

**INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
MINAS GERAIS
Campus Bambuí**

MARYANA APARECIDA SILVA

**PERDAS DE AMÔNIA POR VOLATILIZAÇÃO DE FERTILIZANTES
CONVENCIONAIS, ESTABILIZADOS E DE LIBERAÇÃO CONTROLADA NA
CULTURA DO MILHO**

**BAMBUÍ-MG
2019**

MARYANA APARECIDA SILVA

**PERDAS DE AMÔNIA POR VOLATILIZAÇÃO DE FERTILIZANTES
CONVENCIONAIS, ESTABILIZADOS E DE LIBERAÇÃO CONTROLADA NA
CULTURA DO MILHO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) Campus Bambuí, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof^a. Dra. Sheila Isabel do Carmo Pinto

Coorientador: Me. César Ferreira Santos

**BAMBUÍ-MG
2019**

S586p Silva, Maryana Aparecida.
Perdas de amônia por volatilização de fertilizantes
convencionais, estabilizados e de liberação controlada na cultura
do milho. / Maryana Aparecida Silva. – 2019.
37 f.; il.: color.

Orientador: Profª. Dra. Sheila Isabel do Carmo Pinto.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Instituto Federal
de
Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus
Bambuí,
MG, Curso Superior de Agronomia, 2019.

1. Safrinha. 2. Ureia. 3. Nitrogênio. I. Pinto, Sheila Isabel do
Carmo. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de

MARYANA APARECIDA SILVA

**PERDAS DE AMÔNIA POR VOLATILIZAÇÃO DE FERTILIZANTES
CONVENCIONAIS, ESTABILIZADOS E DE LIBERAÇÃO CONTROLADA NA
CULTURA DO MILHO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) Campus Bambuí, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Aprovada em 29 de novembro de 2.019

Prof^ª. Dra. Sheila Isabel do Carmo Pinto- IFMG/Bambuí (Orientadora)

Prof. Dr. Fábio Pereira Dias-IFMG/Bambuí

Prof. Doutorando Osnar Obede da Silva Aragão- UFLA

Prof. Doutorando André Alves de Souza- UFLA

**BAMBUÍ-MG
2019**

Dedico este trabalho a Deus, Nossa Senhora e a São Bento, que me fizeram forte e me guiaram pelo caminho correto atrás dos meus objetivos.

Dedico também à minha família, em especial ao meu pai, Clementino, à minha mãe, Zuleide, e à minha irmã, Maryelen, que me auxiliaram para que este trabalho pudesse ser concluído.

À minha professora orientadora, Dra. Sheila Isabel do Carmo Pinto, e ao meu coorientador, César Ferreira, os quais não mediram esforços, me auxiliando e acreditando no meu potencial.

Dedico aos meus amigos, os quais caminharam comigo.

Ao IFMG campus Bambuí e aos funcionários que colaboraram para que eu chegasse até aqui.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ser agrônoma é um sonho que se iniciou logo na minha infância, na pequena cidade de Medeiros. Nasci e fui criada no campo, onde aprendi a amar tal profissão, a qual me dedicarei ao máximo. Este sonho está prestes a se realizar e tenho muito a agradecer às pessoas que foram essenciais na minha trajetória.

Primeiramente agradeço a Deus, Nossa senhora e São Bento pela minha vida e por ter me dado saúde e força para superar todas as dificuldades, discernimento e sabedoria para tomar as decisões corretas.

Agradeço à minha família, a qual foi meu alicerce e não me deixou abalar, mas em especial agradeço ao meu pai Clementino, minha mãe Zuleide, à minha irmã Maryelen e aos meus avós, José Aparecido e Neuza, Antônio e Maria Aparecida, que entenderam as minhas ausências e não mediram esforços para que eu pudesse realizar o meu sonho, sempre com muito amor, carinho e fé.

Agradeço aos meus amigos que estiveram presentes o tempo todo, tornando-se minha segunda família, os quais enfrentaram momentos difíceis e momentos incríveis ao meu lado. Agradeço, em especial, aos amigos que me auxiliaram no trabalho de conclusão de curso, gratidão pela amizade de cada um.

Agradeço à família EJC e à Regiane Miguel, por me auxiliarem com muito amor e fé em um dos momentos mais difíceis da minha vida.

Aos funcionários da Fazenda Renascer, técnicos e empresas que me auxiliaram durante todo o meu curso, os quais ajudaram no meu crescimento profissional e pessoal, a minha eterna gratidão, sem vocês nada disso seria possível.

À minha orientadora Prof. Dra. Sheila Isabel do Carmo Pinto, a qual confiou no meu potencial. Gratidão pela oportunidade e por todos os conhecimentos adquiridos durante o trabalho e o curso e por auxiliar no meu crescimento. Agradeço também ao meu coorientador, César Ferreira, o qual não mediu esforços para que esse trabalho fosse realizado.

Agradeço ao Instituto Federal de Minas Gerais- Campus Bambuí, e a todos os funcionários, professores e técnicos que fizeram parte da realização do meu sonho. Sem vocês não seria possível.

Por fim agradeço a todos que de alguma forma colaboraram para meu crescimento e para a realização deste sonho.

“Ainda que eu andasse pelo vale da sombra da morte, não temeria mal algum, porque tu estás comigo; a tua vara e o teu cajado me consolam”.

Salmos 23:4

RESUMO

SILVA, Maryana Aparecida. **Perdas de amônia por volatilização de fertilizantes convencionais, estabilizados e de liberação controlada na cultura do milho.** Bambuí: IFMG campus Bambuí, 2019. 37p.

O nitrogênio (N) é responsável por aumentos expressivos na produtividade do milho, entretanto, as taxas de aproveitamento desse nutriente são baixas, sobretudo quando se opta pelo uso da ureia como fonte de N na adubação de cobertura. Visando reduzir as perdas de N por volatilização pela ureia, novas tecnologias têm sido desenvolvidas pela indústria de adubos nitrogenados, incluindo os fertilizantes de liberação lenta, controlada ou estabilizados. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a eficiência dos adubos em reduzir as perdas de N por volatilização de diferentes fontes nitrogenadas utilizadas na adubação de cobertura do milho safrinha cultivado sob os sistemas de plantio direto e convencional. O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial 7x2, sendo o controle e 6 fontes de nitrogênio (ureia perolada, ureia com inibidor de urease (N-(n-butil) tiosfórico triamida - NBPT), ureia contendo cobre e boro, ureia contendo enxofre, nitrato de amônio e sulfato de amônio) e 2 sistemas de plantio (plantio direto e plantio convencional), com 3 repetições, totalizando 42 parcelas experimentais. Todos os fertilizantes foram aplicados na dose de 150 kg ha⁻¹ de N em cobertura e o tratamento controle (sem aplicação de N em cobertura). As variáveis avaliadas foram as perdas de nitrogênio na forma de amônia (N-NH₃) durante o período de 29 dias. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias agrupadas por meio do teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. A ureia + Cu + B foi o fertilizante que apresentou as maiores perdas acumuladas de N por volatilização no sistema de plantio convencional e a ureia + Cu + B e a ureia perolada no sistema de plantio direto. Portanto, a ureia + Cu + B foi menos eficiente em ambos os sistemas de cultivo. Dentre as ureias, a ureia + S + polímero, apresentou maior eficiência na redução das perdas de N-NH₃. As perdas de N-NH₃ no sistema de plantio direto foram superiores às verificadas no sistema de plantio convencional.

Palavras-chave: safrinha; ureia; nitrogênio; adubação.

ABSTRACT

SILVA, Maryana Aparecida. **The loss of ammonia due to conventional volatilization, stabilized and the control release of fertilizers in corn cultivation.** Bambuí: IFMG campus Bambuí, 2019. 37p.

Nitrogen (N) is responsible for high increases in corn productivity, however, the rates of utilization of this nutrient are low, specifically when urea is used as a source of N in the coverage fertilization. In order to reduce N losses due to urea volatilization, new technologies have been developed by the nitrogen fertilizer industry including slow-release, controlled or stabilized fertilizers. Thus, the objective of this work was to evaluate the efficiency of fertilizers in reducing the losses of N by volatilization from different nitrogen sources used in the fertilization of crop maize cover grown under direct and conventional planting systems. The experiment was installed in a 7x2 limited block design with control and 6 sources of nitrogen (pearlescent urea, urea with urease inhibitor (N-(n-butyl) thiophosphoric triamide - NBPT), urea containing copper and boron, urea containing sulfur, ammonium nitrate and ammonium sulfate) and 2 planting systems (direct planting and conventional planting), with 3 repetitions, totaling 42 experimental plots of land. All fertilizers were applied at a dose of 150 kg ha⁻¹ of N in coverage and control treatment (without application of N in coverage). The variables evaluated were nitrogen losses in the form of ammonia (NH₃) during the period of 29 days. The data was submitted by analysis of variance and it was gathered by the trial of Scott-Knott test at 5% probability. Urea + Cu + B were the fertilizer that presented the highest accumulated losses of N by volatilization in the conventional planting system and urea + Cu + B and pearlescent urea in the till system. Therefore, urea + Cu + B were less efficient in both culture systems. Among the urea, urea + S + polymer showed higher efficiency in reducing NH₃ losses. The losses of NH₃ in the crop system was higher than those verified in the conventional planting system.

