,01A	13,75B	31,19A	22,98A
Ureia dissolvida	4,50B	2,33D	3,03D	3,29D
Sulfato de amônio	0,48D	0,01E	0,21D	0,23E
Nitrato de amônio	0,18D	0,13E	0,22D	0,18E
Ureia + Cu + B	3,46C	1,92D	14,87C	6,75C
Ureia + polímero aniônico	23,12A	21,86A	29,69A	24,89A
Ureia + NBPT	9,64B	6,17C	20,54B	12,12B
Média	9,34b	6,60c	14,25a	10,06
Coeficiente de variação (%)	18,02	17,86	16,20	11,67

Fonte: Dados da autora (2017)

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Skott-Knott. (1) Usou-se a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, em cada adubação. (2) Perdas acumuladas dos fertilizantes em % da dose total aplicada, que foi 300 kg ha<sup>-1</sup>.

Na primeira adubação nitrogenada, as perdas acumuladas de amônia seguiram e seguinte ordem decrescente: Ureia convencional (24,01%) = Ureia + polímero aniônico (23,12%) > Ureia + NBPT (9,64%) = Ureia dissolvida (4,50%) > Ureia + Cu + B (3,46%) > Sulfato de amônio (0,48%) = Nitrato de amônio (0,18%) (TABELA 2).

Para a segunda adubação, a ordem foi: Ureia + polímero aniônico (21,86%) > Ureia convencional (13,75%) > Ureia + NBPT (6,17%) > Ureia dissolvida (2,33%) = Ureia + Cu + B (1,92%) > Nitrato de amônio (0,13%) = Sulfato de amônio (0,01%) (TABELA 2).

Com relação a terceira adubação, as perdas acumuladas por volatilização de amônia dos fertilizantes apresentaram a sequência: Ureia convencional (31,19%) = Ureia + polímero aniônico (29,69%) > Ureia + NBPT (20,54%) > Ureia + Cu + B (14,87%) > Ureia dissolvida (3,03%) = Nitrato de amônio (0,22%) = Sulfato de amônio (0,21%) (TABELA 2).

Já para o total acumulado das três adubações, os fertilizantes seguiram a seguinte ordem de acordo com as perdas por volatilização: Ureia + polímero aniônico (24,89%) = Ureia convencional (22,98%) > Ureia + NBPT (12,12%) > Ureia + Cu + B (6,75%) > Ureia dissolvida (3,29%) > Sulfato de amônio (0,23%) = Nitrato de amônio (0,18%) (TABELA 2).

Observou-se pelas médias das volatilizações de cada adubação, que as perdas foram menores na segunda (6,60%), medianas na primeira (9,34%) e maiores na terceira adubação nitrogenada (14,25%). Vale ressaltar que essa diferença se deu nos tratamentos que continham ureia, sendo muito insignificante para o sulfato de amônio e nitrato de amônio. Essas variações entre as médias das volatilizações ocorreram por causa das diferenças no

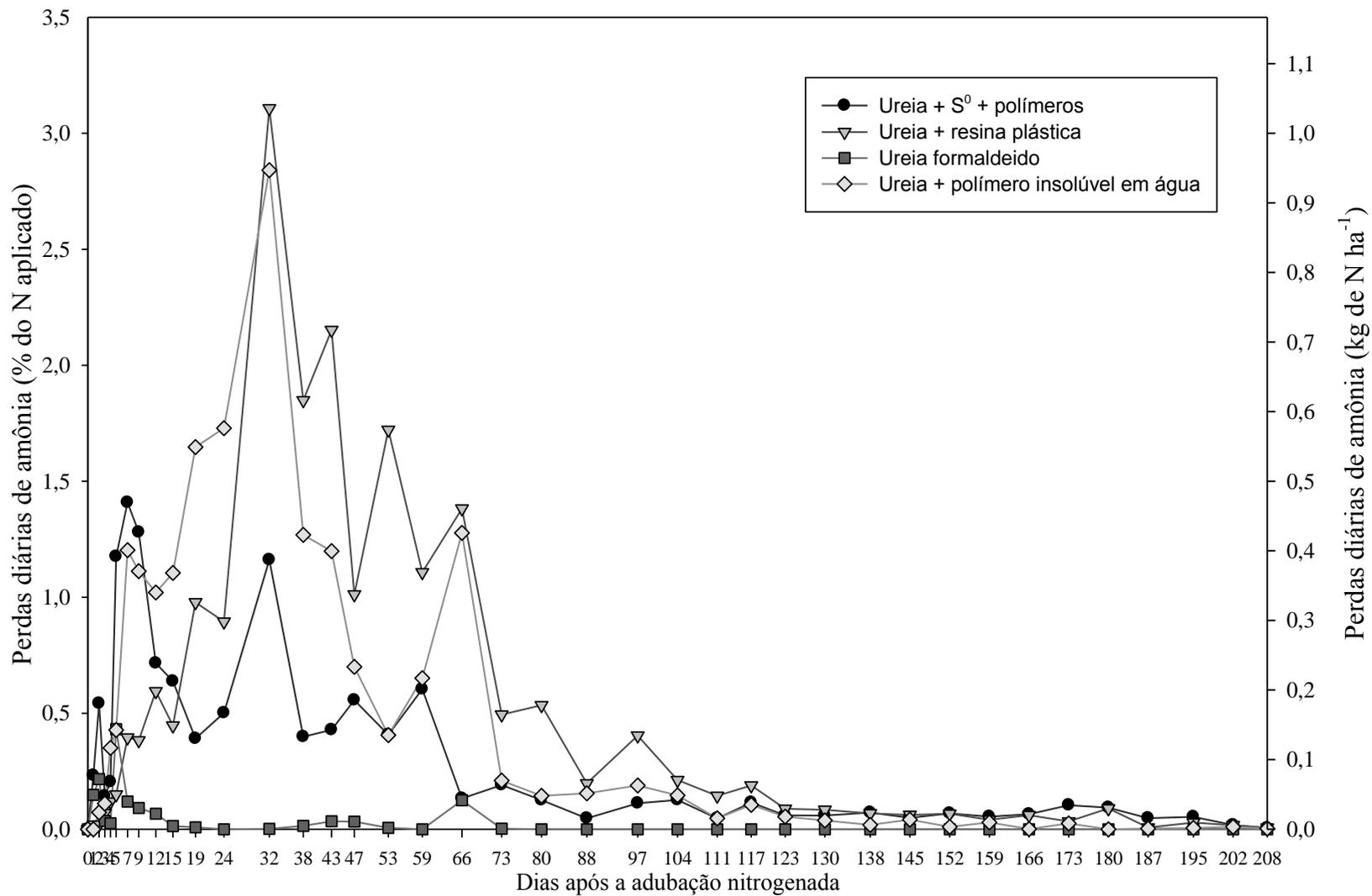
comportamento e nas quantidades das precipitações ocorridas durante cada período avaliado e, principalmente, durante os seis primeiros dias após cada adubação.

As precipitações totais durante cada período foram: 337,2 mm no período da primeira adubação, 288,8 mm na segunda e 69,2 mm na terceira, portanto, choveu mais durante as avaliações da primeira adubação. Porém, ao analisarmos as precipitações nos seis primeiros dias após as adubações, verificamos que choveu 78,4 mm após a primeira, 171,2 mm após a segunda e 19,4 mm após a terceira adubação, o que está intimamente relacionado com as perdas de amônia ocorridas em cada período.

As maiores perdas de nitrogênio por volatilização ocorrem nos cinco ou seis primeiros dias após a adubação, uma vez que a hidrólise da ureia ocorre rapidamente (ALVES, 2006; CABEZAS; TRIVELIN, 1990; COSTA; VITTI; CANTARELLA, 2003; ROJAS et al., 2012). A chuva, portanto, só é eficaz para reduzir as perdas por volatilização de amônia se ocorrer em um curto período após a aplicação da ureia (BLACK; SHERLOCK; SMITH, 1987; KISSEL et al., 2004) e em quantidade suficiente para incorporá-la ao solo, assim como aconteceu no período da segunda adubação do presente trabalho. Se a precipitação apenas aumentar o índice de água no solo e não incorporar a ureia, como ocorreu no período da terceira adubação, a taxa de hidrólise aumenta e as perdas por volatilização são intensificadas (KISSEL et al., 2004; PRASERTSAK et al., 2001).

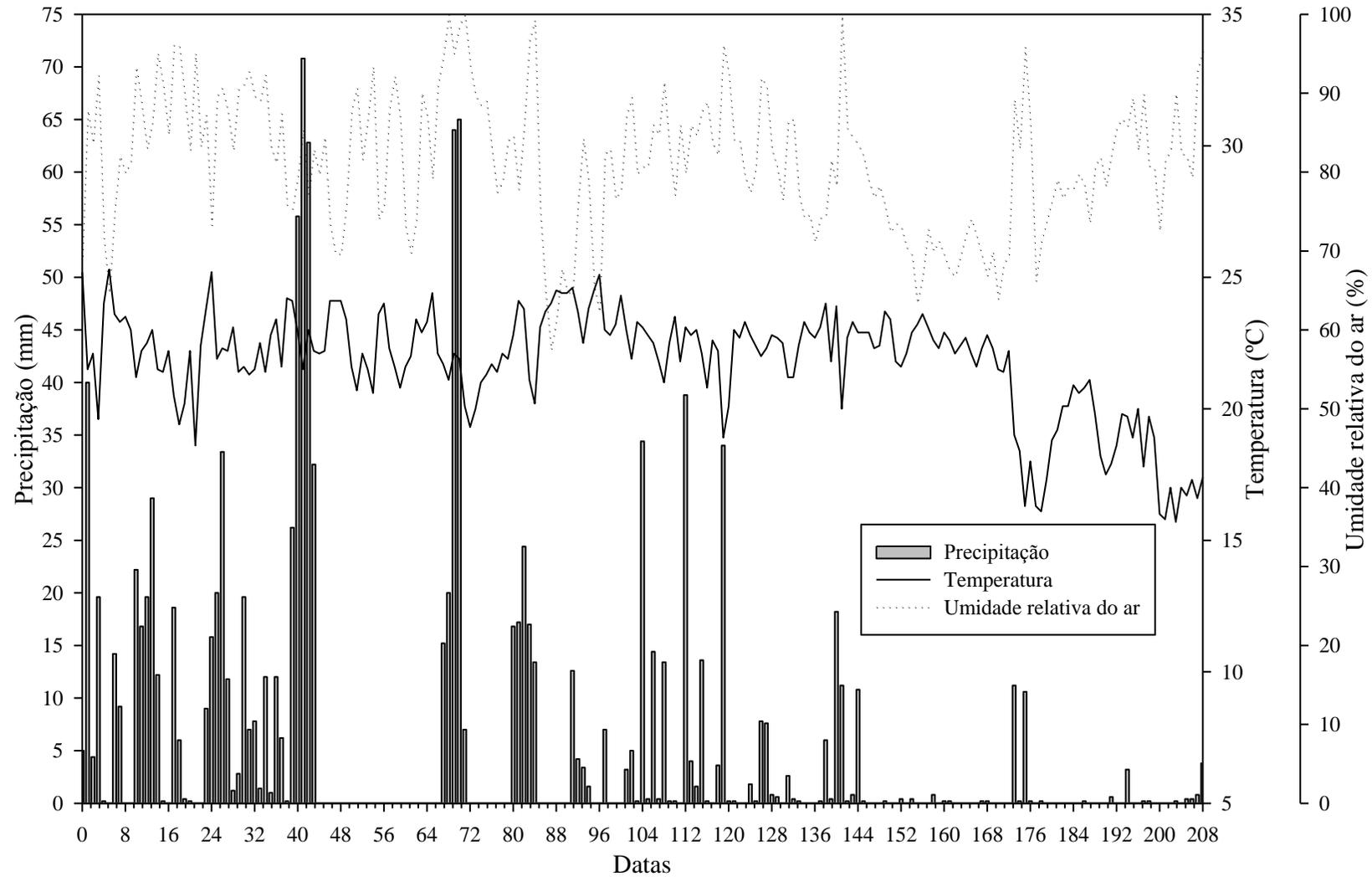
As Figuras 8 e 9 contêm gráficos de perdas diárias de amônia e de dados climáticos referentes às precipitações (mm), umidade relativa do ar (%) e temperaturas médias (°C) diárias do período de avaliações dos fertilizantes de liberação lenta e de liberação controlada: Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros, Ureia + resina plástica, Ureia formaldeído e Ureia + polímero insolúvel em água.

Figura 8 - Perdas diárias de amônia ocorridas após a adubação nitrogenada dos fertilizantes de liberação lenta ou controlada.



Fonte: Dados da autora (2017)

Figura 9 - Precipitações, temperaturas e umidades relativas do ar diárias após a adubação nitrogenada dos fertilizantes de liberação lenta ou controlada



Fonte: Dados da autora (2017).

Verificou-se que as perdas de amônia se estenderam por um período maior do que os fertilizantes que foram parcelados, sendo que no 5º dia após a adubação, apenas 8,6% da volatilização havia ocorrido e no 9º dia esse valor era de 20,1%. Para ocorrer 80% das perdas, demorou-se de 53 a 59 dias. Já para ocorrer 90% das perdas por volatilização de amônia, levou o tempo de 73 e 80 dias após a adubação (FIGURA 8).

Com relação às condições climáticas, as precipitações durante o período avaliado totalizaram 1188,6 mm e 157 dos 209 dias de avaliações apresentaram umidade relativa do ar acima de 75,2%. Porém, observa-se que estas condições não influenciaram muito nas perdas por volatilização de amônia, mesmo com chuvas em 37 dos 44 primeiros dias após a adubação e ocorrendo veranico entre os dias 20/12/2015 a 11/01/2016. Esse fato aconteceu porque os fertilizantes nitrogenados de liberação lenta e controlada são capazes de controlar quimicamente, fisicamente ou microbiologicamente as taxas de liberação de seus nutrientes (SHAVIV, 2005), uma vez que o revestimento protege o grânulo do fertilizante contra ação da umidade, diminuindo sua dissolução imediata, o que retarda a disponibilidade inicial dos nutrientes ou aumenta sua disponibilidade no tempo através de diferentes mecanismos, diminuindo as perdas deste no ambiente.

Para os tratamentos Ureia + resina plástica e Ureia + polímero insolúvel em água, os maiores picos de volatilização aconteceram no 32º dia após a adubação, e tiveram valores iguais a 3,11% e 2,84% respectivamente. Com relação à Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros, a maior volatilização foi de 1,28% do N aplicado e ocorreu no nono dia após a adubação. Já para a Ureia formaldeído, as perdas foram muito pequenas, sendo que a maior aconteceu no quinto dia e correspondeu a 0,43% do total aplicado.

Na Tabela 3, pode-se observar as perdas acumuladas de amônia dos fertilizantes de liberação lenta ou controlada, que foram aplicados em uma única vez na dose de 300 kg de N por hectare. Verificou-se diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Scott-Knott entre os fertilizantes.

Tabela 3 - Perdas acumuladas de amônia (% do nitrogênio aplicado) para os fertilizantes de liberação lenta ou controlada<sup>(1)</sup>.

Fertilizante	Perdas por volatilização (%)
Ureia + S <sup>0</sup> + polímeros	4,30b
Ureia + resina plástica	6,52a
Ureia formaldeído	0,46c
Ureia + polímero insolúvel em água	6,14a
Média	4,36
Coeficiente de variação (%)	9,68

Fonte: Dados da autora (2017).

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Skott-Knott. (1) Utilizou-se a dose de 300 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio.

As maiores perdas de amônia foram verificadas pelos fertilizantes Ureia + resina plástica (6,52%) e Ureia + polímero insolúvel em água (6,14%), que foram iguais estatisticamente entre si. Em seguida, aparece a Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros, com 4,30% de perdas. Já a Ureia formaldeído, foi o fertilizante aplicado em dose única que promoveu menor perda por volatilização de amônia (0,46%) (TABELA 3).

