

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

RAMIRES VENTURA MACHADO

**NOVAS TECNOLOGIAS EM FERTILIZANTES NITROGENADOS:  
VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA E PRODUTIVIDADE DO CAFEIEIRO  
CONILON**

ALEGRE - ES  
2018

RAMIRES VENTURA MACHADO

**NOVAS TECNOLOGIAS EM FERTILIZANTES NITROGENADOS:  
VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA E PRODUTIVIDADE DO CAFEIEIRO  
CONILON**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal – Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Vaz Andrade

ALEGRE-ES  
2018

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de  
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

M149n Machado, Ramires Ventura, 1980-  
Novas tecnologias em fertilizantes nitrogenados:  
volatilização de amônia e produtividade do cafeeiro conilon /  
Ramires Ventura Machado. - 2018.  
101 f. : il.

Orientador: Felipe Vaz Andrade.

Coorientador: Eduardo Sá Mendonça.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade  
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e  
Engenharias.

1. Nitrogênio. 2. Ureia. 3. Volatilização de amônia. 4.  
Fertilizante nitrogenado. 5. Café conilon. I. Vaz Andrade,  
Felipe. II. Sá Mendonça, Eduardo. III. Universidade Federal do  
Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV.  
Título.

CDU: 63


---

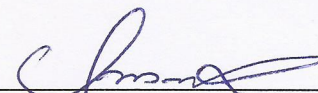
RAMIRES VENTURA MACHADO

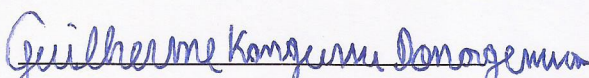
**NOVAS TECNOLOGIAS EM FERTILIZANTES NITROGENADOS:  
VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA E PRODUTIVIDADE DO CAFEIEIRO  
CONILON**

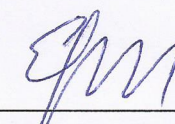
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal, na linha de pesquisa Solos e Nutrição de Plantas.

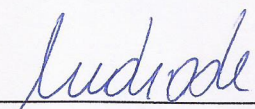
Aprovada em 03 de abril de 2018

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Renato Ribeiro Passos  
Universidade Federal do Espírito Santo

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Otacílio José Passos Rangel  
Instituto Federal do Espírito Santo

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Guilherme Kangussú Donagemma  
EMBRAPA-Solos

  
\_\_\_\_\_  
Prof. PhD. Eduardo de Sá Mendonça  
Universidade Federal do Espírito Santo  
(Coorientador)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Felipe Vaz Andrade  
Universidade Federal do Espírito Santo  
(Orientador)

*Aos meus pais, Angela (in memoriam) e Valdir*

*A minha tia, Juracy*

*Ao meu filho, João Francisco*

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, aquele que me rege, me guarda, me protege e me ilumina.

A minha companheira Lidiane pelo carinho, atenção, pelos conselhos e por ter me dado a coisa mais preciosa do mundo, meu filho João Francisco.

Aos meus irmãos Luciana e Ruam, por estarem ao meu lado sempre.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento da bolsa.

À Universidade Federal do Espírito Santo, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela oportunidade de realização deste curso.

Ao professor e orientador Felipe Vaz Andrade, pela amizade, confiança em mim depositada desde a graduação, pelos conselhos, paciência, e acima de tudo pelo exemplo de profissional.

Aos professores Renato Ribeiro Passos e Eduardo Sá Mendonça, pelos conselhos, opiniões, pela convivência e amizade.

Ao professor Otacílio José Passos Rangel e ao pesquisador da EMBRAPA Solos Guilherme Kangussu Donagemma, por suas considerações na tese.

Ao produtor Mario Cezar Louvem, a sua esposa Luiza e ao seu filho Alex, por permitir que parte da tese fosse desenvolvida em sua propriedade, e pelas pessoas fantásticas são.

Aos Professores do Departamento de Produção Vegetal do CCAE/UFES.

A todos os funcionários do CCAE/UFES, da limpeza à coordenação.

Aos amigos que me ajudaram na realização deste trabalho, Amanda Fae, José Raimundo, Kattiely, Laís Lemos, Marlete e Fabiano Machado, sem os quais esse trabalho não seria possível.

Aos técnicos do Laboratório de Solos do CCAUFES, Marcelo e Maraboti, pelo auxílio com as análises e pela amizade construída.

Aos amigos Anarely, Danilo Andrade, Gabriel, Eduardo Stauffer, Fabiano, Leo, Lucas Satiro, Paulinho, Paulo Henrique, Victor Maurício, e tantos outros, que direta ou indiretamente me auxiliaram nessa jornada.

E a todos que pararam para ler esse trabalho, muito obrigado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

**NOVAS TECNOLOGIAS EM FERTILIZANTES NITROGENADOS:  
VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA E PRODUTIVIDADE DO  
CAFEIRO CONILON**

**SUMÁRIO**

RESUMO GERAL.....	7
GENERAL ABSTRACT.....	9
INTRODUÇÃO GERAL.....	11
REFERÊNCIAS.....	13
<b>CAPÍTULO 1 - VOLATILIZAÇÃO DE AMONIA EM TECNOLOGIAS EM FERTILIZANTES NITROGENADOS SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE UMIDADE DO SOLO E FORMAS DE APLICAÇÃO.....</b>	<b>16</b>
RESUMO.....	16
ABSTRACT.....	17
1. INTRODUÇÃO.....	18
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3. RESULTADOS.....	21
4. DISCUSSÃO.....	25
5. CONCLUSÕES.....	28
6. REFERÊNCIAS.....	28
APÊNDICE.....	32
<b>CAPÍTULO 2 - NOVAS TECNOLOGIAS EM FERTILIZANTES NITROGENADOS: VOLATILIZAÇÃO DE NH<sub>3</sub>, ATIVIDADE DA UREASE E FLUXO DE CO<sub>2</sub>.....</b>	<b>34</b>
RESUMO.....	34
ABSTRACT.....	35
1. INTRODUÇÃO.....	36
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	37
2.1 - Volatilização de Amônia.....	39
2.2 - Atividade da urease.....	39
2.3 - Fluxo de CO <sub>2</sub> .....	39
2.4 - Análises estatísticas.....	40
3. RESULTADOS.....	40

4. DISCUSSÃO.....	45
5. CONCLUSÕES.....	49
6. REFERÊNCIAS.....	49
APÊNDICE.....	55

<b>CAPÍTULO 3 - NOVAS TECNOLOGIAS EM FERTILIZANTES NITROGENADOS NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DE <i>COFFEA CANEPHORA</i></b> .....	57
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

RESUMO.....	57
ABSTRACT.....	58
1. INTRODUÇÃO.....	59
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	60
2.1 - Análises estatísticas.....	62
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
4. CONCLUSÕES.....	73
5. REFERÊNCIAS.....	73
APÊNDICE.....	79

<b>CAPÍTULO 4 - TECNOLOGIAS EM FERTILIZANTES NITROGENADOS NA NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE <i>COFFEA CANEPHORA</i></b> .....	81
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

RESUMO.....	81
ABSTRACT.....	82
1. INTRODUÇÃO.....	83
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	84
2.1 - Análises estatísticas.....	86
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	87
3.1 - Produtividade do cafeeiro conilon.....	87
3.2 - Nutrição do cafeeiro conilon.....	91
4. CONCLUSÕES.....	95
5. REFERÊNCIAS.....	95
APÊNDICE.....	100



## RESUMO GERAL

MACHADO, Ramires Ventura; Dr., Universidade Federal do Espírito Santo, março de 2018. **Novas tecnologias em fertilizantes nitrogenados: volatilização de amônia e produtividade do cafeeiro conilon.** Orientador: Prof. Dsc. Felipe Vaz Andrade.

A ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado no Brasil e no mundo, porém sua aplicação superficial pode resultar em perdas por volatilização de amônia, devido à ação da urease. A crescente demanda por alimentos, associada a preocupação da sociedade com o ambiente tem incentivado a busca por novas tecnologias para diminuir as perdas associadas à aplicação de fertilizantes, principalmente os nitrogenados. Com isso, objetivou-se avaliar a dinâmica do nitrogênio, a partir da aplicação de novas tecnologias associadas aos fertilizantes nitrogenados. A presente tese encontra-se estruturada em quatro capítulos. O capítulo 1 refere-se a um experimento de laboratório em esquema fatorial 5 x 2 x 2, sendo cinco fertilizantes nitrogenados (ureia convencional (UC), ureia + boro e cobre (UBC), ureia + inibidor de uréase - NBPT (UNBPT), e dois fertilizantes com ureia recoberta com enxofre e polímero (UPS1 e UPS2); dois potenciais matriciais (-30 kPa e -75 kPa); e duas formas de aplicação: Forma 1 (100 % da dose aplicada de maneira única no início do experimento) e Forma 2 (50 % no início do experimento e 50 % após 7 dias), visando quantificar as perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$  a partir da aplicação de fertilizantes com tecnologia associada submetidos a diferentes potenciais matriciais e formas de aplicação. O capítulo 2, também realizado em laboratório, além de quantificar a volatilização de  $\text{NH}_3$  também determinou a atividade da urease e o fluxo de  $\text{CO}_2$  do solo utilizando quatro fertilizantes nitrogenados (ureia convencional (UC), ureia + boro e cobre (UBC), ureia + inibidor de uréase - NBPT (UNBPT) e ureia recoberta com enxofre e polímero (UPS) e as mesmas formas de aplicação utilizadas no capítulo 1. O capítulo 3 refere-se a um experimento em casa de vegetação visando avaliar o crescimento inicial do cafeeiro conilon em função da aplicação das novas tecnologias em fertilizantes nitrogenados submetidos a diferentes potenciais matriciais. Foram utilizados os mesmos fertilizantes utilizados no capítulo 2 e dois potenciais matriciais distintos -75 kPa e -150 kPa. O capítulo 4 foi realizado a partir de um experimento em campo visando avaliar a nutrição e a produção do cafeeiro conilon a partir da aplicação das tecnologias em fertilizantes nitrogenados submetidas a diferentes formas de aplicação. Os fertilizantes utilizados foram os mesmos do capítulo 3 e as formas de aplicação foram 100 %

da adubação nitrogenada em única aplicação; 50 % da adubação nitrogenada aplicada na floração e 50 % na formação dos chumbinhos; e 65% da adubação nitrogenada aplicada na floração e 35 % na formação dos chumbinhos. O capítulo 1 demonstrou que as novas tecnologias em adubos nitrogenados reduziram a volatilização de N-NH<sub>3</sub>, em que os fertilizantes revestidos com polímero e enxofre apresentaram as menores perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub>. Os tratamentos com maior potencial matricial (-30 kPa) reduziram a volatilização de N-NH<sub>3</sub> em 16,3 % e a adubação única (100 %) apresentou, em média, perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub> 23,5 % menor. No capítulo 2 foi observado que as tecnologias aplicadas aos fertilizantes nitrogenados (UBC, UNBPT e UPS) reduziram as perdas por volatilização em 40 % e a atividade da urease no solo em 22 % quando comparados a UC, sendo a UPS o fertilizante que mais se destacou. O parcelamento reduziu as perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub> em 36,1 e 65,2 % para os fertilizantes UNBPT e UPS respectivamente, e o fluxo de CO<sub>2</sub> não sofreu alteração em função da aplicação dos tratamentos. O capítulo 3 concluiu que as tecnologias em fertilizantes nitrogenados influenciaram o crescimento inicial e a nutrição do cafeeiro conilon proporcionando maior área foliar (8,8 %), matéria seca na folha (9,7 %) e no caule (11,8 %), e conteúdo de N na matéria seca na folha (12,9 %). A UC, UBC e UNBPT foram influenciadas por um maior potencial matricial (-75 kPa). A UPS não foi influenciada pelo potencial matricial do solo. O capítulo 4 demonstrou que as tecnologias em fertilizantes nitrogenados aplicados ao cafeeiro conilon produziram 17 sacas por hectare a mais quando comparado à ureia convencional. Não houve diferença entre as tecnologias em fertilizantes nitrogenados ao avaliar a produtividade e a concentração de N e P total nas folhas do cafeeiro conilon e as formas de aplicação, de cada fertilizante nitrogenado, não influenciaram a produtividade e a nutrição do cafeeiro conilon.

**Palavras-chave:** nitrogênio, ureia, café conilon, fertilizante nitrogenado, parcelamento de N.

## GENERAL ABSTRACT

MACHADO, Ramires Ventura; Dr., Universidade Federal do Espírito Santo, march 2018.  
**New technologies in nitrogen fertilizers: volatilization of ammonia and productivity of conilon coffee.** Adviser: Prof. Dsc. Felipe Vaz Andrade.

Urea is the most used nitrogen fertilizer in Brazil and in the world, but its superficial application may result in losses due to volatilization of ammonia, due to the action of urease. The growing demand for food associated with the concern of society with the environment has encouraged the search for new technologies to reduce the losses associated with the application of fertilizers, especially nitrogenous ones. The aim of this study was to evaluate the dynamics of nitrogen, from the application of new technologies associated with nitrogen fertilizers. For this the present thesis is structured in 4 chapters. Chapter 1 relates to a laboratory experiment in a 5 x 2 x 2 factorial scheme, with 5 nitrogen fertilizers (conventional urea (UA), urea + boron and copper (UBC), urea + urease inhibitor - NBPT (UNBPT) , and 2 fertilizers with sulfur-polymer coated urea (UPS1 and UPS2), 2 matric potentials (-30 kPa and -75 kPa) and 2 forms of application: Form 1 (100% of the dose applied uniquely at the beginning of the experiment) and Form 2 (50% at the beginning of the experiment and 50% at 7 days), aiming to quantify losses by volatilization of  $\text{NH}_3$  from the application of fertilizers with associated technology submitted to different matric potentials and application forms. Chapter 2, also performed in the laboratory, besides quantifying  $\text{NH}_3$  volatilization, also determined the urease activity and soil  $\text{CO}_2$  flux using 4 nitrogen fertilizers (conventional urea (UC), urea + boron and copper (UBC), urea + urease inhibitor - NBPT (UNBPT) and urea coated with sulfur and polymer (UPS) and the same application forms used in chapter 1. Chapter 3 refers to a greenhouse experiment to evaluate the initial growth of conilon coffee as a function of the application of new technologies in nitrogen fertilizers submitted to different matric potentials. The same fertilizers used in chapter 2 and two different matric potentials were used -75 kPa and -150 kPa. Chapter 4 was carried out from an experiment in the field to evaluate the nutrition and production of conilon coffee from the application of technologies in nitrogen fertilizers submitted to different forms of application. The fertilizers used were the same as in Chapter 3 and the application forms were 100% of the nitrogen fertilization in single application; 50% of the nitrogen fertilization applied in the flowering and 50% in the grains formation; and 65% of nitrogen fertilization applied in flowering and 35% in grains

formation. Chapter 1 demonstrated that new technologies in nitrogen fertilizers reduced the volatilization of N-NH<sub>3</sub>, where the polymer and sulfur coated fertilizers presented lower losses due to volatilization of N-NH<sub>3</sub>. The treatments with higher matric potential (-30 kPa) reduced the volatilization of N-NH<sub>3</sub> by 16.3% and the single fertilization (100%) presented on average losses by volatilization of N-NH<sub>3</sub> 23.5% lower. In Chapter 2 it was observed that technologies applied to nitrogen fertilizers (UBC, UNBPT and UPS) reduced losses by volatilization by 40% and soil urease activity by 22% when compared to UC, with UPS being the fertilizer received the best evaluation. The split reduced N-NH<sub>3</sub> volatilization losses by 36.1 and 65.2% for UNBPT and UPS fertilizers respectively, and the CO<sub>2</sub> flux did not change as a function of the treatments. Chapter 3 concluded that nitrogen fertilizer technologies influenced the initial growth and nutrition of the conilon coffee tree, increasing leaf area (8.8%), leaf dry matter (9.7%) and stem (11.8%), and N content in the dry matter in the leaf (12.9%). The UC, UBC and UNBPT were influenced by a higher matric potential (-75 kPa). The UPS was not influenced by the soil matric potential. Chapter 4 demonstrated that nitrogen fertilizer technologies applied to conilon coffee produced 17 bags per hectare more than conventional urea. There was no difference between N fertilizer technologies when evaluating the productivity and concentration of total N and P in the leaves of conilon coffee, and that the application of each nitrogen fertilizer did not influence the productivity and nutrition of conilon coffee.

**Keywords:** nitrogen, urea, conilon coffee, nitrogen fertilizer, split application of N.

## INTRODUÇÃO GERAL

O nitrogênio (N) destaca-se dentre os nutrientes necessários ao crescimento e ao desenvolvimento das plantas, por afetar seu crescimento vegetativo e principalmente no que diz respeito ao incremento na produção (Coelho et al., 2012), sendo o mais aplicado na forma de fertilizante não só no Brasil como em todo mundo (IFA 2018).

O cafeeiro Conilon possui um grande potencial produtivo, devido a isso apresenta uma alta exigência nutricional (Magiero et al., 2017). Dentre os nutrientes absorvidos pelo cafeeiro Conilon, o nitrogênio é o mais acumulado nos tecidos, apresentando diferenças entre folhas e frutos (Covre, et al., 2013; Partelli et al., 2014).

À medida que a agricultura se intensifica e as produtividades aumentam, também aumenta o consumo de N (Duarte 2007). O nitrogênio (N) desempenha importante papel estrutural no metabolismo vegetal, constituindo muitos componentes da célula, como aminoácidos, proteínas, ácidos nucléicos, coenzimas e pigmentos (Taiz and Zeiger 2009).

A ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado no mundo, devido a sua alta concentração de nitrogênio (44-46 % de N), baixo custo relativo, alta solubilidade, baixa corrosividade e compatibilidade com outros fertilizantes. Porém, essa fonte de N, quando aplicada na superfície do solo, tem gerado perdas de N por volatilização na forma de amônia decorrentes da ação da enzima urease (Scivittaro et al., 2010; Rodrigues et al., 2016), que promove a hidrólise da ureia.

O teor de água do solo é um fator importante na hidrólise da ureia: quando o solo está seco, a atividade da urease é baixa (Rochette et al., 2009); com o incremento da umidade no solo, a atividade enzimática aumenta, pois a adição de água promove o aumento da difusão da ureia e, conseqüentemente, maior contato com a urease existente no solo (Savant et al., 1987).

Fatores do solo como textura, mineralogia da fração argila, capacidade de troca catiônica e umidade influenciam na volatilização de N. Argilominerais do tipo 2:1 possuem maior CTC e formam complexos de esfera interna fixando o  $\text{NH}_4^+$  fortemente a sua estrutura reduzindo as perdas. Essa retenção do  $\text{N-NH}_4^+$  está diretamente relacionada com a quantidade e com a distribuição de cargas permanentes nas superfícies internas dos minerais de argila 2:1 (Schneiders e Scherer, 1998; Scherer e Zhang, 1999) e inversamente correlacionada com minerais, como os óxidos de ferro e caulinita.

A eficiência no uso dos fertilizantes nitrogenados pode aumentar, quando da utilização de técnicas e tecnologias que maximizem a disponibilidade de nutrientes para o solo e planta (Dominghetti et al., 2014; Scalco et al., 2014). Técnicas como parcelamento da adubação

nitrogenada (Lima et al., 2016) e a utilização de fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada, como os de liberação lenta ou controlada, podem reduzir as perdas do N por volatilização, que podem atingir valores de até 80 % do nitrogênio aplicado (Lara Cabezas et al., 1997; Cantarella, 2007; Frazão et al., 2014).

Em relação ao uso de tecnologia em fertilizante nitrogenado, a que tem se mostrado mais promissora para redução das perdas de N por volatilização é a combinação de ureia e o NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) (Bernardi et al., 2014).

Outra tecnologia utilizada é o recobrimento da ureia com boro e o cobre. Esses metais são capazes de inibir a atividade da urease por ligarem-se simetricamente entre os dois átomos de Ni, semelhante à ureia, sendo considerados como substratos análogos (Benini et al., 2004; Fu et al., 2009; Moraes et al., 2010).

O uso de enxofre elementar (S<sup>0</sup>) e polímeros como revestimento de grânulos de ureia também é utilizado como tecnologia em fertilizantes nitrogenados. Esse recobrimento 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). A oxidação ácida do S<sup>0</sup> reduz a volatilização de N-NH<sub>3</sub>, pois durante o processo de oxidação para sulfato há produção de ácido sulfúrico, que inibe a atividade dos microrganismos, por consequência a atividade da urease, reduzindo as perdas (Fox et al., 1964; Barrow, 1971; Alvarez V. et al., 2007).

Somente com o conhecimento dos processos que envolvem as transformações do N no solo, e das tecnologias desenvolvidas para reduzir as perdas de N, será possível o desenvolvimento de estratégias de manejo que aumentem a eficiência no uso dos fertilizantes nitrogenados e, conseqüentemente, o aproveitamento de N pelas culturas.