Keywords: sapphire; urea; nitrogen; fertilization.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Precipitação pluviométrica, temperatura máxima e mínima e umidade relativa do ar durante o período de avaliação das perdas de nitrogênio na forma de amônia (N-NH₃) .24
- Figura 2 - Perdas diárias de N-NH₃ por volatilização dos fertilizantes aplicados em cobertura no milho safrinha (A: Sistema de plantio convencional, B: Sistema de plantio direto). As barras verticais indicam o erro padrão da média (n=3)28
- Figura 3 - Perdas acumuladas de N-NH₃ por volatilização dos fertilizantes aplicados em cobertura no milho safrinha (A: Sistema de plantio convencional, B: Sistema de plantio direto). Sistemas de cultivo com mesma letra maiúscula e fertilizantes com mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. As barras verticais indicam o erro padrão da média (n=3)31

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Resultados das análises de solo da área experimental no ano de 2019	22
TABELA 2 - Nitrogênio total, nitrogênio mineral, densidade do solo e estoques de nitrogênio em diferentes profundidades de solo no sistema de plantio convencional (PC) e plantio direto (PD)	22
TABELA 3 - Garantias de nutrientes dos fertilizantes nitrogenados usados na adubação de cobertura de milho	24

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

%V	Porcentagem de Saturação de Bases
$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	Ureia
$(\text{NH}_4^+)_2\text{CO}_3$	Carbonato de amônio
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
B	Boro
CO_2	Dióxido de carbono
CTC (T)	Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0
CTC (t)	Capacidade de Troca Catiônica Efetiva
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
Cu	Cobre
ENH_4^+	Estoque de nitrogênio na forma de amônio
ENM	Estoque de nitrogênio mineral referente a soma do ENH_4^+ e ENO_3^-
ENO_3^-	Estoque de nitrogênio na forma de nitrato
ENT	Estoque de nitrogênio total
H_2CO_3	Ácido carbônico
H_2O	Água
HCO_3^-	Bicarbonato
IFMG	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais
m	Porcentagem de saturação por Alumínio
MO	Matéria orgânica
N	Nitrogênio
NBPT	N-(n-butil) tiofosfórico triamida
$\text{NH}_2\text{COONH}_4$	Carbamato de amônio
N-NH ₃	Amônia
PC	Plantio convencional
PD	Plantio direto
pH	Potencial de hidrogênio
S	Enxofre
SB	Soma de Bases Trocáveis

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 A cultura do milho.....	15
2.2 O nitrogênio e a cultura do milho	16
2.3 Perda de nitrogênio por volatilização	17
2.4 Perda de nitrogênio por volatilização no sistema de plantio direto.....	18
2.5 Fertilizantes nitrogenados estabilizados e de liberação controlada.....	19
3 MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 Localização da área experimental.....	21
3.2 Plantio e tratos culturais	21
3.3 Delineamento experimental	24
3.4 Fertilizantes utilizados	24
3.5 Corte de espumas.....	25
3.6 Preparo das espumas.....	25
3.7 Instalação dos coletores.....	25
3.8 Variáveis avaliadas	26
3.8.1 <i>Avaliação das perdas de nitrogênio na forma de amônia.....</i>	<i>26</i>
3.9 Análise estatística	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1 Perdas de N por volatilização de N-NH ₃	28
5 CONCLUSÃO.....	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
APÊNDICE A – Tabela de análise de variância da perda acumulada de N.....	39

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma gramínea de grande importância econômica e social por gerar divisas e receitas ao país, além de ser fonte de alimentação animal e humana. Está entre as culturas mais cultivadas, tanto na agricultura familiar quanto em cultivos de elevado nível tecnológico. O milho é a segunda mais importante cultura do Brasil, ficando atrás somente da soja.

No Brasil o cultivo do milho pode ocorrer em dois períodos, sendo o primeiro chamado de semeadura de verão, conhecida como safra, ou safra de verão, executada na região Sul, a partir do mês de setembro e para as regiões Centro-Oeste e Sudeste até outubro ou novembro. O segundo período é denominado segunda safra, ou popularmente conhecido como “safrinha”. Este último é um cultivo extemporâneo, e na maioria das vezes a semeadura é realizada logo após a colheita da soja, realizando uma sucessão entre as culturas (PINOT BRASIL, 2013).

Para que se intensifique o uso do solo, é essencial, do ponto de vista tecnológico, que haja um manejo produtivo. Assim, os produtores passaram a antecipar o cultivo da soja com o uso de cultivares de ciclo precoce, para que a colheita ocorra em período que ainda permita o cultivo do milho, pensando nas condições climáticas que favorecem ainda seu cultivo entre o final do verão e a primeira parte do outono (SOLOGUREN, 2015).

Os sistemas de cultivo utilizados são o de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC). O PD caracteriza-se pelo não revolvimento do solo, a constante presença de matéria orgânica e a rotação de cultura, as quais mantêm as características químicas, físicas e biológicas do solo cooperando para a sustentabilidade e conseqüentemente uma maior produtividade. No sistema de PC, ao contrário do sistema de PD, há o revolvimento do solo, afetando as características do solo, portanto, um manejo menos sustentável quando comparado ao outro sistema, no entanto, é mais utilizado pois suas práticas são realizadas de maneira tradicional o que as vezes pode facilitar o manejo do solo pelos produtores de pequeno e médio porte.

O melhoramento genético possibilitou o desenvolvimento de diversas cultivares de milho adaptadas às diferentes regiões. Além dessa adaptação, o melhoramento possibilitou a obtenção de plantas com elevado potencial produtivo, exigindo investimentos maiores em nutrição, por meio de correção e adubações, para que estas expressem suas características. O resultado destes fatores (genética e nutrição) vem refletindo no aumento da produtividade dessa cultura (FONTOURA e BAYER, 2009).

Dentre os nutrientes minerais, destaca-se o N como primeiro em absorção pela planta (FONTOURA e BAYER, 2009), e responsável por aumentos expressivos na produtividade da

cultura (CIVARDI, 2011; SANTOS *et al.*, 2010). Devido à grande importância do N para o milho, doses elevadas são aplicadas (OHLAND *et al.*, 2005), no entanto, as taxas de aproveitamento são baixas, principalmente devido ao alto dinamismo e diversidade de rotas de perdas desse elemento no ecossistema. O Brasil, por se tratar de um país de clima tropical, tende a contribuir de maneira menos eficiente para o aproveitamento do N aplicado via fertilizante, sobretudo quando se opta pelo uso da ureia como fonte de N na adubação de cobertura.

A ureia se tornou o fertilizante nitrogenado de maior utilização na agricultura, porém, quando aplicada superficialmente ao solo pode sofrer perdas por volatilização de N-NH_3 , devido à elevação do pH do solo em torno do grânulo (SANGOI *et al.*, 2003; ROCHETTE *et al.*, 2009). As informações sobre a quantidade de N-NH_3 volatilizada são divergentes entre os pesquisadores. Os resultados apontam perdas que variam de 1 a 35% do que é aplicado (COSTA *et al.*, 2003; ROS *et al.*, 2005; CANTARELLA *et al.*, 2008). O N-NH_3 é um gás facilmente liberado para a atmosfera, suas perdas são dependentes de fatores climáticos, edáficos e do manejo (MA *et al.*, 2010). A volatilização inicia-se quando os fertilizantes nitrogenados (fonte amídica) são aplicados na superfície do solo e ocorre a hidrólise pela urease, que é formada espontaneamente no solo por meio de bactérias, actinomicetos e fungos ou ainda originada de restos vegetais (COSTA, VITTI, CANTARELLA, 2003).

A baixa eficiência de uso do N reduz a produção de grãos e contribui para a poluição do ambiente, minimizando os lucros, causando grande preocupação para os técnicos e agricultores. Visando reduzir as perdas de N-NH_3 por volatilização pela ureia, novas tecnologias têm sido desenvolvidas pela indústria de adubos nitrogenados incluindo os fertilizantes de liberação lenta, controlada ou estabilizados. Estes fertilizantes podem contribuir para uma liberação gradual do N no solo ou ainda possuir aditivos que inibem a urease do N no solo, como por exemplo o NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida), que impede, mesmo que por determinado tempo, a atividade da urease, mantendo o N por maior tempo na forma amídica (TRENKEL, 2010; SOUZA *et al.*, 2017).

Nesse contexto, destaca-se a importância do desenvolvimento de pesquisas relacionadas à eficiência de aproveitamento do N, sobretudo àquelas que avaliam novas tecnologias de produção da ureia, buscando a redução das perdas de N-NH_3 por volatilização. Portanto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência de redução das perdas de N por volatilização de diferentes fontes nitrogenadas utilizadas na adubação de cobertura do milho safrinha cultivado sob os sistemas de plantio direto e convencional.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma cultura com presença forte no consumo brasileiro. Tem ciclo anual e é estival, ou seja, forrageira de clima tropical, com grande crescimento, grossos colmos e folhas largas. Monocotiledônea da família Poaceae, está classificada no grupo das plantas C-4, possuindo afinidade com o CO₂ e sendo substancialmente adaptável a condições climáticas adversas, exceção à geada. Necessita de boa iluminação e de calor. É ereta, crepitosa, herbácea e monóica, possuindo a mesma planta órgãos reprodutivos masculino e feminino. O feminino é presente no sabugo, com sua flor apresentando um único estigma, caracterizado pela barba-do-milho; o masculino junto ao nó do caule. É utilizado em forragens e silagem para alimentação animal e para produção de grãos de consumo humano e também animal, e o principal componente do grão é o amido, o que proporciona propriedades potencialmente energéticas e com pouca proteína (UFRGS, 2018; BARROS e CALADO, 2014).

Condições elevadas de temperatura e também de pluviometria contribuem com a produção, sendo propícias a máxima produtividade. A temperatura ideal no período de emergência à floração é de 24°C a 30°C, e a precipitação anual ideal para bons índices de produtividade são de 50 mm a 5.000 mm (EMBRAPA, 2006). No que se refere à temperatura, a produção no Brasil, país tropical, é favorecida, e, em condições ideais, uma única semente com 260 mg tem potencial de gerar uma planta com 140 g a 250 g de grãos em um período de 140 dias (FANCELLI, 2000 *apud* SANTOS, 2018).