Na Tabela 4 são apresentadas as perdas acumuladas de nitrogênio por volatilização de amônia para todos os fertilizantes convencionais, estabilizados, de liberação lenta ou de liberação controlada após todas as adubações, em kg ha<sup>-1</sup> e em % do total aplicado, referente a dose total de 300 kg por hectare. Os tratamentos diferiram estatisticamente pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, tanto para as perdas em kg ha<sup>-1</sup> quanto para em porcentagem.

Tabela 4 - Perdas acumuladas de amônia para os fertilizantes nitrogenados convencionais<sup>(1)</sup>, estabilizados<sup>(1)</sup>, de liberação lenta<sup>(2)</sup> ou controlada<sup>(2)</sup> aplicados no cafeeiro.

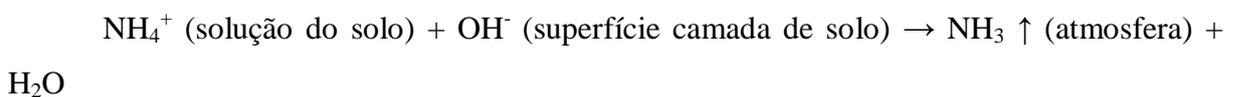
Fertilizante	Perdas de amônia (kg ha <sup>-1</sup> )	Perdas de amônia (%)
Ureia convencional	68,95b	22,98b
Ureia dissolvida	9,87e	3,29e
Sulfato de amônio	0,70f	0,23f
Nitrato de amônio	0,54f	0,18f
Ureia + Cu + B	20,24d	6,75d
Ureia + polímero aniônico	74,67a	24,89a
Ureia + NBPT	36,35c	12,12c
Ureia + S <sup>0</sup> + polímeros	12,91e	4,30e
Ureia + resina plástica	19,58d	6,52d
Ureia formaldeído	1,37f	0,46f
Ureia + polímero insolúvel em água	18,41d	6,14d
Média	23,96	7,99
Coefficiente de variação (%)	11,89	11,89

Fonte: Dados da autora (2017)

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Skott-Knott. (1) Foram parcelados em 3 aplicações de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N cada. (2) Foram aplicados em dose única de 300 kg ha<sup>-1</sup> de N.

As perdas acumuladas de amônia por volatilização, em kg ha<sup>-1</sup> e em porcentagem, seguiram e seguinte ordem decrescente: Ureia + polímero aniônico (74,67 kg ha<sup>-1</sup> e 24,89%) > Ureia convencional (68,95 kg ha<sup>-1</sup> e 22,98%) > Ureia + NBPT (36,35 kg ha<sup>-1</sup> e 12,12%) > Ureia + Cu + B (20,24 kg ha<sup>-1</sup> e 6,75%) = Ureia + resina plástica (19,58 kg ha<sup>-1</sup> e 6,52%) = Ureia + polímero insolúvel em água (18,41 kg ha<sup>-1</sup> e 6,14%) > Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros (12,91 kg ha<sup>-1</sup> e 4,30%) = Ureia dissolvida (9,87 kg ha<sup>-1</sup> e 3,29%) > Ureia formaldeído (1,37 kg ha<sup>-1</sup> e 0,46%) = Sulfato de amônio (0,70 kg ha<sup>-1</sup> e 0,23%) = Nitrato de amônio (0,54 kg ha<sup>-1</sup> e 0,18%) (TABELA 4).

O fertilizante Ureia + polímero aniônico foi o que apresentou maiores perdas por volatilização, perdas superiores até à Ureia convencional. O polímero aniônico utilizado neste fertilizante é solúvel em água, portanto não interfere significativamente na dissolução do fertilizante. Logo, em contato com água e/ou umidade, ele se dissolve, assim como um fertilizante comum. A finalidade desse polímero é melhorar qualidades físico-químicas de fertilizantes, tais como aumento de dureza, redução de acidez livre, redução da higroscopicidade e redução do teor de pó de fertilizantes (REIS JÚNIOR; TÍSKT, 2011). Além disso, o fertilizante contém cargas negativas capazes de reter NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, provocando aumento da volatilização conforme a reação:



Nessa reação, o  $\text{NH}_4^+$  que está na solução do solo reage com uma hidroxila formando água e amônia, que volatiliza e é perdida para a atmosfera. Então, possivelmente este foi o motivo pelo qual a Ureia + polímero aniônico perdeu mais amônia do que a Ureia convencional. Portanto, incorporação do polímero aniônico à ureia não foi eficiente para evitar a volatilização de  $\text{NH}_3$ .

Em café, alguns trabalhos relatam perdas por volatilização de amônia pelo fertilizante ureia convencional que variam de 11,44 até 31,20% (CHAGAS et al., 2016; DOMINGHETTI et al., 2016; FENILLI et al., 2007; SOUZA, 2012). Observou-se neste trabalho, que mesmo ocorrendo precipitações após as adubações nitrogenadas, o tratamento Ureia convencional (FIGURAS 3, 5 e 7) ainda perdeu 22,98% do nitrogênio aplicado (TABELA 4). Vários fatores influenciam a volatilização, como pH do solo, CTC, cobertura do solo, atividade da urease, temperatura ambiente, umidade do solo no momento da adubação, volume de chuvas após adubação, matéria orgânica do solo (CORSI, 1994; NÔMMIK, 1973; SANGOI et al., 2003; TASCA et al., 2011; TISDALE; NELSON; BEATON, 1985). Alguns desses fatores podem ter interagido favorecendo as perdas.

Nas adubações em que a Ureia convencional sofreu maiores perdas (primeira e terceira) (TABELA 2), o solo estava úmido no momento da adubação (FIGURAS 3 e 7). A ureia aplicada em solo úmido, solo saturado ou sobre lâmina de água sofre perdas maiores do que a ureia aplicada em solo seco (DUARTE et al., 2007). Porém, com as precipitações nos dias seguintes (FIGURAS 3 e 7), esperava-se que a umidade do solo não influenciasse tanto nas perdas, pois a tendência era a ureia ser incorporada ao solo. Todavia, as precipitações podem não ter sido suficientes para incorporar toda ureia ao solo.

Nos seis primeiros dias após a 1ª e a 3ª adubações, período em que se concentram as maiores perdas por volatilização (ALVES, 2006; COSTA; VITTI; CANTARELLA, 2003; CABEZAS; TRIVELIN, 1990), as precipitações totalizaram 78,4 mm e 19,4 mm, respectivamente, enquanto que para a 2ª adubação, na qual foi verificado menores perdas de amônia, a precipitação referente a esse período foi de 171,2 mm (FIGURAS 3, 5 e 7). Observa-se que mesmo ocorrendo maiores precipitações durante todo o período avaliado após a primeira adubação (346,2 mm) em relação à segunda (288,8 mm) e à terceira (69,2 mm) (FIGURAS 3, 5 e 7), o que realmente importa para diminuir ou aumentar a volatilização são as precipitações ocorridas durante os seis primeiros dias após a adubação, sendo que o valor de 78,4 mm (1ª adubação) não foi suficiente para minimizar as perdas de amônia, enquanto que a quantidade de 171,2 mm (2ª adubação) já reduziu a volatilização.

A Ureia + NBPT reduziu 47,3% das perdas em relação à Ureia convencional, indicando que o tratamento da ureia com NBPT auxiliou na diminuição das perdas por volatilização de amônia, porém não foi capaz de impedir totalmente a volatilização. Em condições ideais, o NBPT pode inibir a hidrólise da ureia por períodos de 7 a 14 dias dependendo dos atributos do solo, como pH, umidade inicial, temperatura, entre outros (DAWAR et al., 2011; HENDRICKSON; DOUGLASS, 1993; SANZ-COBENA et al., 2008). No entanto, se as condições favorecerem a rápida hidrólise da ureia, como alta umidade e temperatura, a atividade do NBPT pode ter sua duração reduzida, tornando-se ineficaz para proteger a ureia da atividade da urease (DAWAR et al., 2011; ROBERTS, 2014; WHITEHURST; WHITEHURST, 2014).

Esse período de atividade do NBPT foi de um dia apenas após a segunda adubação, quando se aplicou o fertilizante em solo seco, chovendo no dia seguinte, sendo que nas outras adubações não se verificou inibição da hidrólise da ureia, pois o solo estava úmido e choveu no mesmo dia da adubação. Tasca et al. (2011) verificaram um período de dois dias em condições de cultivos de climas tropicais, como o cafeeiro, o que inviabilizaria sua utilização como inibidor da urease. Portanto, em condições de solo úmido e chuvas seguintes às adubações em pequena quantidade e irregulares, o NBPT teve seu efeito protetivo reduzido, mas não eliminado, pois ainda foi eficiente em reduzir a volatilização em 47% em relação à Ureia convencional. Estudos relatam redução de 50 a 70% das perdas de N por volatilização de amônia quando comparada a ureia convencional (CANTARELLA et al., 2002; SOUZA, 2012).

Com relação à Ureia + Cu + B, verificou-se que esses aditivos foram capazes de reduzir 70,6% das perdas por volatilização deste tratamento quando comparado à Ureia convencional. Devido sua estrutura ser semelhante à da ureia, o ácido bórico atua fazendo com que o B iniba a enzima urease de forma competitiva, ou seja, compete com a urease pelo mesmo sítio ativo do substrato (ureia) (BENINI et al., 2004). A inibição ocasionada pelo Cu pode ocorrer também por causa da competição desse com o níquel, que é o componente que ativa a enzima urease (MORAES; ABREU JUNIOR; LAVRES JUNIOR, 2010). Já o sulfato de cobre atua minimizando a atividade da urease no solo, uma vez que o Cu afeta levemente a afinidade entre a urease do solo e o substrato (ureia), sem alterar a configuração da urease no solo (LIJUN; YANG; YANGYE, 2009).

A atividade da urease pode ser desviada para o ácido bórico e conseqüentemente diminuir as perdas por volatilização (FARIA et al., 2013). Estudos identificaram que o efeito

da adição de cobre e boro à ureia tem reduzido as perdas de amônia quando comparado com ureia convencional em milho, cana-de-açúcar, em condições laboratoriais e em ambiente controlado (FARIA et al., 2013; JIANG et al., 2012; NASCIMENTO et al., 2013; STAFANATO et al., 2013; WHITEHURST; WHITEHURST, 2014).

Na cultura do café, foram verificadas perdas por volatilização de amônia de 8,6% pela Ureia + resina plástica (DOMINGHETTI et al., 2016), enquanto que nesse experimento encontrou-se um valor intermediário a esses, de 6,52%. O uso desse fertilizante permitiu uma redução de 71,5% das perdas por volatilização de amônia em relação à Ureia convencional. Essa diminuição aconteceu por causa da membrana plástica adicionada à ureia, que confere uma liberação gradual de nitrogênio para a solução do solo. Devido ao aumento na pressão de vapor, que é influenciada principalmente pela umidade e temperatura, a água penetra pela resina de poliuretano (plástica), dissolvendo o N e elevando a pressão osmótica no interior do grânulo, gerando um gradiente de difusão, fazendo com que o N seja liberado para zona de raiz (SOUZA, 2015; TRENKEL, 2010; YANG, 2012). Além disso, a membrana de revestimento fica flexível, aumentando o tamanho dos poros, o que facilita a difusão do fertilizante para a solução do solo (AZEEM et al., 2014; TIMILSENA et al., 2014).

A Ureia + polímero insolúvel em água é um fertilizante de liberação controlada cujo revestimento impede a dissolução imediata do adubo, quando aplicado ao solo. A espessura desse revestimento determina a longevidade da liberação de nutrientes, e para este fertilizante a longevidade indicada pelo fabricante foi de quatro meses. Esse tratamento diminuiu as perdas de amônia em 73,3% quando comparado a Ureia convencional devido ao seu mecanismo de liberação do nutriente. Após a aplicação, a umidade do solo penetra lentamente através do revestimento. Esta umidade promove uma dissolução gradual dos nutrientes no interior do grânulo. Os nutrientes dissolvidos vão se difundindo através do revestimento para a zona de raiz, até todo o conteúdo do grânulo ser dissolvido e liberado. O revestimento vazio rompe e degrada, não deixando resíduos no solo. A temperatura do solo e a espessura da membrana revestida são os fatores mais importantes capazes de influenciar o coeficiente de difusão desse fertilizante (DU; ZHOU; SHAVIV, 2006). Fatores, como tipo de solo, umidade, pH, atividade microbiana não afetam a taxa de liberação (AZEEM et al., 2014; PRODUTOS..., 2017; TIMILSENA et al., 2014). Como a espessura do fertilizante já havia sido determinada pelo fabricante para proporcionar uma liberação durante quatro meses, pode-se inferir que o fator que influenciou as perdas de amônia foi a temperatura do solo.

O uso de Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros proporcionou uma redução de 81,3% nas perdas de N quando comparada à ureia convencional. Nascimento et al. (2013), utilizando ureia revestida por enxofre e polímeros, obtiveram perdas de 3,8% dos 120 kg total de N aplicado, enquanto que neste experimento verificou-se uma volatilização de 4,30% da dose de 300 kg de N aplicada. Chagas et al. (2016), ao realizarem experimento em lavoura cafeeira irrigada, observaram que esse fertilizante apresentou perdas de 7,68 a 10,4%. O uso de enxofre e polímeros como revestimento de grânulos de ureia reduz o contato da ureia no interior do grânulo revestido com a umidade do solo, proporcionando uma diminuição na dissolução e nos picos de volatilização de amônia (SOUZA, 2015).

O tipo, a espessura e qualidade do revestimento, bem como as condições ambientais, influenciam diretamente na liberação gradual do nutriente para a solução do solo, podendo esta ser gradual e com um período estendido para incorporação da ureia em profundidade após as chuvas sequenciais, de maneira análoga a que ocorre com a ureia convencional, que logo após a sua aplicação fica sujeita aos processos de perdas (SOUZA, 2015). Estes fertilizantes revestidos por enxofre e polímeros normalmente apresentam um padrão sigmoidal de liberação do nitrogênio, que depende, principalmente, da qualidade e espessura do revestimento do grânulo (TRENKEL, 2010).

A Ureia dissolvida em água proporcionou uma redução substancial de 85,7% das perdas de amônia em relação à Ureia convencional. As perdas proporcionadas por esse tratamento foram de 3,29% do total aplicado, ou seja, 9,87 kg ha<sup>-1</sup>, dos 300 kg de N aplicados. Tasca et al. (2011), utilizando-se a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> em condições laboratoriais, observou uma perda em torno de 10 kg ha<sup>-1</sup> para ureia aplicada em forma líquida. Ao ser aplicada em forma líquida, parte das moléculas da ureia dissolvida movimentam-se para o interior do solo, o que proporciona menor incremento no pH do solo na região adubada em relação à ureia aplicada no estado sólido, pois a solução entra em contato com maior número de partículas de solo em relação aos grânulos, contribuindo para a diminuição da volatilização de amônia (TASCA et al., 2011). Visto que a dissolução da ureia em água diminuiu significativamente as perdas por volatilização, é válido investir nesse processo, tanto no desenvolvimento de tecnologias viáveis de aplicação dessa solução, quanto em pesquisas visando identificar a dose ideal de água para aplicação. Além disso, é uma boa possibilidade para uso em locais onde seja possível a utilização de fertirrigação.

Comparando a Ureia convencional com a Ureia formaldeído, observou-se uma diminuição de 98,0% da volatilização. As cadeias poliméricas formadas durante a

condensação de formaldeídos ( $H_2CO$ ) com moléculas de ureia apresentam diferentes tamanhos e aumentam o tempo para liberação do N, sendo esse processo dependente da ação de microorganismos do solo, que decompõem a cadeia lentamente em pequenas unidades prontamente absorvidas pelas plantas (TRENKEL, 2010). Portanto, o processo de liberação dos nutrientes fica dependente da degradação microbiana e indiretamente da temperatura, umidade, pH e oxigênio (TRENKEL, 2010). Geralmente, a ureia formaldeído mostra uma liberação lenta de nitrogênio com boa compatibilidade com a maioria das culturas e, devido à sua baixa solubilidade, não queima a vegetação (TRENKEL, 2010).