Nesse sentido, tem-se como hipótese que a utilização de novas tecnologias aplicadas aos fertilizantes nitrogenados promove uma menor perda de nitrogênio quando aplicado no solo e conseqüentemente maior disponibilidade de N para as plantas de café. As novas tecnologias aplicadas aos fertilizantes nitrogenados diminuem a atividade da enzima urease no solo. Menor umidade do solo quando associado às novas tecnologias de adubos nitrogenados aumentam a volatilização de amônia, influenciando as perdas de N. Maior umidade do solo quando associado às novas tecnologias de adubos nitrogenados aumentam a emissão de óxido nítrico, influenciando as perdas de N.

Desta forma o objetivo geral deste trabalho foi avaliar a dinâmica de nitrogênio, no sistema solo-planta, a partir da aplicação de novas tecnologias associadas aos fertilizantes nitrogenados.

## REFERÊNCIAS

- Alvarez V. VH, Roscoe R, Kurihara CH, Pereira NF. Enxofre. In: Novais RF, Alvarez V. VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti, RB, Neves JCL. eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.595-646.
- Barrow NJ. Slowly available sulphur fertilizers in south-wessern Australia. I. Elemental sulphur. Aust. J.Exp. Agr. and An.Husb., 2:211- 216, 1971.
- Benini S, Rypniewski WR, Wilson KS, Mangani S, Ciurli S. Molecular details of urease inhibition by boric acid: Insights into the catalytic mechanism. J. Am. Chem. Soc., 126:3714-3715, 2004.
- Bernardi ACC, Mota EP, Cardoso RD, Monte MBM, Oliveira PPA. Ammonia volatilization from soil, dry-matter yield, and nitrogen levels of Italian ryegrass. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 45:153-162, 2014.
- Cantarella H. Efficient use of N in new fertilizer products. In: NITROGEN CONFERENCE, 4., Costa do Sauípe, 2004. Anais... Costa do Sauípe, 44 p. 2007.
- Coelho FS, Fontes PCR, Finger FL, Cecon PR. Avaliação do estado nutricional do nitrogênio em batateira por meio de polifenóis e clorofila na folha. Pesquisa Agropecuária Brasileira 47:584-592, 2012.
- Covre AM, Partelli FL, Mauri AL, Dias MA. Crescimento e desenvolvimento inicial de genótipos de café Conilon. Revista Agro@mbiente, 7:193-202, 2013.
- Dominghetti AW, Scalco MS, Guimarães RJ, Silva DRG, Carvalho JPS, Pereira VA. Phosphorus doses and irrigation on nutrition of coffee leaf. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 18:1235-1240, 2014.
- Duarte DSA. Perdas de amônia por volatilização em solo tratado com uréia, na presença de resíduos culturais. (Dissertação de Mestrado) - Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007. 64p.
- Fox RL, Atesalp HM, Kampbell DH, Rhoades HF. Factors influencing the availability of sulfur fertilizers to alfafa and corn. Soil Sci. 28: 406-408, 1964.

- Frazão JJ, Silva ÁR, Silva VL, Oliveira VA, Corrêa RS. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18:1262–1267, 2014.
- Fu L, Yang W, Wei, Y. Effects of copper pollution on the activity of soil invertase and urease in loquat orchards. *Chinese Journal of Geochemistry*, 28:76–80, 2009.
- IFA - International Fertilizer Industry Association. IFA database. <<http://www.fertilizer.org/>>. Acesso em: 03 Fev. 2018.
- Lara Cabezas WAR, Korndörfer GH, Motta SA. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na cultura de milho. II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21:489-496, 1997.
- Lima LC, Gonçalves AC, Fernandes ALT, Silva RO, Lana RMQ. Crescimento e produtividade do cafeeiro irrigado, em função de diferentes fontes de nitrogênio. *Coffee Science*, 11:97-107, 2016.
- Magiero M, Bonomo R, Partelli FL, Souza JM. Vegetative growth in Conilon coffee under fertigation with different instalments and doses of nitrogen and potassium. *Revista Agro@mbiente*, 11:31-39, 2017.
- Moraes MF, Abreu Junior CH, Junior JL. Micronutrientes. In: Prochnow LI, Casarin V, Stipp SR. (Ed.). Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2010. p. 207–278.
- Partelli FL, Espindula MC, Marré WB, Vieira HD. Dry matter and macronutrient accumulation in fruits of Conilon coffee with different ripening cycles. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38:214- 222, 2014.
- Rochette P, Macdonald JD, Angers D, Chantini MH, Gasser M, Bertrand N. Banding urea increased ammonia volatilization in a dry acidic soil. *Journal of Environmental Quality* 38: 1383-1390, 2009.
- Rodrigues JO, Partelli FL, Pires FR, Oliosi G, Espindula MC, Monte JA. Volatilização de amônia de ureias protegidas na cultura do cafeeiro conilon. *Coffee Science*, 11:530-537, 2016.
- Savant NK, James AF, Mcclelean GH. Effect of amountes and sequence of additions of urea and water on hydrolysis of surface-applied granular urea in unsaturated soils. *Fertilizer Research* 11: 231-234, 1987.



- Scalco MS, Alvarenga LA, Guimarães RJ, Colombo A, Assis GA. Cultivo irrigado e não irrigado do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em plantio superadensado. *Coffee Science*, 6:193-202, 2011.
- Schneiders M, Scherer HM. Fixation and release of ammonium in flooded rice soils as affected by redox potential. *Eur. J. Agron.*, 8:181-189, 1998.
- Scivittaro WB, Gonçalves DRN, Vale MLC, Ricordi VG. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e resposta do arroz irrigado à aplicação de ureia tratada com o inibidor de urease NBPT. *Ciência Rural* 40: 1283-1289, 2010.
- Souza TL. Eficiência agrônômica de fertilizantes nitrogenados, emissão de CO<sub>2</sub> e volatilização de NH<sub>3</sub> na cultura do milho. 2015. 98 f. Dissertação (mestrado em Ciência do solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.
- Taiz L, Zeiger E. *Fisiologia Vegetal*. 4 eds. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.
- Scherer HW, Zhang YS. Studies on the mechanisms of fixation and release of ammonium in paddy soils after flooding. I. Effect of iron oxides on ammonium fixation. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 162:593- 597, 1999.

## CAPÍTULO 1

### VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA EM TECNOLOGIAS EM FERTILIZANTES NITROGENADOS SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE UMIDADE DO SOLO E FORMAS DE APLICAÇÃO

#### RESUMO

A volatilização de amônia é a principal forma de perda de nitrogênio que ocorre com a ureia quando aplicada nos solos. Nesse contexto, novas tecnologias em adubos nitrogenados à base de ureia têm sido desenvolvidas para mitigar essas perdas. O objetivo deste trabalho foi quantificar as perdas por volatilização de amônia a partir das novas tecnologias em fertilizantes nitrogenados. Para isso, foi realizado, em laboratório, um experimento de volatilização de  $\text{NH}_3$  em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, em esquema fatorial  $5 \times 2 \times 2$ , sendo cinco fertilizantes nitrogenados [ureia convencional (UC), ureia + boro e cobre (UBC), ureia + inibidor de uréase - NBPT (UNBPT), e dois fertilizantes com ureia recoberta com enxofre e polímero (UPS1 e UPS2); dois potenciais matriciais (-30 kPa e -75 kPa); e duas formas de aplicação: forma 1 (100 % da dose aplicada de maneira única no início do experimento) e forma 2 (50 % no início do experimento e 50 % após 7 dias)]. A dose de N aplicada dos fertilizantes foi de  $75 \text{ mg dm}^{-3}$ . A  $\text{NH}_3$  volatilizada foi determinada por destilação seguida de titulação no 2º, 4º, 7º, 9º, 11º, 14º, 18º, 22º e 26º dia. As novas tecnologias em adubos nitrogenados reduziram a volatilização de N- $\text{NH}_3$ , em que os fertilizantes revestidos com polímero e enxofre apresentaram as menores perdas por volatilização de N- $\text{NH}_3$ . Os tratamentos com maior potencial matricial (-30 kPa) reduziram a volatilização de N- $\text{NH}_3$  em 16,3 % quando comparados aos de menor potencial (-75 kPa). Ao avaliar as formas de aplicação em cada fertilizante nitrogenado, a adubação em parcela única (100 %) apresentou, em média, perda por volatilização de N- $\text{NH}_3$  23,5 % menor, quando comparada à adubação parcelada (50/50 %).

**Palavras-chave:** nitrogênio,  $\text{NH}_3$ , ureia, adubação, fertilidade.

## CHAPTER 1

### VOLATILIZATION OF AMONIA IN TECHNOLOGIES IN FERTILIZERS NITROGENOUS UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF SOIL MOISTURE AND APPLICATION TIMES

#### ABSTRACT

Ammonia volatilization is the main form of nitrogen loss that occurs with urea when applied to soils. In this context, new technologies in nitrogen fertilizers based on urea have been developed to mitigate these losses. To this was accomplished in the laboratory one ammonia volatilization experiment in a completely randomized design with 3 replications in a 5 x 2 x 2 factorial scheme with 5 nitrogenous fertilizers [conventional urea (UC), urea + boron and copper (UBC), urea + urease inhibitor - NBPT (UNBPT), and 2 fertilizers with urea coated with sulfur and polymer (UPS1 and UPS2); 2 matric potentials (-30 kPa and -75 kPa); and 2 forms of application: form 1 (100% of dose applied uniquely at the start of the experiment) and form 2 (50% at the beginning of the experiment and 50% after 7 days)]. The applied N dose of the fertilizers was 75 mg dm<sup>-3</sup>. The volatilized NH<sub>3</sub> was determined by distillation followed by titration at 2<sup>nd</sup>, 4<sup>th</sup>, 7<sup>th</sup>, 9<sup>th</sup>, 11<sup>th</sup>, 14<sup>th</sup>, 18<sup>th</sup>, 22<sup>th</sup> and 26<sup>th</sup> days. The new technologies in nitrogen fertilizers reduced the volatilization of N-NH<sub>3</sub>, where the polymer and sulfur coated fertilizers had the lowest losses due to volatilization of N-NH<sub>3</sub>. The treatments with higher matric potential (-30 kPa) reduced the volatilization of N-NH<sub>3</sub> by 16.3% when compared to those of lower potential (-75 kPa). When evaluating the application forms in each nitrogen fertilizer, the fertilization in a single plot (100%) presented on average loss by N-NH<sub>3</sub> volatilization 23.5% lower, when compared to split fertilization (50/50%).

**Keywords:** nitrogen, NH<sub>3</sub>, urea, fertilization, fertility.

## 1. INTRODUÇÃO

A adubação nitrogenada no Brasil é fundamentada praticamente no uso da ureia, sendo esse produto oriundo predominantemente de importações (82 %), o que representou no ano de 2016 em aproximadamente 38 % do fertilizante nitrogenado utilizado no País (IPNI, 2017). A ureia apresenta como vantagens a alta concentração de N e o menor preço por ponto de N; possui ainda alta solubilidade, menor corrosividade e compatibilidade com muitos fertilizantes. Todavia, quando aplicada na superfície do solo e sem incorporação, aumentam as possibilidades de perdas de N por volatilização de  $\text{NH}_3$  (Cantarella, 2007; Rochette et al., 2009; Tasca et al., 2011).

A volatilização de N- $\text{NH}_3$  está diretamente relacionada à velocidade da reação de hidrólise, cujo processo é altamente influenciado pelas características do solo como pH, temperatura e umidade e condições climáticas, além de práticas de manejo, forma de aplicação do fertilizante e conteúdo de água no solo (Da Ros et al., 2005; Liu et al., 2007; Tasca, 2011).

Segundo Tasca et al. (2011), a umidade do solo influenciou a volatilização de  $\text{NH}_3$ , de modo que as menores volatilizações ocorreram no solo seco – fenômeno também observado por Nascimento et al. (2013), provavelmente em razão da diminuição da hidrólise da ureia (Rochette et al., 2009), uma vez que a atividade da urease é baixa nessas condições. Outros estudos indicam que o parcelamento da adubação nitrogenada resulta em maior recuperação do nutriente, quando comparado com a aplicação única. Isso respaldado pelo maior aproveitamento do N, resultante da sincronização entre as aplicações e o período de alta demanda do nutriente pelas culturas, reduzindo as perdas (Sangoi et al., 2007, Wamser & Mundstock, 2007, Megda et al., 2009).

Novas tecnologias têm sido desenvolvidas com o intuito de minimizar as perdas por volatilização, como o uso de inibidores da urease (principalmente NBPT), revestimento com cobre (Cu) e boro (B) e com polímeros, uma vez que essas tecnologias interferem na hidrólise e/ou solubilização da ureia no solo (Vitti et al., 2002; Soares, 2011; Marchesan et al., 2013; Rodrigues et al., 2016). A utilização dessas novas tecnologias em adubos nitrogenados pode acarretar diminuição da volatilização em até 80 % do N aplicado (Vitti et al., 2002; Cantarella, 2007).

O objetivo deste trabalho foi quantificar as perdas por volatilização de amônia em novas tecnologias de fertilizantes nitrogenados, submetidos a diferentes potenciais matriciais e formas de aplicação.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em laboratório no Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE-UFES), em Alegre – ES.

Para condução do experimento foi utilizada amostra superficial de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), de textura argilosa na profundidade 0 – 20 cm, coletado na região de Alegre - ES. Inicialmente o solo foi seco ao ar, peneirado em malha de 2 mm, obtendo assim terra fina seca ao ar (TFSA) e foi caracterizado física e quimicamente (Teixeira et al., 2017) como apresentado na tabela 1.

Tabela 1. Caracterização física e química do solo.

Características	Unidade	LVA
Areia	(g kg <sup>-1</sup> )	562
Silte	(g kg <sup>-1</sup> )	63
Argila	(g kg <sup>-1</sup> )	375
Densidade do solo	(kg dm <sup>-3</sup> )	1,20
Densidade de partículas	(kg dm <sup>-3</sup> )	2,73
pH H <sub>2</sub> O		6,01
P	(mg dm <sup>-3</sup> )	0,35
K <sup>+</sup>	(mg dm <sup>-3</sup> )	222
Ca <sup>+</sup>	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,93
Mg <sup>2+</sup>	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,10
Al <sup>3+</sup>	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,00
H+Al	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,30
COT	(dag kg <sup>-1</sup> )	1,05
Soma de Bases	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,62
CTC potencial	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,62
CTC efetiva	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	6,92
Saturação por bases	(%)	52,28
Saturação por alumínio	(%)	0,00

A instalação do experimento seguiu o delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições, em esquema fatorial 5 x 2 x 2, em que os fatores estudados foram: cinco fertilizantes (ureia convencional (UC), ureia + boro e cobre (UBC), ureia mais inibidor de uréase –NBPT (UNBPT), e dois fertilizantes com ureia recoberta com enxofre e polímero (UPS1) e (UPS2); dois potenciais matriciais (-30 kPa e -75 kPa); e duas formas de aplicação: forma 1 (100 % da dose aplicada de maneira única no início do experimento) e forma 2 (50 %

no início do experimento e 50 % após 7 dias). A dose de N aplicada dos fertilizantes foi de 75 mg dm<sup>-3</sup> de acordo com sua concentração de N (Tabela 2).

Tabela 2 – Identificação e concentração de nitrogênio dos fertilizantes.

Identificação	Fertilizante	N (%)
UC	Ureia convencional	46
UBC	Ureia + boro (0,4 %) e cobre (0,15 %)	44,3
UNBPT	Ureia + inibidor de uréase NBPT (0,25 %)	42
UPS1	Ureia recoberta com enxofre (12,4 %) e polímero (1,6 %)	39
UPS2	Ureia recoberta com enxofre (16 %) e polímero (3 %)	37

As unidades experimentais de volatilização foram constituídas por anéis de PVC, com 10 cm de diâmetro e 10 cm de altura, fechados embaixo por uma camada de isopor. Os anéis foram preenchidos com TFSA (0,5 dm<sup>3</sup>), respeitando-se a densidade do solo estudado que foi determinado pelo método da proveta. Os anéis receberam a aplicação de fósforo e potássio, em todo o volume de solo, de acordo com Novais et al. (1991).

O solo foi umedecido de acordo com os potenciais matriciais determinados a partir do extrator de placa porosa e, em seguida, foi incubado por três dias para aclimação da biota no solo e produção de urease, e mantido à temperatura de 25 °C ± 2. O volume de água correspondente a cada potencial foi de 115 mL para o potencial de -30 kPa e 98 mL para o de -75 kPa.

Após esse período, aplicou-se os fertilizantes nitrogenados à superfície do solo e, imediatamente após, foi instalada uma câmara coletora (Marsola et al., 2000), modificada por Araújo et al. (2006) para captura da amônia liberada pelos fertilizantes.

A câmara coletora consistiu em um coletor semiaberto livre estático (SALE) confeccionado a partir de frasco plástico transparente, tipo PET de 2 litros, sem a base, com diâmetro de 10 cm, abrangendo 0,008 m<sup>2</sup> de área. No interior do frasco PET suspendeu-se uma lâmina de espuma de poliuretano com 3 mm de espessura, 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento de forma vertical, com o auxílio de um fio rígido de 1,5 mm. Antes da instalação, foram adicionados 10 mL de solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 mol L<sup>-1</sup> + glicerina (2 % v/v) em frasco de 50 mL.

No momento do preparo do sistema coletor de N-NH<sub>3</sub>, a lâmina de espuma foi acondicionada dentro do frasco com a solução ácida e, em seguida, comprimida de forma a absorver a maior parte dessa solução. A lâmina de espuma permaneceu no frasco fechado até o momento de seu posicionamento no interior da câmara (garrafa PET). Na instalação, a

lâmina de espuma foi mantida com a extremidade inferior dentro do frasco de 50 mL, de forma a evitar respingos da solução ácida no solo, sendo a outra extremidade da espuma presa à parte superior do fio rígido, para mantê-la na posição vertical. Nessa ocasião, o fio rígido com o frasco de 50 mL e a espuma foram introduzidos no coletor pela base e pendurados na borda superior, suspensos a aproximadamente 1,5 cm da superfície do solo.

A determinação da N-NH<sub>3</sub> volatilizada retida na espuma foi realizada por destilação com NaOH, e posterior titulação, realizada segundo Araújo et al. (2009). O experimento foi conduzido por 26 dias, com tempo de coleta das espumas e solução para análise do N-NH<sub>3</sub> volatilizado no 2º, 4º, 7º, 9º, 11º, 14º, 18º, 22º e 26º dia. A manutenção do conteúdo de água no solo em cada potencial matricial foi realizada por gravimetria quando as espumas eram retiradas para análise.

Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo que os efeitos dentro dos fatores qualitativos (fertilizantes nitrogenados, potenciais matriciais e formas de aplicação) desdobrados em contrastes ortogonais.

### 3. RESULTADOS

A ureia convencional (UC) apresentou maiores perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub> quando comparadas as tecnologias aplicadas aos fertilizantes nitrogenados, com tratamentos que chegaram a 12,2 % do N aplicado ao solo (Tabelas 3 e 4).

A ureia com boro e cobre (UBC) apresentou maior volatilização de N-NH<sub>3</sub> quando comparada às outras tecnologias aplicadas (NBPT e revestimento com polímero e enxofre) (Tabela 4).

Tabela 3 – Médias das perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub> acumulado em função da aplicação dos fertilizantes nitrogenados sob diferentes potenciais matriciais e formas de aplicação

FERTILIZANTES	-30kPa		-75kPa	
	100%	50%/50%	100%	50%/50%
	-----mg anel <sup>-1</sup> N-NH <sub>3</sub> -----			
UC	2,82	4,41	3,30	4,56
UBC	1,86	2,56	3,32	3,36
UNBPT	1,37	1,09	1,15	1,44
UPS1	0,43	0,98	0,55	0,97
UPS2	0,90	0,53	0,69	0,36
Média das Formas de Aplicação	<b>1,48</b>	<b>1,91</b>	<b>1,80</b>	<b>2,14</b>
Média do Potencial Matricial	<b>1,69</b>		<b>1,97</b>	

UC - ureia convencional; UBC - ureia + boro e cobre; UNBPT - ureia + inibidor de urease; UPS1 e UPS2 - fertilizantes com ureia recoberta com polímero e enxofre.

Tabela 4 – Contrastes ortogonais (C) do N-NH<sub>3</sub> total volatilizado ao fim do experimento considerando os fertilizantes independente de potencial matricial e forma de aplicação

Fertilizante	C1	C2	C3	C4
UC	4	0	0	0
UBC	-1	3	0	0
UNBPT	-1	-1	2	0
UPS1	-1	-1	-1	1
UPS2	-1	-1	-1	-1

Contrastes Analisados

Volatilização (mg anel <sup>-1</sup> N-NH <sub>3</sub> )	2,42**	1,90**	0,59**	0,11 <sup>ns</sup>
----------------------------------------------------------	--------	--------	--------	--------------------

C1 = UC vs (UBC)+(UNBPT)+(UPS1)+(UPS2); C2 = UBC vs (UNBPT)+(UPS1)+(UPS2); C3 = UNBPT vs (UPS1)+(UPS2); C4 = UPS1 vs UPS2; <sup>ns</sup> não significativo; \*\* significativo a 1 %; UC - ureia convencional; UBC - ureia + boro e cobre; UNBPT - ureia + inibidor de urease; UPS1 e UPS2 - fertilizantes com ureia recoberta com polímero e enxofre.