Economicamente muito representativo, com produção global de mais de 960 milhões de toneladas, tem o Brasil como um dos quatro maiores produtores mundiais, juntamente com Estados Unidos, China e Argentina, sendo o Brasil o terceiro maior produtor e o segundo maior exportador (PEIXOTO, 2014; BARROS e CALADO, 2014).

No Brasil, considerando o cenário do hemisfério sul, a produção do milho acontece em dois momentos. A primeira safra ocorre no verão, com início no período chuvoso, que se dá no final de agosto no Centro Oeste brasileiro e de outubro a novembro na Região Sudeste. A segunda safra, ou safrinha, acontece no outono, no final de janeiro até o início de março, depois de realizada a colheita da soja precoce (CIVARDI, 2009).

A cultura do milho vem passando por avanços e mudanças importantes, sobretudo no aspecto tecnológico da produção. Qualidade do solo, rotação de cultura e adubação são fatores importantes para o sucesso no manejo da cultura (SANTOS *et al.*, 2010), com destaque para a

relevância do nitrogênio no aumento da produtividade do milho.

2.2 O nitrogênio e a cultura do milho

O nitrogênio é o nutriente mais limitante para o desenvolvimento e produtividade do milho. As aplicações acontecem em doses variáveis, pautadas sobretudo pela finalidade da safra (grãos ou silagem) e pelo padrão tecnológico da produção. A necessidade é dada pela relação entre a realidade do solo e o rendimento requerido, e a aplicação é feita por meio de fertilizantes nitrogenados orgânicos ou minerais. O aproveitamento do nitrogênio é, em geral, menor que 50%, e decresce com o passar do tempo, ao passo que doses elevadas e crescentes aumentam a produtividade consideravelmente (SANTOS *et al.*, 2010).

O milho é cultivado em duas safras, dadas as particularidades de cada período, os investimentos em nitrogênio tendem a diferir entre si. Na primeira safra, as condições mais favoráveis corroboram para doses mais moderadas, ao passo que na segunda, ou safrinha, para que a produtividade também esteja a contento, as doses de nitrogênio precisam ser maiores (CANCELLIER *et al.*, 2016).

Somado ao potencial de influência do nitrogênio para a cultura do milho, da sua importância para o crescimento da planta, para a fotossíntese, para a síntese das proteínas e para a produtividade, existe ainda uma questão relacionada à permanência da disponibilidade do nutriente depois de aplicado, ou seja, do efeito residual, que é baixo. Esse conjunto de circunstâncias faz com que seja necessária a sua aplicação de forma mais frequente que os demais nutrientes (RESENDE, 2011).

Uma das formas de reduzir custos é a utilização de um fertilizante que tenha alta concentração de nitrogênio, o que implica em volumes totais menores do produto para carregar a mesma quantidade do nutriente, contribuindo para reduzir os custos de transporte. No Brasil, os fertilizantes nitrogenados mais utilizados são a ureia, o sulfato de amônio e o nitrato de amônio. Dentre esses, destaca-se a ureia que é largamente utilizada devido a maior concentração de nitrogênio, o que contribui para a redução dos custos de transporte. O sulfato de amônio apresenta cerca de 21% de nitrogênio na forma de amônio, o nitrato de amônio possui cerca de 32% de nitrogênio e a ureia 45% de nitrogênio em forma amídica (SANTOS, 2018). Diante da diferença, são recorrentes as pesquisas no sentido de otimizar a eficiência da ureia, visto que sua eficiência é baixa em condições não ideais (CIVARDI, 2009).

É perceptível a preocupação quanto ao aproveitamento do nitrogênio pela cultura do milho, sendo necessária a aplicação de quantidades substanciais que não serão totalmente

absorvidas. Ressalvado o nitrogênio que é devidamente aproveitado pela planta, as perdas acontecem principalmente por razão da desnitrificação e da nitrificação, que são transformações químico-biológicas pelas quais passa o nitrogênio; da lixiviação e da erosão do solo, caracterizadas pelo carregamento dos nutrientes, sua dissolução e pelo desgaste do solo; e da volatilização (MALAQUIAS; SANTOS, 2017).

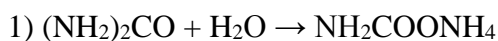
2.3 Perda de nitrogênio por volatilização

A volatilização é um processo caracterizado pela perda do nutriente por sua transformação para o estado gasoso. No caso do nitrogênio, apesar do seu aspecto dinâmico e complexo que proporciona a possibilidade de perda por diversos processos, o principal se dá na forma de gás amônia (N-NH_3), de fácil liberação para a atmosfera.

Os fatores que corroboram com tal processo podem ser de origem climática, do solo e do próprio manejo. No que diz respeito ao clima, se dá por fatores como a alta temperatura, a umidade relativa do ar, a precipitação pluviométrica insuficiente, a velocidade do vento e a própria concentração de amônia na atmosfera. Quando relacionado ao solo, a evaporação da água, o aumento do seu pH superficial, a baixa Capacidade de Troca de Cátions (CTC), e a presença de resíduos na superfície, que diminui o contato do fertilizante com o solo. Em relação ao manejo, a incorporação incompleta ou mal feita da ureia ao solo é o principal fator (CONTIN, 2007).

Santos (2018) relaciona seis reações encadeadas que caracterizam o processo de volatilização: 1) a hidrólise da ureia ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$), ou seja, sua reação com a água (H_2O), causa formação de carbamato de amônio ($\text{NH}_2\text{COONH}_4$); 2) o carbamato de amônio, em meio aquoso (H_2O), se transforma em carbonato de amônio ($(\text{NH}_4^+)_2\text{CO}_3$); 3) o carbonato de amônio, em meio ácido, reage com íons H^+ presentes no solo e se transforma em amônio (NH_4^+), dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O); 4) o amônio reage com uma hidroxila (OH^-) e forma gás amônia (N-NH_3) e água (H_2O), e a amônia é perdida na atmosfera; 5) parte do dióxido de carbono (CO_2) da reação 3 reage com moléculas de água (H_2O), produzindo ácido carbônico (H_2CO_3); 6) o ácido carbônico, em pH acima de 6,3, libera um íon H^+ , o mesmo reagente da reação 3, restando o bicarbonato (HCO_3^-).

A síntese do processo conforme Santos (2018):



- 2) $\text{NH}_2\text{COONH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$
- 3) $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + 2\text{H}^+ \rightarrow 2\text{NH}_4^+ + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- 4) $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \leftrightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- 5) $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$
- 6) $\text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$

Fica perceptível a participação fundamental do pH e da umidade, dadas as reações que acontecem em pH acima de 6,3 (reação 6) e das reações com a água (reações 1, 2 e 5).

As reações acontecem de forma mais intensa quando o solo está com pH mais alcalino, depois da correção, o que não elimina as situações de perda, mesmo quando a acidez é acentuada quando se trata de adubação por cobertura. Esta situação evidencia a importância da incorporação da ureia no solo como forma de minimizar as perdas por volatilização. A incorporação aumenta o contato e a retenção do amônio, contribuindo inclusive para o equilíbrio do pH (CANCELLIER, 2013).

A umidade, por sua vez, causa a difusão da ureia, aumenta a superfície de contato para ação da urease, e está presente em diferentes partes dos processos químicos que caracterizam a perda. Quanto maior a umidade, maior a velocidade da perda, inclusive no processo de evaporação da água (COSTA, VITTI, CANTARELLA, 2003).

Observada a importância da incorporação da ureia no solo e as possibilidades de perda de nitrogênio por lixiviação, desnitrificação e volatilização, uma abordagem importante são as perdas de N em função do sistema de cultivo.

2.4 Perda de nitrogênio por volatilização no sistema de plantio direto

O plantio direto, caracterizado pela técnica conservacionista que tem por prerrogativa a menor intervenção no solo nas etapas de revolvimento, como aração e gradagem, vem tendo sua utilização ampliada no Brasil. As razões são as vantagens relacionadas à presença da matéria orgânica oriunda da cobertura por plantas em desenvolvimento e resíduos vegetais, o que contribui para a diminuição das erosões e das conseqüentes perdas de nutrientes, além do aumento da umidade (RESENDE, 2011).

No entanto, quando se trata de fertilizantes nitrogenados, sobretudo a ureia quando aplicada da forma convencional, superficialmente, a eficiência é diminuída. Acontece justamente a permanência de parte da ureia na superfície, junto a cobertura. Com isto, é favorecida a perda de N por volatilização, visto que a ureia é passível de perdas consideráveis

quando aplicada superficialmente e principalmente em contato com resíduos, exatamente o que acontece no sistema de plantio direto. O amônio não absorvido pelo solo acaba se perdendo, e a hidrólise é favorecida (PEREIRA *et al.*, 2008).

Por fim, existe ainda um momento sequente que implica em preocupação. Quando é chegado o momento da aplicação de calcário, considerando ainda o sistema de plantio direto, novamente não acontece o processo de incorporação. A presença do calcário favorece a elevação do pH do solo em sua superfície e, conseqüentemente, a presença de amônia em solução, o que propicia a intensificação da perda de nitrogênio amoniacal ($N-NH_3$), novamente por volatilização (CANCELIER *et al.*, 2016).

Fica perceptível a preocupação com todas as possibilidades de perda de nitrogênio na cultura do milho, sobretudo por volatilização e em sistema de plantio direto. Diante dessa preocupação, são valorosas as iniciativas no sentido de se estudar novas tecnologias e possibilidades que reduzam e minimizem tais perdas. Um exemplo dessas iniciativas aponta para o uso de fontes nitrogenadas estabilizadas ou de liberação controlada.