Os fertilizantes Sulfato de amônio e Nitrato de amônio reduziram 90,0 e 99,2% das perdas por volatilização em relação à Ureia convencional. As perdas foram muito pequenas devido ao íon amônio permanecer na forma iônica  $N-NH_4^+$  em vez de ser convertido a  $N-NH_3$ . De acordo com Contin (2007), fertilizantes nitrogenados contendo N amoniacal (sulfato de amônio e nitrato de amônio) quando aplicados em solos ácidos (pH inferior a 7,0) apresentaram perdas por volatilização de amônia menores do que 2% do aplicado. Outros estudos verificaram baixas perdas por volatilização de amônia dos fertilizantes sulfato de amônio e nitrato de amônio (CHAGAS et al., 2016; CABEZAS; KORNDORFER; MOTTA, 1997; CABEZAS; SOUZA, 2008; COSTA; VITTI; CANTARELLA, 2003; DOMINGHETTI et al., 2016; FARIA et al., 2014; FONTOURA; BAYER, 2010; NASCIMENTO et al., 2013; SOUZA, 2015; STAFANATO et al., 2013; VIERO et al., 2014), assim como no presente estudo.

#### **4.2 pH do solo**

Para o pH do solo na camada de 0 a 5 cm, notou-se diferença significativa entre os fertilizantes em cada período avaliado nas quatro primeiras avaliações (TABELA 5). A diferença antes da primeira adubação foi considerada, uma vez que os fertilizantes já estavam sendo aplicados nas parcelas há dois anos antes do início deste experimento. Neste período verificou-se que os tratamentos Ureia dissolvida em água, Ureia + NBPT, Ureia +  $S^0$  + polímeros e Ureia formaldeído apresentaram pH menores que os demais (TABELA 5).

Tabela 5 - Variações no pH do solo na camada de 0 a 5cm durante a condução do experimento.

Fertilizante	Avaliações					Diferença entre 1ª e última <sup>(1)</sup>	cv <sup>(2)</sup> (%)
	Antes da 1ª adubação	Antes da 2ª adubação	Antes da 3ª adubação	60 dias após 3ª adubação	180 dias após a 3ª adubação		
Ureia convencional	6,07aA	5,89aA	5,78aA	4,84bB	5,27bA	0,80B	4,97
Ureia dissolvida	5,69aB	5,26bB	5,13bB	4,72bB	5,12bA	0,57C	5,13
Sulfato de amônio	6,15aA	5,74aA	5,26bB	4,73cB	5,14bA	1,01B	5,34
Nitrato de amônio	6,23aA	5,47bA	5,57bA	5,35bA	5,76bA	0,47C	4,88
Ureia + Cu + B	5,95aA	5,92aA	5,93aA	4,77bB	5,20bA	0,75B	4,99
Ureia + polímero aniônico	6,23aA	5,56bA	5,76bA	5,01cB	4,79cA	1,45A	5,06
Ureia + NBPT	5,43aB	5,59aA	5,50aA	5,18aA	5,39aA	0,04D	5,50
Ureia + S <sup>0</sup> + polímeros	5,54aB	4,81bB	5,20aB	4,80bB	4,84bA	0,70B	4,89
Ureia + resina plástica	6,02aA	5,81aA	5,57bA	5,45bA	5,45bA	0,56C	5,11
Ureia formaldeído	5,68aB	5,45aA	5,25aB	5,48aA	5,63aA	0,05D	5,04
Ureia + polímero insolúvel em água	6,11aA	5,11bB	5,16bB	5,18bA	5,28bA	0,83B	5,16
Média	5,92a	5,51b	5,47b	5,05d	5,26c	0,66	
Coeficiente de variação (%)	5,66	6,08	6,13	6,64	6,36	31,74	

Fonte: Dados da autora (2017)

Nota: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Skott-Knott. (1) Diferença entre a última avaliação de pH, obtida 180 dias após a 3ª adubação, e a primeira avaliação, amostrada antes da 1ª adubação (2) Coeficiente de variação do desdobramento de períodos avaliados dentro de fertilizantes.

Antes da segunda adubação, os tratamentos Ureia dissolvida, Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros e Ureia + polímero insolúvel em água foram os que apresentaram menores médias em relação aos outros (TABELA 5). Para a avaliação feita antes da terceira adubação, os tratamentos Ureia dissolvida, Sulfato de amônio, Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros, Ureia formaldeído e Ureia + polímero insolúvel em água exibiram valores de pH inferiores aos demais (TABELA 5). Já aos 60 dias após a última adubação, os menores valores de pH foram observados nos tratamentos: Ureia convencional, Ureia dissolvida, Sulfato de amônio, Ureia + Cu + B, Ureia + polímero aniônico e Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros (TABELA 5). Porém, 180 dias após a última adubação, não se verificou diferença significativa entre os pHs do solo de cada tratamento.

Com relação à diferença obtida entre a primeira avaliação e a última, ou seja, de como o pH estava antes das adubações e como ficou após estas, verificou-se diferença significativa entre os fertilizantes (TABELA 5). O adubo que mais acidificou o solo foi a Ureia + polímero aniônico, diminuindo o pH em 1,45. Em seguida, aparecem os fertilizantes Ureia convencional, Sulfato de amônio, Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros e Ureia + polímero insolúvel em água, que reduziram o pH em valores entre 1,01 e 0,70, seguidos pela Ureia dissolvida,

Nitrato de amônio e Ureia + resina plástica, cujos valores variaram entre 0,57 e 0,47. Já os tratamentos que proporcionaram menor acidificação do solo foram a Ureia + NBPT e Ureia formaldeído, que reduziram apenas 0,5 e 0,4 em relação ao pH inicial (TABELA 5).

O pH do solo variou para os tratamentos com relação aos períodos avaliados constatando-se uma redução nos valores ao longo das adubações, com exceção da ureia + NBPT e ureia formaldeído, que mantiveram o mesmo durante todo experimento (TABELA 5). Com relação à média final do pH de cada período avaliado, observou-se diferença significativa, verificando que houve uma diminuição do pH após a primeira adubação até a avaliação 60 dias após a terceira adubação, com um pequeno aumento 180 dias depois da 3ª adubação (TABELA 5).

Durante o processo de hidrólise da ureia há formação de diversos produtos, como amônio, amônia, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), água, entre outros. O  $\text{CO}_2$  formado fica dissolvido em solução, elevando a pressão parcial desse gás, o que faz com que parte dele se transforme ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Esse ácido carbônico é dissociado, liberando um próton, o que reduz o pH na superfície do solo até que os processos se equilibrem. Esse fato foi verificado neste experimento, pois houve diminuição do pH durante as adubações, e após completa liberação dos fertilizantes, houve um pequeno aumento do pH.

Vale ressaltar que, embora o pH tenha elevado da 4ª para a 5ª amostragem de solo, quando se compara esta última amostragem com o pH do solo antes da 1ª adubação, houve uma redução deste (TABELA 5). Esse processo de acidificação do solo ocorre frequentemente nas lavouras cafeeiras devido às altas doses de fertilizantes (OLIVEIRA, 2007), principalmente os nitrogenados, utilizadas na cultura e o alto poder acidificante dos adubos (formação de prótons  $\text{H}^+$ ), o que corrobora com resultados obtidos por Pavan (1992), que afirma que o uso decorrente de fertilizantes nitrogenados gera  $\text{H}^+$  ao serem nitrificados no solo, reduzindo o pH. Essa acidificação pode ser capaz de minimizar as perdas por volatilização de alguns fertilizantes, porém pode prejudicar alguns processos importantes, como a absorção de nutrientes. Entretanto, ao redor do grânulo de ureia ocorre elevação do pH, pois durante a hidrólise da ureia há formação de íons bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) e hidroxila ( $\text{OH}^-$ ), que tornam o meio alcalino (VITTI et al., 2002).

O pH próximo ao grânulo de ureia é um dos principais fatores que influenciam o processo de volatilização de amônia, elevando seus valores e aumentando as perdas (MENENDEZ et al., 2009; TASCA et al., 2011; WATSON et al., 2008). Segundo Lange et al. (2006), a adubação nitrogenada com ureia inicialmente causa um aumento do pH,

principalmente ao redor dos grânulos do adubo; porém, após o processo de nitrificação do amônio, o pH decresce atingindo valores inferiores aos originais.

Na literatura, encontram-se diversas referências sobre a redução das perdas de amônia a medida que o pH do solo diminui, ou seja, acidifica (FENN; KISSEL, 1976; SENGIK et al., 2001; WATKINS et al., 1972). A redução do potencial de perdas de amônia ( $\text{NH}_3$ ) ocorre quando esse gás se converte no íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), reação totalmente dependente do pH do meio, principalmente do pH ao redor dos grânulos, e também da umidade do solo, sendo que em solos ácidos, com maior concentração de  $\text{H}^+$ , prevalece o  $\text{NH}_4^+$ , enquanto que em solos alcalinos, que possuem mais hidroxilas ( $\text{OH}^-$ ), predomina-se a forma  $\text{NH}_3$  (ROS; AITA; GIACOMINI, 2005). Porém, sabe-se que a reação de hidrólise provoca uma elevação temporária do pH ao redor dos grânulos de ureia, devido ao consumo de prótons, sendo que quanto maior o valor de pH alcançado na zona de aplicação menor proporção de  $\text{N-NH}_4^+$  e maior o potencial de volatilização (ERNANI; BAYER; STECKLING, 2001; ROCHETTE et al., 2009a; ROCHETTE et al., 2009b). Sendo assim, mesmo em solos ácidos, a ureia pode sofrer perdas de N por volatilização de amônia (CHEN et al., 2007; OVERREIN; MOE, 1967; RODRIGUES; KIEHL, 1992).

O Sulfato de amônio e o Nitrato de amônio, que são fertilizantes nitrogenados que contem N amoniacal, quando aplicados em solos ácidos (pH inferior a 7,0) praticamente não sofrem perdas de nitrogênio por volatilização de amônia, pois não aumentam o pH no local onde são aplicados (CONTIN, 2007).

Com relação à Ureia + NBPT, verificou-se que este foi o segundo fertilizante de eficiência aumentada que mais sofreu perdas por volatilização (TABELA 4). A eficácia do NBPT está relacionada ao pH do solo, que pode influenciar na formação de seu análogo NBPT<sub>o</sub>, que é responsável por reduzir a atividade da urease no solo por agir no sítio ativo dessa enzima, sendo mais eficiente em solos com alto valor de pH (WATSON; POLAND; ALLEN, 1998). O fato do pH do solo estar ácido antes das adubações da Ureia + NBPT, entre 5,43 e 5,59 (TABELA 5), pode ter influenciado na eficiência do inibidor da urease NBPT, assim como foi observado por Hendrickson e Douglass (1993). Portanto, essa instabilidade do composto potencializa as perdas por volatilização. Estudos relatam que o inibidor de urease NBPT é menos eficiente em solos mais ácidos (pH 4,5) em relação aos solos com pH mais elevado (HENDRICKSON; DOUGLASS, 1993; SOARES, 2011; TAO et al., 2006).

### 4.3 Teores foliares de nutrientes

Na avaliação dos teores foliares de nitrogênio das plantas, observou-se que houve diferença significativa entre os fertilizantes nas avaliações antes da primeira adubação e antes da segunda adubação, enquanto que nas demais avaliações todos apresentaram a mesma média (TABELA 6).

Tabela 6 - Teores foliares de nitrogênio ( $\text{g kg}^{-1}$ ) durante a condução do experimento.

Fertilizante	Teor foliar de N ( $\text{g kg}^{-1}$ )				cv <sup>(1)</sup> (%)
	Antes da 1 <sup>a</sup> adubação	Antes da 2 <sup>a</sup> adubação	Antes da 3 <sup>a</sup> adubação	60 dias após a 3 <sup>a</sup>	
Ureia convencional	36,4aA	33,7aA	32,0aA	30,9aA	10,79
Ureia dissolvida	35,9aA	35,9aA	35,9aA	31,2aA	10,33
Sulfato de amônio	33,0aB	33,7aA	34,2aA	30,1aA	10,95
Nitrato de amônio	38,5aA	30,5bB	33,6aA	26,6bA	11,10
Ureia + Cu + B	33,3aB	33,3aA	34,6aA	28,4bA	11,07
Ureia + polímero aniônico	29,1aB	30,4aB	33,9aA	30,7aA	11,56
Ureia + NBPT	31,9aB	28,2aB	33,9aA	28,1aA	11,75
Ureia + S <sup>0</sup> + polímeros	34,6aA	29,3bB	37,0aA	30,8bA	10,89
Ureia + resina plástica	28,7aB	31,3aB	34,2aA	28,8aA	11,66
Ureia formaldeído	37,2aA	34,8aA	31,0bA	28,3bA	10,92
Ureia + polímero insolúvel em água	33,7aB	35,0aA	35,7aA	28,3bA	10,81
Média	33,8a	32,4b	34,2a	29,3c	10,79
Faixas críticas <sup>(2)</sup>	28 a 32	28 a 31	26 a 31	28 a 31	
Coefficiente de variação (%)	8,94	9,35	8,85	10,33	

Fonte: Dados da autora (2017)

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Skott-Knott. (1) Coeficiente de variação. (2) Faixas críticas dos teores foliares recomendadas por Malavolta (1992).

Na avaliação antes da primeira adubação, os tratamentos que apresentaram menores valores de teor foliar de nitrogênio foram: Sulfato de amônio, Ureia + Cu + B, Ureia + polímero aniônico, Ureia + NBPT, Ureia + resina plástica e Ureia + polímero insolúvel em água (TABELA 6). Já na análise realizada antes da segunda adubação, as menores médias foram obtidas pelos tratamentos: Nitrato de amônio, Ureia + polímero aniônico, Ureia + NBPT, Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros e Ureia + resina plástica. Apesar de terem apresentado valores inferiores aos demais tratamentos, eles ainda permaneceram dentro do padrão recomendado por Malavolta (1992) (TABELA 6).

Ao analisar os teores foliares de nitrogênio 60 dias após a última adubação, foi possível perceber que mesmo ocorrendo perdas de nitrogênio por volatilização de amônia, os

teores permaneceram iguais estatisticamente após as adubações, indicando que mesmo ocorrendo perdas por volatilização, a quantidade de nitrogênio que ficou no solo foi suficiente para nutrir a planta, inibindo possíveis deficiências (TABELA 6). As recomendações de nitrogênio para as culturas, inclusive o café, já são calculadas levando em consideração perdas de aproximadamente 50% de nitrogênio por volatilização, devido ao uso generalizado da ureia na agricultura (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999).

Com relação às épocas avaliadas dentro de cada fertilizante, verificou-se que houve variação entre as épocas para os fertilizantes Nitrato de amônio, Ureia + Cu + B, Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros, Ureia formaldeído e Ureia + polímero insolúvel em água. Para estes fertilizantes, todos apresentaram menores médias 60 dias após a última adubação, que foi feita no mês de Maio, indicando uma redistribuição desse nitrogênio para os frutos (TABELA 6).

Analisando os teores foliares de N em cada avaliação, foi possível identificar que antes da 1ª, da 2ª e da 3ª adubação, todas as médias estavam entre ou até um pouco acima dos teores ideais para o nutriente (faixas críticas, segundo Malavolta (1992)) em cada uma dessas épocas (TABELA 6). Já 60 dias após a última adubação, apesar de não haver diferença significativa entre as médias dos fertilizantes, o Nitrato de amônio apresentou teor foliar de N abaixo da faixa crítica para a época de acordo com Malavolta (1992) (TABELA 6).

É provável que esse comportamento do Nitrato de amônio se deva a um efeito de diluição, que é caracterizado quando a planta apresenta grande crescimento, diminuindo a concentração de nutrientes no tecido vegetal. Uma vez que esse fertilizante foi um dos que menos perdeu nitrogênio por volatilização de amônia (TABELA 4), forneceu mais nitrogênio para as plantas, podendo estas terem respondido ao N com incremento no crescimento vegetativo.