As perdas por volatilização relacionadas à aplicação da UBC foram, em média, 26,5 % menor à observada na UC, com tratamentos que chegaram a 9,0 % do N aplicado ao solo.

Os fertilizantes revestidos com polímero e enxofre (UPS1 e UPS2) volatilizaram menos N-NH<sub>3</sub> quando comparados à ureia com inibidor de urease (NBPT) (Tabela 4). Os tratamentos com a UNBPT volatilizaram 3,8 % do N aplicado ao solo, e, quando comparado aos fertilizantes revestidos com polímero e enxofre, volatilizaram 46,4 % (0,59 mg anel<sup>-1</sup>) mais N que os fertilizantes revestidos. A média do N-NH<sub>3</sub> volatilizado acumulado ao final do experimento pela UNBPT foi 33,5 e 45,5 % do apresentado pela UC e UBC, respectivamente (Tabela 3), considerando os potenciais matriciais e as formas de aplicação.

Os fertilizantes revestidos têm diferentes concentrações de polímeros e enxofre (UPS1 – ureia recoberta com 12 % de enxofre e 1,6 % de polímero e UPS2 – ureia recoberta com 16 % de enxofre e 3 % de polímero), e ao compará-los não houve diferenças na volatilização de N-NH<sub>3</sub>, (Tabelas 1 e 4). As perdas acumuladas por volatilização de N-NH<sub>3</sub> pelas fontes revestidas com polímero e enxofre (UPS1 e UPS2) foram 0,73 e 0,62 mg anel<sup>-1</sup>, representando 1,95 e 1,65 % do N aplicado ao solo, respectivamente.

As quantidades de N-NH<sub>3</sub> total volatilizado com relação à aplicação das novas tecnologias em adubos nitrogenados ao solo seguiram uma ordem crescente, em que: UPS1 = UPS2 < UNBPT < UBC < UC, volatilizando em média 1,65 % (ou 0,62 mg anel<sup>-1</sup>); 1,95 % (ou 0,73 mg anel<sup>-1</sup>); 3,36 % (ou 1,26 mg anel<sup>-1</sup>); 7,39 % (ou 2,77 mg anel<sup>-1</sup>) e 10,05 % (ou 3,77 mg anel<sup>-1</sup>), respectivamente.



Os potenciais matriciais apresentaram diferença entre si, em que os fertilizantes nitrogenados (UC, UBC e UNBPT) que receberam menor quantidade de água (-75 kPa) apresentaram maior perda de N-NH<sub>3</sub> por volatilização, quando comparados aos de maior quantidade de água (-30 kPa) (Tabela 5).

A UC foi o fertilizante que apresentou maior volatilização de N-NH<sub>3</sub> em função da aplicação dos potenciais matriciais dentro de cada forma de aplicação (Tabelas 3 e 5). A utilização da adubação única (100 %) e da parcelada (50/50 %) no potencial de -30 kPa volatilizou 7,5 (2,82 mg anel<sup>-1</sup>) e 11,8 % (4,41 mg anel<sup>-1</sup>) do N aplicado ao solo, respectivamente.

Tabela 5 - Contrastes ortogonais (C) do N-NH<sub>3</sub> total volatilizado em função dos potenciais matriciais dentro de cada forma de aplicação e fertilizante nitrogenado utilizado.

Contraste	Formas de aplicação	Fertilizantes				
		UC	UBC	UNBPT	UPS1	UPS2
C5	Adubação única (100 %)	0,474**	1,465**	-0,221 <sup>ns</sup>	0,120 <sup>ns</sup>	0,120 <sup>ns</sup>
	Adubação parcelada (50/50 %)	0,155 <sup>ns</sup>	0,803**	0,353**	-0,016 <sup>ns</sup>	-0,168 <sup>ns</sup>

C5 = -30 kPa vs -75 kPa, (-1 vs 1); <sup>ns</sup> não significativo; \*\* significativo a 1 %; UC - ureia convencional; UBC - ureia + boro e cobre; UNBPT - ureia + inibidor de urease; UPS1 e UPS2 - fertilizantes com ureia recoberta com polímero e enxofre.

Os potenciais matriciais influenciaram na volatilização de N-NH<sub>3</sub> pela UC apenas quando foi realizada a adubação única. Enquanto com a utilização da UNBPT houve diferença apenas com a realização da adubação parcelada (Tabela 5).

Ao avaliar os potenciais matriciais, em ambas as formas de aplicação, a UBC, quando aplicada ao solo e submetida a uma menor quantidade de água (-75 kPa), volatilizou 51,4 % mais N-NH<sub>3</sub> quando comparada ao potencial de -30 kPa (Tabelas 3 e 5). Não houve diferença na volatilização de N-NH<sub>3</sub> quando os fertilizantes com polímero e enxofre (UPS1 e UPS2) foram aplicados ao solo (Tabela 5).

A adubação parcelada (50/50 %) dos fertilizantes UC, UBC e UPS1 volatilizou em média 46,7; 14,2 e 99,6 % mais N-NH<sub>3</sub> quando comparada à adubação única (100 %), respectivamente (Tabela 3 e 6). Contudo, com a utilização da UPS2, comportamento contrário foi observado, com maior perda de N com a realização da adubação única (100 %), volatilizando 80,3 % mais N que a adubação parcelada (50/50 %). Não houve diferença na interação entre as formas de aplicação e o fertilizante com inibidor de urease (UNBPT).

Tabela 6 - Contrastes ortogonais (C) do N-NH<sub>3</sub> total volatilizado, considerando as formas de aplicação dentro de cada fertilizante nitrogenado utilizado.

Contraste	Fertilizantes				
	UC	UBC	UNBPT	UPS1	UPS2
C6	1,427**	0,368**	0,006 <sup>ns</sup>	0,486**	-0,355**

C5 = 100 % vs 50 %/50 %, (-1 vs 1); <sup>ns</sup> não significativo; \*\* significativo a 1 %; UC - ureia convencional; UBC - ureia + boro e cobre; UNBPT - ureia + inibidor de urease; UPS1 e UPS2 - fertilizantes com ureia recoberta com polímero e enxofre.

Os fertilizantes nitrogenados com tecnologia associada (UBC, UNBPT, UPS1 e UPS2), de uma maneira geral, promoveram redução nos picos de volatilização de amônia em comparação à ureia convencional (UC) (Figura 1).

As perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub> da UC e UBC, quando submetidas à adubação única, tiveram o mesmo comportamento em relação ao tempo, apresentando picos de máxima perda no 4º dia após a aplicação dos fertilizantes. Com a adubação parcelada ocorreram dois picos de volatilização de N-NH<sub>3</sub>, o primeiro no 4º dia para ambos os fertilizantes, e o segundo pico ocorreu no 9º dia com a utilização da UC e entre o 9º e o 11º dia para a UBC (Figura 1).

O fertilizante UNBPT promoveu atraso na volatilização de amônia em aproximadamente 72 horas quando comparado à UC e UBC, apresentando pico somente aos sete dias quando a adubação única foi realizada. Porém, ao realizar o parcelamento da adubação, esse fertilizante apresentou perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub> praticamente constantes em relação ao tempo (Figura 1).

Os fertilizantes revestidos com polímero e enxofre (UPS1 e UPS2), durante os 26 dias avaliados pelo experimento, não apresentaram picos de volatilização de N-NH<sub>3</sub> e, conseqüentemente, apresentaram as menores perdas registradas durante a condução do experimento.

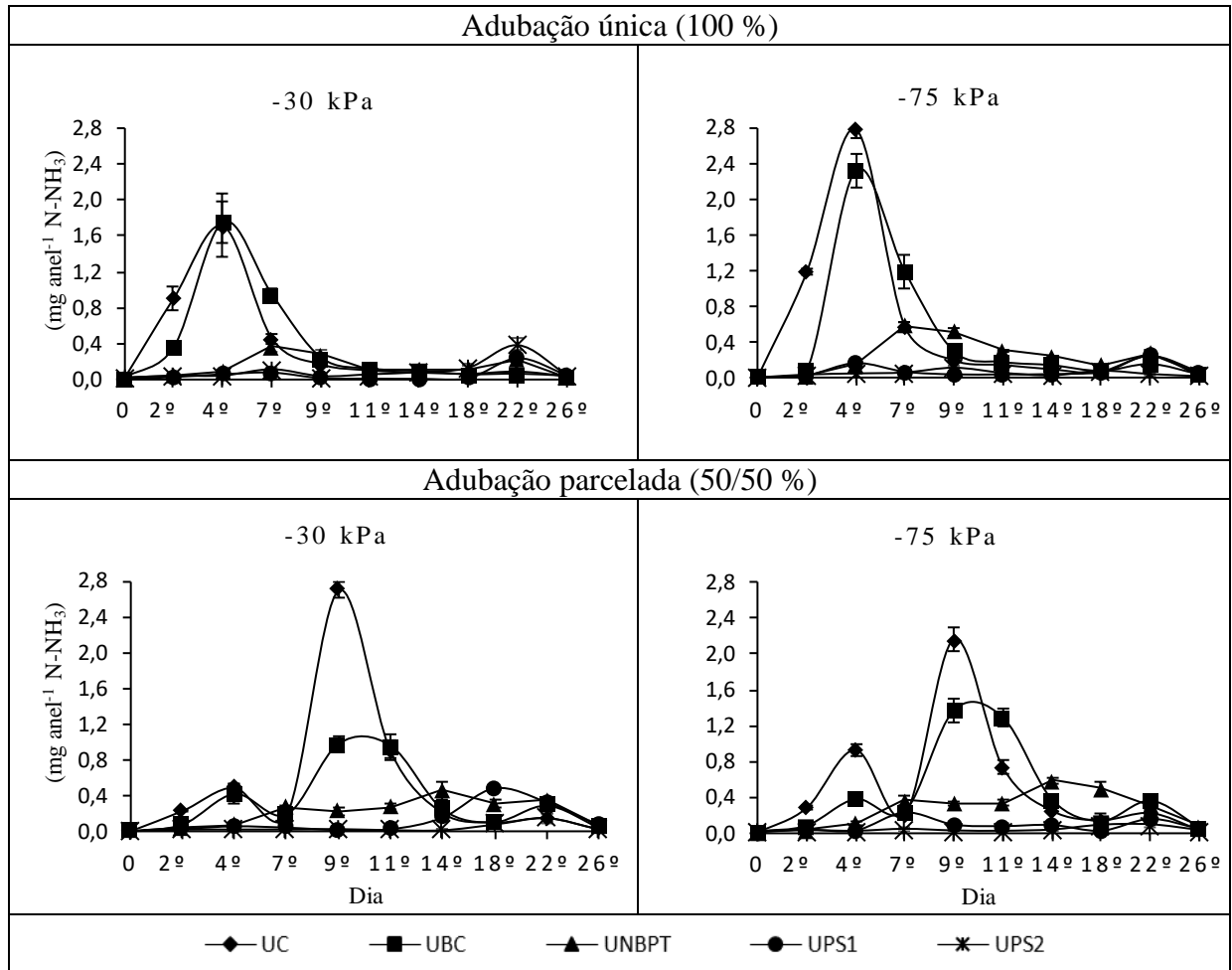


Figura 1 - Volatilização de N-NH<sub>3</sub> do solo em função das coletas das espumas após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados (ureia convencional - UC, ureia + boro e cobre - UBC, ureia + inibidor de urease - UNBPT e dois fertilizantes com ureia recoberta com polímero e enxofre – UPS1 e UPS2), potenciais matriciais e formas de aplicação.

#### 4. DISCUSSÃO

A UC apresentou as maiores perdas por volatilização, pois quando aplicada na superfície do solo, a ureia sofre rápida reação de hidrólise enzimática, liberando N amoniacal na forma de gás (Tabelas 3 e 4). As perdas ocorrem rapidamente, em dois a três dias pela ação da enzima urease, produzida por microrganismos do solo e por restos vegetais e animais (Reynolds e Wolf, 1987). Contudo, quando a quantidade de água é suficiente para que a ureia seja transportada a camadas mais profundas do solo as perdas são reduzidas. Stefanato et al. (2013), avaliando a eficiência da ureia com tecnologias associadas, verificaram a redução de perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização em aproximadamente 54 % quando comparadas com as perdas ocasionadas pela ureia convencional.

Fertilizantes utilizando alguns metais associados são capazes de reduzir a volatilização de N-NH<sub>3</sub> nos solos, como ocorre com o boro e com o cobre, inibidores inorgânicos mais estudados e que têm mostrado capacidade de inibir a urease (Tabatabai, 1977). A inibição provocada pelos metais é devido à ligação do metal aos grupos sulfidríla, que são partes ativas da molécula da enzima urease, e a formação de sulfitos insolúveis, conseqüentemente, o melhor inibidor será o que tiver maior afinidade com o grupo sulfidríla (Shaw, 1954). Além disso, o ácido bórico apresenta estrutura semelhante à ureia, fazendo com que o boro iniba a atividade da enzima urease de forma competitiva, ou seja, o boro compete com a urease pelo mesmo sítio ativo do substrato ureia (Benini, et al., 2004).

O NBPT é o composto que tem mostrado maior eficiência em retardar a atividade da enzima urease e, conseqüentemente, reduzir a taxa de volatilização (Cantarella, 2007). O NBPT inibe a urease devido à substituição quase perfeita das moléculas de água próximas ao sítio ativo da enzima ligando-se aos átomos de níquel (Krajewska, 2009). Segundo Saggari et al. (2013), a eficiência do NBPT no solo varia de acordo com o conteúdo de matéria orgânica, textura, pH, teor de N do solo e biomassa microbiana.

Os fertilizantes UPS1 e UPS2 apresentaram as menores perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub>, sendo os fertilizantes que menos foram influenciados pela quantidade de água adicionada ao solo, isso devido sua tecnologia proporcionar maior controle sobre a taxa de liberação do nutriente, o que permite maior eficiência no aproveitamento do nitrogênio (Shaviv, 2005). Os fertilizantes revestidos por polímeros são produtos que têm como base o N, desta forma permite liberação controlada do nutriente; um dos principais métodos é recobrir a ureia, que é solúvel em água, com material insolúvel em água, semipermeável ou impermeável com microporos (Trenkel, 2010; Borsari, 2013), permitindo liberação gradual e, conseqüentemente, redução nas perdas por volatilização de N.

No caso do recobrimento com enxofre, a disponibilidade do N irá ocorrer por meio da destruição da cobertura, o que irá depender basicamente da espessura de recobrimento e das condições ambientais. A redução das perdas é devida à acidificação do solo, ou seja, pela redução do pH, causada pela oxidação que o enxofre elementar sofre pelas bactérias do gênero *Thiobacillus* (Alvarez V. et al., 2007), diminuindo a atividade da urease, com isso o solo torna-se mais ácido, portanto, menos OH<sup>-</sup> irá reagir com o NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, reduzindo a volatilização de N.

As perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub> obtidas neste trabalho subestimam as perdas que ocorrem no campo, uma vez que, em laboratório, as condições são menos propícias à

volatilização, pois há controle maior no que se refere a vento, luminosidade, temperatura ambiente e principalmente nos processos de umedecimento e secagem do solo, que foram realizados constantemente quando as câmaras eram abertas para realização das análises do N volatilizado. Além disso, segundo Araújo et al. (2006), esses valores podem estar subestimados, pois há maior limitação dessas câmaras e há baixa eficiência de recuperação do N volatilizado (normalmente menor do que 20 %). Esse coletor, mesmo após modificações, apresentou taxa de recuperação que variou de 1 a 50 % do total de N-NH<sub>3</sub> volatilizado (Lara-Cabezas et al., 1999). Isso acontece devido a câmara influenciar na ventilação, temperatura e umidade do solo quando comparada a condições naturais, além da possibilidade de ocorrência da reincorporação de N-NH<sub>3</sub> ao solo (Araújo et al., 2009).

As formas de aplicação apresentaram resultado contrário ao comportamento encontrado na literatura, pois o parcelamento da adubação nitrogenada (50/50 %) promoveu maior volatilização de N-NH<sub>3</sub> (Contraste 5 Tabela 5). O provável motivo é a atividade da urease, que se encontrava alta no solo devido ao primeiro parcelamento da adubação; com a realização do segundo parcelamento sete dias após, a adição de ureia fez com que a atividade da urease aumentasse ainda mais e com isso a hidrólise da ureia, provocando maiores perdas por volatilização de N. Outra hipótese seria que a aplicação da dose de 100 % da adubação tenha saturado a capacidade hidrolítica da urease devido ao pequeno volume de solo (0,5 dm<sup>3</sup>).

No processo de hidrólise, o pH do solo eleva-se ao redor do grânulo de ureia, favorecendo a formação da amônia (Cancellier, 2013) e aumentando as perdas. Esse processo é altamente influenciado pela atividade dos microrganismos presentes no solo (Da Ros et al., 2005).

A menor volatilização dos tratamentos no potencial de -30 kPa está relacionada à maior quantidade de água presente no solo, uma vez que este potencial se relaciona com a capacidade de campo, proporcionando uma melhor difusão do NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no perfil do solo.

O teor de água do solo é um fator importante na hidrólise da ureia, quando o solo está seco, a atividade da urease é baixa (Rochette et al., 2009); com o incremento da umidade no solo a atividade enzimática aumenta, pois a adição de água promove a difusão da ureia e, conseqüentemente, maior contato com a urease existente no solo (Liu et al., 2007). No entanto, quando o teor de água é adequado, este permite a difusão do NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo, com adsorção desse cátion às cargas negativas dos minerais e da matéria orgânica, reduz as perdas de N por volatilização (Fontoura e Bayer, 2010). O solo utilizado neste experimento (LVA) influencia diretamente nas perdas de N-NH<sub>3</sub>, devido à pequena área superficial específica e

capacidade de troca catiônica, diferente em solos com argilominerais do tipo 2:1, onde poderiam ser retidas maiores quantidades de  $\text{NH}_4^+$ , precursor natural da  $\text{NH}_3$  (Costa et al., 2004). Assim, a maior quantidade de água (-30 kPa) aplicada ao LVA foi suficiente para mostrar diferença entre os potenciais pela maior percolação do fertilizante no perfil do solo diminuindo suas perdas por volatilização de  $\text{N-NH}_3$ .

Apesar dos bons resultados apresentados pelos fertilizantes revestidos com polímero e enxofre, vale a pena ressaltar que comercialmente são produtos que possuem um preço mais elevado em relação aos fertilizantes convencionais. Esses fertilizantes são destinados geralmente a culturas com maior valor agregado, sendo indispensável a análise de custos para verificar se compensa a utilização dos mesmos, principalmente para pequenos produtores com base na agricultura familiar.

## 5. CONCLUSÕES

As novas tecnologias em adubos nitrogenados reduziram a volatilização de  $\text{N-NH}_3$ , onde os fertilizantes revestidos com polímero e enxofre apresentaram as menores perdas por volatilização de  $\text{N-NH}_3$ .

Os tratamentos com maior potencial matricial (-30 kPa) reduziram a volatilização de  $\text{N-NH}_3$  em 16,3 % quando comparados aos de menor potencial (-75 kPa).

Ao avaliar as formas de aplicação em cada fertilizante nitrogenado, a adubação única (100 %) apresentou, em média, perda por volatilização de  $\text{N-NH}_3$  23,5 % menor, quando comparada à adubação parcelada (50/50 %).

## 6. REFERÊNCIAS

- Alvarez V VH, Roscoe R, Kurihara CH, Pereira NF. Enxofre. In: Novais RF, Alvarez V VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL, eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.595-646.
- Araújo ES, Boddey RM, Urquiaga S, Alves BJR. Câmara coletora para quantificação do  $\text{N-NH}_3$  volatilizado do solo. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, 4 p., 2006. (Comunicado Técnico Embrapa no 87).
- Araújo ES, Marsola T, Miyazawa M, Soares LHB, Urquiaga S, Boddey RM, Alves BJR. Calibração de câmara semiaberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 44:769-776, 2009.