2.5 Fertilizantes nitrogenados estabilizados e de liberação controlada

Diante das potenciais perdas de nitrogênio a partir da volatilização de amônia e do seu conseqüente subaproveitamento pela cultura do milho, o que ocasiona aumento de custos para a produção, fertilizantes nitrogenados de liberação controlada são uma opção que tem sido estudada e considerada.

Trata-se de fertilizantes que têm adicionados, em sua composição, aditivos como o tiofosfato de N-n-butil triamida (NBPT), com poder de inibição da urease e da reação de nitrificação, corroborando para com a permanência por maior tempo do nitrogênio em sua forma amídica (SOUZA *et al.*, 2017).

Visa-se uma liberação do nutriente de forma diferenciada, mais lenta, prolongando sua disposição à planta, além da inibição da urease, tornando menor sua atividade e proporcionando maior estabilidade à ureia. Isso é importante, dado que o nitrogênio é exigido em diferentes quantidades de acordo com o momento do ciclo da cultura. Considerando que a eficiência do fertilizante nitrogenado alcança seu ápice justamente quando a planta mais precisa dele, é primordial que, neste momento, o nutriente esteja plenamente disponível, o que não é garantido com a aplicação convencional da ureia (SOARES e RESTLE, 2002).

Neste sentido, os fertilizantes nitrogenados estabilizados e de liberação controlada são uma possível solução, e são importantes os estudos focados no seu desenvolvimento e

aperfeiçoamento. As consequências positivas são visíveis, dada a importância do nitrogênio nas fases de crescimento da planta. Sintomas da sua deficiência, como a clorose das folhas velhas e o retardo do crescimento, tendem a ser diminuídos. Somam-se, ainda, benefícios como a redução dos impactos ambientais e da quantidade de aplicações, visto que o parcelamento é, basicamente, substituído pela liberação controlada do nutriente (TRENKEL, 2010).

A forma de controle pode ser caracterizada por um revestimento do fertilizante ou pela associação com inibidores, o que representa a estabilização do fertilizante, podendo ser de três tipos diferentes: 1) fertilizantes de liberação controlada com revestimentos orgânicos e inorgânicos, podendo ser de enxofre, polímeros ou ambos; 2) fertilizantes de liberação controlada revestidos com inibidores da urease NBPT; 3) fertilizantes estabilizados com inibidores da nitrificação, podendo ser nitrapirina, DCD, DMPP, Triazol, 3-MP, ou 2-amino-4-chloro-6-metil-pirimidina (TRENKEL, 2010).

No caso dos revestimentos, é dificultado o contato da água com o grânulo de ureia, promovendo sua manutenção e o impedimento das reações decorrentes desse contato. No caso da estabilização com inibidores, o NBPT se oxida em NBPTO, que forma complexos que são estáveis com a urease, proporcionando, assim, um cenário em que ela não principia as reações que terminam com a perda do nitrogênio.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda Renascer, localizada no município de Medeiros-MG, pertencente ao Sr. Clementino Eustáquio da Silva. O experimento foi implantado em uma encosta de relevo suave ondulado, e em solo classificado como LATOSSOLO VERMELHO distroférico derivado de rocha calcária/ardosiana do grupo Geológico Bambuí (EMBRAPA, 2013).

3.2 Plantio e tratos culturais

A primeira operação realizada foi a delimitação das parcelas experimentais bem como a divisão dos blocos. A área experimental foi cultivada sob dois sistemas de plantio: convencional e plantio direto.

Para a simulação do sistema convencional, a palhada da área foi retirada e o solo revolvido com o uso de uma grade aradora acoplada a um trator, a profundidade aproximada de 20 cm, sendo esta operação realizada cerca de sete dias antes da implantação da cultura. Já para as parcelas com sistema de plantio direto não foi necessária nenhuma intervenção, uma vez que a área é cultivada há aproximadamente 20 anos sob o sistema de plantio direto.

O híbrido plantado na área experimental foi o milho 3055 PRO 2 da empresa Groupe Limagrain, apresentando, um colmo resistente, ótimo sistema radicular e sanidade foliar, grãos profundos e pesados com textura semidura, com a finalidade de produção de grãos. A população final de plantas utilizada foi de 55.000 plantas ha⁻¹. O espaçamento utilizado entre linhas foi de 0,75m.

A área experimental no cultivo anterior foi ocupada pela cultura da soja. Após a colheita da soja foi realizada a coleta de amostras de solo para realização da análise química e determinação dos estoques de nitrogênio no solo e na matéria orgânica (Tabelas 1 e 2).

TABELA 1 - Resultados das análises de solo da área experimental no ano de 2019

Variável	Unidades	Plantio convencional			Plantio direto		
		Profundidade (cm)			Profundidade (cm)		
		0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
pH (H ₂ O)		6,2	6,1	5,7	6,9	6,1	5,7
P	mg dm ⁻³	6,3	8,1	9,9	4,1	4,9	1,2
K		88,0	100,0	110,0	154,0	112,0	55,0
Ca		2,72	2,96	2,46	4,68	2,91	1,38
Mg		0,77	0,80	0,67	1,53	0,76	0,28
Al		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
H + Al	cmol _c dm ⁻³	2,61	2,88	3,25	1,77	2,73	2,88
SB		3,7	4,0	3,4	6,6	4,0	1,8
t		3,7	4,0	3,7	6,6	4,0	1,8
T		6,3	6,9	6,7	8,4	6,7	4,7
V	%	58,8	58,3	51,2	78,9	59,2	38,5
m		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
M.O.	dag kg ⁻¹	2,57	2,75	2,59	3,70	2,83	1,99
C.O		1,49	1,60	1,50	2,15	1,64	1,15
P(rem)	mg L ⁻¹	3,0	12,0	11,7	10,5	8,9	5,8

Carbono orgânico método Walkley & Black; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) = Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; % V = Índice de Saturação de Bases; m = Saturação de Alumínio; M.O. = matéria orgânica (Oxidação Na₂Cr₂O₇ 4N+H₂SO₄ 10N); P(rem) = Fósforo Remanescente.

TABELA 2 - Nitrogênio total, nitrogênio mineral, densidade do solo e estoques de nitrogênio em diferentes profundidades de solo no sistema de plantio convencional (PC) e plantio direto (PD)

Sistema	Profundidade	N total	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	D.S.	E _{NT}	E _{NH4+}	E _{NO3-}	E _{NM}
	cm	g kg ⁻¹	---mg kg ⁻¹ ---		g dm ⁻³	-----kg ha ⁻¹ -----			
PC	0-5	3,91	40,90	38,70	1,00	1.955,00	20,66	19,53	40,19
	5-10	2,93	141,5	80,90	1,00	1.465,00	69,55	39,74	109,29
	10-20	2,79	42,20	80,50	1,00	2.790,00	42,96	82,02	124,99
	0-20	3,10	66,59	70,65	-----	2.250,00	16,14	49,20	274,47
PD	0-5	2,90	35,80	67,40	1,00	1.450,00	18,12	34,09	52,21
	5-10	1,91	75,80	80,00	1,10	1.050,00	41,61	43,92	85,53
	10-20	1,90	36,50	72,20	1,20	2.280,00	42,86	84,77	127,63
	0-20	2,15	51,29	81,39	-----	1.765,00	55,43	22,05	265,37

D.S.= Densidade do solo pelo método do anel volumétrico; ENT = Estoque de nitrogênio total, ENH⁴⁺= Estoque de nitrogênio na forma de amônio, ENO³⁻ = Estoque de nitrogênio na forma de nitrato, ENM = Estoque de nitrogênio mineral referente a soma do ENH⁴⁺ e ENO³⁻.

O N total foi determinado pelo método Kjeldhal, após a digestão sulfúrica das amostras, o N inorgânico no extrato de KCl 1 mol L⁻¹ pelo método Kjeldhal usando como extratores óxido de magnésio e liga de Devarda, de acordo com Tedesco *et al.* (1995). Para a determinação da

densidade do solo utilizou-se o método do anel volumétrico (GROSSMAN e REINSCH, 2002). Os estoques de nitrogênio total e nitrogênio mineral foram calculados multiplicando-se os teores de nitrogênio em mg kg^{-1} pela densidade do solo na camada amostrada (área cultivada), sendo o valor obtido multiplicado pelo peso do solo na camada, em kg, com posterior transformação para kg ha^{-1} .