Quanto as médias de cada época avaliada, observa-se que, ao comparar os valores da primeira e da última avaliação, o teor foliar de nitrogênio diminuiu (TABELA 6). Apesar de ainda estar dentro da faixa adequada, deve-se atentar para o fato de que o estoque de nitrogênio no solo estava alto quando se iniciou este experimento, pois nos dois anos antecedentes foram feitas adubações com 450 kg de N ha<sup>-1</sup>, que estava acima do necessário para a lavoura. Sendo assim, mesmo com esse estoque alto mais a adubação de 300 kg de N ha<sup>-1</sup>, o teor de N nas folhas decresceu, o que significa que as perdas por volatilização, no geral, podem ter influenciado esta característica. O uso de menores doses de N geralmente possibilita altos índices de eficiência, mas pode resultar na utilização indesejável do estoque

de N e da matéria orgânica do solo, o que pode comprometer, a médio e longo prazo, a fertilidade do solo (DOBERMANN, 2007).

Com relação aos teores foliares de enxofre, não houve diferença significativa entre os fertilizantes dentro de cada época de avaliação, nem entre as épocas avaliadas dentro de cada fertilizante (TABELA 7). Apesar do Sulfato de amônio e da Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros apresentarem enxofre em sua constituição, suas médias não foram superiores às demais. Observou-se também um aumento do teor foliar médio de S ao longo das avaliações (TABELA 7). Além disso, nenhum tratamento apresentou deficiência do nutriente, todos estavam acima das faixas críticas determinadas por Malavolta (1992) (TABELA 7), fato esse devido ao alto teor de S no solo (45,04 mg dm<sup>-3</sup>) (TABELA 1), que, segundo Alvarez et al. (1999), para um P-rem de 17,97 mg L<sup>-1</sup>, valores de S acima de 10,3 mg dm<sup>-3</sup> é classificado como muito bom.

Tabela 7 - Teores foliares de enxofre (g kg<sup>-1</sup>) durante a condução do experimento.

Fertilizante	Teor foliar de S (g kg <sup>-1</sup> )				cv <sup>(1)</sup> (%)
	Antes da 1 <sup>a</sup> adubação	Antes da 2 <sup>a</sup> adubação	Antes da 3 <sup>a</sup> adubação	60 dias após a 3 <sup>a</sup>	
Ureia convencional	2,7bA	3,1aA	3,5aA	3,5aA	10,49
Ureia dissolvida	2,7bA	3,3aA	3,5aA	3,0bA	10,76
Sulfato de amônio	3,0aA	3,2aA	3,2aA	3,3aA	10,59
Nitrato de amônio	2,7bA	3,3aA	3,4aA	2,9bA	10,90
Ureia + Cu + B	2,7bA	3,3aA	3,1aA	3,6aA	10,56
Ureia + polímero aniônico	2,8aA	3,4aA	3,5aA	3,2aA	10,49
Ureia + NBPT	2,8aA	3,3aA	3,5aA	3,1aA	10,56
Ureia + S <sup>0</sup> + polímeros	2,9aA	3,2aA	3,3aA	3,4aA	10,49
Ureia + resina plástica	3,0aA	3,1aA	3,4aA	3,4aA	10,49
Ureia formaldeído	2,9bA	3,7aA	3,3aA	3,6aA	9,96
Ureia + polímero insolúvel em água	3,2aA	3,4aA	3,4aA	3,1aA	10,27
Média	2,9b	3,3a	3,4a	3,3a	10,50
Faixas críticas <sup>(2)</sup>	1,6 a 2,3	1,8 a 2,3	2,1 a 2,4	1,8 a 2,0	
Coefficiente de variação (%)	11,52	10,02	9,78	10,08	

Fonte: Dados da autora (2017)

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Skott-Knott. (1) Coeficiente de variação. (2) Faixas críticas dos teores foliares recomendadas por Malavolta (1992).

Os teores foliares de Cu variaram entre os fertilizantes dentro de cada período avaliado. Antes da primeira adubação, o teor foliar dos tratamentos seguiu a seguinte ordem decrescente: Ureia + Cu + B (16,7 mg kg<sup>-1</sup>) = Nitrato de amônio (16,2 mg kg<sup>-1</sup>) = Ureia convencional (15,9 mg kg<sup>-1</sup>) > Ureia + NBPT (14,7 mg kg<sup>-1</sup>) = Ureia dissolvida (14,3 mg kg<sup>-1</sup>) = Ureia formaldeído (14,3 mg kg<sup>-1</sup>) = Ureia + polímero aniônico (14,2 mg kg<sup>-1</sup>) = Sulfato de amônio (13,6 mg kg<sup>-1</sup>) > Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros (13,2 mg kg<sup>-1</sup>) >

Ureia + polímero insolúvel em água ( $12,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > Ureia + resina plástica ( $12,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (TABELA 8).

Tabela 8 - Teores foliares de cobre ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) durante a condução do experimento.

Fertilizante	Teor foliar de Cu ( $\text{mg kg}^{-1}$ )				cv <sup>(1)</sup> (%)
	Antes da 1 <sup>a</sup> adubação	Antes da 2 <sup>a</sup> adubação	Antes da 3 <sup>a</sup> adubação	60 dias após a 3 <sup>a</sup>	
Ureia convencional	15,9aA	13,7bA	11,8bC	12,6bB	9,75
Ureia dissolvida	14,3aB	13,1aB	10,5bC	12,1bB	10,55
Sulfato de amônio	13,6aB	14,4aA	11,6bC	11,8bB	10,22
Nitrato de amônio	16,2aA	12,6bB	9,7cC	7,8dC	11,37
Ureia + Cu + B	16,7aA	15,7aA	12,4bB	9,0cC	9,79
Ureia + polímero aniônico	14,2aB	14,1aA	14,2aA	11,4bB	9,76
Ureia + NBPT	14,7aB	15,4aA	15,6aA	14,1aA	8,81
Ureia + S <sup>0</sup> + polímeros	13,2aC	14,0aA	12,6aB	12,4aB	10,11
Ureia + resina plástica	12,5aC	12,4aB	13,6aB	11,4aB	10,58
Ureia formaldeído	14,3aB	13,0aB	10,1bC	9,5bC	11,22
Ureia + polímero insolúvel em água	12,7bC	14,0aA	10,4bC	10,0bC	11,44
Média	14,3a	13,9a	12,1b	11,1c	10,26
Faixas críticas <sup>(2)</sup>	10 - 20				
Coeficiente de variação (%)	6,77	6,97	8,00	8,73	

Fonte: Dados da autora (2017)

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Skott-Knott. (1) Coeficiente de variação. (2) Faixas críticas dos teores foliares recomendadas por Malavolta (1992).

Para a avaliação realizada antes da segunda adubação, a ordem foi: Ureia + Cu + B ( $15,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ) = Ureia + NBPT ( $15,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ) = Sulfato de amônio ( $14,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ) = Ureia + polímero aniônico ( $14,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ) = Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros ( $14,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ) = Ureia + polímero insolúvel em água ( $14,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ) = Ureia convencional ( $13,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > Ureia dissolvida ( $13,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ) = Ureia formaldeído ( $13,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ) = Nitrato de amônio ( $12,6 \text{ mg kg}^{-1}$ ) = Ureia + resina plástica ( $12,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (TABELA 8).

Já com relação à terceira avaliação, seguiu-se a ordem decrescente: Ureia + NBPT ( $15,6 \text{ mg kg}^{-1}$ ) = Ureia + polímero aniônico ( $14,2 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > Ureia + resina plástica ( $13,6 \text{ mg kg}^{-1}$ ) = Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros ( $12,6 \text{ mg kg}^{-1}$ ) = Ureia + Cu + B ( $12,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > Ureia convencional ( $11,8 \text{ mg kg}^{-1}$ ) = Sulfato de amônio ( $11,6 \text{ mg kg}^{-1}$ ) = Ureia dissolvida ( $10,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ) = Ureia + polímero insolúvel em água ( $10,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ) = Ureia formaldeído ( $10,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ) = Nitrato de amônio ( $9,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (TABELA 8).

E para a última avaliação, a ordem obtida foi a seguinte: Ureia + NBPT ( $14,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > Ureia convencional ( $12,6 \text{ mg kg}^{-1}$ ) = Ureia +  $S^0$  + polímeros ( $12,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ) = Ureia dissolvida ( $12,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ) = Sulfato de amônio ( $11,8 \text{ mg kg}^{-1}$ ) = Ureia + polímero aniônico ( $11,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ) = Ureia + resina plástica ( $11,4 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > Ureia + polímero insolúvel em água ( $10,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ) = Ureia formaldeído ( $9,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ) = Ureia + Cu + B ( $9,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ) = Nitrato de amônio ( $7,8 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (TABELA 8).

Devido ao fertilizante Ureia + Cu + B conter Cu em sua constituição, era de se esperar que apresentasse maior teor de Cu nas folhas. Porém, foi observado o inverso, pois ele apresentou uma das menores médias de teor foliar de Cu, estando até abaixo da faixa crítica recomendada para cafeeiros em produção ( $10\text{-}20 \text{ g kg}^{-1}$ ) (MALAVOLTA, 1992) (TABELA 8). Além desse tratamento, o Nitrato de amônio da terceira e na última avaliação e a Ureia formaldeído na última avaliação, apresentaram teores foliares abaixo do indicado por Malavolta (1992).

Verificou-se também que houve diferença entre as épocas avaliadas dentro da maioria dos fertilizantes, observando uma tendência decrescente ao longo das avaliações, com exceção à Ureia + NBPT, Ureia +  $S^0$  + polímeros e Ureia + resina plástica, que apresentaram as mesmas médias durante todo experimento. Com relação à comparação entre as médias de cada período avaliado, observou-se que elas foram reduzindo ao longo do tempo, mas ainda assim permaneceram dentro dos teores ideais indicados por Malavolta (1992).

#### 4.4 Produtividade

A produtividade variou entre os fertilizantes nitrogenados avaliados. A maior média foi obtida pelo tratamento Ureia +  $S^0$  + polímeros, com  $48,3 \text{ sacas ha}^{-1}$ . Em seguida, os demais tratamentos seguiram a ordem decrescente: Ureia + NBPT ( $43,6 \text{ sacas ha}^{-1}$ ) = Ureia dissolvida ( $42,2 \text{ sacas ha}^{-1}$ ) = Ureia + polímero aniônico ( $41,7 \text{ sacas ha}^{-1}$ ) = Ureia formaldeído ( $40,7 \text{ sacas ha}^{-1}$ ), que foram superiores aos demais tratamentos: Ureia convencional ( $37,3 \text{ sacas ha}^{-1}$ ) = Sulfato de amônio ( $37,1 \text{ sacas ha}^{-1}$ ) = Ureia + polímero insolúvel em água ( $36,6 \text{ sacas ha}^{-1}$ ) = Ureia + resina plástica ( $35,7 \text{ sacas ha}^{-1}$ ) = Nitrato de amônio ( $33,4 \text{ sacas ha}^{-1}$ ) = Ureia + Cu + B ( $32,7 \text{ sacas ha}^{-1}$ ) (TABELA 9).

Tabela 9 - Produtividade estimada (sacas 60 kg ha<sup>-1</sup>) obtida nos tratamentos em 2017.

Fertilizante	Produtividade (sacas ha <sup>-1</sup> )
Ureia convencional	37,3c
Ureia dissolvida	42,2b
Sulfato de amônio	37,1c
Nitrato de amônio	33,4c
Ureia + Cu + B	32,7c
Ureia + polímeros aniônicos	41,7b
Ureia + NBPT	43,6b
Ureia + S <sup>0</sup> + polímeros	48,3a
Ureia + resina plástica	35,7c
Ureia formaldeído	40,7b
Ureia + polímero insolúvel em água	36,6c
Média	39,0
Coefficiente de variação (%)	8,25
Temperaturas médias (°C) <sup>1</sup>	21,23
Precipitação total (mm) <sup>1</sup>	1243,3

Fonte: Dados da autora (2017)

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Skott-Knott. (1) Foi calculado o valor médio de temperaturas referentes ao período de 01/01/2015 a 31/12/2016 e calculada a precipitação média anual desses dois anos.

A precipitação média para os anos de 2015 e 2016 foi de 1243,3 mm (TABELA 9), um pouco abaixo da média histórica para cidade de Lavras-MG, que é de 1460 mm (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007), mas entre a faixa ideal para o desenvolvimento da espécie *Coffea arabica*, que está entre 1200 a 1800 mm anuais (THOMAZIELLO et al., 2000). Já a temperatura média para o mesmo período foi de 21,2°C (TABELA 9), acima da média histórica de Lavras, 20,4°C, obtida pelos mesmos autores, que está entre os limites ideais para a cultura, que é 18 e 22°C (CAMARGO, 1985). Portanto, as condições climáticas foram ideais para a cultura se desenvolver adequadamente.

Por mais que se tenha verificado perdas por volatilização significativas para alguns fertilizantes (TABELA 4), esse fato parece não ter influenciado na produtividade dos tratamentos (TABELA 9). Estudos demonstraram que a volatilização da ureia aplicada em superfície e de outros fertilizantes menos sujeitos a perdas de amônia não interfere na produtividade (BERNARDES, 2011; CANCELLIER, 2013; CHAGAS et al., 2016; CUNHA et al., 2011; SOUZA, 2015; TERMAN, 1979; VALDERRAMA et al., 2009).

Além disso, essa diferença entre as produtividades dos fertilizantes e suas perdas por volatilização se devem ao fato de que a maior parte do N absorvido pela planta é proveniente do solo e não do fertilizante. Dourado Neto et al. (2010) ao fazerem um estudo em 13 ecossistemas tropicais, em nove países e com diversas culturas, concluíram que 79% do N absorvido pela cultura foi fornecido pelo solo e apenas 21% pelos adubos. Portanto, nem todo

N aplicado é direcionado para produção e vegetação da planta. Pesquisas mostraram que a recuperação do N do fertilizante na cultura do café foi de 38,6% quando forneceu 300 kg ha<sup>-1</sup> de N (PEDROSA, 2013); 74,6% na dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> N, 41,1% pela aplicação de 400 kg de N, 45,5% com 600 kg de N e 28,6% com 800 kg ha<sup>-1</sup> de N (BORTOLOTTI, 2011).

Fagundes et al. (2015), ao avaliar a produtividade média do cafeeiro por cinco safras (2011/2012 a 2015/2016), verificaram que a aplicação de ureia + S<sup>0</sup> + polímeros na dose de 75% do recomendado para área (250 kg ha<sup>-1</sup>) proporcionou maior produtividade em comparação ao uso de formulado com nitrogênio nas doses de 100, 75 e 50%.

Apesar da Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros ter apresentado maior produtividade na safra de 2017, essa superioridade pode não se confirmar ao longo dos anos pois, devido a característica bienal de produtividade do cafeeiro, são necessários dados de várias safras para que se obtenham dados mais seguros que representem, de fato, a resposta do cafeeiro aos fertilizantes.

Na Tabela 10 encontram-se dados referentes às quantidades de N que foram efetivamente aproveitados, ou seja, que não sofreram perdas por volatilização, sem considerar as demais perdas que podem ter ocorrido, a relação entre a produtividade dos tratamentos e a quantidade de N efetivamente utilizada e a quantidade de N utilizada para produzir uma saca de 60 kg de café beneficiado.

Tabela 10 - Quantidade de N efetivamente aproveitado, relação entre a produtividade dos tratamentos (kg) e a quantidade de N (kg) efetivamente utilizada e quantidade de N utilizada para produzir uma saca de café beneficiado.