- Benini S, Rypniewski WR, Wilson KS, Mangani S, Ciurli S. Molecular details of urease inhibition by boric acid: Insights into the catalytic mechanism. *J. Am. Chem. Soc.*, 126:3714-3715, 2004.
- Borsari, F. Fertilizantes inteligentes. *Agro DBO*. p 54-57, 2013.
- Cancellier EL. Eficiência da ureia estabilizada e de liberação controlada no milho cultivado em solo de fertilidade construída. (Dissertação de Mestrado) - Lavras: UFLA, 2013. 75p.
- Cantarella H. Nitrogênio. In: Novais RF, Alvarez V VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL. *Fertilidade do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.
- Costa ACS, Ferreira JC, Seidel EP, Tormena CA, Pintro JC. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia em três solos Argilosos tratados com ureia. *Acta S. Agron.*, 26:467-473, 2004.
- Da Ros CO, Aita C, Giacomini SJ. Volatilização de amônia com aplicação de ureia na superfície do solo, no sistema plantio direto. *Ci. Rural*, 35: 799-805, 2005.
- Fontoura SMV, Bayer C. Ammonia volatilization in no-till system in the south-central region of the State of Paraná, Brazil. *R. Bras. Ci. Solo*. 34:1677-1684, 2010.
- INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE – IPNI, 2017. Disponível em: <<http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132#evolucao>>. Acesso em: set. 2017.
- Krajewska, B. Ureases I. functional, catalytic and kinetic properties: a review. *Journal of Molecular Catalysis*. 59:9-21, 2009.
- Lara Cabezas WAR, Trivelin PCO, Bendassolli JA, Gascho GJ. Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizers. *Communications in Soil Science Plant Analysis*, 30:389-406, 1999.
- Liu G, Li Y, Alva AK. High water regime can reduce ammonia volatilization from soils under potato production. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 38:1203-1220, 2007.
- Marchesan E, Grohs M, Walter M, Silva LS, Formentini TC. Agronomic performance of rice to the use of urease inhibitor in two cropping systems. *Revista Ciência Agronômica*, 44:594-603, 2013.
- Marsola T, Takahashi HW, Miyazawa M. Calibração de um sistema coletor de amônia volatilizada do solo e aplicada em campo. In: *IV Mostra Acadêmica de Trabalhos de Agronomia*, Londrina, Editora UEL, 4: 123- 123, 2000.

- Megda MM, Buzetti S, Andreotti M, Teixeira Filho MMC, Vieira MX. Resposta de cultivares de trigo ao nitrogênio em relação às fontes e épocas de aplicação sob plantio direto e irrigação por aspersão. *Ciência e Agrotecnologia*, 33:1055-1060, 2009.
- Mendonça V, Tosta MS, Machado JR, Goulart Júnior SAR, Tosta JS, Biscaro GA. Fertilizante de liberação lenta na formação de mudas de maracujazeiro “amarelo”. *Revista Ciência Agrotécnica, Lavras*, v. 31, n. 2, p. 344-348, 2007.
- Nascimento CAC, Vitti GC, Faria LA, Luz PHC, Mendes FL. Ammonia volatilization from coated urea forms. *R. Bras. Ci. Solo*, 37:1057-1063, 2013.
- Novais RF, Neves JCL, Barros NF. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira AJ, Garrido WE, Araújo JD, Lourenço S. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. EMBRAPASAE, Brasília, 1991. p.189-254.
- Reynolds CM, Wolf DC. Effects of soil moisture and air relative humidity on ammonia volatilization from surfaces-applied urea. *Soil Sci.*, 143:144-152, 1987.
- Rochette P, Macdonald JD, Angers D, Chantini MH, Gasser M, Bertrand N. Banding urea increased ammonia volatilization in a dry acidic soil. *J. Environ. Qual.*, 38:1383-1390, 2009.
- Rodrigues JO, Partelli FL, Pires FR, Oliosio G, Espindula MC, Monte JA. Volatilização de amônia de ureias protegidas na cultura do cafeeiro conilon. *Coffee Science*, 11:530-537, 2016.
- Saggar S, Singh J, Giltrap DL, Zaman M, Luo J, Rollo M, Kim DG, Rys G, Van Der Weerden TJ. Quantification of reductions in ammonia emissions from fertiliser urea and animal urine in grazed pastures with urease inhibitors for agriculture inventory: New Zealand as a case study. *Science of the Total Environment*, 46: 465-136, 2013.
- Sangoi L, Berns AC, Almeida ML, Zanin CG, Schweitzer C. Características agronômicas de cultivares de trigo em resposta à época da adubação nitrogenada de cobertura. *Ciência Rural*, 37:1564-1570, 2007.
- Shaviv, A. Controlled release fertilizers. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, Frankfurt, 2005. Proceedings... Paris, International Fertilizers Industry Association, 2005. 13p.
- Shaw WHR. The inhibition of urease by various metal Ions. *Journal of America Chemical Society*. 76, 2160 – 2163, 1954.



- Soares JR. Efeito de inibidores de urease e de nitrificação na volatilização de  $\text{NH}_3$  pela aplicação superficial de ureia no solo. (Dissertação de Mestrado) – Campinas: Instituto Agronomico de Campinas, 2011. 90 p.
- Sousa DMG, Lobato E. Adubação com nitrogênio. In: Sousa DMG, Lobato E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 129-145.
- Stafanato JB, Goulart RS, Zonta E, Lima E, Mazur N, Pereira CG, Souza HN. Volatilização de amônia oriunda de ureia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. R. Bras. Ci. Solo, 37:726-732, 2013.
- Tabatabai MA. Effects of trace elements on urease activity in soils. Soil Biology & Biochemistry, 9:9-13, 1977.
- Tasca FA, Ernani PR, Rogeri DA, Gatiboni LC, R Cassol, PC. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 35:493-502, 2011.
- Teixeira PC, Donagema GK, Fontana A, Teixeira WG. (Org.). Manual de métodos de análise de solos. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2017. 573p.
- Trenkel ME. Slow- and controlled-release and stabilized fertilizer: an option for enhancing nutrient efficiency in agriculture. International Fertilizer Industry Association, Paris, France, 160p. 2010.
- Vitti GC, Tavares Jr JE, Luz PHC, Favarin JL, Costa MCG. Influência da mistura de sulfato de amônio com ureia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. R. Bras. Ci. Solo, 26:663-671, 2002.
- Wamser AF, Mundstock CM. Adubação nitrogenada em estádios fenológicos em cevada, cultivar “MN 698”. Ciência Rural, 37:942- 948, 2007.

**APÊNDICE**

Quadro 1 – Análise de variância das perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub> acumulado (mg anel<sup>-1</sup> N-NH<sub>3</sub>) em função da aplicação dos fertilizantes nitrogenados (F) sob diferentes potenciais matriciais ( $\Psi_m$ ) e formas de aplicação (A)

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio do Resíduo
Fertilizante	4	22,967**
A d/ F1	1	6,116**
A d/ F2	1	0,407**
A d/ F3	1	0,001
A d/ F4	1	0,709**
A d/ F5	1	0,379**
$\Psi_m$ d/ F1 d/ A1	1	0,337**
$\Psi_m$ d/ F1 d/ A2	1	0,036
$\Psi_m$ d/ F2 d/ A1	1	3,220**
$\Psi_m$ d/ F2 d/ A2	1	0,968**
$\Psi_m$ d/ F3 d/ A1	1	0,073
$\Psi_m$ d/ F3 d/ A2	1	0,186**
$\Psi_m$ d/ F4 d/ A1	1	0,022
$\Psi_m$ d/ F4 d/ A2	1	0,001
$\Psi_m$ d/ F5 d/ A1	1	0,067
$\Psi_m$ d/ F5 d/ A2	1	0,043
Resíduo	40	0,023
CV (%)	8,34	

F1 = ureia convencional (UC); F2 = ureia + boro e cobre (UBC); F3 = ureia + inibidor de urease (NBPT); F4 = ureia recoberta com polímero e enxofre (UPS1); F5 = ureia recoberta com polímero e enxofre (UPS2);  $\Psi_m1$  = -30 kPa;  $\Psi_m2$  = -75 kPa; A1 = 100 % da dose aplicada de maneira única no início do experimento; A2 = 50 % no início do experimento e 50 % após 7 dias; \*\* significativo a 1 % pelo Teste F.



Figura 2 – Disposição das câmaras utilizadas para a captação da amônia volatilizada, segundo modelo de Marsola et al. (2000), adaptado por Araujo et al. (2006).

## CAPÍTULO 2

### NOVAS TECNOLOGIAS EM FERTILIZANTES NITROGENADOS: VOLATILIZAÇÃO DE NH<sub>3</sub>, ATIVIDADE DA UREASE E FLUXO DE CO<sub>2</sub>

#### RESUMO

Novas tecnologias em fertilizantes nitrogenados têm sido desenvolvidas para reduzir as perdas de N, principalmente por volatilização de NH<sub>3</sub>, seja reduzindo o efeito imediato da urease, na hidrólise da ureia, ou liberando o nutriente de uma maneira mais gradativa e sincronizada com a demanda da cultura. A fim de minimizar essas perdas, produtos têm sido desenvolvidos e misturados à ureia. O experimento foi realizado em laboratório no Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE-UFES). O objetivo do trabalho foi quantificar as perdas por volatilização de amônia, a atividade da enzima urease e o fluxo de CO<sub>2</sub> do solo em função de diferentes formas de aplicação das novas tecnologias em fertilizantes nitrogenados. Para isso, foi realizado um experimento de volatilização em delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições, em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro fertilizantes nitrogenados [ureia convencional (UC), ureia + boro e cobre (UBC), ureia + inibidor de uréase - NBPT (UNBPT) e ureia recoberta com enxofre e polímero (UPS)] e duas formas de aplicação: forma 1 (100 % da dose aplicada de maneira única no início do experimento) e forma 2 (50 % no início do experimento e 50 % após sete dias). A dose de N aplicada dos fertilizantes foi de 75 mg dm<sup>-3</sup>. O experimento foi conduzido por 22 dias, com tempo de análise aos 2º, 4º, 7º, 9º, 11º, 14º, 18º e 22º dia. As tecnologias aplicadas aos fertilizantes nitrogenados mostram-se superiores à UC, reduzindo as perdas por volatilização em 40 % e a atividade da urease no solo em 22 %. O parcelamento da adubação nitrogenada mostrou-se efetivo na redução das perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub> em 36,1 e 65,2 % para os fertilizantes UNBPT e UPS, respectivamente. O fluxo de CO<sub>2</sub> não foi influenciado pela aplicação das novas tecnologias em fertilizantes nitrogenados.

**Palavras-chave:** nitrogênio, amônia, ureia, perda de N, fertilizante.

## CHAPTER 2

### NEW TECHNOLOGIES IN NITROGEN FERTILIZERS: VOLATILIZATION OF NH<sub>3</sub>, UREASE ACTIVITY AND CO<sub>2</sub> FLUX

#### ABSTRACT

New technologies in nitrogen fertilizers have been developed to reduce N losses, mainly by volatilization of NH<sub>3</sub>, either by reducing the immediate effect of urease, by hydrolyzing the urea, or releasing the nutrient in a more gradual and synchronized manner with the demand of the crop. In order to minimize these losses, products have been developed and mixed with urea. The experiment was carried in the laboratory of the Center of Agrarian Sciences and Engineering of the Federal University of Espírito Santo (CCAUE-UFES). The objective of this study was to quantify losses by volatilization of ammonia, urease enzyme activity and soil CO<sub>2</sub> flux due to different forms of application of the new technologies in nitrogen fertilizers. For this, a volatilization experiment was carried out in a completely randomized experimental design with 3 replicates was carried out in a 4 x 2 factorial scheme, with 4 nitrogen fertilizers [conventional urea (UC), urea + boron and copper (UBC), urea + urease inhibitor - NBPT (UNBPT), and urea coated with sulfur and polymer (UPS)] and 2 forms of application: form 1 (100% of the dose applied uniquely at the beginning of the experiment) and form 2 (50% at the beginning of the experiment and 50% after 7 days). The applied N dose of the fertilizers was 75 mg dm<sup>-3</sup>. The experiment was conducted for 22 days, with analysis time at 2<sup>nd</sup>, 4<sup>th</sup>, 7<sup>th</sup>, 9<sup>th</sup>, 11<sup>th</sup>, 14<sup>th</sup>, 18<sup>th</sup> and 22<sup>th</sup> day. The technologies applied to nitrogen fertilizers are superior to UC, reducing volatilization losses by 40% and soil urease activity by 22%. The nitrogen fertilization split application was effective in reducing N-NH<sub>3</sub> volatilization losses in 36.1 and 65.2% for UNBPT and UPS fertilizers, respectively. The CO<sub>2</sub> flux was not influenced by the application of the new technologies in nitrogen fertilizers.

**Keywords:** nitrogen, ammonia, urea, loss of N, fertilizer.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil atualmente ocupa o 4º lugar no consumo mundial de fertilizantes ficando atrás apenas da China, Índia e EUA, respectivamente (ANDA, 2015). O principal fertilizante nitrogenado utilizado no mundo para a agricultura é a ureia, que em 2014 representou 57,6 % do consumo mundial de fertilizantes nitrogenados e 54,6 % no Brasil (IFA, 2017).

A ureia apresenta como vantagens a alta concentração e menor preço por ponto de N, fatores esses que reduzem os custos; possui ainda alta solubilidade, menor corrosividade e compatibilidade com muitos fertilizantes (Tasca et al., 2011; Gurgel et al., 2016). Contudo, caso a aplicação da ureia seja realizada na superfície do solo, apresenta como desvantagem elevadas perdas de N, principalmente por volatilização de  $\text{NH}_3$ , decorrentes da ação da enzima urease e condições de pH do solo (Cantarella, 2007; Scivittaro et al., 2010; Rodrigues et al., 2016).

As perdas de amônia decorrem do fato da ureia sofrer hidrólise enzimática no solo pela urease, produzindo carbonato de amônio, que se desdobra facilmente em  $\text{NH}_3$  e  $\text{CO}_2$ , sendo perdidos para a atmosfera (Rodrigues & Kiehl, 1986). Vários pesquisadores relatam perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$  quando a ureia é aplicada na superfície do solo, com perdas de 20 a 78 % do N aplicado (Lara Cabezas et al., 1997a, 1997b; Cantarella et al., 1999; Vitti et al., 2002; Cantarella et al., 2003; Rojas et al., 2012).

Desta forma, novas tecnologias têm sido desenvolvidas com o intuito de minimizar as perdas de N por volatilização de  $\text{N-NH}_3$ , como o uso de inibidores da urease, principalmente o N-(n-butil) tiofosfórico triamida – NBPT, revestimento da ureia com micronutrientes, especialmente cobre (Cu) e boro (B); e com polímeros e enxofre que interferem na hidrólise e/ou, solubilização da ureia no solo (Vitti et al., 2002; Cantarella, 2007; Trenkel, 2010).

Estudos indicam que esses aditivos, quando associados à ureia, reduzem as perdas de N por volatilização, quando comparados à ureia convencional (Sanz-Cobena et al., 2008; Trenkel, 2010; Tasca et al., 2011). Cancellier et al. (2016) encontraram redução nas perdas de 18, 18 e 37 % quando NBPT, boro + cobre e polímero + enxofre foram associados à ureia, respectivamente. Souza (2015) encontrou redução nas perdas de 79 % com NBPT e 19 % quando utilizou ureia revestida por polímero e enxofre. A utilização dessas novas tecnologias em adubos nitrogenados pode ocasionar diminuição da volatilização em até 80 %, (Vitti et al., 2002; Cantarella, 2007).

O N é o nutriente mais alterado no processo de degradação do solo, porque sua principal fonte – a matéria orgânica (MOS) – está concentrada na superfície do solo e é perdida seletivamente por erosão.

A entrada de N no solo ocorre por meio de adubações ou pela fixação biológica, enquanto as perdas estão relacionadas a fenômenos como lixiviação, desnitrificação, remoção pelas colheitas e principalmente volatilização, sendo primordial um balanço positivo de N no sistema para que haja acúmulo desse nutriente, fixando o carbono fotossintetizado que se encontra distribuído nos compartimentos biomassa vegetal que constituem a MOS, em suas diversas formas (Bortolon et al., 2009; Nunes et al., 2011).

Considerando que o N é um elemento importante na dinâmica do C do solo, há necessidade de informações sobre como as novas tecnologias de aplicação de N afetam a dinâmica e emissão de C do solo. Muitos fatores estão envolvidos na emissão de CO<sub>2</sub> do solo, principalmente alterações na atividade dos microrganismos (Al-Kaisi et al., 2008). Portanto pesquisas sobre a melhor forma de se manejar os fertilizantes nitrogenados devem ser feitas para que as emissões deste gás diminuam (Liu et al., 2006).

O objetivo deste trabalho foi quantificar as perdas por volatilização de amônia, a atividade da enzima urease e o fluxo de CO<sub>2</sub> do solo em função da aplicação de novas tecnologias em fertilizantes nitrogenados, submetidos a diferentes formas de aplicação.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado em laboratório no Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE-UFES). Foi utilizada amostra superficial de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), de textura argilosa na profundidade 0 – 20 cm.

Inicialmente o solo foi seco ao ar, peneirado em malha de 2 mm, obtendo assim terra fina seca ao ar (TFSA) e foi caracterizado física e quimicamente (Teixeira et al., 2017) conforme descrito na tabela 1.

O experimento seguiu o delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições, em esquema fatorial 4 x 2 em que os fatores a serem estudados foram: quatro fertilizantes (ureia convencional (UC), ureia + boro e cobre (UBC), ureia + inibidor de uréase – NBPT (UNBPT), e ureia recoberta com polímero e enxofre (UPS); e duas formas de aplicação: forma 1 (100 % da dose aplicada no início do experimento) e forma 2 (50 % no início do experimento e 50 % após 7 dias). A dose de N aplicada foi de 75 mg dm<sup>-3</sup> de acordo com a concentração de N de cada fertilizante (Tabela 2).

Tabela 1. Caracterização física e química do solo.

Características	Unidade	LVA
Areia	(g kg <sup>-1</sup> )	562
Silte	(g kg <sup>-1</sup> )	63
Argila	(g kg <sup>-1</sup> )	375
Densidade do solo	(kg dm <sup>-3</sup> )	1,20
Densidade de partículas	(kg dm <sup>-3</sup> )	2,73
pH H <sub>2</sub> O		6,01
P	(mg dm <sup>-3</sup> )	0,35
K <sup>+</sup>	(mg dm <sup>-3</sup> )	222
Ca <sup>+</sup>	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,93
Mg <sup>2+</sup>	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,10
Al <sup>3+</sup>	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,00
H+Al	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,30
COT	(dag kg <sup>-1</sup> )	1,05
Soma de Bases	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,62
CTC potencial	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,62
CTC efetiva	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	6,92
Saturação por bases	(%)	52,28
Saturação por alumínio	(%)	0,00

Tabela 2 – Identificação e concentração de nitrogênio dos fertilizantes.

Identificação	Fertilizante	N (%)
UC	Ureia convencional	46
UBC	Ureia + boro (0,4 %) e cobre (0,15 %)	44,3
UNBPT	Ureia + inibidor de urease NBPT (0,25 %)	42
UPS	Ureia recoberta com enxofre (16 %) e polímero (3 %)	37

Cada unidade experimental foi constituída por três anéis de PVC (um para cada análise), com 10 cm de diâmetro e 10 cm de altura, o primeiro para realização das análises de volatilização, o segundo para a determinação da atividade da urease e o terceiro para medir o fluxo de CO<sub>2</sub>. Os anéis foram preenchidos com TFSA (0,5 dm<sup>3</sup>), respeitando-se a densidade do solo determinada pelo método da proveta. Os anéis receberam a aplicação de fósforo e potássio, em todo o volume do solo, de acordo com Novais et al. (1991).

O solo foi umedecido a -30 kPa, determinado a partir do extrator de placa porosa, e em seguida foi incubado por três dias para aclimação da biota no solo, e mantido à temperatura de 25 °C ± 2.

Após esse período, adicionou-se o fertilizante nitrogenado (75 mg dm<sup>-3</sup> de N) na superfície do solo em cada um dos três anéis. Foram determinados a volatilização de NH<sub>3</sub>, a atividade da



urease e o fluxo de CO<sub>2</sub> em cada anel, separadamente. O experimento foi conduzido por 22 dias, com tempo de análise aos 2°, 4°, 7°, 9°, 11°, 14°, 18° e 22° dia.

### **2.1 Volatilização de Amônia**

O primeiro anel foi utilizado para a determinação da volatilização de N-NH<sub>3</sub>, e foi utilizada uma câmara coletora (Marsola et al., 2000), modificada por Araújo et al. (2006), para captura da amônia liberada pelos fertilizantes.

A câmara coletora consistiu em um coletor semiaberto livre estático (SALE) confeccionado a partir de frasco plástico transparente, tipo PET de 2 litros, sem a base, com diâmetro de 10 cm, abrangendo 0,008 m<sup>2</sup> de área. No interior do frasco PET suspendera-se uma lâmina de espuma de poliuretano com 3 mm de espessura, 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento de forma vertical, com o auxílio de um fio rígido de 1,5 mm. Antes da instalação, foram adicionados 10 mL de solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 mol L<sup>-1</sup> + glicerina (2 % v/v) em frasco de 50 mL.

A determinação da N-NH<sub>3</sub> volatilizada retida na espuma foi realizada por destilação e titulação, segundo Araújo et al. (2009).

### **2.2 Atividade da urease**

No segundo anel a atividade de urease foi determinada segundo método descrito por Tabatabai (1994), modificado por Mulvaney (1996), que consiste na determinação de amônia liberada após a incubação de amostra de solo com solução de ureia por duas horas a 37 °C. As oito avaliações da atividade da urease foram determinadas a partir do mesmo anel, sendo as amostras coletadas com um tubo cilíndrico, inserindo-o no solo, sem perturbar a superfície do mesmo.