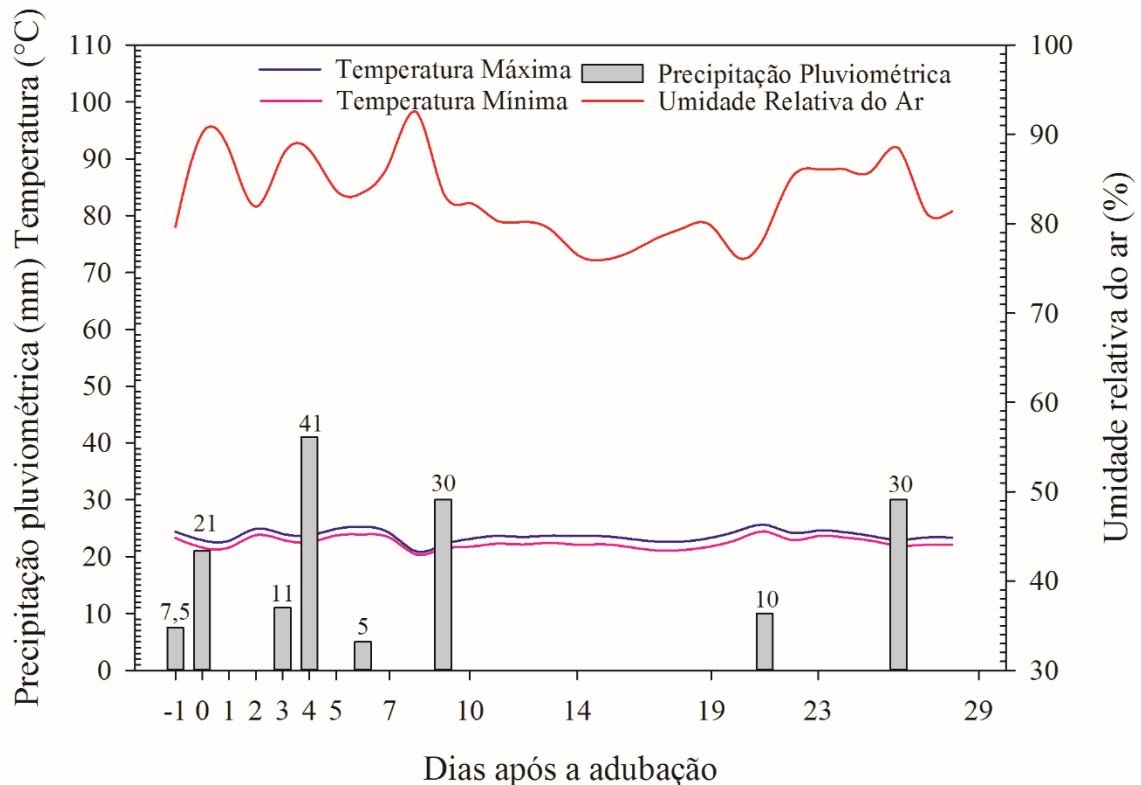
A cultura plantada na área experimental antes do cultivo do milho foi a soja Desafio RR 8473 RSF da marca Brasmax, adquirida da empresa Ouro Verde, sendo caracterizada com porte de 75 cm de altura aproximadamente, seu ciclo gira em torno de 125 dias, excelente comportamento em relação à Mancha-alvo com resistência a reação da doença do cancro da haste e a acamamento, com a finalidade de produção de grãos. A população de plantas utilizadas foi de 400.000 plantas ha^{-1} . O espaçamento utilizado entre linhas foi de 0,50 m.

No cultivo da soja foi utilizado o adubo MicroEssenciais- Mosaic 07-40-00 na dose de 280 kg ha^{-1} no plantio, além da ulexita (10%B) da Produbor na quantidade de 33,47 kg ha^{-1} e o cloreto de potássio (60% K_2O) da empresa YARA na dosagem de 105 kg ha^{-1} . No dia 25 de fevereiro de 2019, foi realizada a semeadura do milho, utilizando-se 195 kg ha^{-1} do adubo formulado da Mosaic 14-25-00 distribuído junto à semente. Não foi realizada adubação potássica.

A adubação nitrogenada de cobertura foi efetuada 15 dias após o plantio do milho (13 de março de 2019). Para esta adubação foi realizada a pesagem dos fertilizantes em balança de precisão, correspondendo a dose de 150 kg ha^{-1} de nitrogênio em uma única aplicação. O cálculo da quantidade de fertilizantes a serem aplicados dentro de cada base dos coletores nas parcelas foi calculado de acordo com o diâmetro das bases, de 12 cm.

Durante todo o período de avaliação das perdas de N por volatilização foi realizada a quantificação da precipitação pluviométrica (Figura 1). Os dados foram coletados no próprio experimento por meio de um pluviômetro instalado na área experimental e os demais obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia.

Figura 1 - Precipitação pluviométrica, temperatura máxima e mínima e umidade relativa do ar durante o período de avaliação das perdas de nitrogênio na forma de amônia (N-NH₃)



3.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 7x2, sendo o controle (sem aplicação de N de cobertura) e 6 fontes de nitrogênio (ureia perolada, ureia com inibidor de urease (NBPT), ureia contendo cobre e boro, ureia contendo enxofre, nitrato de amônio e sulfato de amônio) e 2 sistemas de plantio (plantio direto e plantio convencional), com 3 repetições, totalizando 42 parcelas experimentais. Cada parcela experimental foi composta por 6 linhas de plantio com 5 metros de comprimento, sendo que as avaliações foram realizadas no centro de cada parcela onde foram instalados os coletores.

3.4 Fertilizantes utilizados

Para a adubação de cobertura foram utilizadas seis fontes de nitrogênio (ureia perolada, ureia com inibidor de urease (NBPT), ureia contendo cobre e boro, ureia contendo enxofre e polímero, nitrato de amônio, sulfato de amônio). As garantias de nutrientes fornecidas pelos fabricantes são apresentadas na tabela 3.

TABELA 3 - Garantias de nutrientes dos fertilizantes nitrogenados usados na adubação de cobertura do milho

Fonte	N (%)	S (%)	B (%)	Cu (%)	Inibidor
Ureia Perolada	46	-	-	-	-
Ureia + NBPT	46	-	-	-	NBPT
Ureia + Cu + B	43	-	0,3	0,3	-
Ureia + S + Polímero	37	16	-	-	-
Nitrato de Amônio	33	-	-	-	-
Sulfato de Amônio	19	22	-	-	-

3.5 Corte de espumas

As espumas utilizadas nos coletores para a coleta da amônia volatilizada foram cortadas com o auxílio de um cortador de espumas feito no setor de Mecanização Agrícola do IFMG-Bambuú. O cortador é um tubo de aço galvanizado de mesmo diâmetro dos coletores afiado em esmeril. O corte das espumas foi realizado posicionando-se as espumas sobre mesa de granito e realizando movimentos de rotação sobre a espuma com o cortador. As espumas cortadas foram imediatamente acondicionadas em sacos plásticos utilizando luvas de látex durante o procedimento de corte das espumas para não haver contato com as mãos e possível contaminação das espumas.

3.6 Preparo das espumas

Após o corte das espumas, as mesmas foram umedecidas com solução de ácido fosfórico e os saquinhos amarrados e acondicionados sob refrigeração até o momento de serem levados ao campo.

3.7 Instalação dos coletores

Para a avaliação das perdas de amônia nas parcelas experimentais foram utilizados coletores de PVC (120mm) conforme descrito por Santos (2016). As bases dos coletores foram instaladas no mesmo dia em que se realizou a adubação nitrogenada de cobertura. Foram utilizadas duas bases para cada parcela experimental, visando a alternar os coletores sobre estas, de modo que enquanto uma base estava sendo ocupada pelo coletor, a outra permanecia exposta

às condições naturais do meio.

3.8 Variáveis avaliadas

3.8.1 Avaliação das perdas de nitrogênio na forma de amônia

As mensurações de volatilização de amônia foram realizadas conforme metodologia descrita em Chagas *et al.*, 2016. Os coletores foram acoplados aos suportes de 20 cm de altura e enterrados cinco centímetros no solo. Dentro de cada coletor foram colocadas duas espumas (densidade de aproximadamente $0,02 \text{ g cm}^{-3}$) embebidas com 40 mL de solução de ácido fosfórico (60 ml L^{-1}) e glicerina (50 ml L^{-1}). A espuma localizada na parte superior do coletor teve como função, evitar a contaminação da espuma inferior, enquanto captava a amônia perdida (LARA-CABEZAS e TRIVELIN, 1990). Após cada coleta, novas espumas embebidas em ácido foram colocadas nos suportes inferiores dos coletores. As coletas foram realizadas no primeiro dia, segundo, terceiro, quarto, quinto, sétimo, décimo, décimo quarto, décimo nono, vigésimo terceiro e vigésimo nono dias após a aplicação dos fertilizantes na adubação de cobertura. Em cada coleta, as espumas foram acondicionadas em sacos plásticos e identificadas, realizado o transporte até o laboratório de solos do IFMG Bambuí em caixas de isopor contendo bolsas de gelo onde foram armazenadas sob refrigeração.

Para a determinação do N volatilizado e capturado pelas espumas, as mesmas foram lavadas com água destilada (200 mL – cinco lavagens com 40 mL) sobre funil de Büchner com placa porosa acoplado a um kitassato por meio da sucção realizada por bomba de vácuo. O kitassato utilizado foi pesado úmido e posteriormente após a extração da amostra. Após a extração das amostras, uma alíquota de aproximadamente 80 mL foi armazenada em potes de plástico e estes armazenados sob refrigeração. Após a extração das amostras de todas as espumas foi realizada a destilação.

Para proceder à destilação das amostras foram pipetados 20 mL da solução que se encontravam nos potes de armazenamento e transferidos para o tubo de macro digestão e levados para destilação pelo método semi-micro Kjeldahl (MALAVOLTA *et al.*, 1997). Após a colocação do tubo no destilador, a essa alíquota foi adicionado 10 mL de solução de hidróxido de sódio 40%. No erlenmeyer usado para a coleta do destilado foram acrescentados 10 mL de solução de ácido bórico a 4% e procedeu-se à destilação até completar 50 mL de volume no erlenmeyer. As destilações foram feitas por coletas, ou seja, destilava-se 42 amostras para, posteriormente, realizar a titulação com ácido clorídrico a 0,07143 N. A titulação das amostras

foi realizada com o auxílio de uma bureta, graduada com precisão de 0,05 mL, até que se atingisse uma coloração rósea e posteriormente identificado o volume de solução de ácido necessário.