Fertilizante	kg de N efetivo <sup>(1)</sup>	kg café produzido por kg de N utilizado	kg de N efetivo por saca beneficiada
Ureia convencional	231,1e	9,69a	6,19c
Ureia dissolvida	290,1b	8,72b	6,88c
Sulfato de amônio	299,3a	7,44b	8,07b
Nitrato de amônio	299,5a	6,69b	8,97a
Ureia + Cu + B	279,8c	7,00b	8,57a
Ureia + polímeros aniônicos	225,3f	11,11a	5,40c
Ureia + NBPT	263,6d	9,93a	6,04c
Ureia + S <sup>0</sup> + polímeros	287,1b	10,09a	5,95c
Ureia + resina plástica	280,4c	7,63b	7,86b
Ureia formaldeído	298,6a	8,18b	7,33b
Ureia + polímero insolúvel em água	281,6c	7,81b	7,68b
Média	276,0	8,57	7,18
Coeficiente de variação (%)	1,03	8,22	8,33

Fonte: Dados da autora (2017)

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Skott-Knott. (1) Subtraiu-se a quantidade de N em kg perdida por volatilização de amônia da quantidade aplicada ao solo (300 kg).

As médias para as três características variaram entre os fertilizantes (TABELA 10). Os fertilizantes que forneceram maior quantidade de N para as plantas (kg de N efetivo) foram: Nitrato de amônio (299,5 kg), Sulfato de amônio (299,3 kg) e Ureia formaldeído (298,6 kg). Em seguida, foram os seguintes tratamentos: Ureia dissolvida (290,1 kg) = Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros (287,1 kg), que foram superiores a: Ureia + polímero insolúvel em água (281,6 kg) = Ureia + resina plástica (280,4 kg) = Ureia + Cu + B (279,8 kg), que apresentaram médias maiores do que a Ureia + NBPT (263,6 kg), maior que a Ureia convencional (231,1 kg), sendo que o tratamento que teve menor efetividade foi a Ureia + polímero aniônico (225,3 kg).

Os tratamentos que produziram maior quantidade de café beneficiado por quilo de N utilizado foram: Ureia + polímero aniônico (11,11 kg café/ kg de N), Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros (10,09 kg café/ kg de N), Ureia + NBPT (9,93 kg café/ kg de N) e Ureia convencional (9,69 kg café/ kg de N). Já o menor aproveitamento do N efetivo foi obtido pelos tratamentos: Ureia dissolvida (5,23 kg café/ kg de N), Ureia formaldeído (4,91 kg café/ kg de N), Ureia + polímero insolúvel em água (8,72 kg café/ kg de N), Ureia + resina plástica (7,63 kg café/ kg de N), Sulfato de amônio (7,44 kg café/ kg de N), Ureia + Cu + B (7,00 kg café/ kg de N) e Nitrato de amônio (6,69 kg café/ kg de N).

Os fertilizantes que necessitaram de menos quilos de N para produzir uma saca de 60 kg de café beneficiado foram a Ureia + polímeros aniônicos (5,40 kg N/ saca), Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros (5,95 kg N/ saca), Ureia + NBPT (6,04 kg N/ saca), Ureia convencional (6,19 Kg N/ saca) e Ureia dissolvida (6,88 kg N/ saca). Em seguida, foram a Ureia formaldeído (7,33 kg N/ saca), Ureia + polímero insolúvel em água (7,68 kg N/ saca), Ureia + resina plástica (7,86 kg N/ saca) e Sulfato de amônio (8,07 kg N/ saca). Já a Ureia + Cu e B e o Nitrato de amônio necessitaram de uma maior quantidade de N para produzir uma saca de café, que foi 8,57 e 8,97 kg, respectivamente. O valor médio obtido, que foi de 7,18 kg de N por saca, foi superior ao encontrado por Matiello et al. (2010), que obteve um consumo médio de 6,2 kg, valor este que pode variar em função de fatores edafoclimáticos de cultivo.

Porém, deve ser considerado que quando o fertilizante nitrogenado é aplicado, parte do N é recuperado pelo sistema radicular e parte aérea, outra parte permanece no solo, imobilizada pelos microrganismos do solo, e outra fração se perde do sistema solo-planta, por lixiviação, desnitrificação ou volatilização. Desses processos, somente as perdas por volatilização foram quantificadas.

Além disso, considerando o valor obtido por Pedrosa (2013) para a dose de 300 kg ha<sup>-1</sup> (38,6%) e a média de 7,18 kg de N por saca, tem-se que apenas 2,77 kg de N do fertilizante aplicado foi utilizado para produzir uma saca de 60 kg de café beneficiado, sendo que o restante (4,41 kg) utilizado é proveniente do solo.

#### 4.5 Custo de produção

O custo de produção foi obtido com base em apenas uma parcela dos custos operacionais do café, que foram insumos, mão de obra, mecanização além de outros custos operacionais (contabilidade, telefone, taxas eventuais) necessários para a produção em 1 hectare de café na região de Lavras - MG, e depreciações relativas apenas à formação da lavoura, nessa mesma área. Ressalta-se que não foram considerados os custos fixos relativos aos bens de capital (máquinas, equipamentos, implementos e benfeitorias) e nem a discriminação dos custos referentes à energia, armazenamento, pagamento de impostos, Pró-Labore e demais desembolsos envolvidos, por apresentarem muita variabilidade em condições reais de unidades produtivas, além de serem constantes em todos os tratamentos.

Os custos referentes à implantação de 1 hectare de lavoura cafeeira na região de Lavras-MG estão descritos nas Tabelas 11 (custos com operações manuais e mecanizadas) e 12 (custos com insumos).

Tabela 11 - Custos com operações (manuais e mecanizadas) para implantação da lavoura considerando uma área de 1 hectare na região de Lavras-MG.

Operações (manuais e mecanizadas)	Unidade <sup>(1)</sup>	Quantidade	Valor unitário <sup>(2)</sup>	Valor total
Limpeza da área com trator	Hora máq.	3	R\$ 70,00	R\$ 210,00
Aplicação de calcário	Hora máq.	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00
Aração + Gradagem	Hora máq.	2,5	R\$ 70,00	R\$ 175,00
Preparo do sulco	Hora máq.	3	R\$ 70,00	R\$ 210,00
Calagem no sulco	Hora máq.	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00
Fosfatagem no sulco	Hora máq.	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00
Aplicação de Herbicida	Hora máq.	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00
Subsolagem do sulco	Hora máq.	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00
Plantio (manual)	Dia homem	10	R\$ 65,00	R\$ 650,00
Plantio (horas de trator)	Hora máq.	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00
Adubação de cobertura (3) <sup>(3)</sup>	Dia homem	3	R\$ 65,00	R\$ 195,00
Pulverização (manual) (4)	Dia homem	4	R\$ 65,00	R\$ 260,00
Capinas (2)	Dia homem	10	R\$ 65,00	R\$ 650,00
Combate à formigas	Dia homem	0,25	R\$ 65,00	R\$ 16,25
Subtotal 1				R\$ 2.926,25

Fonte: Dados da autora (2017)

(1) Hora máq.: hora máquina. (2) Preço médio das operações na região de Lavras no período de 01/2015 a 12/2016. (3) Número de operações em um ano.

Tabela 12 - Custos com insumos para a implantação da lavoura considerando uma área de 1 hectare na região de Lavras-MG.

Insumos	Unidade	Quantidade	Valor unitário <sup>(1)</sup>	Valor total
Calcário	ton	3	R\$ 106,79	R\$ 320,38
Superfosfato simples	ton	1	R\$ 899,56	R\$ 899,56
Adubo 25-00-25	ton	0,3	R\$ 1.415,85	R\$ 424,76
Micronutrientes (4) <sup>(2)</sup>	Kg	2	R\$ 8,83	R\$ 17,67
Herbicidas pré-emergente	L	3	R\$ 66,60	R\$ 199,81
Herbicidas pós-emergente	L	3	R\$ 17,97	R\$ 53,91
Inseticidas (formicidas)	Kg	1	R\$ 8,96	R\$ 8,96
Fungicidas	L	0,5	R\$ 120,00	R\$ 60,00
Mudas	Muda	4000,00	R\$ 0,35	R\$ 1.400,00
Subtotal 2				R\$ 3.385,03
Subtotal 1 + Subtotal 2				R\$ 6.311,28

Fonte: Dados da autora (2017)

(1) Preço médio dos insumos na região de Lavras no período de 01/2015 a 12/2016. (2) Número de operações em um ano.

Com relação à fase de formação da lavoura, período correspondente aos 6 até 18 meses de idade, os custos com operações manuais e mecanizadas estão descritos na Tabela 13, enquanto os custos referentes aos insumos estão na Tabela 14.

Tabela 13 - Custos com operações (manuais e mecanizadas) para condução de 6 a 18 meses da lavoura considerando uma área de 1 hectare na região de Lavras-MG.

Operações (manuais e mecanizadas)	Unidade <sup>(1)</sup>	Quantidade	Valor unitário <sup>(2)</sup>	Valor total
Capina manual (2) <sup>(3)</sup>	Dia homem	10	R\$ 65,00	R\$ 650,00
Aplicação de herbicidas (2)	Hora maq.	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00
Capina com trator (2)	Hora maq.	3	R\$ 70,00	R\$ 210,00
Aplicação foliar (2)	Dia homem	2	R\$ 65,00	R\$ 130,00
Desbrotas	Dia homem	2	R\$ 65,00	R\$ 130,00
Replantios	Hora maq.	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00
Replantios	Dia homem	1	R\$ 65,00	R\$ 65,00
Combate à formigas	Dia homem	0,25	R\$ 65,00	R\$ 16,25
Subtotal 3				R\$ 1.411,25

Fonte: Dados da autora (2017)

(1) Hora máq.: hora máquina. (2) Preço médio das operações na região de Lavras no período de 01/2015 a 12/2016. (3) Número de operações em um ano.

Tabela 14 - Custos com insumos para condução da lavoura de 6 a 18 meses considerando uma área de 1 hectare na região de Lavras-MG.

Insumos	Unidade	Quantidade	Valor unitário <sup>(1)</sup>	Valor total
Adubo 25-00-25	ton	0,6	R\$ 1.415,85	R\$ 849,51
Micronutrientes (2) <sup>(2)</sup>	Kg	6	R\$ 8,83	R\$ 53,00
Herbicidas pré-emergentes	L	3	R\$ 66,60	R\$ 199,81
Herbicidas pós-emergentes	L	3	R\$ 17,97	R\$ 53,91
Inseticidas	L	0,6	R\$ 72,94	R\$ 43,76
Fungicidas	L	0,3	R\$ 74,72	R\$ 22,42
Espalhante adesivo	L	0,005	R\$ 11,78	R\$ 0,06
Formicidas	Kg	1	R\$ 8,96	R\$ 8,96
Mudas para replantio	Muda	100,00	R\$ 0,35	R\$ 35,00
Subtotal 4				R\$ 1.266,42
Subtotal 3 + Subtotal 4				R\$ 2.677,67

Fonte: Dados da autora (2017)

(1) Preço médio dos insumos na região de Lavras no período de 01/2015 a 12/2016. (2) Número de operações em um ano.

Na Tabela 15 encontram-se todos os custos referentes às fases de implantação e de formação da lavoura, de forma resumida, além do acréscimo de 5% que contempla demais custos operacionais. A soma desses valores foi utilizada para cálculo da depreciação anual da lavoura, considerando vida útil de 15 anos, que será utilizado para cálculo do custo operacional total (COT) da fase de produção.

Tabela 15 - Resumo dos custos para implantação, condução de 6 a 18 meses e depreciação da lavoura considerando uma área de 1 hectare na região de Lavras-MG.

Fase	Custo
Implantação	R\$ 6.311,28
Condução 6 a 18 meses	R\$ 2.677,67
Total	R\$ 8.988,95
Outras despesas operacionais (5%)	R\$ 449,45
Investimento total de formação da lavoura	R\$ 9.438,40
Depreciação anual (15 anos de vida útil)	R\$ 629,23

Fonte: Dados da autora (2017)

Os custos com operações manuais e mecanizadas para lavoura em produção estão nas Tabelas 16 e 17. Na Tabela 16 encontram-se os custos para os fertilizantes do Grupo 1, cuja adubação nitrogenada foi parcelada em três vezes.

Tabela 16 - Custos com operações (manuais e mecanizadas) para produção da lavoura considerando uma área de 1 hectare na região de Lavras-MG para os tratamentos dos fertilizantes parcelados.

Operações (manuais e mecanizadas)	Unidade <sup>(1)</sup>	Quantidade	Valor unitário <sup>(2)</sup>	Valor total
Calcário	Hora máq.	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00
Palha de café (Esparramação)	Hora máq.	3	R\$ 70,00	R\$ 210,00
Palha de café (Esparramação)	Dia homem	0,38	R\$ 65,00	R\$ 24,70
Desbrotas	Dia homem	7	R\$ 65,00	R\$ 455,00
Adubações (3) <sup>(3)</sup>	Hora máq.	3	R\$ 70,00	R\$ 210,00
Arruação	Dia homem	6	R\$ 65,00	R\$ 390,00
Capinas (1)	Dia homem	6	R\$ 65,00	R\$ 390,00
Herbicidas (2)	Hora máq.	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00
Foliales (3)	Hora máq.	3	R\$ 70,00	R\$ 210,00
Chegamento de cisco	Hora máq.	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00
Combate a formigas (2)	Dia homem	0,5	R\$ 65,00	R\$ 32,50
Roçada com trator (2)	Hora máq.	3	R\$ 70,00	R\$ 210,00
Subtotal 5a				R\$ 2.482,20

Fonte: Dados da autora (2017)

(1) Hora máq.: hora máquina. (2) Preço médio das operações na região de Lavras no período de 01/2015 a 12/2016. (3) Número de operações em um ano.

Já na Tabela 17 estão os custos para os fertilizantes do Grupo 2, os quais foram aplicados em dose única. Para estes tratamentos, o custo das adubações é um pouco reduzido, pois a adubação nitrogenada é feita em uma única vez, juntamente com a primeira adubação, que contém P e K. Porém, ainda devem ser feitas mais duas adubações de K, o que minimiza, em partes, o custo das adubações, uma vez que essa operação poderá ser feita um pouco mais rápida do que quando comparadas aos tratamentos do Grupo 1, que terão N e K nessas duas últimas adubações. Sendo assim, essas duas adubações do Grupo 1 poderão ter um maior rendimento por área, considerando que o operador necessita parar menos vezes para abastecer a adubadora e, dependendo da área, pode aumentar a velocidade do trator.

Tabela 17 - Custos com operações (manuais e mecanizadas) para produção da lavoura considerando uma área de 1 hectare na região de Lavras-MG para os tratamentos dos fertilizantes aplicados em dose única.

Operações (manuais e mecanizadas)	Unidade <sup>(1)</sup>	Quantidade	Valor unitário <sup>(2)</sup>	Valor total
Calcário	Hora máq.	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00
Palha de café (Esparramação)	Hora máq.	3	R\$ 70,00	R\$ 210,00
Palha de café (Esparramação)	Dia homem	0,38	R\$ 65,00	R\$ 24,70
Desbrotas	Dia homem	7	R\$ 65,00	R\$ 455,00
Adubações (1+2) <sup>(3)(4)</sup>	Hora máq.	2,5	R\$ 70,00	R\$ 175,00
Arruação	Dia homem	6	R\$ 65,00	R\$ 390,00
Capinas (1) <sup>(3)</sup>	Dia homem	6	R\$ 65,00	R\$ 390,00
Herbicidas (2)	Hora máq.	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00
Folhais (3)	Hora máq.	3	R\$ 70,00	R\$ 210,00
Chegamento de cisco	Hora máq.	2	R\$ 70,00	R\$ 140,00
Combate a formigas (2)	Dia homem	0,5	R\$ 65,00	R\$ 32,50
Roçada com trator (2)	Hora máq.	3	R\$ 70,00	R\$ 210,00
<b>Subtotal 5b</b>				<b>R\$ 2.447,20</b>

Fonte: Dados da autora (2017)

(1) Hora máq.: hora máquina. (2) Preço médio das operações na região de Lavras no período de 01/2015 a 12/2016. (3) Número de operações em um ano. (4) Uma adubação de N e K, mais duas de K.

Para o Grupo 1, os custos com operações manuais e mecanizadas totalizaram R\$ 2.482,20 (TABELA 16), enquanto que para o Grupo 2, este valor um pouco mais barato, e foi igual a R\$ 2.447,20 (TABELA 17).