### **2.3 Fluxo de CO<sub>2</sub>**

A emissão do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo foi realizada no terceiro anel utilizando-se um sistema portátil de medição de CO<sub>2</sub> (LICOR - LI-8100). Esse sistema consiste em uma câmara fechada, que foi acoplada diretamente sobre o anel contendo o solo e os tratamentos. Em seu modo de medição, o sistema monitora as mudanças na concentração de CO<sub>2</sub> dentro da câmara, por meio de espectroscopia de absorção óptica na região do infravermelho (IRGA, Infrared Gas Analyzer).

## 2.4. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo que os efeitos dentro dos fatores qualitativos (fertilizantes nitrogenados e formas de aplicação) foram desdobrados em contrastes ortogonais, sendo as variáveis independentes correlacionadas entre si. Desdobramentos dessas correlações em efeitos diretos e indiretos foram realizados por meio da análise de trilha, utilizando o programa R Development Core Team (2017).

## 3. RESULTADOS

A UC apresentou as maiores perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub>, com valor médio de 8,21 %, enquanto os fertilizantes com tecnologia associada volatilizaram apenas 4,92 % do N aplicado aos anéis. A atividade enzimática da urease na UC foi 28,38 % superior à encontrada nas demais tecnologias aplicadas aos fertilizantes nitrogenados (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores médios das perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub> acumulada, atividade da urease e do fluxo de CO<sub>2</sub> no solo em função da aplicação dos fertilizantes nitrogenados em diferentes formas de aplicação.

Fertilizantes	Volatilização		Urease		Fluxo de CO <sub>2</sub>	
	100 %	50/50 %	100 %	50/50 %	100 %	50/50 %
	mg anel <sup>-1</sup> N-NH <sub>3</sub>		mg N-NH <sub>4</sub> kg solo <sup>-1</sup> 2h <sup>-1</sup>		μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	
UC	3,17	2,98	54,42	54,51	0,98	1,00
UBC	2,37	2,67	59,75	65,10	0,95	1,08
UNBPT	2,52	1,61	51,91	46,88	1,00	1,15
UPS	1,41	0,49	16,10	14,77	0,83	0,96

UC - ureia convencional; UBC - ureia + boro e cobre; UNBPT - ureia + inibidor de urease NBPT; UPS - fertilizante com ureia recoberta com polímero e enxofre.

Ao comparar os tratamentos aplicados ao solo, a ureia convencional (UC) apresentou maior perda por volatilização de N-NH<sub>3</sub> e atividade enzimática da urease quando comparada as demais tecnologias associadas aos fertilizantes nitrogenados. Ao avaliar o fluxo médio de CO<sub>2</sub> do solo, não houve diferença entre as tecnologias aplicadas aos fertilizantes e a UC, como pode ser observado pelo contraste C1 (Tabela 4).

Tabela 4 – Contrastes ortogonais (C) do N-NH<sub>3</sub> total volatilizado, da atividade média da urease e do fluxo médio de CO<sub>2</sub> no solo ao fim do experimento, considerando os fertilizantes independente da forma de aplicação.

Fertilizantes	C1	C2	C3
UC	3	0	0
UBC	-1	2	0
UNBPT	-1	-1	1
UPS	-1	-1	-1
	Contrastes analisados		
Volatilização de NH <sub>3</sub>	1,232**	1,010**	1,115**
Atividade da Urease	12,046**	30,009**	33,958**
Fluxo de CO <sub>2</sub>	-0,005 <sup>ns</sup>	0,027 <sup>ns</sup>	0,180*

C1 = UC vs UBC+UNBPT+UPS; C2 = UBC vs UNBPT+UPS; C3 = UNBPT vs UPS; <sup>ns</sup> não significativo; \*\* e \* significativo a 1 e 5 %, respectivamente; UC - ureia convencional; UBC - ureia + boro e cobre; UNBPT - ureia + inibidor de urease; UPS - fertilizante com ureia recoberta com polímero e enxofre.

As tecnologias associadas aos fertilizantes nitrogenados foram comparadas pelo contraste C2 (UBC vs UNBPT + UPS), e não foi possível observar diferença no fluxo de CO<sub>2</sub> do solo. Porém, a ureia + boro e cobre (UBC) apresentou maior taxa de volatilização de N-NH<sub>3</sub> acumulada e maior atividade ureolítica quando comparada as outras tecnologias associadas aos fertilizantes nitrogenados (inibidor de urease – NBPT (UNBPT) e ureia + polímero e enxofre (UPS)) (Tabela 4).

A UBC apresentou perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub> de 6,72 %, enquanto a UNBPT e UPS foram de apenas 4,02 % do N aplicado aos anéis. Houve uma redução na atividade da urease pela UNBPT e UPS de 48,06 % quando comparada à UBC (Tabela 3).

Os tratamentos com UPS apresentaram melhores resultados quando comparados à UNBPT (contraste C3 - Tabela 4). A UPS reduziu em 54,10 % a quantidade de N-NH<sub>3</sub> volatilizada. Além disso, a atividade enzimática da urease foi 68,74 % menor, enquanto o fluxo de CO<sub>2</sub> diminuiu em 6,67 %, quando comparada à UC (Tabela 3).

As tecnologias associadas aos fertilizantes nitrogenados, independente da forma de aplicação, apresentaram médias com comportamento crescente nas perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub> e atividade da urease, em que: UPS < UNBPT < UBC < UC. As médias das perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub>, atividade ureolítica e do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo foram, respectivamente: 69,15; 71,65 e 9,09 % menor na UPS quando comparada à UC (Tabela 3).

Ao avaliar as formas de aplicação (adubação em parcela única vs adubação parcelada) dentro de cada tecnologia aplicada aos fertilizantes nitrogenados, nota-se que não houve

diferença significativa na atividade da urease e no fluxo de CO<sub>2</sub> do solo (contraste C4 -Tabela 5). Comportamento diferenciado foi notado ao avaliar as perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub>, em que o parcelamento da adubação nitrogenada (50/50%) reduziu as perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub> em 36,11 e 65,24 % com a utilização da ureia com inibidor de urease (UNBPT) e com ureia revestida por polímero e enxofre (UPS), respectivamente (Tabela 1). Não houve diferença na volatilização de N-NH<sub>3</sub> quando as formas de aplicação foram avaliadas dentro dos fertilizantes UC e UBC (Tabela 5).

Tabela 5 - Contrastes ortogonais (C) do N-NH<sub>3</sub> total volatilizado, da atividade da urease e do fluxo de CO<sub>2</sub> considerando as formas de aplicação dentro de cada fertilizante

Contraste	Fertilizantes	Volatilização	Urease	CO <sub>2</sub>
C4	UC	0,191 <sup>ns</sup>	-0,093 <sup>ns</sup>	-0,020 <sup>ns</sup>
	UBC	-0,301 <sup>ns</sup>	-5,353 <sup>ns</sup>	-0,124 <sup>ns</sup>
	UNBPT	0,917*	5,026 <sup>ns</sup>	-0,147 <sup>ns</sup>
	UPS	0,915*	1,336 <sup>ns</sup>	-0,132 <sup>ns</sup>

C4 = 100 % vs 50 %/50 %, (1 vs -1); <sup>ns</sup> não significativo; \* significativo a 5 %; UC - ureia convencional; UBC - ureia + boro e cobre; UNBPT - ureia + inibidor de urease; UPS - fertilizante com ureia recoberta com polímero e enxofre.

Ao analisar a aplicação dos fertilizantes nitrogenados em relação ao tempo, os períodos de máxima volatilização de N-NH<sub>3</sub>, atividade da urease e do fluxo de CO<sub>2</sub> no solo coincidem dias após a aplicação dos tratamentos (Figura 1).

As perdas diárias de N-NH<sub>3</sub> foram influenciadas pelas tecnologias aplicadas aos fertilizantes nitrogenados utilizadas no experimento, promovendo redução nos picos de volatilização em comparação à ureia convencional (Figura 1).

A taxa de volatilização de N-NH<sub>3</sub> analisada em relação ao tempo mostrou que quando a adubação em parcela única foi realizada, os fertilizantes UC, UBC e UPS apresentaram pico de volatilização aos quatro dias de experimento. O fertilizante UNBPT, por sua vez, promoveu um atraso no pico de volatilização em aproximadamente 72 horas, apresentando pico somente no 7º dia após a montagem do experimento (Figura 1). Desta forma, o fertilizante UNBPT permite que o nitrogênio permaneça no solo por maior tempo e possa ser adsorvido pelos coloides ou disponibilizado para as plantas.

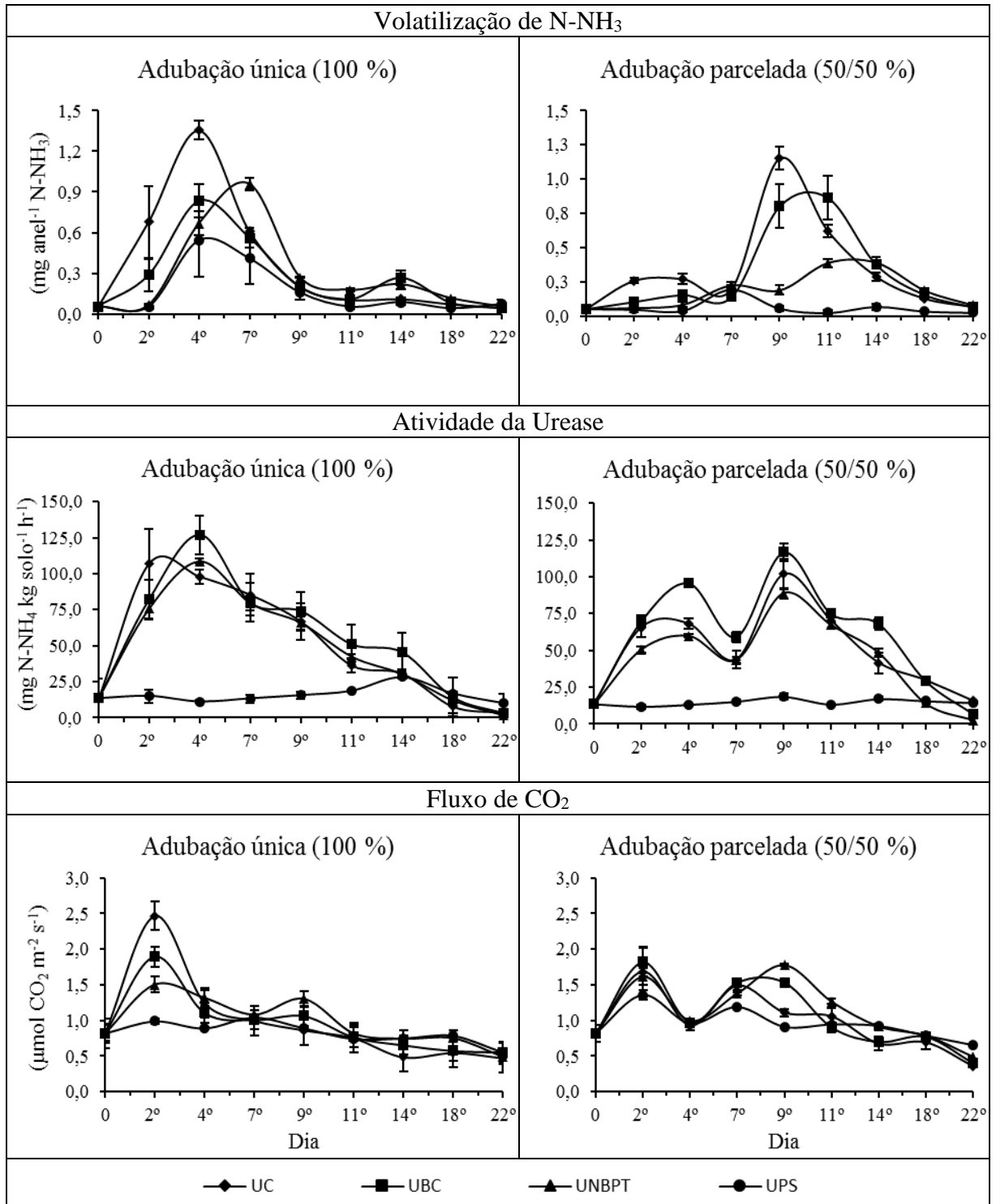


Figura 1 - Volatilização de N-NH<sub>3</sub>, Atividade da urease e Fluxo de CO<sub>2</sub> do solo, em função da aplicação das diferentes tecnologias em fertilizantes nitrogenados (ureia convencional - UC, ureia mais boro e cobre - UBC, ureia mais inibidor de urease - UNBPT e ureia recoberta com enxofre e polímero - UPS), dentro de cada forma de aplicação ao longo do tempo. As barras verticais representam o erro padrão das médias (n = 3).

A UC e a UPS foram os fertilizantes que apresentaram o maior e o menor pico de volatilização, respectivamente. Ao quantificar a amônia total volatilizada ao final dos 22 dias de experimento (Tabela 3), foi possível observar que aos nove dias já havia volatilizado 2,75; 2,00; 1,60 e 0,78 mg  $\text{N-NH}_3$  da UC, UBC, UNBPT e UPS, respectivamente.

O parcelamento (50/50 %) dos fertilizantes nitrogenados proporcionou atraso nos picos de volatilização de  $\text{N-NH}_3$ , em que a UC apresentou pico aos nove dias, a UBC entre o 9º e o 11º, e a UNBPT entre o 11º e 14º dia. O fertilizante UPS não apresentou pico de volatilização de  $\text{N-NH}_3$ , mantendo as perdas constantes durante os 22 dias de experimento, sendo esta a tecnologia que se destacou por apresentar as menores perdas (Figura 1).

Os fertilizantes UC, UBC e UNBPT apresentaram comportamento decrescente com a realização da adubação única (100 %) ao avaliar a atividade da urease no solo em relação ao tempo de coleta (Figura 1). A atividade da urease, ao utilizar a UC, foi maior a partir do 2º dia, porém, ao utilizar os fertilizantes UBC e UNBPT, esse comportamento foi observado no 4º dia, seguido de um declínio na atividade da urease até o fim do experimento.

A adubação parcelada (50/50 %) teve comportamento diferenciado ao da adubação única (100 %) quando a atividade da urease foi analisada em relação ao tempo, em que a UC, a UBC e a UNBPT apresentaram graficamente dois pontos de maior atividade enzimática no solo, aos quatro e nove dias de experimento, diminuindo a atividade em seguida até o 22º dia (Figura 1).

Independente da forma de aplicação, a UPS foi o fertilizante que proporcionou menor atividade da urease em relação ao tempo de coleta. A atividade da urease manteve-se constante em torno de 15 mg  $\text{N-NH}_4$   $\text{kg solo}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , não havendo alteração na atividade durante os 22 dias de experimento. A atividade da urease apresentou comportamento crescente independente da forma de aplicação, em que:  $\text{UPS} < \text{UNBPT} < \text{UC} < \text{UBC}$ .

O maior fluxo de  $\text{CO}_2$  ( $2,47 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) ocorreu dois dias após a adubação única (100 %) com a UC, enquanto a UPS proporcionou o menor fluxo ( $1,04 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), quantificado sete dias após a montagem do experimento (Figura 1).

Ao realizar a adubação parcelada foram observados dois picos no fluxo de  $\text{CO}_2$  do solo, o primeiro no 2º dia e o segundo pico entre o 7º e o 9º dia, o que coincide com o período de alta atividade da urease e perdas por volatilização em função da aplicação dos fertilizantes nitrogenados (Figura 1).

Ao analisar as correlações das variáveis independentes (Tabela 6), observa-se que houve forte correlação positiva e significativa somente entre as variáveis volatilização de N-NH<sub>3</sub> e atividade da urease (0,85).

Tabela 6 – Matriz de correlação entre as variáveis volatilização de N-NH<sub>3</sub>, atividade da urease e Fluxo de CO<sub>2</sub>.

Variáveis analisadas	Volatilização de N-NH <sub>3</sub>	Atividade da urease	Fluxo de CO <sub>2</sub>
Volatilização de N-NH <sub>3</sub>	1		
Atividade da urease	0,85**	1	
Fluxo de CO <sub>2</sub>	0,20 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	1

<sup>ns</sup> não significativo e \*\* significativo a 1 % de probabilidade.

Os coeficientes de trilha, diretos e indiretos, das variáveis explicativas (atividade da urease e fluxo de CO<sub>2</sub>) sobre a volatilização de N-NH<sub>3</sub> encontram-se na Tabela 7. O coeficiente de determinação indica que essas variáveis explicaram 83,3 % das perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub>. As variáveis atividade da urease e fluxo de CO<sub>2</sub> apresentaram efeitos diretos contrários 1,075 e - 0,225, respectivamente, porém o efeito da atividade da urease é maior que o efeito residual sobre a variável básica volatilização de N-NH<sub>3</sub>, sendo o principal determinante sobre as perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub>.

O efeito indireto do fluxo de CO<sub>2</sub>, via atividade da urease, sobre a volatilização de N-NH<sub>3</sub> também foi alto e maior do que o efeito residual, reforçando ainda mais a importância da atividade da urease em relação às perdas de N por volatilização de N-NH<sub>3</sub>. A atividade da urease também foi a variável que mais se correlacionou com a volatilização de N-NH<sub>3</sub>.

Tabela 7 - Estimativa dos efeitos diretos e indiretos das variáveis primárias sobre a variável básica volatilização de N-NH<sub>3</sub>.

Atividade da urease	Efeito direto sobre a volatilização de N-NH <sub>3</sub>	1,075
	Efeito Indireto via Fluxo de CO <sub>2</sub>	-0,225
	Total (r de Pearson)	0,850**
Fluxo de CO <sub>2</sub>	Efeito direto sobre a volatilização de N-NH <sub>3</sub>	-0,402
	Indireto via Atividade da urease	0,602
	Total (r de Pearson)	0,200 <sup>ns</sup>
Coeficiente de determinação		0,833
Efeito da variável residual		0,408

#### 4. DISCUSSÃO

Avaliar as perdas de N em fertilizantes é importante para determinar a eficácia no aproveitamento do nutriente, principalmente, em novas tecnologias lançadas no mercado, com o intuito de reduzir as perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub>. Essas tecnologias aplicadas aos fertilizantes apresentam mecanismos diferenciados no controle da liberação do nutriente, consequentemente reduzindo as perdas. Nesse sentido, os aditivos que foram associados à ureia foram efetivos (UNBPT e UPS) em atrasar a hidrólise enzimática e as perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub>.

A maior volatilização de N-NH<sub>3</sub>, a atividade da urease e o fluxo de CO<sub>2</sub> apresentada pela UC são justificados pela rápida hidrólise enzimática que a ureia sofre ao ser aplicada ao solo (Figura 1). A ureia hidrolisada pela enzima urease resulta na formação de carbonato de amônio, que se decompõe rapidamente, originando amônio, bicarbonato e hidroxila que implica na elevação do pH ao redor dos grânulos do fertilizante. Consequentemente, parte do amônio converte em NH<sub>3</sub>, que pode se perder na atmosfera, caso a ureia não seja incorporada ao solo (Cantarella et al., 2008; Rochette et al., 2009a; Rochette et al., 2009b).

Segundo Reynolds et al. (1987), a urease produzida por microrganismos, como fungos e bactérias do solo, por restos vegetais e animais, é responsável pelas perdas por volatilização e ocorrem rapidamente, em dois a três dias pela ação da enzima.

A umidade do solo no experimento (-30 kPa) contribuiu para a rápida dissolução da UC no solo, aumentando a atividade da urease e favorecendo a ocorrência de picos de volatilização nos primeiros dias após a aplicação dos fertilizantes. Segundo Andres et al. (2012), um dos principais fatores que governam os fluxos de CO<sub>2</sub> do solo é a umidade.

A ação inibitória do cobre e do boro sobre a atividade da urease na UBC é devida a muitos metais serem capazes de reduzir a atividade da urease no solo (Tabatabai, 1977). A forma mais comum de associação de boro à ureia é por meio do uso do ácido bórico (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>), que, por ficar simetricamente entre os dois átomos de Ni, e ter forma geometricamente semelhante ao substrato ureia, é considerado como um substrato análogo reduzindo as perdas por volatilização (Benini et al., 2004). O cobre, por sua vez, reage com um grupo sulfidril da urease, bloqueando o sítio ativo da enzima e, portanto, reduzindo a atividade dessa enzima no solo, o que promove a manutenção do N na forma amídica (Fu et al., 2009; Moraes et al., 2010), reduzindo as perdas de N-NH<sub>3</sub> e consequentemente redução também no fluxo de CO<sub>2</sub> do solo.



Stafanato et al. (2013) encontraram resultados semelhantes aos deste experimento, avaliando a eficiência da ureia com Cu e B, verificaram que esses elementos reduziram as perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização em aproximadamente 54 %, quando comparadas com as perdas ocasionadas pela ureia comercial.