3.9 Análise estatística

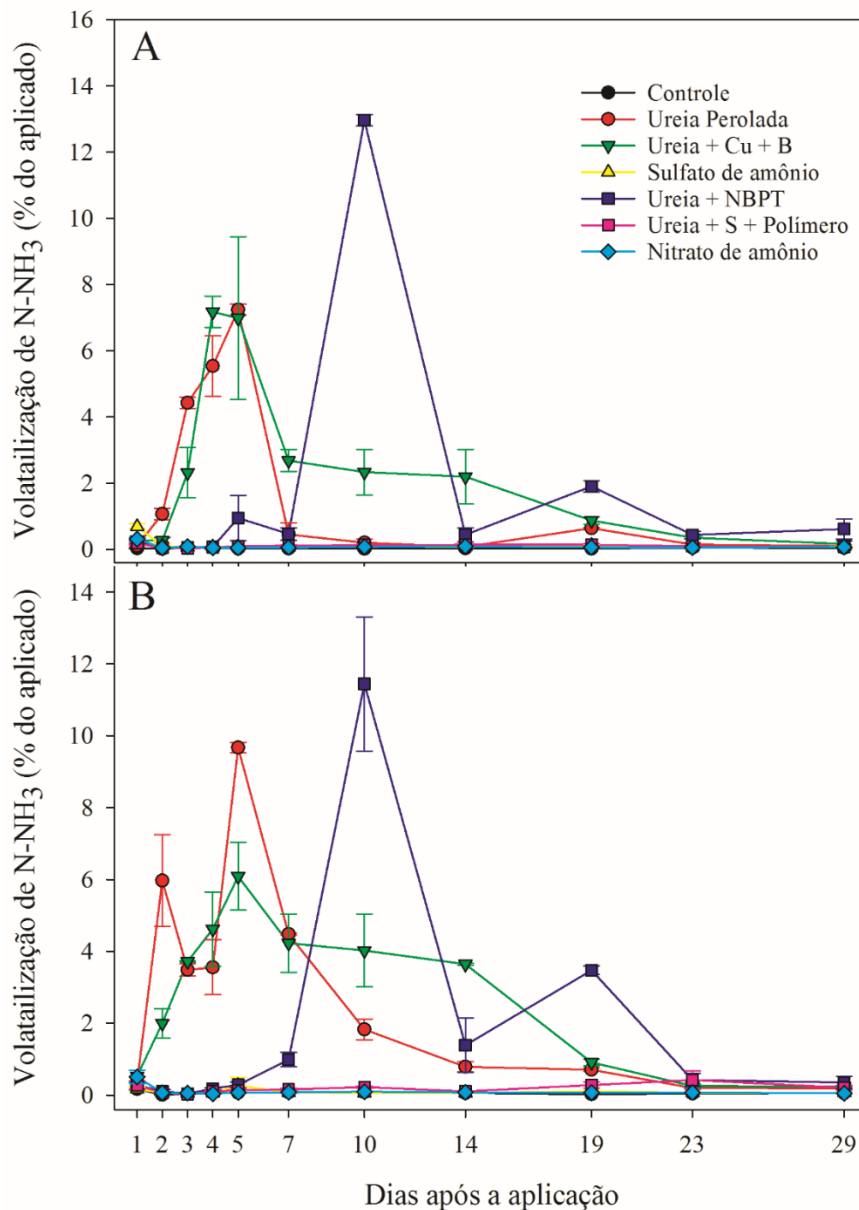
Os dados da volatilização acumulada de N-NH₃ foram submetidos à análise de variância (teste F a 5% de probabilidade) e as médias agrupadas utilizando o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. As análises foram realizadas pelo programa computacional “Sistema para Análise de Variância” - SISVAR (FERREIRA, 2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Perdas de N por volatilização de N-NH₃

As variações nas perdas diárias de N-NH₃, durante o período de 29 dias após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados na adubação de cobertura do milho safrinha, são apresentadas para os sistemas de cultivo convencional e plantio direto nas Figuras 2A e 2B, respectivamente.

Figura 2 - Perdas diárias de N-NH₃ por volatilização dos fertilizantes aplicados em cobertura no milho safrinha (A: Sistema de plantio convencional, B: Sistema de plantio direto). As barras verticais indicam o erro padrão da média (n=3)



As perdas diárias de N-NH₃ foram influenciadas pelos fertilizantes nitrogenados

aplicados na adubação de cobertura do milho safrinha tanto no plantio convencional quanto no direto. A ureia perolada apresentou pico de perda de N no quinto dia após a adubação nitrogenada em ambos os sistemas de plantio, sendo de 7,2 e 9,7% do N aplicado para os sistemas de plantio convencional e direto, respectivamente. A ureia + Cu + B apresentou pico de perda de N no quarto dia após a adubação de cobertura no sistema de plantio convencional (7,2% do total aplicado) e no quinto dia no sistema de plantio direto (6,1% do total aplicado). A ureia + NBPT apresentou pico de perda de N no décimo dia após a adubação nitrogenada de cobertura em ambos os sistemas de plantio, sendo de 12,9 e 11,4% do N aplicado para os sistemas de plantio convencional e direto, respectivamente.

A ureia + S + polímero, o nitrato de amônio e o sulfato de amônio não apresentaram picos de perdas de N-NH₃. O comportamento apresentado por essas fontes também foi observado anteriormente por Souza *et al.* (2017) e Ferreira (2018) em experimentos conduzidos em lavouras de milho.

A volatilização de amônia é influenciada por fatores relacionados ao solo e ao clima da área de cultivo, como temperatura e umidade do solo, umidade relativa do ar, velocidade do vento e precipitação pluviométrica (JONES *et al.*, 2007). Como pode ser observado na Figura 2, os maiores picos de perda de N apresentados pela ureia perolada e pela ureia + Cu + B entre o quarto e quinto dia após a adubação de cobertura do milho, em ambos os sistemas de cultivo, coincidem com a maior precipitação pluviométrica registrada durante a realização do experimento, de 41 mm (Figura 1). Este volume de chuva é suficiente para o início da dissolução dos grânulos de ureia, contribuindo para os picos de perdas registrados nesse período. Em relação à ureia + NBPT, o pico de volatilização de N apresentado por essa fonte no décimo dia após a adubação de cobertura do milho safrinha nos dois sistemas de cultivo (Figura 2) pode ter sido influenciado pela chuva de 30 mm que foi registrada nesse período (Figura 1).

A umidade relativa crítica da ureia é de 74,3% a 30°C, ou seja, quando a umidade relativa do ar está superior a 74,3%, esse fertilizante começa a absorver água da atmosfera, o que caracteriza o início do processo de dissolução dos grânulos (SOUZA, 2015). No presente estudo, os valores de umidade relativa do ar foram superiores a 75% durante todo o período de avaliação das perdas de N-NH₃, embora as temperaturas não tenham atingido 30°C. Essa condição contribuiu para a rápida dissolução da ureia no solo e ocorrência de picos de volatilização logo nos primeiros dias após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados.

A porcentagem do total de amônia volatilizada nos sete primeiros dias no sistema convencional foram de: 94,2% (ureia perolada), 76,9% (ureia + Cu + B), 71% (sulfato de

amônio), 63% (nitrato de amônio), 47,2% (ureia + S + polímero) e 9,9% (ureia + NBPT). Já no sistema de plantio direto foram de: 88,1% (ureia perolada), 70% (ureia + Cu + B), 68,1% (nitrato de amônio), 66,6% (sulfato de amônio), 38,2% (ureia + S + polímero) e 9,9% (ureia + NBPT).

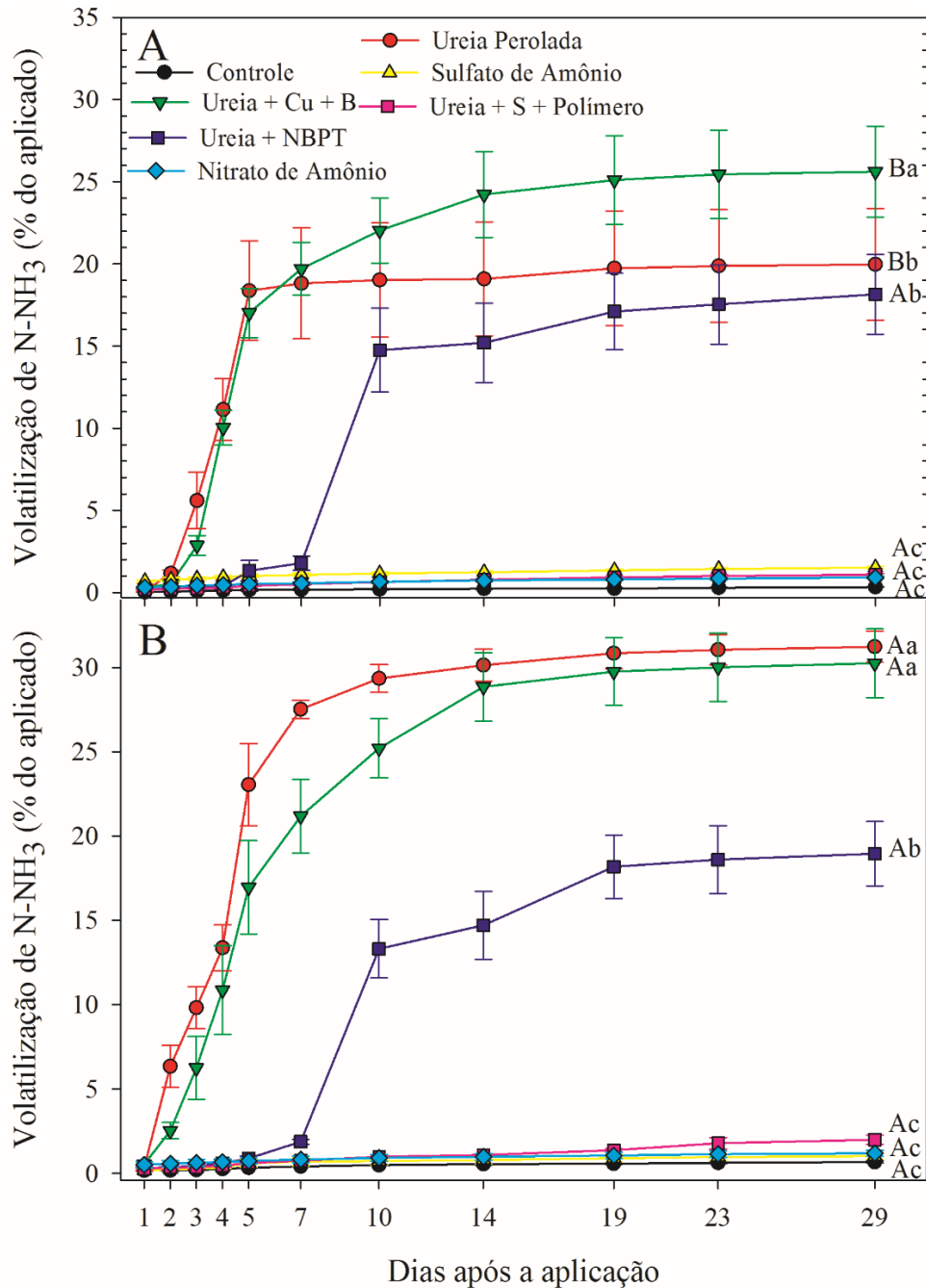
Trabalhos conduzidos por diversos pesquisadores têm mostrado que o pico de perda de N-NH₃ da ureia convencional acontece entre os primeiros sete dias após a adubação (ADOTEY *et al.*, 2017; CANCELLIER *et al.*, 2016; CHAGAS *et al.*, 2016; DOMINGHETTI *et al.*, 2016; SOUZA *et al.*, 2017; SANTOS, 2018). Cancellier (2013), avaliando a eficiência da ureia estabilizada e de liberação controlada na cultura do milho sob sistema de plantio direto, verificou que 96,7% das perdas do N na forma de N-NH₃, a partir da ureia, ocorreram nos sete primeiros dias. Para a ureia + NBPT, ureia revestida com S + polímero orgânicos e a ureia + Cu + B, esses valores foram: 88,6; 89,6 e 93,7%, respectivamente.