Os custos com insumos para condução de 1 hectare de lavoura em produção na cidade de Lavras-MG, com exceção aos fertilizantes nitrogenados, estão na Tabela 18. Eles foram iguais a R\$ 1.802,48.

Tabela 18 - Custos com insumos para condução da lavoura em produção considerando uma área de 1 hectare na região de Lavras-MG.

Insumos	Unidade	Quantidade	Valor unitário <sup>(1)</sup>	Valor total
Calcário	ton.	2	R\$ 106,79	R\$ 213,59
Cloreto de Potássio	ton.	0,5	R\$ 1.532,24	R\$ 766,12
Superfosfato Simples	ton.	0,5	R\$ 899,56	R\$ 449,78
Micronutrientes (3) <sup>(2)</sup>	Kg	9	R\$ 8,83	R\$ 79,50
Herbicida	L	3	R\$ 17,97	R\$ 53,91
Espalhante adesivo	L	0,005	R\$ 11,78	R\$ 0,06
Fungicida	L	2,5	R\$ 74,72	R\$ 186,81
Inseticida	L	0,6	R\$ 72,94	R\$ 43,76
Formicida	Kg	1	R\$ 8,96	R\$ 8,96
Subtotal 6				R\$ 1.802,48

Fonte: Dados da autora (2017)

(1) Preço médio dos insumos na região de Lavras no período de 01/2015 a 12/2016. (2) Número de operações em um ano.

Na Tabela 19 estão detalhados os custos com fertilizantes nitrogenados para 1 hectare de lavoura em produção, com as quantidades de N em % contidas em cada fertilizante, a quantidade requerida do fertilizante por hectare para a dose de 300 kg ha<sup>-1</sup>, seu preço médio por tonelada obtido por meio de cotações mensais realizadas de janeiro de 2015 a dezembro de 2016, e o custo por hectare de cada um.

Tabela 19 - Custos com fertilizantes nitrogenados para condução da lavoura em produção considerando uma área de 1 hectare na região de Lavras-MG.

Fertilizante	% de N	Quant. (t ha <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>	Preço tonelada <sup>(2)</sup>	Custo por ha
Ureia convencional	45	0,67	R\$ 1.547,01	R\$ 1.031,34
Ureia dissolvida	45	0,67	R\$ 1.547,01	R\$ 1.031,34
Sulfato de amônio	19	1,58	R\$ 1.053,04	R\$ 1.662,69
Nitrato de amônio	31	0,97	R\$ 1.200,20	R\$ 1.161,48
Ureia + Cu + B	44,6	0,67	R\$ 1.510,82	R\$ 1.016,25
Ureia + polímero aniônico	41,6	0,72	R\$ 1.834,00	R\$ 1.322,60
Ureia + NBPT	45	0,67	R\$ 1.856,93	R\$ 1.237,95
Ureia + S <sup>0</sup> + polímeros	39	0,77	R\$ 3.226,35	R\$ 2.481,81
Ureia + resina plástica	44	0,68	R\$ 9.000,00	R\$ 6.136,36
Ureia formaldeído	26	1,15	R\$ 3.630,00	R\$ 4.188,46
Ureia + polímero insolúvel em água	42	0,71	R\$ 3.800,00	R\$ 2.714,29

Fonte: Dados da autora (2017)

(1) Quantidade utilizada de fertilizante, em toneladas por hectare, considerando uma dose de 300 kg de N ha<sup>-1</sup>. (2) Preço médio dos fertilizantes na região de Lavras no período de 01/2015 a 12/2016.

Para os custos de colheita e processamento pós-colheita do café, foi considerada a produtividade média estimada dos tratamentos, que foi 39,03 sacas de 60 kg de café beneficiado por hectare e rendimento médio da colheita obtido em 2016 igual a 542 L (TABELA 20). O custo total nestas etapas foi de R\$ 4.593,79.

Tabela 20 - Custos para colheita e processos pós-colheita do café considerando uma lavoura de 1 hectare na região de Lavras-MG.

Item	Unidade <sup>(1)</sup>	Quantidade	Valor unitário <sup>(2)</sup>	Valor total
Colheita	Medida 60L	352,6 <sup>(3)</sup>	R\$ 10,00	R\$ 3,525,79
Secagem	Dia homem	6	R\$ 65,00	R\$ 390,00
Limpeza	Saca beneficiada	24	R\$ 15,00	R\$ 360,00
Sacaria de juta	Saco	24	R\$ 4,50	R\$ 108,00
Transportes	Hora máq.	3	R\$ 70,00	R\$ 210,00
Subtotal 7				R\$ 4.593,79

Fonte: Dados da autora (2017)

(1) Hora máq.: hora máquina. (2) Preço médio na região de Lavras no período de 01/2015 a 12/2016.

(3) Produtividade média estimada = 39,03 sacas ha<sup>-1</sup>, rendimento médio da colheita de 2016 = 542 L.

O cálculo do custo operacional efetivo (COE) de cada fertilizante foi feito com base na soma dos custos referentes aos gastos com insumos, mão de obra, máquinas, colheita e pós colheita, sendo que para os tratamentos parcelados utilizou-se o subtotal 5a, e para os tratamentos aplicados em dose única utilizou-se o subtotal 5b para compor esse custo, acrescidos de 5%, valor este correspondente a outras despesas operacionais (TABELA 21).

Tabela 21 - Custos operacional efetivo (COE) dos tratamentos para condução da lavoura em produção considerando uma área de 1 hectare na região de Lavras-MG.

Fertilizante	Custo 1 <sup>(1)</sup>	5% <sup>(2)</sup>	COE
Ureia convencional	R\$ 9.909,81	R\$ 495,49	R\$ 10.405,30
Ureia dissolvida	R\$ 9.909,81	R\$ 495,49	R\$ 10.405,30
Sulfato de amônio	R\$ 10.541,16	R\$ 527,06	R\$ 11.068,22
Nitrato de amônio	R\$ 10.039,95	R\$ 502,00	R\$ 10.541,95
Ureia + Cu + B	R\$ 9.894,72	R\$ 494,74	R\$ 10.389,45
Ureia + polímero aniônico	R\$ 10.201,07	R\$ 510,05	R\$ 10.711,12
Ureia + NBPT	R\$ 10.116,43	R\$ 505,82	R\$ 10.622,25
Ureia + S <sup>0</sup> + polímeros	R\$ 11.325,28	R\$ 566,26	R\$ 11.891,54
Ureia + resina plástica	R\$ 14.979,83	R\$ 748,99	R\$ 15.728,83
Ureia formaldeído	R\$ 13.031,93	R\$ 651,60	R\$ 13.683,53
Ureia + polímero insolúvel em água	R\$ 11.557,76	R\$ 577,89	R\$ 12.135,64

Fonte: Dados da autora (2017)

(1) Custo composto pelos subtotais 5(a ou b), 6, 7 e pelo custo do fertilizante ha<sup>-1</sup>. Utilizou-se o subtotal 5a, e para os tratamentos aplicados em dose única utilizou-se o subtotal 5b para compor esse custo. (2) Outras despesas operacionais (5% do Custo 1).

O custo operacional total (COT) de cada fertilizante (TABELA 22) foi obtido por meio da soma do COE (TABELA 21) e da depreciação da lavoura (TABELA 15). Na Tabela 22 também são apresentados os dados de Saldo e Lucro bruto. O Saldo foi calculado pela multiplicação do número de sacas de 60 kg produzidas por hectare em cada tratamento (produtividade) com o valor médio da saca de café tipo 6 no ano de 2016, que foi de R\$ 482,00 de acordo com o levantamento feito pelo Ministério da Agricultura (2016b). Obteve-

se, então, o Lucro bruto por hectare de cada fertilizante, com base na diferença entre Saldo obtido e o COT.

Tabela 22 - Custos operacional total (COT), saldo e lucro bruto dos tratamentos para condução da lavoura em produção considerando uma área de 1 hectare na região de Lavras-MG.

Fertilizante	COT <sup>(1)</sup>	Saldo	Lucro bruto
Ureia convencional	R\$ 11.034,53	R\$ 17.986,63	R\$ 6.952,10
Ureia dissolvida	R\$ 11.034,53	R\$ 20.332,37	R\$ 9.297,84
Sulfato de amônio	R\$ 11.697,44	R\$ 17.883,81	R\$ 6.186,36
Nitrato de amônio	R\$ 11.171,18	R\$ 16.095,59	R\$ 4.924,41
Ureia + Cu + B	R\$ 11.018,68	R\$ 15.742,12	R\$ 4.723,44
Ureia + polímero aniônico	R\$ 11.340,35	R\$ 20.113,86	R\$ 8.773,51
Ureia + NBPT	R\$ 11.251,47	R\$ 21.036,09	R\$ 9.784,61
Ureia + S <sup>0</sup> + polímeros	R\$ 12.520,77	R\$ 23.264,53	R\$ 10.743,76
Ureia + resina plástica	R\$ 16.358,05	R\$ 17.188,12	R\$ 830,07
Ureia formaldeído	R\$ 14.312,76	R\$ 19.635,07	R\$ 5.322,32
Ureia + polímero insolúvel em água	R\$ 12.764,87	R\$ 17.663,69	R\$ 4.898,82

Fonte: Dados da autora (2017)

(1) COT = COE + depreciação da lavoura (R\$ 607,74). (2) Saldo = produtividade (sacas/ha) x valor médio da saca de café tipo 6 no ano de 2016 (R\$ 482,00) (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2016b)

A Ureia + Cu + B foi o fertilizante que apresentou menor custo por hectare (R\$ 11.018,68), enquanto que a Ureia + resina plástica obteve o maior (R\$ 16.358,05) (TABELA 22).

O maior Lucro bruto foi obtido pelos fertilizantes Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros (R\$ 10.743,76) e Ureia + NBPT (R\$ 9.784,61). A Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros apesar de ter apresentado o 4º maior COT, obteve o maior saldo, devido sua maior produtividade, sendo então o fertilizante que proporcionou maior retorno financeiro ao produtor. A Ureia + NBPT teve um COT intermediário e apresentou a segunda maior produtividade, proporcionando então um bom lucro.

Os demais fertilizantes que proporcionaram lucro maior que R\$ 5.000,00 seguiram a seguinte ordem decrescente: Ureia dissolvida (R\$ 9.297,84), Ureia + polímero aniônico (R\$ 8.773,51), Ureia convencional (R\$ 6.952,10), Sulfato de amônio (R\$ 6.186,36) e Ureia formaldeído (R\$ 5.322,32). Já os tratamentos que apresentaram lucro bruto menor do que R\$ 5.000,00 foram: Nitrato de amônio (R\$ 4.924,41), Ureia + polímero insolúvel em água (R\$ 4.898,82), Ureia + Cu + B (R\$ 4.723,44) e, por último, a Ureia + resina plástica (R\$ 830,07).

Vale ressaltar que não foi levado em consideração os custos fixos relativos aos bens de capital (máquinas, equipamentos, implementos e benfeitorias) e os custos referentes à energia, armazenamento, pagamento de impostos, Pró-Labore e demais desembolsos envolvidos. Além disso, também não foi considerado o custo de aplicação da Ureia dissolvida. Neste experimento, utilizou-se 1,73 L de solução de ureia mais água por planta, o que não é viável operacional e economicamente para lavouras comerciais em condição de sequeiro. Um bom uso desse tratamento seria em lavouras irrigadas, que utilizam fertirrigação, ou então em lavouras pequenas. Cabe ao produtor decidir a implementação ou não dessa técnica, devendo ser lavado em consideração o custo de aplicação.

O Nitrato de amônio e a Ureia + Cu + B, apesar de não terem elevado COT, não produziram o muito para estar entre os fertilizantes que proporcionaram maiores lucros na safra de 2017. Já os fertilizantes Ureia + polímero insolúvel em água e, principalmente, a Ureia + resina plástica, apresentaram maiores COT, e suas produtividades não foram altas o suficiente para gerar lucro elevado.

Na Tabela 23, tem-se a razão entre o COT e a produtividade de café de cada tratamento, ou seja, o valor que custou cada saca de café produzida por eles.

Tabela 23 - Razão entre o Custo Operacional Total (R\$) e a produtividade de café (sacas ha<sup>-1</sup>).

Fertilizante	COT Produtividade <sup>-1</sup>
Ureia convencional	R\$ 295,70
Ureia dissolvida	R\$ 261,59
Sulfato de amônio	R\$ 315,27
Nitrato de amônio	R\$ 334,53
Ureia + Cu + B	R\$ 337,38
Ureia + polímero aniônico	R\$ 271,76
Ureia + NBPT	R\$ 257,81
Ureia + S <sup>0</sup> + polímeros	R\$ 259,41
Ureia + resina plástica	R\$ 458,72
Ureia formaldeído	R\$ 351,35
Ureia + polímero insolúvel em água	R\$ 348,32

Fonte: Dados da autora (2017)

Segundo dados obtidos pela Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2016), o COT por saca por hectare de lavouras cafeeiras semimecanizadas não irrigadas, assim como este experimento, no Sul de Minas Gerais ficou entre R\$ 421,03 e R\$ 440,35, para os municípios de Santa Rita do Sapucaí e Guaxupé, respectivamente. Com exceção ao tratamento Ureia + resina plástica, todos ou outros apresentaram razões menores do que estas.

A Ureia convencional ficou entre os valores obtidos pela CNA (2016) no Sul de Minas Gerais.

Como o preço médio da saca de café tipo 6 no ano de 2016 foi R\$ 482,00 (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2016b), qualquer valor informado na Tabela 23 abaixo deste proporcionou retorno financeiro, que são os mesmos com lucro bruto positivo descritos na Tabela 22, apenas sob outro ponto de vista. Interpretando os dados dessa maneira, fica mais fácil visualizar quais fertilizantes podem gerar lucro de acordo com as oscilações do preço da saca de café, pois, estando abaixo do valor da cotação diária da saca, ele trará retorno econômico.

Na Tabela 24 observa-se a porcentagem de N contida nos fertilizantes descontando as perdas por volatilização que ocorreram em cada tratamento, ou seja, a quantidade real em porcentagem que cada um foi capaz de fornecer ao solo. Foi calculado também o preço por quilo de nitrogênio de cada fertilizante sem perdas e com perdas.

Tabela 24 - Porcentagem de nitrogênio efetivo contido em cada fertilizante e preços por quilo de nitrogênio de cada tratamento sem perdas e com perdas por volatilização.

Fertilizante	% N	Perdas %	% N efetivo	Sem perdas	Com perdas
				Preço kg de N <sup>(1)</sup>	Preço kg de N efetivo <sup>(2)</sup>
Ureia convencional	45,0	22,98	34,66	R\$ 3,44	R\$ 4,46
Ureia dissolvida	45,0	3,29	43,52	R\$ 3,44	R\$ 3,55
Sulfato de amônio	19,0	0,23	18,96	R\$ 5,54	R\$ 5,56
Nitrato de amônio	31,0	0,18	30,94	R\$ 3,87	R\$ 3,88
Ureia + Cu + B	44,6	6,75	41,59	R\$ 3,39	R\$ 3,63
Ureia + polímero aniônico	41,6	24,89	31,25	R\$ 4,41	R\$ 5,87
Ureia + NBPT	45,0	12,12	39,55	R\$ 4,13	R\$ 4,70
Ureia + S <sup>0</sup> + polímeros	39,0	4,30	37,32	R\$ 8,27	R\$ 8,64
Ureia + resina plástica	44,0	6,53	41,13	R\$ 20,45	R\$ 21,88
Ureia formaldeído	26,0	0,46	25,88	R\$ 13,96	R\$ 14,03
Ureia + polímero insolúvel em água	42,0	6,14	39,42	R\$ 9,05	R\$ 9,64

Fonte: Dados da autora (2017)

(1) Preço médio da tonelada do fertilizante na região de Lavras no período de 01/2015 a 12/2016 dividido por 1000 quilos e pela porcentagem de nitrogênio do mesmo. (2) Preço médio da tonelada do fertilizante dividido por 1000 quilos e pela porcentagem de nitrogênio efetivo do mesmo.