A menor volatilização de NH<sub>3</sub> e a atividade da urease apresentada pela UNBPT, quando comparada à UC e UBC (Tabela 3 e Figura 1), estão de acordo com vários trabalhos (Benini et al., 2004; Cantarella et al., 2008; Sans Cobena et al., 2010; Cancellier et al., 2016), confirmando a eficiência do inibidor sobre a atividade da enzima urease e consequentemente na volatilização de NH<sub>3</sub>. A maior eficiência da UNBPT quando comparada à UBC pode ser atribuída ao seu modo de ação, que bloqueia fortemente três pontos ativos da molécula urease (Manunza et al., 1999), enquanto que o ácido bórico e o Cu inibem um sítio ativo apenas (Benini et al., 2004). O inibidor de urease presente na UNBPT é eficiente em retardar a hidrólise da ureia e permitir sua difusão no solo, evitando as zonas de alta concentração de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, permitindo assim a incorporação do fertilizante no solo, e diminuindo a volatilização de NH<sub>3</sub> (Christianson et al., 1993).

Em condições de campo, segundo Grant et al. (1996), o retardo de sete dias promovidos pela UNBPT é suficiente para reduzir a hidrólise da ureia e permitir a incorporação do fertilizante ao solo, reduzindo significativamente a perda de NH<sub>3</sub> por volatilização.

As menores perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub> na atividade da urease e no fluxo de CO<sub>2</sub> do solo apresentado pela UPS são justificadas devido ao controle na taxa de liberação dos nutrientes por membranas semi-impermeáveis com finos poros (Trenkel, 1997). Além disso, a camada de enxofre elementar (S<sup>0</sup>) do revestimento é oxidada a sulfato (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) quando aplicado ao solo, por meio de reações catalisadas principalmente por microrganismos (Horowitz; Meurer, 2003). Esse processo leva à acidificação do solo por meio da produção de dois mols de H<sup>+</sup> para cada mol de S<sup>0</sup> oxidado, reduzindo a atividade da urease e, com isso, a volatilização de N-NH<sub>3</sub>. Geralmente, a liberação do nutriente ocorre quando variações de temperatura, forças mecânicas, agentes químicos, entre outros, agem sobre o revestimento, permitindo a entrada de água e dissolução do fertilizante no núcleo do grânulo, disponibilizando-o para o solo (Cancellier, 2016).

A liberação dos nutrientes fica dependente da temperatura e da permeabilidade da membrana à água, sendo a taxa de liberação de nutrientes dos grânulos diretamente proporcional à temperatura do solo ou substrato, uma vez que o aumento da temperatura promove expansão da camada do polímero, provocando aumento de sua permeabilidade à

água (Trenkel, 2010). Esse processo ocorre independentemente do pH ou atividade microbológica do solo, podendo variar de poucos meses a anos para liberação total, sendo a longevidade específica de cada formulação do fertilizante (Oertli, 1980).

Resultados de Nascimento et al. (2013) demonstraram que a ureia com enxofre elementar proporcionou redução de 50 % nas perdas de N quando comparada à ureia comum. Camadas de enxofre, também, podem formar uma barreira ao redor dos grânulos de ureia impedindo seu contato com água e reduzindo as perdas por volatilização. Quando, além do enxofre, é adicionado polímero, para o recobrimento da ureia, acredita-se haver maior eficiência na redução das perdas.

Barati et al. (2006) avaliaram a eficiência de fontes de N (ureia comercial e ureia revestida) e observaram que a recuperação de N foi maior quando se utilizou a ureia revestida. Ao realizar o parcelamento da adubação com as tecnologias em fertilizantes nitrogenados, a atividade da urease e o fluxo de CO<sub>2</sub> não foram alterados, como observado no contraste C4 (Tabela 3), corroborando com Boman e Battikhi (2007), os quais observaram que a aplicação de fertilizante nitrogenado com tecnologia associada diminui a necessidade de parcelamento das adubações. Wilson et al. (2009) concluíram que a utilização da ureia revestida com polímero reduz a necessidade de dividir a aplicação de N na cultura da batata.

Com relação às perdas por volatilização, atividade da urease e ao fluxo de CO<sub>2</sub> ao longo do tempo, os picos ocorreram nos primeiros dias após a aplicação dos fertilizantes (Figura 1), pelo aumento da atividade da urease que ocorre logo nos primeiros dias após a aplicação do fertilizante. Pereira et al. (2009), trabalhando com ureia convencional, ureia revestida com polímeros e ureia + NBPT aplicados em cobertura sob um sistema de plantio direto em dois parcelamentos na cultura do milho, sendo o primeiro em um período mais seco e o segundo úmido, observaram que o pico de volatilização de NH<sub>3</sub> ocorreu no 2º e 4º dia e 4º e 5º, respectivamente, após aplicação dos fertilizantes. Os picos de volatilização, geralmente, ocorrem nos primeiros dias após a aplicação dos fertilizantes, pelo contato do fertilizante com o solo, sofrendo, assim, a imediata ação da urease.

A umidade do solo (-30 kPa) mantida no experimento foi responsável por pequenas perdas com relação à dose de N aplicada no início do experimento (75 mg dm<sup>-3</sup>), pela solubilização e pelo deslocamento do fertilizante para camadas mais profundas do solo, nas quais as perdas são minimizadas. Segundo Rojas et al. (2012), as maiores perdas de nitrogênio por volatilização ocorrem nos cinco primeiros dias após a adubação, sendo altamente influenciadas pela umidade do solo.

O tipo de solo utilizado (LVA) também influencia os resultados encontrados, pois o solo é formado por argilas do tipo 1:1 e óxidos de ferro e alumínio, apresentando naturalmente baixa CTC e alta concentração de K. Fatores do solo como textura, mineralogia da fração argila, capacidade de troca catiônica e umidade influenciam na volatilização de N (Lara-Cabezas et al., 1997a; Schneiders e Scherer, 1998; Scherer e Zhang, 1999; Luo et al., 2000), além da concentração de potássio do solo (Liu et al., 1997), que compete pelos sítios de retenção de  $\text{N-NH}_4^+$ , aumentando as perdas por volatilização de N.

Em relação ao que foi dito, solos formados a partir de argilominerais do tipo 2:1 possuem maior CTC e formam complexos de esfera interna fixando o  $\text{NH}_4^+$  fortemente a sua estrutura, reduzindo as perdas. Essa retenção do  $\text{N-NH}_4^+$  está diretamente relacionada com a quantidade e com a distribuição de cargas permanentes nas superfícies internas dos minerais de argila 2:1 (Schneiders e Scherer, 1998; Scherer e Zhang, 1999) e inversamente correlacionada com minerais, como os óxidos de ferro e caulinita.

## 5. CONCLUSÕES

As tecnologias aplicadas aos fertilizantes nitrogenados mostram-se superiores a UC, reduzindo as perdas por volatilização em 40 % e a atividade da urease no solo em 22 %, sendo a UPS o fertilizante que mais se destacou.

O parcelamento da adubação nitrogenada mostrou-se efetivo na redução das perdas por volatilização de  $\text{N-NH}_3$  em 36,1 e 65,2 % para os fertilizantes UNBPT e UPS, respectivamente.

O fluxo de  $\text{CO}_2$  não foi influenciado pela aplicação das novas tecnologias em fertilizantes nitrogenados.

## 6. REFERÊNCIAS

- Al-Kaisi M, Kruse ML, Sawyer JE. Effect of nitrogen fertilizer application on growing season soil carbon dioxide emission in a corn–soybean rotation. *Journal of Environmental Quality*, 37:325-332, 2008.
- Andres RJ, Boden TA, Breon FM, Ciais P, Davis S, Erickson D, Gregg JS, Jacobson A, Marland G, Miller J, Oda T, Olivier JGJ, Raupach MR, Rayner P, Treanton K. A synthesis of carbon dioxide emissions from fossil-fuel combustion. *Biogeosciences*, 9:1845–1871, 2012.

- Araújo ES, Boddey RM, Urquiaga S, Alves BJR. Câmara coletora para quantificação do N - NH<sub>3</sub> volatilizado do solo. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, 4 p., 2006. (Comunicado Técnico Embrapa no 87).
- Araújo ES, Marsola T, Miyazawa M, Soares LHB, Urquiaga S, Boddey RM, Alves BJR. Calibração de câmara semiaberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 44:769-776, 2009.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA. (2015). Anuário estatístico do setor de fertilizantes. ANDA, São Paulo-SP.
- Barati V, Emam Y, Maftoun M. Responses of two low land: Rice cultivars to the different sources and levels of nitrogen. Agrochimica, 50:158-164, 2006.
- Benini S, Rypniewski WR, Wilson KS, Mangani S, Ciurli S. Molecular details of urease inhibition by boric acid: Insights into the catalytic mechanism. J. Am. Chem. Soc. 126:3714-3715, 2004.
- Boman BJ, Battikhi AM. Growth, evapotranspiration, and nitrogen leaching from young lysimeter-grown orange trees. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 133:350-358, 2007.
- Bortolon ESO, Mielniczuk J, Tornquist CG, Lopes F, Fernandes FF. Simulação da dinâmica do carbono e nitrogênio em um Argissolo do Rio Grande do Sul usando modelo Century. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 33:1635-1646, 2009.
- Cancellier EL, Silva DRG, Faquin V, Almeida BA, Cancellier LL, Spehar CR. Ammonia volatilization from enhanced-efficiency urea on no-till corn in Brazilian cerrado with improved soil fertility. Ciência e Agrotecnologia, 40:15-23, 2016.
- Cantarella H, Mattos Júnior D, Quaggio JA, Rigolin AT. Fruit yield of Valencia sweet orange fertilized with different N sources and the loss of applied N. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 67:215-223, 2003.
- Cantarella H, Rossetto R, Barbosa W, Penna MJ, Resende LCL. Perdas de N por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada em sistema de colheita de cana sem queima prévia. In: 7. CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 1999, Londrina. Anais do VII Congresso Nacional da STAB. Piracicaba: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 1999. p. 82-87.
- Cantarella H, Trivelin PCO, Contin TLM, Dias FLF, Rossetto R, Marcelino R, Coimbra RB, Quaggio JA. Ammonia volatilisation from urease Inhibitor-treated urea applied to sugarcane Trash blankets. Scientia Agricola, 65:397-401, 2008.

- Cantarella H. Nitrogênio. In: Novais RF, Alvarez VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JC (Eds.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, 2007. p. 375-470.
- Christianson CB, Baethgen WE, Carmona G, Howard RG, Microsite reactions of urea-nbtp fertilizer on the soil surface. *Soil Biology & Biochemistry*, 25:1107-1117, 1993.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Manual de métodos de análises de solo*. 2 eds. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 212 p., 1997.
- Fu L, Yang W, Wei, Y. Effects of copper pollution on the activity of soil invertase and urease in loquat orchards. *Chinese Journal of Geochemistry*, 28:76–80, 2009.
- Grant CA, Jia S, Brown KR, Bailey LD. Volatile losses of NH<sub>3</sub> from surface-applied urea and urea ammonium nitrate with and without the urease inhibitors NBPT or ammonium thiosulphate. *Canadian Journal of Soil Science*, 76:417-419, 1996.
- Gurgel GCS, Ferrari AC, Fontana A, Polidoro JC, Coelho LAM, Zonta E. Volatilização de amônia proveniente de fertilizantes minerais mistos contendo ureia. *Pesq. Agropec. Bras.*, 51:1686-1694, 2016.
- Horowitz N, Meurer EJ. Oxidação do enxofre elementar em solos tropicais. *Ciência Rural*, 36:822-828, 2003.
- INTERNATIONAL FERTILIZER ASSOCIATION - IFA. IFADATA. France: International Fertilizer Association, 2017. Disponível em: <<http://ifadata.fertilizer.org/ucResult.aspx?temp=20170218023916>>. Acesso em: jun. 2017.
- Lara Cabeza WAR, Korndorfer GH, Motta SA. Volatilização de amônia na cultura de milho: I Efeito da irrigação e substituição parcial de uréia por sulfato de amônio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 21:481-487, 1997a.
- Lara Cabezas WAR, Korndorfer GH, Motta SA. Volatilização de amônia na cultura do milho: II Avaliação de fontes sólidas e fluídas em sistema de plantio direto e convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 21:489-496, 1997b.
- Liu H, Crawford JH, Pierce RB, Norris P, Platnick SE, Chen G, Logan JA, Yantosca RM, Evans M J, Kittaka C, Feng Y, Tie X. Radiative effect of clouds on tropospheric chemistry in a global three-dimensional chemical transport model. *Journal of Geophysical Research*, 111: 2006.
- Liu YJ, Laird DA, Barak P. Release and fixation of ammonium and potassium under long-term fertility management. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:310-314, 1997.

- Luo J, Tillman RW, Ball PR. Nitrogen loss through denitrification in a soil under pasture in New Zealand. *Soil Biol. Biochem.*, 32:497-509, 2000.
- Manunza B, Deiana S, Pintore M, Gessa C. The binding mechanism of urea, hydroxamic acid and N-(N-butyl)-phosphoric triamide to the urease active site. A comparative molecular dynamics study. *Soil Biology and Biochemistry*, 31:789-796 1999.
- Marsola T, Takahashi HW, Miyazawa M. Calibração de um sistema coletor de amônia volatilizada do solo e aplicada em campo. In: IV Mostra Acadêmica de Trabalhos de Agronomia, Londrina, Editora UEL, 4:123- 123, 2000.
- Moraes MF, Abreu Junior CH, Junior JL. Micronutrientes. In: Prochnow LI, Casarin V, Stipp SR. (Ed.). Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2010. p. 207–278.
- Mulvaney RL. Nitrogen - Inorganic forms. In: BARTELS, J.M., ed. *Methods of soil analysis, Part 3 – Chemical methods*. Madison, 1996. p.1123-1184.
- Nascimento CAC, Vitti GC, Faria LDA, Luz PHC, Mendes FL. Ammonia volatilization from coated urea forms. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37:1057-1063, 2013.
- Novais RF, Neves JCL, Barros NF. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira AJ, Garrido WE, Araújo JD, Lourenço S. *Métodos de pesquisa em fertilidade do solo*. EMBRAPASAE, Brasília, 1991. p.189-254.
- Nunes RS, Lopes AAC, Sousa DMG, Mendes IC. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo de cerrado com a sucessão soja-milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35: 1407-1419, 2011.
- Oertli JJ. Controlled-release fertilizers. *Fertilizer Research*, 1:103-123, 1980.
- Pereira HS, Leao AF, Verginassi A, Carneiro MAC. Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33:1685-1694, 2009.
- R Core Team. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, 2017.
- Reynolds CM, Wolf DC, Armbruste JA. Factors related to urea hydrolysis in soils. *Soil Science Society of America Journal* 49:104-108, 1987.
- Rochette P, Angers D, Chantini MH, Macdonald JD, Gasser M, Bertrand N. Reducing ammonia volatilization in a no-till soil by incorporating urea and pig slurry in shallow bands. *Nutr. Cycling Agroecosyst.*, 84:71-80, 2009a.

- Rochette P, Macdonald JD, Angers D, Chantini MH, Gasser M, Bertrand N. Banding urea increased ammonia volatilization in a dry acidic soil. *J. Environ. Qual.*, 38:1383-1390, 2009b.
- Rodrigues JO, Partelli FL, Pires FR, Oliosio G, Espindula MC, Monte JA. Volatilização de amônia de ureias protegidas na cultura do cafeeiro conilon. *Coffee Science*, 11:530-537, 2016.
- Rodrigues MB, Kiehl JC. Volatilização de amônia após emprego de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:37-43, 1986.
- Rojas CAL, Bayer C, Fontoura SMV, Weber MA, Vieiro F. 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*, 36:261-270, 2012.
- Sanz-Cobena A, Misselbrook TH, Arce A, Mingot JI, Diez JA, Vallejo A. An inhibitor of urease activity effectively reduces ammonia emissions from soil treated with urea under Mediterranean conditions. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 126:243-249, 2008.
- Scherer HW, Weimar S. Significance of the K content of the soils and the proportion of expandable clayminerals of the total clay fraction on the dynamics of the nonexchangeable  $\text{NH}_4^+$ -N after slurry application. *Agribiol. Res.*, 47:124-139, 1994.
- Scherer HW, Zhang YS. Studies on the mechanisms of fixation and release of ammonium in paddy soils after flooding. I. Effect of iron oxides on ammonium fixation. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 162:593-597, 1999.
- Scivittaro WB, Gonçalves DRN, Vale MLC, Ricordi VG. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e resposta do arroz irrigado à aplicação de ureia tratada com o inibidor de urease NBPT. *Ciência Rural*, 40:1283-1289, 2010.
- Souza TL. Eficiência agrônômica de fertilizantes nitrogenados, emissão de  $\text{CO}_2$  e volatilização de  $\text{NH}_3$  na cultura do milho. 2015. 98 f. Dissertação (mestrado em Ciência do solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.
- Stafanato JB, Goulart RS, Zonta E, Lima E, Mazur N, Pereira CG, Souza HN. Volatilização de amônia oriunda de ureia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. *R. Bras. Ci. Solo*, 37:726-732, 2013.
- Tabatabai MA. Effects of trace elements on urease activity in soils. *Soil Biol. Biochem.*, 9:9-13, 1977.

- Tabatabai MA. Soil enzymes. In: Weaver RW, Scott A, Bottomeley PJ., eds. Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.778-835. (Special Publication, 5).
- Tasca FA, Ernani PR, Rogeri DA, Gatiboni LC, Cassol PC. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35: 493-502, 2011.
- Trenkel ME. Improving fertilizer use efficiency. Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. International Fertilizer Industry Association, Paris, 1997.
- Trenkel ME. Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient efficiency in agriculture. 2<sup>nd</sup> ed. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010. 163p.
- Vitti AC, Trivelin PCO, Gava GJC, Penatti CP, Oliveira MW. Volatilização de amônia da adubação nitrogenada aplicada sobre solo coberto com palhada de cana-de-açúcar: efeito na produtividade da cana-soca. Congresso Nacional dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 8., 2002. Recife: Anais: ... Recife: STAB, 2002, p. 239-244.
- Wilson ML, Rosen CJ, Moncrief JF. Potato response to polymer-coated urea on an irrigated, coarse textured soil. *Agronomy Journal*, 101:897-905. 2009.



**APÊNDICE**

Quadro 1 – Análise de variância do N-NH<sub>3</sub> total volatilizado, atividade média da urease e do fluxo médio de CO<sub>2</sub> no solo em função da aplicação dos fertilizantes nitrogenados (F) e formas de aplicação (A)

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio do Resíduo		
		Vol. de N-NH <sub>3</sub>	Atv. da Urease	Fluxo CO <sub>2</sub>
Fertilizante	3	4,882**	2571,565**	0,034
A d/ F1	1	0,055	0,013	0,001
A d/ F2	1	0,136	42,987	0,023
A d/ F3	1	1,263*	37,901	0,033
A d/ F4	1	1,256*	2,680	0,026
Resíduo	16	0,175	33,343	0,013
CV (%)		19,45	12,71	11,35

F1 = ureia convencional (UC); F2 = ureia + boro e cobre (UBC); F3 = ureia + inibidor de urease (NBPT); F4 = ureia recoberta com polímero e enxofre (UPS); \*\*, \* significativo a 1 e 5 % respectivamente pelo Teste F.



Figura 2 – Disposição das câmaras utilizadas para a captação da amônia volatilizada (1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> fileiras), fluxo de CO<sub>2</sub> (3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> fileiras) e atividade da urease (5<sup>a</sup> e 6<sup>a</sup> fileiras).

### CAPÍTULO 3

#### NOVAS TECNOLOGIAS EM FERTILIZANTES NITROGENADOS NO DESENVOLVIMENTO INICIAL E NUTRIÇÃO DE *COFFEA CANEPHORA*

##### RESUMO

Novas tecnologias em fertilizantes nitrogenados têm sido desenvolvidas no intuito de reduzir as perdas de nitrogênio nas adubações em cobertura, sendo este um dos nutrientes mais exigido pela maioria das culturas. No cafeeiro conilon, o nitrogênio é considerado o nutriente que mais limita o desenvolvimento de mudas e a produção. O objetivo deste trabalho foi analisar o desenvolvimento inicial e a nutrição do cafeeiro conilon em função da aplicação de novas tecnologias em fertilizantes nitrogenados submetidos a diferentes potenciais matriciais. O experimento foi realizado em casa de vegetação em delineamento em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas no tempo com três repetições. As parcelas foram quatro fertilizantes [ureia convencional (UC), ureia + boro e cobre (UBC), ureia + inibidor de uréase – NBPT (UNBPT), e ureia recoberta com polímero e enxofre (UPS)] e dois potenciais matriciais: -75 kPa e -150 kPa. As subparcelas foram quatro épocas de avaliação: 45, 90, 135 e 180 dias após o plantio das mudas. A dose de N aplicada foi de 75 mg dm<sup>-3</sup>. Foram quantificadas a área foliar, a matéria seca no caule e das folhas, teores de nitrogênio e fósforo e conteúdo de nitrogênio nas folhas, e o índice relativo de clorofila das folhas. As tecnologias em fertilizantes nitrogenados influenciaram positivamente no crescimento e na nutrição do cafeeiro conilon quando comparadas à ureia convencional, proporcionando maior área foliar (8,8 %), matéria seca na folha (9,7 %) e no caule (11,8 %), e conteúdo de N na matéria seca na folha (12,9 %). A UC, UBC e UNBPT foram influenciadas por um maior potencial matricial (-75 kPa), apresentando melhores resultados para as variáveis analisadas. A UPS não foi influenciada pelo potencial matricial do solo. O fertilizante UNBPT apresentou melhores índices relativos de clorofila para o cafeeiro conilon.