Em relação à ureia + NBPT, as perdas de N na forma de N-NH₃ nos primeiros sete dias após a adubação de cobertura foram muito baixas se comparadas às demais fontes nitrogenadas (inferiores a 10%). Para a ureia + NBPT, as perdas de N por volatilização aumentaram significativamente somente no décimo dia após a adubação, quando subiram para 71 e 60% nos sistemas de plantio convencional e direto, respectivamente. Vários trabalhos de pesquisa realizados em campo, em diferentes condições edafoclimáticas e em ambiente controlado, mostram a ocorrência de atraso e redução no pico de volatilização da ureia estabilizada com o NBPT aplicada em diferentes culturas agrícolas (CANTARELLA *et al.*, 2008; ZAMAN *et al.*, 2009; FONTOURA; BAYER, 2010; DAWAR *et al.*, 2011; GROHS *et al.*, 2011; STAFANATO *et al.*, 2013; FARIA *et al.*, 2013; NASCIMENTO *et al.*, 2013; CANCELLIER, 2013; SOUZA, 2015). O NBPT, por se tratar de um inibidor da atividade da enzima urease, reduz a velocidade de conversão da ureia para N-NH₃, o que permite maior percolação da ureia reduzindo a concentração de N-NH₃ na superfície do solo e, conseqüentemente, as perdas por volatilização (MALHI *et al.*, 2001).

A perda média de N-NH₃ acumulada foi superior no sistema de plantio direto (12,2%) em relação ao sistema de plantio convencional (9,6 %), independente da fonte nitrogenada utilizada ($p \leq 0,05$) (Figuras 3A e B). Portanto, as perdas de N-NH₃ foram 21,3% superiores no sistema de plantio direto em relação ao sistema convencional de cultivo. Cantarella *et al.* (1993) ressaltam que a aplicação da ureia em superfície sobre os restos vegetais no sistema de plantio direto favorece a rápida hidrólise do fertilizante, em razão da presença da urease. Com a adoção do sistema de plantio direto na maioria das áreas cultivadas com milho, os problemas relacionados à volatilização se agravaram, pois o N aplicado na forma de ureia sobre a palhada

sem incorporação ao solo sofre grandes perdas por volatilização. Isso ocorre devido à maior atividade da enzima urease e à menor difusão da ureia no solo (CANCELLIER, 2013).

Figura 3 - Perdas acumuladas de N-NH₃ por volatilização dos fertilizantes aplicados em cobertura no milho safrinha (A: Sistema de plantio convencional, B: Sistema de plantio direto). Sistemas de cultivo com mesma letra maiúscula e fertilizantes com mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. As barras verticais indicam o erro padrão da média (n=3)



Houve interação entre as diferentes fontes nitrogenadas utilizadas na adubação de cobertura do milho safrinha e o sistema de plantio para a perda acumulada de N-NH₃ ($p \leq 0,05$)

(Figura 3 A e B). No sistema convencional de cultivo, a maior perda acumulada de N-NH₃ foi apresentada pela ureia + Cu + B (25,6%), seguida da ureia perolada (19,9%) e ureia + NBPT (18,1%), que não diferiram entre si. As demais fontes (sulfato de amônio (1,5%), ureia + S + polímero (1,1%) e nitrato de amônio (0,9%)) apresentaram as menores perdas acumuladas de N-NH₃, porém não diferiram entre si (Figura 3A).

No sistema de plantio direto, as maiores perdas acumuladas de N-NH₃ foram apresentadas pela ureia perolada (31,2%) e ureia + Cu + B (30,2%) que não diferiram entre si. Estas foram seguidas da ureia + NBPT (18,9%). As menores perdas foram apresentadas pela ureia + S + polímeros (2%), nitrato de amônio (1,2%) e sulfato de amônio (1%), que não diferiram entre si (Figura 3B).

Somente para a ureia + Cu + B e ureia perolada as perdas acumuladas de N-NH₃ foram superiores no sistema de plantio direto em relação ao apresentado por essas mesmas fontes no sistema de plantio direto (Figura 3 A e B).

As perdas acumuladas de N-NH₃ variaram de 0,9 a 25,6 % do N aplicado para o nitrato de amônio e a ureia + Cu + B, respectivamente, no sistema convencional de cultivo. Esses valores correspondem a perdas de 1,35 a 38,25 kg ha⁻¹ do total de N aplicado (150 kg ha⁻¹). Já para o sistema de plantio direto as perdas acumuladas de N-NH₃ variaram de 1,0 a 31,2 % do N aplicado para o sulfato de amônio e a ureia perolada, respectivamente. Esses valores correspondem a perdas de 1,5 a 46,8 kg ha⁻¹ do total de N aplicado.

De forma geral, dentre as ureias testadas, se destacou a ureia + S + polímero, com redução das perdas de N-NH₃ superior a 90%, independente do sistema de cultivo. Souza (2015) ressalta que o revestimento da ureia com S diminui o contato da umidade do solo com a ureia no interior do grânulo revestido, ocasionando diminuição na sua dissolução e nos picos de volatilização de amônia, atrasando os picos de volatilização. Esse fato é relevante, visto que, permite liberação gradual do nutriente para a solução do solo e um maior período para incorporação da ureia em profundidade após as chuvas em sequência, diferentemente do que ocorre com a ureia convencional, que logo após a sua aplicação fica sujeita às transformações no sistema solo – planta – atmosfera.

Para os fertilizantes amoniacais (sulfato de amônio e nitrato de amônio), de reação ácida ou “neutra” (sabe-se que o nitrato de amônio, por ser um sal, tem reação neutra no momento da dissolução, mas vai acidificar o solo ao ocorrer nitrificação do amônio), as perdas de N-NH₃ foram inferiores a 1,5 %. É mais provável que essas menores perdas tenham ocorrido devido ao íon amônio permanecer na forma iônica N-NH⁴⁺, ou seja, não foi convertido para N-NH₃ (SOUZA, 2015).

Trabalhos realizados com sulfato de amônio e nitrato de amônio na cultura do milho, também registraram menores perdas de N-NH₃ em comparação à ureia (LARA CABEZAS *et al.*, 2008; FONTOURA e BAYER, 2010; NASCIMENTO *et al.*, 2013; STAFANATO *et al.*, 2013; SOUZA, 2015). Contin (2007) verificou que os fertilizantes amoniacais quando aplicados sobre restos de culturas e em solos ácidos (pH<7,0) apresentaram perdas por volatilização de N-NH₃ menores do que 2% do total de N aplicado, valores próximos aos obtidos tanto no sistema de cultivo convencional quanto no plantio direto.

Portanto, embora a ureia + NBPT tenha apresentado grande pico de volatilização de N no décimo dia após a adubação de cobertura do milho safrinha em ambos os sistemas de cultivo, esse não foi suficiente para igualar com as perdas acumuladas de N apresentadas pela ureia + Cu + B. Assim, a ureia + Cu + B, no sistema de plantio convencional, e a ureia + Cu + B e a ureia perolada, no sistema de plantio direto, foram os fertilizantes que apresentaram as maiores perdas acumuladas de N, demonstrando serem os fertilizantes menos eficientes dentre os utilizados na pesquisa.