Observa-se que os fertilizantes com menores preços por quilo de N contido em sua formulação (sem perdas) foram: Ureia + Cu + B (R\$ 3,39), Ureia convencional (R\$ 3,44), Ureia dissolvida (R\$ 3,44) e Nitrato de amônio (R\$ 3,87) (TABELA 24). Ao descontar as perdas de N por volatilização, o preço por quilo de N efetivo aumenta, mas os mesmos

fertilizantes ainda foram os que apresentaram menores preços por kg de N efetivo, apesar do preço da Ureia convencional ter aumentado R\$ 1,02 (TABELA 24).

O fertilizante Ureia + polímero aniônico foi o que mais variou de preço ao comparar os valores do kg de N da formulação com o kg de N efetivo, aumentando R\$ 1,46 devido sua elevada perda por volatilização. A Ureia + resina plástica foi o fertilizante cujos preços por kg de N sem e com perdas foram os mais elevados, R\$ 20,45 e R\$ 21,88, respectivamente, portanto aumentou R\$ 1,43, mas em consequência do seu alto custo, e não por causa das perdas.

Devido a ureia ser o fertilizante nitrogenado mais utilizado na agricultura no Brasil e no mundo (IFA, 2017), foi feito um comparativo entre as diferenças de produtividade (sacas ha<sup>-1</sup>), saldo, custo e lucro obtidos pelos fertilizantes em relação a ela (TABELA 25).

Tabela 25 - Comparativo de diferenças em produtividade (sacas ha<sup>-1</sup>) e rendimentos financeiros obtidos pelos fertilizantes em relação à utilização da ureia em lavoura em produção considerando uma área de 1 hectare na região de Lavras-MG.

Fertilizante	Em relação à ureia			
	Variação na produtividade	Saldo obtido	Diferença no custo	Lucro
Ureia convencional	-	-	-	-
Ureia dissolvida	4,87	R\$ 2.345,73	R\$ 0,00	R\$ 2.345,73
Sulfato de amônio	-0,21	-R\$ 102,83	R\$ 662,91	-R\$ 765,74
Nitrato de amônio	-3,92	-R\$ 1.891,05	R\$ 136,65	-R\$ 2.027,70
Ureia + Cu + B	-4,66	-R\$ 2.244,51	-R\$ 15,85	-R\$ 2.228,66
Ureia + polímero aniônico	4,41	R\$ 2.127,23	R\$ 305,82	R\$ 1.821,41
Ureia + NBPT	6,33	R\$ 3.049,45	R\$ 216,94	R\$ 2.832,51
Ureia + S <sup>0</sup> + polímeros	10,95	R\$ 5.277,90	R\$ 1.486,24	R\$ 3.791,66
Ureia + resina plástica	-1,66	-R\$ 798,51	R\$ 5.323,52	-R\$ 6.122,04
Ureia formaldeído	3,42	R\$ 1.648,44	R\$ 3.278,23	-R\$ 1.629,79
Ureia + polímero insolúvel em água	-0,67	-R\$ 322,94	R\$ 1.730,34	-R\$ 2.053,28

Fonte: Dados da autora (2017)

Em relação à produtividade, os fertilizantes que produziram mais do que a Ureia convencional foram: Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros (10,95 sacas ha<sup>-1</sup> a mais), Ureia + NBPT (6,33 sacas ha<sup>-1</sup>), Ureia dissolvida (4,87 sacas ha<sup>-1</sup>), Ureia + polímero aniônico (4,41 sacas ha<sup>-1</sup>) e Ureia formaldeído (3,42 sacas ha<sup>-1</sup>). Os demais foram inferiores a ela.

Os fertilizantes que apresentaram saldo superior ao da Ureia convencional seguiram a mesma ordem anterior: Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros (R\$ 5.277,90 a mais), Ureia + NBPT (R\$

3.049,45), Ureia dissolvida (R\$ 2.345,73), Ureia + polímero aniônico (R\$ 2.127,23) e Ureia formaldeído (R\$ 1.648,44).

Apenas o tratamento Ureia + Cu + B teve menor custo por hectare do que a Ureia convencional, foi R\$ 15,85 mais barato. A Ureia dissolvida teve o mesmo custo, uma vez que não se levou em consideração o custo com sua aplicação.

Foi verificado que apenas os seguintes tratamentos foram mais lucrativos do que a Ureia convencional: Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros (R\$ 3.791,66 a mais), Ureia + NBPT (R\$ 2.832,51), Ureia dissolvida (R\$ 2.345,73) e Ureia + polímero aniônico (R\$1.821,41).

## 5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

É importante ressaltar que as produtividades aqui relatadas foram estimadas, e que para se ter um resultado concreto, deve-se obter a produtividade real, e não de apenas um ano, mas sim de vários anos, devido a bienalidade do cafeeiro e às diferentes condições climáticas que se observa a cada ano.

Além disso, sugere-se a continuidade dos estudos, pois quando não ocorrem precipitações subsequentes, como aconteceu após todas as adubações avaliadas neste experimento, as perdas por volatilização podem ser muito maiores. Portanto, as perdas aqui obtidas foram menores do que poderiam ser caso as precipitações demorassem a ocorrer após as adubações.

Ademais, acredita-se que as perdas de nitrogênio por volatilização de amônia dos diferentes fertilizantes utilizados possam comprometer, a médio e longo prazo, a fertilidade do solo, principalmente os estoques de N, interferindo na nutrição das plantas e, conseqüentemente, no crescimento e na produtividade destas.

## 6 CONCLUSÃO

Os fertilizantes que apresentaram maiores perdas de nitrogênio por volatilização de amônia foram a Ureia + polímero aniônico (24,89%) e a Ureia convencional (22,98%). Os que tiveram menores perdas foram: Ureia formaldeído (0,46%), Sulfato de amônio (0,23%) e Nitrato de amônio (0,18%).

O pH do solo na camada de 0 a 5 cm diminuiu após as adubações. As médias finais de pH do solo de cada fertilizante não diferiram entre si. A Ureia + polímero aniônico foi o fertilizante que mais acidificou o solo ao longo do experimento.

Não houve relação entre as maiores perdas por volatilização com os teores foliares de nitrogênio. Os teores foliares de N e S não variaram entre os fertilizantes após as adubações.

A Ureia + S<sup>0</sup> + polímero proporcionou maior produtividade (48,27 sacas ha<sup>-1</sup>).

O fertilizante que apresentou menor custo operacional total por hectare foi a Ureia + Cu + B (R\$ 11.018,68), enquanto que a Ureia + resina plástica obteve o maior (R\$ 16.358,05). O maior lucro bruto por hectare foi obtido pelos fertilizantes Ureia + S<sup>0</sup> + polímeros (RS 10.743,76) e Ureia + NBPT (RS 9.784,61).

## REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J. C. et al. Avaliação da higroscopicidade de fertilizantes e corretivos. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 49, n. 1, p. 137-144, mar. 1992.
- ALVAREZ, V. V. H. et al. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 25-32.
- ALVES, A. C. **Métodos para quantificar a volatilização de N-NH<sub>3</sub> em solo fertilizado com ureia**. 2006. 40 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2006.
- ARAÚJO, A. R. et al. Movimentação de nitrato e amônio em colunas de solo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 537-541, maio/jun. 2004.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA. **Anuário estatístico de 2014**. São Paulo: ANDA, 2014. 178 p.
- ASSOCIATION OF AMERICAN PLANT FOOD CONTROL OFFICIALS - AAPFCO. **Official documents 57**. West Lafayette: AAPFCO, 1997.
- \_\_\_\_\_. **Official publication**. West Lafayette: AAPFCO, 1995.
- AZEEM, B. et al. Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer. **Journal of Controlled Release**, Minnesota, v. 181, n. 1, p. 11-21, May 2014.
- BENINI, S. et al. Molecular details of urease inhibition by boric acid: insights into the catalytic mechanism. **Journal of the American Chemical Society**, Washington, v. 126, n. 12, p. 3714-3715, Mar. 2004.
- BERNARDES, T. G. **Volatilização de amônia e produtividade do feijoeiro irrigado adubado com diferentes fontes de nitrogênio**. 2011. 145 p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.
- BLACK, A. S.; SHERLOCK, R. R.; SMITH, N. P. Effect of timing of simulated rainfall on ammonia volatilization from urea, applied to soil of varying moisture content. **European Journal of Soil Science**, Chincester, v. 38, n. 4, p. 679-687, Dec. 1987.
- BORTOLOTTO, R. P. **Perdas de nitrogênio por lixiviação em café fertirrigado no oeste baiano**. 2011. 105 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2011.
- BOUWMEESTER, R. J. B.; VLEK, P. L. G.; STUMPE, J. M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from a urea-fertilized soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 49, n. 2, p. 376-381, Mar./Apr. 1985.
- BUSTAMANTE, C.; OCHOA, M.; RODRIGUEZ, M. I. Balance of three nitrogen <sup>15</sup>N fertilizers in a Cuban Oxisol cultivated with *Coffea arabica* L. **Tropicultura**, Brussel, v. 15, n. 4, p. 169-172, Oct. 1997.

CABEZAS, W. A. R. L.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de nitrogênio da amônia na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da ureia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 481-487, jul./set. 1997.

CABEZAS, W. A. R. L.; SOUZA, M. A. Volatilização de amônia, lixiviação de nitrogênio e produtividade de milho em resposta à aplicação de misturas de ureia com sulfato de amônio ou com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 2343-2353, nov./dez. 2008.

CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O. Eficiência de um coletor semi aberto estático na quantificação de N-NH<sub>3</sub> volatilizado da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 14, n. 3, p. 345-352, set./dez. 1990.

CAHILL, S. et al. Evaluation of alternative nitrogen fertilizers for corn and winter wheat production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, n. 4, p. 1226-1236, July 2010.

CAMARGO, A. P. de. O clima e a cafeicultura no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 13-26, jun. 1985.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. **Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: AMMONIA**. Winnipeg: Canadian Environmental Quality Guidelines, 2010. 8 p.

CANCELLIER, E. **Eficiência da ureia estabilizada e de liberação controlada no milho cultivado em solo de fertilidade construída**. 2013. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

CANTARELLA, H. A. et al. Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 4, p. 397-401, jul./ago. 2008.

\_\_\_\_\_. Evaluation of the effect of the urease inhibitor NBPT on the efficiency of urea fertilizer under Brazilian soil conditions. **Technical Report**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 1-32, 2002.

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

CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z. F. Nitrogênio e enxofre. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes: volume 2**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2010. p. 15-65.

CHAGAS, W. F. T. et al. Ammonia volatilization from blends with stabilized and controlled-released urea in the coffee system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 5, p. 497-509, set./out. 2016.

CHEN, D. et al. Measurement and simulation of ammonia volatilization from urea fertilizer in cropping and pasture system. **Abstracts of Nitrogen 4th Conference**, Costa do Saúipe, Bahia, Brasil, p. 52, 2007.

CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; CANTARELLA, H. Recent developments of fertilizer production and use to increase nutrient efficiency and minimize environmental impacts. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 102, n. 1, p. 261-316, Apr. 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Custo de produção, índices, insumos e receita bruta**: insumos: fertilizantes entregues. Brasília: CONAB, 2017b. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1536&t=2>>. Acesso em: 8 fev. 2017.

\_\_\_\_\_. **Levantamentos de safra**: 1º levantamento da safra café: safra 2017/2017. Brasília: CONAB, 2017a. 98 p. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_01\\_17\\_14\\_51\\_54\\_boletim\\_cafe\\_-\\_janeiro\\_de\\_2017.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_01_17_14_51_54_boletim_cafe_-_janeiro_de_2017.pdf)>. Acesso em: 8 fev. 2017.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA - CNA. **Resultados do projeto Campo Futuro**: levantamento de campo. Brasília: Embrapa, 2016. p. 55-67.

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

CORSI, M. Ureia como fertilizante na produção de forragem. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C. de; FARIA, V. P. de (Ed.). **Ureia fertilizante**. 2. ed. Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 239-267.

COSTA, A. C. S. et al. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia em três solos argilosos tratados com uréia. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 4, p. 467-473, Oct. 2008.

COSTA, M. C. G.; VITTI, G. C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 631-637, ago. 2003.

CUNHA, J. F. et al. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira - 2009 a 2012. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, v. 145, n. 1, p. 1-13, mar. 2014.

CUNHA, J. F.; CASARIN, V.; PROCHNOW, L. I. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, v. 130, n. 1, p. 1-11, jun. 2010.

CUNHA, P. C. R. et al. Fontes, formas de aplicação e doses de nitrogênio em feijoeiro irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 80-86, jan./mar. 2011.

DALAL, R. C. Distribution, salinity, kinetic and thermodynamic characteristics of urease activity in a Vertisol profile. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 23, n. 1, p. 49-60, Jan. 1985.

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

DAWAR, K. et al. Urea hydrolysis and lateral and vertical movement in the soil: effects of urease inhibitor and irrigation. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 47, n. 2, p. 139-146, Feb. 2011.

DOBERMANN, A. Nutrient use efficiency: measurement and management. In: \_\_\_\_\_. **Fertilizer best management practices**. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2007. p. 1-28.

DOMINGHETTI, A. W. et al. Nitrogen loss by volatilization of nitrogen fertilizers applied to coffee orchard. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 2, p. 173-183, mar./abr. 2016.

DOMINGHETTI, A. W. **Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e convencionais na cultura do cafeeiro**. 2016. 144 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

DOMÍNGUEZ, M. J. et al. Design, synthesis, and biological evaluation of phosphoramidate derivatives as urease inhibitors. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 56, n. 10, p. 3721-3731, May 2008.

DOURADO NETO, D. et al. Multiseason recoveries of organic and inorganic nitrogen-15 in tropical cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 74, n. 1, p. 139-152, Jan. 2010.

DU, C.; ZHOU, J.; SHAVIV, A. Release characteristics of nutrients from polymer-coated compound controlled release fertilizers. **Journal of Polymers and the Environment**, New York, v. 14, n. 3, p. 223-230, July 2006.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.

\_\_\_\_\_. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; STECKLING, C. Características químicas de solo e rendimento de matéria seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 939-946, out./dez. 2001.

FAGUNDES, A. V. et al. Adubação nitrogenada e potássica com fertilizantes de liberação controlada (Polyblen®) em cafeeiros *Coffea arabica* por cinco safras (2011/2012 a 2015/2016) no sul de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 41., 2015, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 1 CD-ROM.

FAHL, J. I. et al. Desenvolvimento e aplicação de metodologia para estimativa da produtividade do cafeeiro, utilizando as características fenológicas determinantes do crescimento e produção em duas épocas de avaliação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 31., 2005, Guarapari. **Trabalhos Apresentados...** Rio de Janeiro: MAPA, 2005. p. 339-341.

FARIA, L. A. et al. Hygroscopicity and ammonia volatilization losses from nitrogen sources in coated urea. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 942-948, maio/jun. 2014.

\_\_\_\_\_. Loss of ammonia from nitrogen fertilizers applied to maize and soybean straw. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 969-975, jul./ago. 2013.

FENILLI, T. A. B. et al. Volatilization of ammonia derived from fertilizer and its reabsorption by coffee plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v. 38, n. 13/14, p. 1741-1751, July 2007.

FENN, L. B.; KISSEL, D. E. The influence of cation exchange capacity and depth of incorporation on ammonia volatilization from ammonium compounds applied to calcareous soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 40, n. 3, p. 394-398, Jan. 1976.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

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**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1677-1684, out. 2010.

FRENEY, J. R. et al. Factors controlling ammonia loss from trash covered sugarcane fields fertilized with urea. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 31, n. 3, p. 341-349, July 1991.

FRYE, W. W. Nitrification inhibition for nitrogen efficiency and environment protection. In: IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, 2005, Frankfurt. **Proceedings...** Paris: International Fertilizer Industry Association, 2005. p. 1-8.

GARCIA, A. L. A. et al. Efeito da ureia com inibidor de urease do crescimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 1-7, jan./abr. 2011.