**Palavras-chave:** nitrogênio, café conilon, ureia, adubação nitrogenada.

## CHAPTER 3

### NEW TECHNOLOGIES IN NITROGEN FERTILIZERS IN THE INITIAL DEVELOPMENT AND NUTRITION OF *COFFEA CANEPHORA*

#### ABSTRACT

New technologies in nitrogen fertilizers have been developed with the aim of reducing nitrogen losses in cover crops, which is one of the nutrients most required by most crops. In conilon coffee, nitrogen is considered the nutrient that most limits the development of seedlings and production. The objective of this study was to analyze the initial development and nutrition of conilon coffee in function of the application of new technologies in nitrogen fertilizers submitted to different matric potentials. The experiment was carried out in a greenhouse in a randomized block design, with split plots in time with 3 replicates. The plots were 4 fertilizers [conventional urea (UC), urea + boron and copper (UBC), urea + urease inhibitor - NBPT (UNBPT), and urea coated with sulfur and polymer (UPS)] and 2 matric potentials: -75 kPa and -150 kPa. The sub-plots were 4 evaluation periods: 45, 90, 135 and 180 days after planting the seedlings. The applied N dose was 75 mg dm<sup>-3</sup>. Leaf area, stem and leaves dry matter, nitrogen and phosphorus content and nitrogen content in the leaves were determined, and the relative chlorophyll content of leaves. Nitrogen fertilizer technologies positively influenced the growth and nutrition of conilon coffee when compared to conventional urea, increasing leaf area (8.8%), leaf dry matter (9.7%) and stem (11.8%), and N content in the dry matter in the leaf (12.9%). The UC, UBC and UNBPT were influenced by a higher matric potential (-75 kPa), presenting better results for the analyzed variables. The UPS was not influenced by the soil matric potential. The UNBPT fertilizer presented better relative indexes of chlorophyll for conilon coffee.

**Keywords:** nitrogen, conilon coffee, urea, nitrogen fertilization.

## 1. INTRODUÇÃO

A cafeicultura é a principal e mais tradicional atividade agrícola do Espírito Santo. O Estado destaca-se como o segundo maior produtor de café do Brasil, e o primeiro em produção de café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex A.Froehner), sendo responsável por 55 % da produção nacional e 10,4 % da produção mundial (CONAB, 2017). O café conilon é a principal fonte de renda em 80 % das propriedades rurais capixabas localizadas em terras quentes, e responde por 35 % do PIB agrícola capixaba (INCAPER, 2017).

O nitrogênio (N) destaca-se entre os nutrientes necessários ao crescimento e ao desenvolvimento das plantas, por afetar positivamente seu crescimento vegetativo (Yin et al., 2003; Coelho et al., 2012). Na cafeicultura, o N merece atenção especial, pois é o nutriente requerido em maior quantidade e o segundo nutriente mais exportado (Bruno et al., 2011; Martinez et al., 2014), proporciona maior resposta em termos de produtividade, assume ainda maior demanda para o desenvolvimento inicial de mudas em viveiros e nos plantios no campo (Malavolta et al., 1981).

Em razão do menor custo por unidade de N e da alta concentração do nutriente (44 – 46 % de N), a ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado na agricultura brasileira e mundial (Cantarella, 2007b). Entretanto, apresenta como característica indesejável reação inicial alcalina no solo, resultando em perdas, principalmente por volatilização de amônia, quando aplicada em superfície (Scivittaro et al., 2010).

A umidade do solo tem influência direta sobre os processos de volatilização de N-NH<sub>3</sub> por influenciar as reações químicas e biológicas no solo (Marques, 2005). Em solo seco, a ureia pode permanecer estável, mas a taxa de hidrólise aumenta conforme o teor de água do solo se eleva, até que atinja 20 %; a partir desse ponto, a taxa de hidrólise é pouco alterada (Bremner e Mulvaney, 1978). Umidade baixa leva à solubilização da ureia, mas a difusão limitada de N no perfil do solo provoca elevadas perdas por volatilização (Bouwmeester et al., 1985), que podem atingir até 50 % do N aplicado (Holcomb et al., 2011). Para minimizar essas perdas recomenda-se que a ureia seja incorporada em profundidade  $\geq 5$  cm no solo (Cantarella, 2007a; Tasca et al., 2011).

Além de práticas relacionadas ao manejo do solo, as tecnologias em fertilizantes nitrogenados surgem pela necessidade em reduzir perdas de N, principalmente por volatilização de amônia, e, conseqüentemente, aumentar a eficiência no fornecimento de N para as plantas. O uso dessas tecnologias envolve a diminuição da volatilização por meio do revestimento do fertilizante solúvel com material insolúvel em água e/ou semipermeável com

microporos (Borsari, 2013) para que, uma vez aplicado ao solo, a liberação seja lenta, e a planta absorva o nutriente de maneira contínua e gradual.

A maioria dos solos tropicais apresenta características como: baixos valores de pH, capacidade de troca catiônica e teor de matéria orgânica, influenciado pela textura, mineralogia da fração argila (Schneiders e Scherer, 1998; Johansson, 1998), fatores que podem influenciar as tecnologias aplicadas aos fertilizantes nitrogenados. Devido a isso, intensifica-se a busca por produtos que, associados à ureia, sejam capazes de reduzir as perdas de N (Sangoi et al., 2003; Tasca et al., 2011).

Vários materiais têm sido utilizados a fim de retardar a hidrólise da ureia e reduzir as perdas de  $\text{NH}_3$ . O NBPT [N-(n-butil) tiofosfórico triamida], quando misturado ao grânulo da ureia, inativa temporariamente a ação da enzima urease, mostrando-se eficaz na redução das perdas de N por volatilização (Krajewska, 2009). A incorporação de B e Cu à ureia também tem sido eficiente, reduzindo as perdas de N- $\text{NH}_3$ , seja pela reação do íon bloqueando o sítio ativo da enzima ou por serem considerados substratos para a urease, promovendo sua inibição (Stafanato et al., 2013; Dominghetti et al., 2016). O uso de polímeros também interfere na hidrólise e/ou solubilização da ureia no solo. A utilização dessas novas tecnologias em adubos nitrogenados pode reduzir a volatilização em até 80 % (Cantarella, 2007a; Kissel et al., 2009).

Nesse sentido, o objetivo foi analisar o desenvolvimento inicial e a nutrição do cafeeiro conilon ao longo do tempo, em função da aplicação de novas tecnologias em fertilizantes nitrogenados submetidos a diferentes potenciais matriciais.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado em casa de vegetação no Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE-UFES), em Alegre – ES, situado a uma altitude aproximada de 250 m, com coordenadas geográficas 20°45'48" de latitude Sul e 41°31'57" de longitude Oeste. O clima predominante é quente e úmido no verão e inverno seco, segundo a classificação de Köppen, com precipitação anual média de 1.200 mm e temperatura média anual de 23 °C.

Para condução do experimento foi utilizada amostra superficial de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), de textura argilosa na profundidade 0 – 20 cm, coletado na região de Alegre - ES. O solo foi seco ao ar, peneirado em malha de 2 mm, obtendo assim terra fina seca ao ar (TFSA) e foi caracterizado química e fisicamente (Teixeira et al., 2017).

Tabela 1. Caracterização física e química do solo.

Características	Unidade	LVA
Areia	(g kg <sup>-1</sup> )	562
Silte	(g kg <sup>-1</sup> )	63
Argila	(g kg <sup>-1</sup> )	375
Densidade do solo	(kg dm <sup>-3</sup> )	1,20
Densidade de partículas	(kg dm <sup>-3</sup> )	2,73
pH H <sub>2</sub> O		6,01
P	(mg dm <sup>-3</sup> )	0,35
K <sup>+</sup>	(mg dm <sup>-3</sup> )	222
Ca <sup>+</sup>	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,93
Mg <sup>2+</sup>	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,10
Al <sup>3+</sup>	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,00
H+Al	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,30
COT	(dag kg <sup>-1</sup> )	1,05
Soma de Bases	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,62
CTC potencial	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,62
CTC efetiva	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	6,92
Saturação por bases	(%)	52,28
Saturação por alumínio	(%)	0,00

A instalação do experimento seguiu o delineamento em blocos ao acaso, com parcela subdividida no tempo 4 x 2 x 4 com três repetições. As parcelas foram constituídas por quatro fertilizantes: ureia convencional (UC), ureia + boro e cobre (UBC), ureia + inibidor de uréase – NBPT (UNBPT), e ureia recoberta com polímero e enxofre (UPS) e dois potenciais matriciais: potencial 1 (-75 kPa) e potencial 2 (-150 kPa). As subparcelas foram constituídas por quatro épocas de avaliação: 45, 90, 135, 180 dias após a aplicação dos tratamentos. A dose de N aplicada foi de 75 mg dm<sup>-3</sup>, dividida em duas aplicações iguais: a primeira 10 dias após o plantio e a segunda 45 dias após a primeira aplicação.

A adubação (P, K e micronutrientes) foi realizada com base em experimentos conduzidos em casa de vegetação, de acordo com Novais et al. (1991), nas amostras com 10 dm<sup>3</sup> de TFSA, sendo homogeneizadas e acondicionadas em vasos plásticos.

Em cada vaso foi plantada uma muda da espécie *Coffea canephora* Pierre, clone 02 da variedade “Incaper 8142 - Conilon Vitória”, constituindo uma unidade experimental. As plantas foram conduzidas por 10 dias sem aplicação dos fertilizantes nitrogenados para adaptação das mudas aos vasos. Após esse período, realizou-se a aplicação dos fertilizantes

nitrogenados, a umidade do solo foi colocada na capacidade de campo ( $0,2452 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e controlada até atingir os potenciais (-75 e -150 kPa), assim que os potenciais foram atingidos os vasos foram irrigados até atingir novamente a capacidade de campo. Os potenciais matriciais do solo foram determinados a partir do extrator de placa porosa e controlados por gravimetria ao longo do tempo.

O experimento foi conduzido por 180 dias após a aplicação dos tratamentos. Em cada época de avaliação (45, 90, 135 e 180 dias após a aplicação dos tratamentos), as plantas foram seccionadas acerca de 1 cm do solo. Imediatamente após o corte das plantas, as folhas foram separadas do caule para determinação da área foliar por meio do medidor, LI-COR modelo LI-3100. Em seguida, as folhas e caule foram separadamente secos em estufa de circulação forçada de ar a  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ , para determinação da matéria seca da parte aérea (folha - MSF; e caule - MSC), teores de nitrogênio (NF), fósforo (PF) na folha e conteúdo de nitrogênio das folhas (CN).

O teor de P na folha foi extraído por digestão nitroperclórica, segundo Johnson & Ulrich (1959), e determinado segundo Embrapa (1999). O N na folha foi determinado no extrato da digestão sulfúrica, pelo método de Kjeldahl (Tedesco et al., 1995).

As avaliações do índice relativo de clorofila foram realizadas: antes da montagem do experimento (antes); três dias após a 1ª adubação (3 dias); nove dias após a 1ª adubação (9 dias); três dias após a 2ª adubação (43 dias); nove dias após a 2ª adubação (49 dias); 90, 135 e 180 dias após a montagem do experimento, por meio de um medidor eletrônico de clorofila (clorofiLOG) portátil CFL 1030 da marca Falker. Foram analisadas todas as plantas, efetuando duas medições por folha, uma de cada lado da nervura central das plantas do cafeeiro conilon, em duas folhas por planta, no 3º par de folhas completamente desenvolvidos, selecionados ao acaso no terço médio da planta.

## **2.1. Análises estatísticas**

Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo que os efeitos dentro dos fatores qualitativos (fertilizantes nitrogenados e potencial matricial) foram desdobrados em contrastes ortogonais, sendo o índice relativo de clorofila avaliado por teste de média, enquanto o fator tempo foi avaliado por regressão.



### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os fertilizantes com tecnologia associada (UBC, UNBPT e UPS) proporcionaram maior área foliar, matéria seca folha (MSF), matéria seca caule (MSC) e conteúdo de N na folha quando comparados à UC (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores médios da área foliar (Área), matéria seca da folha (MSF) e do caule (MSC), nitrogênio (NF), fósforo (PF) e conteúdo de nitrogênio (CN) na folha do cafeeiro em função da aplicação dos fertilizantes nitrogenados, potenciais matriciais e tempo de análise.

Fertilizante	Tempo (dias)	Potencial Matricial											
		-75 kPa						-150 kPa					
		Área cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup>	MSF g planta <sup>-1</sup>	MSC	NF g kg <sup>-1</sup>	PF	CN. mg kg <sup>-1</sup>	Área cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup>	MSF g planta <sup>-1</sup>	MSC	NF g kg <sup>-1</sup>	PF	CN. mg kg <sup>-1</sup>
UC	45	1088,73	7,97	2,26	31,57	1,42	251,54	1010,44	7,81	2,14	34,09	1,42	265,84
	90	2438,79	25,18	7,29	28,28	1,01	711,62	2438,88	22,92	7,26	29,73	1,10	679,28
	135	5940,11	53,75	23,45	18,41	1,11	986,52	4553,96	39,67	16,81	22,19	1,06	880,20
	180	6736,78	66,95	31,88	16,03	0,88	1071,31	6669,71	65,57	30,26	14,33	0,75	934,31
	<b>média</b>	<b>4051,11</b>	<b>38,46</b>	<b>16,22</b>	<b>23,57</b>	<b>1,11</b>	<b>755,25</b>	<b>3668,25</b>	<b>33,99</b>	<b>14,12</b>	<b>25,08</b>	<b>1,08</b>	<b>689,91</b>
UBC	45	1103,63	8,37	2,56	32,31	1,66	271,18	1023,24	7,89	2,36	34,44	1,48	270,65
	90	3149,06	30,16	9,43	29,21	1,10	879,66	2626,55	25,56	7,97	26,41	1,11	688,24
	135	5950,49	51,91	23,31	19,25	1,12	999,15	5806,04	52,71	23,03	21,84	0,85	1151,29
	180	7573,06	76,26	41,87	13,72	0,95	1046,31	6965,20	68,07	32,42	16,15	0,87	1098,12
	<b>média</b>	<b>4444,06</b>	<b>41,68</b>	<b>19,29</b>	<b>23,62</b>	<b>1,21</b>	<b>799,07</b>	<b>4105,26</b>	<b>38,56</b>	<b>16,44</b>	<b>24,71</b>	<b>1,08</b>	<b>802,08</b>
UNBPT	45	956,36	7,24	2,17	33,95	1,50	245,72	977,28	7,45	2,04	25,25	1,59	190,50
	90	3305,71	34,14	12,04	29,05	1,16	992,54	2702,75	26,87	8,28	27,67	1,10	743,00
	135	6162,49	55,58	23,44	20,63	1,01	1144,16	5002,08	44,49	19,41	22,87	1,06	1010,01
	180	7396,31	74,52	32,60	17,03	0,90	1265,77	7021,40	69,55	30,38	16,73	0,86	1163,68
	<b>média</b>	<b>4455,22</b>	<b>42,87</b>	<b>17,56</b>	<b>25,17</b>	<b>1,14</b>	<b>912,05</b>	<b>3925,88</b>	<b>37,09</b>	<b>15,03</b>	<b>23,13</b>	<b>1,15</b>	<b>776,80</b>
UPS	45	1194,60	8,66	2,58	31,85	1,58	275,85	1002,79	7,58	2,43	33,88	1,37	256,54
	90	2984,64	28,42	9,61	28,70	1,05	816,44	2786,46	26,96	8,42	28,98	1,09	781,97
	135	5971,44	55,39	23,52	19,95	0,78	1094,46	5191,30	46,67	21,14	23,31	0,84	1084,65
	180	7030,41	69,87	32,99	15,45	0,92	1077,99	6910,75	69,59	33,14	14,79	0,76	1031,37
	<b>média</b>	<b>4295,27</b>	<b>40,59</b>	<b>17,18</b>	<b>23,99</b>	<b>1,08</b>	<b>816,19</b>	<b>3972,82</b>	<b>37,70</b>	<b>16,28</b>	<b>25,24</b>	<b>1,01</b>	<b>788,63</b>

UC - ureia convencional; UBC - ureia + boro e cobre; UNBPT - ureia + inibidor de urease NBPT; UPS - fertilizante com ureia recoberta com polímero e enxofre.

As temperaturas máximas ocorridas dentro da casa de vegetação no período que foi avaliado o experimento variaram de 34 a 46 °C, enquanto as temperaturas mínimas variaram de 17 a 23 °C. Esse fator influenciou as maiores perdas de N ocorridas pela UC em comparação às tecnologias em fertilizantes nitrogenados, e, conseqüentemente, na menor área

foliar, MSF, MSC e menor conteúdo de N nas de café, como pode ser observado pelo contraste 1 (Tabela 3).

Tabela 3 - Contrastes ortogonais (C) da área foliar, matéria seca da folha e do caule, teor de nitrogênio e fósforo na folha e conteúdo de N das folhas do cafeeiro ao final do experimento, considerando os fertilizantes independente do potencial matricial e tempo de análise.

Fertilizantes	C1	C2	C3
UC	3	0	0
UBC	-1	2	0
UNBPT	-1	-1	1
UPS	-1	-1	-1
	Contrastes analisados		
Área Foliar	-340,074**	112,361 <sup>ns</sup>	56,499 <sup>ns</sup>
Matéria seca da folha	-3,520**	0,554 <sup>ns</sup>	0,835 <sup>ns</sup>
Matéria seca do caule	-1,793**	1,355*	-0,435 <sup>ns</sup>
Nitrogênio na folha	0,018 <sup>ns</sup>	-0,214 <sup>ns</sup>	-0,465 <sup>ns</sup>
Fósforo na folha	-0,019 <sup>ns</sup>	0,045 <sup>ns</sup>	0,098**
Conteúdo de N	-93,224**	-22,842 <sup>ns</sup>	42,013 <sup>ns</sup>

C1 = UC vs UBC+UNBPT+UPS; C2 = UBC vs UNBPT+UPS; C3 = UNBPT vs UPS; <sup>ns</sup> não significativo; \*\*, \* e significativo a 1 e 5 % respectivamente. UC - ureia convencional; UBC - ureia + boro e cobre; UNBPT - ureia + inibidor de urease NBPT; UPS - fertilizante com ureia recoberta com polímero e enxofre.

Considerando as temperaturas mais próximas das condições de cultivo no Brasil, o aumento da temperatura de 15 para 35 °C pode representar um aumento de 3 a 5 vezes na atividade da urease (Moyo et al., 1989). O'Connor & Hendrickson (1987) verificaram que a hidrólise da ureia foi totalmente concluída em 1, 4, 6, 7 e 8 dias após a aplicação do fertilizante e associada às temperaturas de 35, 25, 15, 10 e 5 °C, respectivamente. Esses autores observaram que, na maior temperatura (35 °C), 70 % do N aplicado foi volatilizado em sete dias.

O uso de fertilizantes com tecnologia associada no cafeeiro minimizou as perdas de N por volatilização de amônia quando comparada à ureia convencional (Dominghetti et al., 2016; Rodrigues et al., 2016).

Segundo Garcia et al. (2011), o uso de ureia com tecnologia associada 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. Em trabalho realizado por Espíndula et al. (2014), comparando a ureia + NBPT com a ureia convencional, foi constatado que doses parceladas e em cobertura (condições favoráveis a volatilização) de ureia + NBPT, obtiveram maior concentração de N foliar nas folhas do trigo. Frazão et al.

(2014), também verificaram que adubação em cobertura com ureia revestida com polímeros ou o tratamento com inibidor de urease favoreceram a obtenção de maior teor de N em folhas de milho.

Os fertilizantes com tecnologia associada buscam minimizar o potencial de perdas do nutriente para o ambiente, promovendo maior aproveitamento e conseqüentemente maior crescimento e desenvolvimento das plantas (Dominghetti et al., 2016). Diversos estudos mostraram a superioridade das tecnologias associadas à ureia como a UBC, UNBPT e UPS quando comparados à UC (Garcia et al., 2011; Espíndula et al., 2013; Zavaschi et al., 2014; Rodrigues et al., 2016; Chagas et al., 2017).