5 CONCLUSÃO

As avaliações realizadas no presente trabalho sobre a eficiência de diferentes fontes nitrogenadas na redução das perdas de N-NH₃ por volatilização, permitem concluir que:

- A ureia + Cu + B foi a fonte nitrogenada menos eficiente na redução das perdas de N por volatilização de amônia em ambos os sistemas de cultivo.
- Dentre as ureias, a ureia + S + polímero, apresentou a maior eficiência na redução das perdas de N-NH₃ em ambos os sistemas de cultivo.
- As perdas de N-NH₃ por volatilização no sistema de plantio direto foram superiores às verificadas no sistema de plantio convencional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADOTEY, N. *et al.* Ammonia Volatilization of Zinc Sulfate-Coated and NBPT-Treated Urea Fertilizers. **Soil Fertility & Crop Nutrition**, v. 109, p. 2918-2926, 2017.
- BARROS, José F. C.; CALADO, José G. **A cultura do milho**. Évora: Universidade de Évora, 2014. Disponível em <<https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/10804/1/Sebenta-milho.pdf>> Acesso em: 21 out. 2019.
- CANCELLIER, E. L.; SILVA, E. L.; FAQUIN, V.; GONÇALVES, B. A.; CANCELLIER, L. L.; SPEHAR, C. S. Volatilização de amônia por ureia de eficiência aumentada no milho cultivado em solo de fertilidade construída. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 240, p. 133-144, mar/abr. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542016000200133>. Acesso em: 18 out. 2019.
- CANCELLIER, E. L. **Eficiência da ureia estabilizada e de liberação controlada no milho cultivado em solo de fertilidade construída**. 2013. 75p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- CANTARELLA, H. *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. 2008.
- CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BÜLL, L.T. & CANTARELLA, H., eds. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba, POTAFOS, 1993. p.148-196.
- CHAGAS, W. F. T. *et al.* Ammonia volatilization from blends with stabilized and controlled released urea in the coffee system. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 5, p. 497-509, Sept.Oct. 2016.
- CIVARDI, E. A. **Adubação nitrogenada em cobertura do milho em Neossolo quartzarênico em Jataí – Goiás**. 2009, 65p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás. Goiás, 2009. Disponível em: <https://posagronomia.jatai.ufg.br/up/217/o/Ederson_Antonio_Civardi_200.pdf?1324609905>. Acesso em: 17 out. 2019.
- CIVARDI, E. A. *et al.* Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 52-59, jan./mar. 2011.
- CONTIN, T. L. M. **Ureia tratada com o inibidor da urease NBPT na adubação de cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo**. 2007. 55f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recurso Agroambientais) – Pós-Graduação – IAC. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/areadoinstituto/posgraduacao/dissertacoes/pb1206505.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2019.
- COSTA, M. C. G.; VITTI, G. C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 631-637, ago. 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-06832003000400007&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 17 out. 2019.

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.

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. 1-11, Mar./Apr. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Circular Técnica 76: Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas, dezembro, 2006. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/490408/1/Circ76.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, 2013. 353 p.

FARIA, L. DE A. et al. 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, Aug. 2013.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

FERREIRA, D. F. Sisvar Versão 5.0. Lavras: UFLA, 2007.

FERREIRA, R. A. **Volatilização de amônia por fertilizantes nitrogenados sob dois sistemas de cultivo de milho em solo de fertilidade construída**. Monografia (Graduação em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Campus Bambuí. Bambuí-MG: IFMG, 2018.

FONTOURA, S. M. V & BAYER, C. Adubação nitrogenada para alto rendimento de milho em plantio direto na região centro-sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 6, 1721-1732, jul. 2009.

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, MG, v. 34, p. 1677–1684, Oct. 2010.

GROHS, M.; MARCHESAN, E.; SANTOS, D.E.; MASSONI, P.F.S.; SARTORI, G.M.S. & FERREIRA, R.B. Resposta do arroz irrigado ao uso de inibidor de urease em plantio direto e convencional. **Ciência e Agrotecnologia**, 35:336-345, 2011.

GROSSMAN, R. B.; REINSCH, T.G. Bulk density and linear extensibility. In: DANE, J. H. (Ed.); TOPP, G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis**, Part 4: Physical methods. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 201-228.

JONES, C. A, KOENIG R. T.; ELLSWORTH, J. W.; BROWN, B. D. JACKSON, G. D. **Management of urea fertilizer to minimize volatilization**. 2007. Montana State University Extension, MT 59717.

LARA CABEZAS, W.A.R. & SOUZA, M.A.S. 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. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:2331-2342, 2008.

- LARA-CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado da ureia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 14, n. 3, p. 345-352, set./dez. 1990.
- MALAQUIAS, C. A. A.; SANTOS, A. J. M. Adubação organomineral e NPK na cultura do milho (*Zea mays* L.). **PUBVET**, v.11, n.5, p. 501-512, Mai., 2017. ISSN: 1982-1263.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997.308 p.
- MALHI, S. S.; GRANT, C. A.; JOHNSTON, A. M.; GILL, K. S. Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: A review. **Soil and Tillage Research**, v. 60, p. 101-122, 2001.
- NASCIMENTO, C. A. C. do et al. Ammonia volatilization from coated urea forms. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, p. 1057– 1063, set. 2013.
- OHLAND, R. A. A. *et al.* Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 3, p. 538-544, 2005.
- PEIXOTO, Cláudio de Miranda. **O milho no Brasil: sua importância e evolução**. Santa Cruz do Sul: DuPont Pioneer 2014. Disponível em <<http://www.pioneersementes.com.br/media-center/artigos/165/o-milho-no-brasil-sua-importancia-e-evolucao>> Acesso em: 21 out. 2019.
- PEREIRA, F. R. S.; CRUZ, S. C. S.; ALBUQUERQUE, A. W. SANTOS, J. R. SILVA, E. T. Arranjo espacial de plantas de milho em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB: UAEAg/UFCG, v. 12, n. 1, p. 69-74, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v12n1/v12n01a10.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2019.
- PINOTTI, Elvio Brasil. **Avaliação de cultivares de milho em função de populações de plantas e épocas de semeadura**. 2013. xi, 121 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2013.
- RESENTE, A. V. **O sistema de plantio direto proporciona maior eficiência no uso de fertilizantes**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/908228/1/doc118.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2019.
- ROCHETTE, P. et al. 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 2009.
- ROS, C. O.; AITA, C.; GIACOMINI S. J. Volatilização de amônia com aplicação de ureia na superfície do solo, no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 4, p.799-805, 2005.
- SANGOI, L. *et al.* Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, 687-692, jul./ago. 2003.

SANTOS, C. F. **Volatilização de amônia da ureia tratada com inibidores de urease associados a polímero orgânico.** 2018. 57 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal.

SANTOS, C. F. **Eficiência da adubação nitrogenada de cobertura na cultura do milho safrinha nos sistemas de cultivo convencional e plantio direto.** Monografia (Graduação em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Campus Bambuí. Bambuí-MG: IFMG, 2016.

SANTOS, M.M.; GALVÃO, J.C.C.; SILVA, I.R.; MIRANDA, G.V. & FINGER, F.L. Épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em plantio direto, e alocação do nitrogênio (¹⁵N) na planta. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 34:1185-1194, 2010.

SOARES, A.; RESTLE, J. Adubação nitrogenada em pastagem de Triticale mais Azevém sob pastejo com lotação contínua: recuperação de nitrogênio e eficiência na produção de forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 31, n. 1, p. 43-51, fev. 2002. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1516-35982002000100005&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 17 out. 2019.

SOUZA, T. L. **Eficiência agrônômica de fertilizantes nitrogenados, emissão de CO₂ e volatilização de NH₃ na cultura do milho.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras. Lavras: UFLA, 2015. Disponível em < http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/10563/2/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Efici%C3%A4ncia%20agron%C3%B4mica%20de%20fertilizantes%20nitrogenados%2C%20emiss%C3%A3o%20de%20CO2%20e%20volatiliza%C3%A7%C3%A3o%20de%20NH%203%0na%20cultura%20do%20milho.pdf> Acesso em: 21 out. 2019.

SOLOGUREN, L; Demanda mundial cresce e Brasil tem espaço para expandir produção. **Revista Visão Agrícola**, Piracicaba, SP, v.13, p. 08-11, FEALQ, ano.9, n.9, Jul/Dez., 2015.

SOUZA, T. L.; GUELFÍ, D. R.; SILVA, A. L.; CHAGAS, W. F. T.; CANCELLIER, E. L. Emissões de amônia e de dióxido de carbono de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados e liberação controlada na cultura do milho. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 41, n. 5, p. 494-510, set/out. 2017.

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

TRENKEL, M. E. **Slow and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient efficiency in agriculture.** Paris: IFA, 2010. 163 p. Disponível em: <https://www.fertilizer.org/images/Library_Downloads/2010_Trenkel_slow%20release%20book.pdf>. Acesso em: 23 out. 2019.

UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Milho:** Características botânicas. 2018. Disponível em <<http://www.ufrgs.br/afeira/materias-primas/cereais/milho/caracteristicas-botanicas>> Acesso em: 21 out. 2019.

ZAMAN, M. et al. Effect of urease and nitrification inhibitors on N transformation, gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, pasture yield and N uptake in grazed pasture system. **Soil Biology and Biochemistry**, 41(6):1270-1280, 2009.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Tabela de análise de variância da perda acumulada de N.

Variável analisada: PERDA ACUMULADA DE N

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	6	5698.787390	949.797898	128.882	0.0000
SISTEMA	1	67.209450	67.209450	9.120	0.0056
TRAT*SISTEMA	6	157.813400	26.302233	3.569	0.0103
REP	2	11.412400	5.706200	0.774	0.4714
erro	26	191.606667	7.369487		
Total corrigido	41	6126.829307			
CV (%) =	24.85				
Média geral:	10.9221429	Número de observações:	42		