GOERTZ, H. M. Technology developments in coated fertilizers. In: DAHLIA GREIDINGER MEMORIAL INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONTROLLED/SLOW RELEASE FERTILIZERS, 1993, Haifa. **Proceedings...** Haifa: Technion-Israel Institute of Technology, 1993. p. 7-12.

- GUERREIRO FILHO, O. et al. Café Arábica. In: AGUIAR, A. T. E. et al. (Ed.). **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas: boletim 200**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2014. p. 90-104.
- GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Ed. UFV, 1999. p. 289-302.
- GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G. **Nutrição mineral do cafeeiro**. Lavras: Ed. UFLA, 1997. 70 p.
- HALL, W. Benefits of enhanced-efficiency fertilizers for the environment. In: IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, 2005, Frankfurt. **Proceedings...** Frankfurt: International Fertilizer Industry Association, 2005. p. 1-9. 1 CD-ROM.
- HENDRICKSON, L. L.; DOUGLASS, E. A. Metabolism of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (NBPT) in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 25, n. 11, p. 1613-1618, Nov. 1993.
- HERINGER, D. D. **Produto fertilizante a base de uréia e processo para fabricação do produto**. [S.l.: s.n.], 2008. 13 p. PI 0700921-6 A.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **BDMEP: banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa: dados históricos**. Lavras: INMET, 2017. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 26 mar. 2017.
- INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION - ICO. **Estatísticas do comércio: produção: total production by all exporting countries**. London: ICO, 2017. 1 p. Disponível em: <<http://www.ico.org/prices/po-production.pdf>>. Acesso em: 8 fev. 2017.
- INTERNATIONAL FERTILIZER ASSOCIATION - IFA. **IFADATA**. France: International Fertilizer Association, 2017. Disponível em: <<http://ifadata.fertilizer.org/ucResult.aspx?temp=20170218023916>>. Acesso em: 17 fev. 2017.
- JIANG, Z. et al. Ammonia volatilization and availability of Cu, Zn induced by applications of urea with and without coating in soils. **Journal of Environmental Sciences**, Beijing, v. 24, n. 1, p. 177-181, July 2012.
- KISS, S.; SIMIHAIAN, M. **Improving efficiency of urea fertilizers by inhibition of soil urease activity**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. 417 p.
- KISSEL, D. E. et al. Rainfall timing and ammonia loss from urea in a loblolly pine plantation. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 68, n. 5, p. 1744-1750, Sept. 2004.
- KJELDAHL, J. G. C. T. Neue methode zur bestimmung des stickstoffs in organischen körpern. **Fresenius' Journal of Analytical Chemistry**, Berlin, v. 22, n. 1, p. 366-382, 1883.
- KRAJEWSKA, B. Ureasas I. functional, catalytic and kinetic properties: a review. **Journal of Molecular Catalysis**, Amsterdam, v. 59, n. 1/3, p. 9-21, July 2009.

KRAJEWSKA, B.; ZABORSKA, W.; CHUDY, M. Multi-step analysis of Hg<sup>2+</sup> ion inhibition of jack bean urease. **Journal of Inorganic Biochemistry**, New York, v. 98, n. 6, p. 1160-1168, June 2004.

KÜPPER, A. Consumo mensal de nitrogênio pelo cafeeiro: quantidade época e modo de adubação nitrogenada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 4., 1976, Caxambu. **Resumos...** Caxambu: IBC, 1976. p. 215-217.

LADHA, J. K. et al. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospects and prospects. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 87, n. 5, p. 85-156, Oct. 2005.

LANGE, A. et al. Alterações em atributos do solo decorrentes da aplicação de nitrogênio e palha em sistema semeadura direta na cultura de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 460-467, mar./abr. 2006.

LIGHTNER, J. W.; MENGEL, D. B.; RHYKERD, C. L. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizer surface applied to orchardgrass sod. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, n. 5, p. 1478-1482, Sept./Oct. 1990.

LIJUN, F.; YANG, W.; YANGYE, W. Effects of copper pollution on the activity of soil invertase and urease in loquat orchards. **Chinese Journal of Geochemistry**, Beijing, v. 28, n. 1, p. 76-80, Mar. 2009.

LINZMEIER, W.; GUTSER, R.; SCHMIDHALTER, U. The new nitrification inhibitor DMPP (ENTECC®) allows increased N-efficiency with simplified fertilizing strategies". In: HORST, W. J. et al. (Ed.). **Plant nutrition: food security and sustainability of agro-ecosystems**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. p. 760-761.

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1992. 124 p.

\_\_\_\_\_. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: colheitas econômicas e máximas**. São Paulo: Agronômica CERES, 1993. 210 p.

\_\_\_\_\_. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1986. p. 165-274.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa do Fosfato, 1997. 238 p.

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

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. Varginha: MAPA, 2010. 546 p.

MATSUNAGA, M. et al. Metodologia de custo de produção utilizado pelo IEA. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 123-139, jul. 1976.

MEISINGER, J. J.; CALDERÓN, F. J.; JENKINSON, D. S. Soil nitrogen budgets. In: SCHEPERS, J. S.; RAUN, W. R. (Ed.). **Nitrogen in agricultural systems**. Madison: American Society of Agronomy, 2008. p. 205-562.

MENENDEZ, 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.

MIKKELSEN, R. Ammonia emissions from agricultural operations: fertilizer. **Better Crops**, Atlanta, v. 93, n. 4, p. 9-11, Oct. 2009.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Informe Estatístico do Café - 2007-2008**. Brasília: Ministério da Agricultura, 2016a. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/agroestatisticas/cafe/informe-estatistico-do-cafe-2007-2008.xls/view>>. Acesso em: 8 fev. 2017.

\_\_\_\_\_. **Informe Estatístico do Café - Dezembro 2016**. Brasília: Ministério da Agricultura, 2016b. Disponível em: <[http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/informe\\_estatistico/InformesEstatisticosdeCafe-Dezembro2016.xls](http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/informe_estatistico/InformesEstatisticosdeCafe-Dezembro2016.xls)>. Acesso em: 28 mar. 2017.

MIYAZAWA, M.; TISKI, I. Teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo em função de fontes nitrogenadas: ureia e ureia revestida por policoteno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2011, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. 1 CD-ROM.

MORAES, M. F.; ABREU JUNIOR, C. H.; LAVRES JUNIOR, J. Micronutrientes. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**: volume 2. Piracicaba: IPNI, 2010. p. 207-278.

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

MOTA, E. P. **Fertilizantes nitrogenados de liberação gradual**: longevidade e volatilização em ambiente controlado. 2013. 104 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

NASCIMENTO, C. A. C. et al. Ammonia volatilization from coated urea forms. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 1057-1063, jul./ago. 2013.

NASH, P. R.; MOTAVALLI, P. P.; NELSON, K. A. Nitrous oxide emissions from claypan soils due to nitrogen fertilizer source and tillage/fertilizer placement practices. **Soil Science Society of America Journal**, Amsterdam, v. 76, n. 3, p. 983-993, May 2012.

NASSER, M. D. et al. Análise econômica da produção de café arábica em São Sebastião do Paraíso, estado de Minas Gerais. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 42, n. 2, p. 5-12, mar./abr. 2012.

NOGUEIRA, M. P. **Gestão de custos e avaliação de resultados: agricultura e pecuária**. 2. ed. Bebedouro: Scot Consultoria, 2007. 244 p.

NÔMMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 39, n. 2, p. 309-318, Oct. 1973.

OLIVEIRA, R. B. **Mapeamento e correlação de atributos do solo e de plantas de café conilon para fins de agricultura de precisão**. 2007. 129 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Porto Alegre, 2007.

OVERREIN, L. N.; MOE, P. G. Factors affecting urea hydrolysis and ammonia volatilization in soil. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 31, n. 1, p. 57-61, Jan./Feb. 1967.

PAVAN, M. A. Manejo da calagem em pomares estabelecidos de macieira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 271-276, fev. 1992.

PEDROSA, A. W. **Eficiência da adubação nitrogenada no consórcio entre cafeeiro**. 2013. 73 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2013.

POZZA, A. A. A. et al. Adsorção e dessorção aniônicas individuais por gibbsita pedogenética. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 99-105, jan. 2009.

PRASERTSAK, P. et al. Fate of urea nitrogen applied to a banana crop in the wet tropics of Queensland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 59, n. 1, p. 65-73, Jan. 2001.

PRODUTOS: nutrição vegetal: fertilizantes de liberação controlada. **Haifa**: Haifa Group, 2017. Disponível em: <[http://www.haifa-group.com/portuguese/products/plant\\_nutrition/controlled\\_release\\_fertilizers/multicote\\_technology/](http://www.haifa-group.com/portuguese/products/plant_nutrition/controlled_release_fertilizers/multicote_technology/)>. Acesso em: 1 abr. 2017.

REIS JÚNIOR, R. A.; TÍSKT, I. Características físico-químicas de fertilizantes revestidos por polímeros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. p. 344. 1 CD-ROM.

REIS, R. P. et al. Custos de produção da cafeicultura no sul de Minas Gerais: organizações rurais e agroindustriais. **Revista de Administração da UFLA**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 37-44, jan./jun. 2001.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia do cafeeiro**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 119-147.

REYNOLDS, C. M.; WOLF, D. C. Effect of soil moisture and air relative humidity on ammonia volatilization from surface-applied urea. **Soil Science**, Washington, v. 143, n. 2, p. 144-152, Feb. 1987.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Ed. UFV, 1999. 359 p.

ROBERTS, J. R. **Stabilized N-Alkyl thiphosphoric triamide solvent systems for use in nitrogen fertilizer**. [S.l.: s.n.], 2014. 4 p. US Pat.2014/0060132 A1.

ROCHETTE, P. et al. Ammonia volatilization and nitrogen retention: how deep to incorporate urea? **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 42, n. 6, p. 1635-1642, Nov. 2013.

\_\_\_\_\_. Banding urea increased ammonia volatilization in a dry acidic soil. **Journal of Environmental Quality**, Madson, v. 38, n. 4, p. 1383-1390, May 2009a.

\_\_\_\_\_. Reducing ammonia volatilization in a no-till soil by incorporating urea and pig slurry in shallow bands. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 84, n. 1, p. 71-80, May 2009b.

RODRIGUES, M. B.; KIEHL, J. C. Distribuição e nitrificação da amônia proveniente da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 16, n. 3, p. 403-408, jul./ago. 1992.

ROJAS, C. A. L. et al. Volatilização de amônia da ureia alterada por sistemas de preparo de solo e plantas de cobertura invernais no Centro-Sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 261-270, jan./fev. 2012.

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

RUSER, R.; SCHULZ, R. The effect of nitrification inhibitors on the nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) release from agricultural soils: a review. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 178, n. 2, p. 171-188, Feb. 2015.

SÁ JÚNIOR, A. de et al. Application of the Koppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 108, n. 1, p. 1-7, Apr. 2012.

SANGOI, L. et al. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 687-692, ago. 2003.

SANZ-COBENA, A. et al. An inhibitor of urease activity effectively reduces ammonia emissions from soil treated with urea under Mediterranean conditions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 126, n. 3/4, p. 243-249, July 2008.

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, maio 2001.

SHAVIV, A. Controlled release fertilizers. In: IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, 2005, Frankfurt. **Proceedings...** Frankfurt: IFA, 2005. Disponível em: <<http://www.fertilizer.org/ItemDetail?iProductCode=7968Pdf&Category=AGRI&WebsiteKey=411e9724-4bda-422f-abfc-8152ed74f306>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

SHAVIV, A.; RABAN, S.; ZAIDEL, E. Modeling controlled nutrient release from polymer coated fertilizers: diffusion release from single granules. **Environmental Science & Technology**, Washington, v. 37, n. 10, p. 2251-2256, May 2003.

SILVA, C. C.; SENGIK, E. Influência da adição de água sobre a volatilização de amônia proveniente de uréia aplicada na superfície de amostras de solo. **Revista Unimar**, Maringá, v. 16, n. 2, p. 243-251, July 1994.

SOARES, J. R. **Efeito de inibidores de urease e de nitrificação na volatilização de  $\text{nh}_3$  pela aplicação superficial de uréia no solo**. 2011. 79 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2011.

SOUZA, J. A. **Lixiviação de nitrato e volatilização de amônia em um Latossolo cultivado com café sob diferentes fontes de nitrogênio**. 2012. 85 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

SOUZA, T. L. **Eficiência agronômica de fertilizantes nitrogenados, emissão de  $\text{CO}_2$  e volatilização de  $\text{nh}_3$  na cultura do milho**. 2015. 98 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

STAFANATO, J. B. et al. Volatilização de amônia oriunda de ureia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 726-732, maio/jun. 2013.

STEVENSON, F. J. Origin and distribution of nitrogen in soil. In: SCHEPERS, J. S.; RAUN, W. R. (Ed.). **Nitrogen in agricultural systems**. Madison: American Society of Agronomy, 2008. p. 1-39.

SUBBARAO, G. V. et al. Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems: challenges and opportunities. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 25, n. 4, p. 303-335, July/Aug. 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAO, L. et al. Degradation and its affecting factors of NBPT in soil. **Chinese Journal of Ecology**, Pequim, v. 25, n. 9, p. 1082-1086, Sept. 2006.

TASCA, F. A. et al. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 493-502, abr. 2011.

TERMAN, G. L. Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments, and crop residues. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 31, n. 1, p. 189-223, Mar./Apr. 1979.

THOMAZIELLO, R. A. et al. **Café arábica: cultura e técnicas de produção**. Campinas: Instituto Agronômico, 2002. 82 p.

TIMILSENA, Y. P. et al. Enhanced efficiency fertilizers: a review of formulation and nutrient release patterns. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 95, n. 6, p. 1131-1142, Apr. 2014.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. 4th ed. New York: Macmillan, 1985. 754 p.

TRENKEL, M. **Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient efficiency in agriculture**. 2nd ed. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010. 163 p.

TRIVELIN, P. C. O.; CABEZAS, W. A. R. L.; BOARETTO, A. E. Dinâmica do nitrogênio de fertilizantes fluidos no sistema solo-planta. In: VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E. (Coord.). **Fertilizantes fluidos**. Piracicaba: POTAFÓS, 1994. p. 314-330.

UPADHYAY, L. S. B. Urease inhibitors: a review. **Indian Journal of Biotechnology**, Raipur, v. 11, n. 4, p. 381-388, Oct. 2012.

VALDERRAMA, M. et al. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 3, p. 191-196, jul./set. 2009.

VIERO, F. et al. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers in no-till wheat and maize in southern brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 1515-1525, set./out. 2014.

VITTI, G. C. et al. Influência da mistura de sulfato de amônio com ureia a sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 663-671, jul./set. 2002.

WATKINS, S. H. et al. Factors influencing ammonia losses from urea applied to northwestern forest soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 36, n. 2, p. 354-357, Mar./Apr. 1972.

WATSON, C. J. et al. Rate and mode of application of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide on ammonia volatilization from surface-applied urea. **Soil use and Management**, Oxford, v. 24, n. 3, p. 246-253, Sept. 2008.

WATSON, C. J. Urease inhibitors. In: IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, 2005, Frankfurt. **Proceedings...** Paris: International Fertilizer Industry Association, 2005. p. 1-20.

WATSON, C. J.; POLAND, P.; ALLEN, M. B. D. The efficacy of repeated applications if the urease inhibitor NBPT for improve the efficiency of urea fertilizer utilization of temperature grassland. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 53, n. 2, p. 137-145, June 1998.

WHITEHURST, G. B.; WHITEHURST, B. H. **NBPT solution for preparing urease inhibited urea fertilizers prepared from N-ALKYL; N,N-ALKYL; AND N-ALKYL-N-ALKYLOXY amino alcohols.** [S.l.: s.n.], 2014. 21 p. US Pat. 2010/0037570 A1.

YANG, Y. Controlled release urea improved nitrogen use efficiency, activities of leaf enzymes, and rice yield. **Soil Science Society of American Journal**, Amsterdam, v. 76, n. 6, p. 2307-2317, Oct. 2012.