As tecnologias em fertilizantes nitrogenados foram comparadas pelo contraste 2 (UBC vs UNBPT + UPS) e não houve diferença para as variáveis área foliar, MSF, NF, PF, e conteúdo de N na MSF. Porém a MSC apresentou diferença, sendo a UBC 8,2 % superior quando comparada às outras tecnologias. O fato de as tecnologias não terem apresentado diferenças entre si para muitas das variáveis está relacionado com a irrigação realizada logo após a aplicação dos tratamentos, dando condições ótimas para solubilização e incorporação do fertilizante no solo reduzindo as perdas.

Rodrigues et al. (2016), ao compararem a ureia convencional a ureias com tecnologias associadas, encontraram diferença entre elas, tendo as tecnologias resultados superiores, porém ao compararem as tecnologias entre si, não encontraram diferenças entre a ureia mais boro e cobre, ureia mais NBPT e ureia revestida por enxofre.

O contraste C3 (UNBPT vs UPS) apresentou resultado semelhante ao contraste C2, no qual não houve diferença significativa para a maioria das variáveis analisadas; porém, ao analisar o teor de fosforo na folha (PF), é possível notar que a UNBPT foi superior à UPS.

As tecnologias em fertilizantes nitrogenados, de maneira geral, não apresentaram diferença para as variáveis analisadas. Esses resultados podem ser explicados pela condição ótima de solubilidade e incorporação dos fertilizantes pela água no solo no presente estudo, sendo que os potenciais matriciais eram atingidos a cada um (-75 kPa) ou dois (-150 kPa) dias, e essas tecnologias são desenvolvidas para apresentarem diferenças sob condições edafoclimáticas mais extremas, como curtos períodos sem chuva. Segundo Chitolina (1994), os fertilizantes de liberação lenta ou controlada dependem de umidade e temperatura do solo para a liberação adequada dos nutrientes às plantas.

Estudos têm demonstrado que a atividade da urease aumenta com a elevação da temperatura até 40° C (Bremner e Mulvaney, 1978; Whitehurst & Whitehurst, 2014) e a

hidrólise da ureia é potencializada com a manutenção do conteúdo de água no solo próximo a sua capacidade de campo (Antil et al., 1993), condições similares ao presente estudo.

As variáveis apresentaram diferenças quando o potencial matricial foi avaliado dentro de cada fertilizante nitrogenado (Tabela 4). De maneira geral, os tratamentos em que os fertilizantes UC, UBC e UNBPT foram aplicados ao solo e submetidos ao potencial de -75 kPa apresentaram os melhores resultados. Isso indica que o potencial de -150 kPa foi suficiente para solubilizar os fertilizantes, mas não para sua difusão e incorporação no solo pela água, aumentando as perdas e conseqüentemente menor utilização do N pelas plantas. Outro fator que chama a atenção é que a umidade do solo afeta a solubilização dos fertilizantes UC, UBC e UNBPT nos níveis de água utilizados.

Tabela 4 - Contrastes ortogonais da área foliar, matéria seca da folha e do caule, teor de nitrogênio e fósforo na folha e conteúdo de N nas folhas do cafeeiro conilon, considerando os potenciais matriciais dentro de cada fertilizante nitrogenado independente do tempo de análise.

C4	Fertilizantes			
	UC	UBC	UNBPT	UPS
Área Foliar	382,857*	338,803 <sup>ns</sup>	529,341**	322,450 <sup>ns</sup>
Matéria seca da folha	4,467*	3,115 <sup>ns</sup>	5,779**	2,884 <sup>ns</sup>
Matéria seca do caule	2,100*	2,847**	2,531*	0,895 <sup>ns</sup>
Nitrogênio na folha	-1,510 <sup>ns</sup>	-1,087 <sup>ns</sup>	2,034*	-1,254 <sup>ns</sup>
Fósforo na folha	0,023 <sup>ns</sup>	0,130*	-0,009 <sup>ns</sup>	0,066 <sup>ns</sup>
Conteúdo de N	65,337 <sup>ns</sup>	-3,002 <sup>ns</sup>	135,252**	27,550 <sup>ns</sup>

C4 = -75 kPa vs -150 kPa, (1 vs -1); <sup>ns</sup> não significativo; \*\*, \* e ° significativo a 1 e 5 % respectivamente. UC - ureia convencional; UBC - ureia + boro e cobre; UNBPT - ureia + inibidor de urease NBPT; UPS - fertilizante com ureia recoberta com polímero e enxofre.

O potencial de -75 kPa influenciou em maior área foliar (10,4 %), produção de matéria seca da folha (13,1 %) e do caule (14,8 %) quando a UC foi utilizada. Comportamento similar foi notado quando a UNBPT foi submetida a uma maior quantidade de água, promovendo maior área foliar (13,5 %), matéria seca da folha (15,6 %) e do caule (16,8 %), N na folha (8,8 %) e conteúdo de N na folha (17,4 %) (Tabela 2 e 4). A redução do conteúdo de água do solo aumenta as perdas por volatilização, pela menor difusão e maior concentração de  $\text{NH}_4^+$ , favorecendo a emissão da forma gasosa de  $\text{NH}_3$  (Silva et al., 2017), reduzindo o crescimento e desenvolvimento do cafeeiro.

O teor de fósforo nas folhas do cafeeiro conilon foi influenciado pela maior quantidade de água aplicada (-75 kPa) quando a UBC foi utilizada. Isso possivelmente está ligado à concentração de boro presente no fertilizante UBC. O boro é importante para a absorção de P, decorrente da função desse elemento no transporte do P através das membranas, pois a atividade da enzima ATPase na membrana é aumentada na presença de boro, o que facilita a absorção de outros nutrientes (Power & Woods, 1997).

As variáveis analisadas no cafeeiro conilon não foram influenciadas quando o fertilizante UPS foi submetido aos potenciais matriciais de -75kPa e -150 kPa, indicando que o conteúdo de água não influenciou o revestimento com polímero e enxofre quanto à solubilização do fertilizante.

Os polímeros propiciam condições de controle e sincronizam a liberação do N de acordo com as necessidades nutricionais das plantas ao longo do ciclo de cultivo (Blaylock, 2007). O tempo entre a liberação e a absorção de N pode levar à redução no custo da mão-de-obra nas culturas de café porque o fertilizante nitrogenado irá fornecer o nutriente ao longo do ciclo da planta do café atendendo os seus requisitos nutricionais (Azeem et al., 2014).

A quantidade de água adicionada ao solo influencia a magnitude das perdas de N, pouca água leva à solubilização da ureia, mas a difusão limitada do N no solo provoca elevadas perdas por volatilização (Liu et al., 2007). Contudo, a água em quantidade adequada contribui para reduzir perdas de N por volatilização (Holcomb et al., 2011), para a determinação da solubilidade do fertilizante e para a difusão de  $\text{NH}_4^+$  do perfil do solo, contribuindo para sua adsorção pelas partículas do solo e passivo de ser absorvido pelas plantas (Clay et al., 1990; Liu et al., 2007).

As variáveis área foliar, matéria seca da folha e matéria seca do caule foram analisadas ao longo do tempo, em função da aplicação das diferentes tecnologias em fertilizantes nitrogenados (Figura 1). Ao longo do tempo do experimento foi possível notar crescimento linear e significativo, com coeficientes de determinação maiores que 94 %.

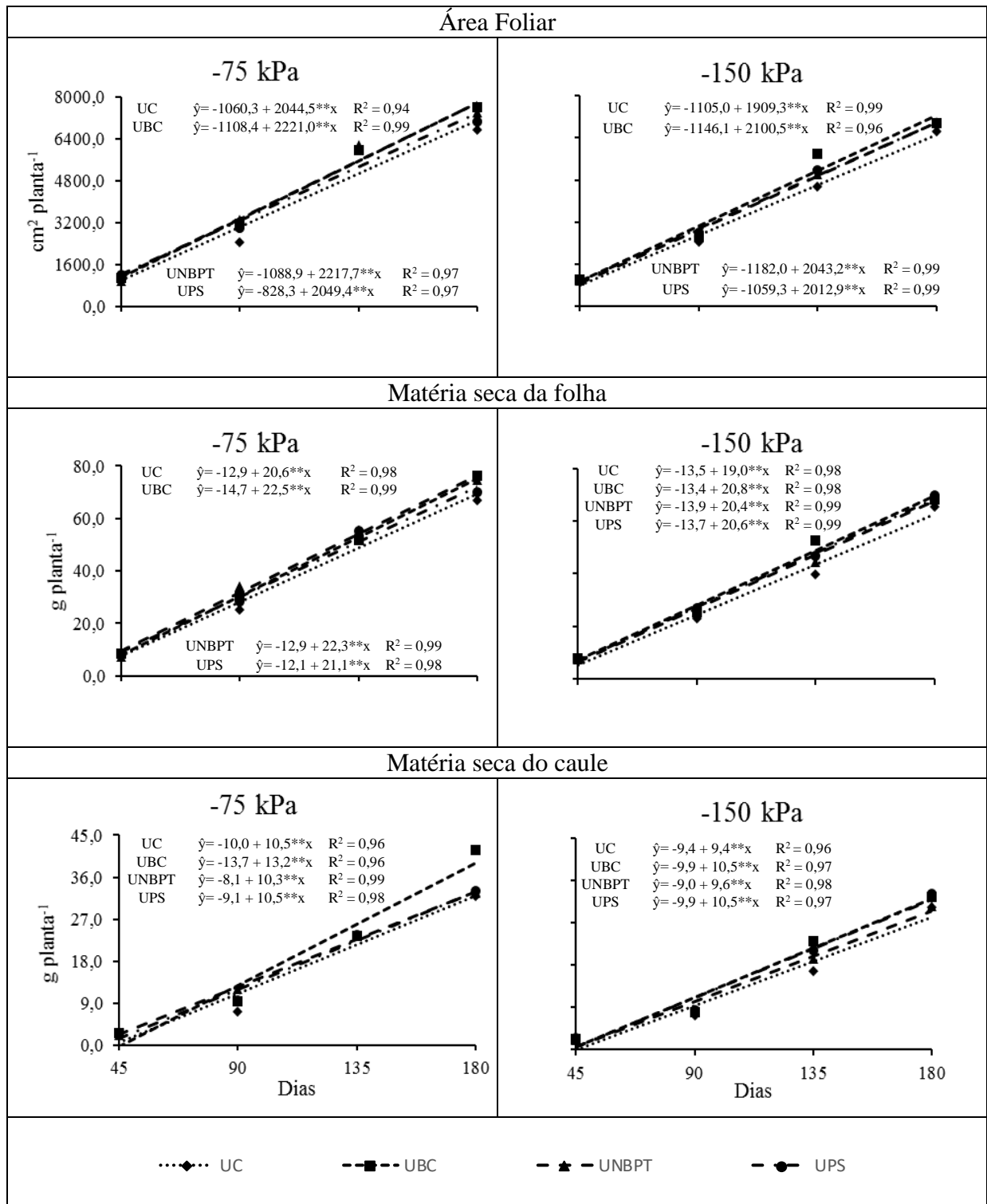


Figura 1 – Área foliar, matéria seca na folha e matéria seca no caule do cafeeiro, em função da aplicação das diferentes tecnologias em fertilizantes nitrogenados (ureia convencional - UC, ureia mais boro e cobre - UBC, ureia mais inibidor de urease - UNBPT e ureia recoberta com enxofre e polímero -UPS), dentro de cada potencial matricial ao longo do tempo.

Os tratamentos que receberam maior quantidade de água (-75 kPa) apresentaram maior área foliar, matéria seca da folha e matéria seca do caule, isso devido ao maior conteúdo de água proporcionar uma maior taxa de absorção de N pelas plantas, assim como uma menor perda por volatilização de nitrogênio. Esse comportamento já era esperado, pois o N está diretamente associado à síntese de aminoácidos, enzimas, vitaminas, hormônios, ácidos nucléicos e nucleotídeos, sendo assim, o desenvolvimento da área foliar e a fotossíntese dependem do seu suprimento (Taiz & Zeiger, 2004), e sua carência promove decréscimo no crescimento e produtividade das plantas (Bragança et al., 2008).

A concentração de N e P da folha e o conteúdo de N na matéria seca da folha apresentaram comportamento linear e significativo com a aplicação das diferentes tecnologias em fertilizantes nitrogenados dentro de cada potencial matricial ao longo do tempo (Figura 2). O modelo proposto ajustou-se bem aos dados com coeficientes de determinação acima de 68 %. Enquanto a concentração de N e P na folha apresentou redução, o conteúdo de N na matéria seca da folha apresentou acréscimo com o passar dos dias, demonstrando assim que houve efeito de diluição do nutriente à medida que a planta aumentou sua massa seca.

Esse efeito é caracterizado quando a taxa de crescimento relativo de matéria seca é superior à taxa de absorção relativa do nutriente (Maia et al., 2005). Para Fontes (2001), é importante conhecer os fatores capazes de influenciar a concentração de nutrientes na planta, pois em todos os métodos de interpretação do resultado da análise foliar usa-se a concentração do nutriente como referencial. Garcia et al. (2011) também constataram incremento significativo na massa de matéria seca e no N absorvido pelas plantas de café quando utilizaram ureia com tecnologia associada em comparação à ureia convencional.

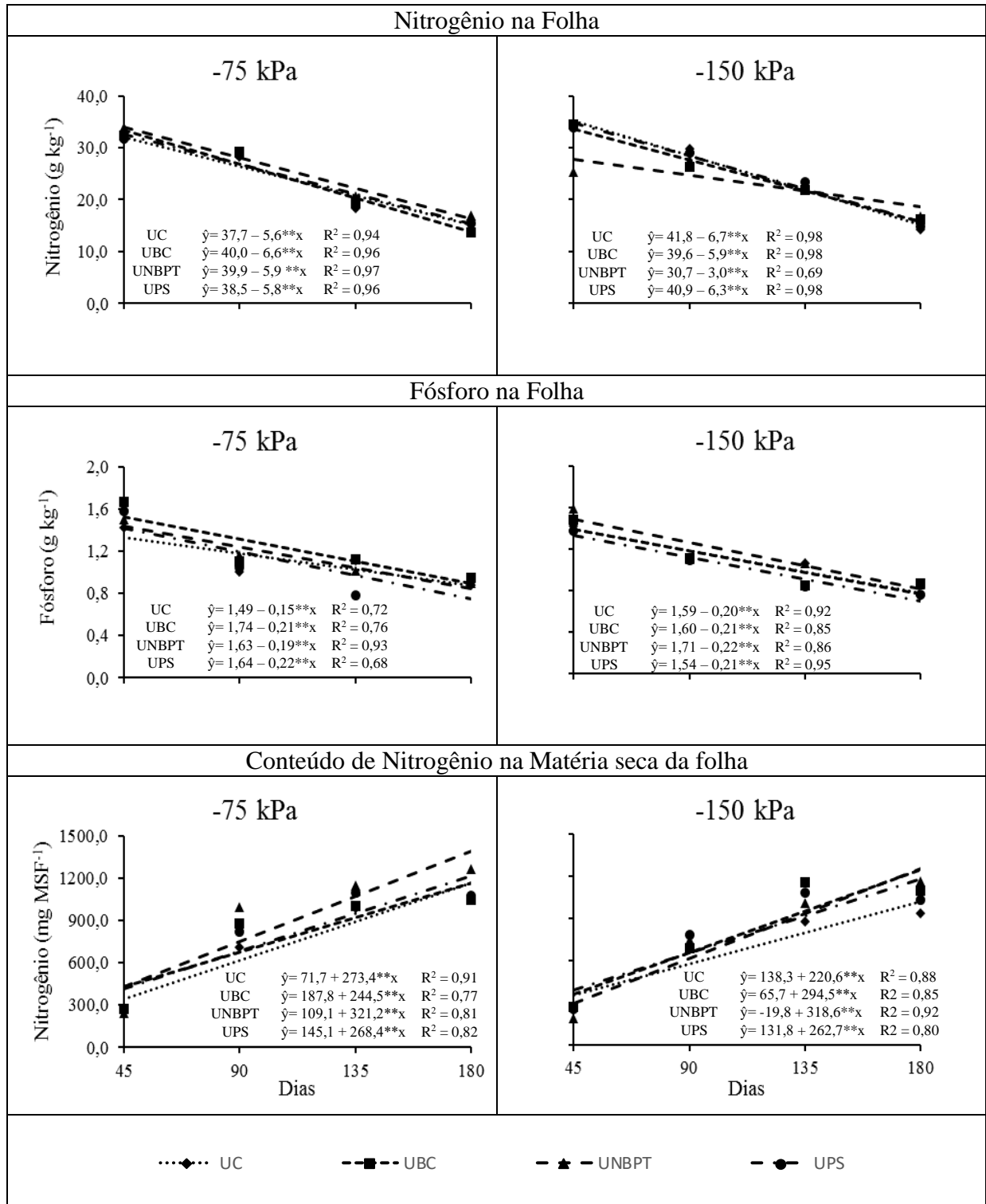


Figura 2 – Teor de nitrogênio e fósforo nas folhas e conteúdo de nitrogênio na matéria seca da folha do cafeeiro, em função da aplicação das diferentes tecnologias em fertilizantes nitrogenados (ureia convencional - UC, ureia mais boro e cobre - UBC, ureia mais inibidor de urease - UNBPT e ureia recoberta com enxofre e polímero -UPS), dentro de cada potencial matricial ao longo do tempo.



O índice relativo de clorofila (IRC) foi influenciado pela aplicação dos fertilizantes nitrogenados (Tabela 5). Antes das adubações, não houve diferença no IRC das plantas em função da aplicação dos fertilizantes nitrogenados, ou seja, as plantas encontravam-se uniformes.

Tabela 5 - Médias do índice relativo de clorofila (IRC) do cafeeiro conilon, em função da aplicação das tecnologias em fertilizantes nitrogenados, independente do potencial matricial ao longo do tempo

Fertilizantes	Clorofila total (IRC)									
	Antes	3 dias	9 dias	43 dias	49 dias	90 dias	135 dias	180 dias		
UC	44,50	45,99 b	46,44 b	68,23 b	61,17	59,77	48,87 b	39,13		
UBC	45,58	47,01 ab	48,62 ab	69,13 ab	61,61	59,85	49,26 b	38,86		
UNBPT	47,18	48,86 a	50,69 a	70,20 a	62,58	61,77	53,35 a	40,43		
UPS	45,34	45,55 b	48,53 ab	69,35 ab	61,49	59,35	50,81 ab	37,04		
CV (%)	5,45	3,34	3,76	1,69	2,54	4,77	4,09	7,21		

Médias seguidas por letras diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Médias que não apresentam letras, os tratamentos não diferem entre si. UC - ureia convencional; UBC - ureia + boro e cobre; UNBPT - ureia + inibidor de urease NBPT; UPS - fertilizante com ureia recoberta com polímero e enxofre.

Os fertilizantes nitrogenados apresentaram diferença quando o IRC foi avaliado dentro de cada análise ao longo do tempo. As análises realizadas no 3º, 9º, 43º e 135º dias apresentaram diferença entre as tecnologias em fertilizantes nitrogenados e a ureia convencional, em que o IRC das plantas que utilizaram o fertilizante UNBPT apresentaram as maiores médias (Tabela 5). De uma maneira geral, as plantas apresentaram diferença no IRC nas épocas próximas à adubação nitrogenada, e o NBPT, por se mostrar eficiente em retardar o pico de hidrólise da ureia, permitiu que as plantas fizessem um maior aproveitamento do nitrogênio disponível.

As funções do N na síntese de aminoácidos, enzimas, vitaminas, hormônios, ácidos nucleicos e nucleotídeos são bastante discutidas e o desenvolvimento da área foliar e a fotossíntese dependem do seu suprimento. Sua carência promove deficiência na síntese de clorofila, resultando em clorose das folhas e decréscimo na produtividade (Bragança et al., 2008).

Devido às adubações realizadas (plantio e 40 dias após) com as diferentes tecnologias em fertilizantes nitrogenados, o IRC teve comportamento crescente até os 43 dias, respondendo à adubação nitrogenada, decrescendo a partir desse ponto. Segundo Maia (2011), o índice relativo de clorofila é crescente com o tempo pelas adubações e resposta ao N aplicado, em

seguida é reduzido pela degradação das moléculas de clorofila, para transcolar o N para as regiões de crescimento ativo.

Os valores do IRC variaram significativamente quando os potenciais matriciais foram aplicados dentro de cada fertilizante nitrogenado (Tabela 6). Isso mostra que as tecnologias utilizadas neste estudo não conseguiram controlar a liberação do N em detrimento das condições diferenciadas de umidade. As plantas que foram submetidas a um maior potencial matricial (-75 kPa) obtiveram os maiores valores do IRC. A água ajuda na solubilização do fertilizante e, conseqüentemente, no seu transporte para camadas mais profundas do solo evitando perdas por volatilização, além de ser o veículo pelo qual as plantas absorvem os nutrientes. Além disso, a umidade do solo influencia diversos processos fisiológicos nas plantas, considerando o seu efeito direto sobre o crescimento (Bonomo et al., 2013).

Tabela 6 - Médias do índice relativo de clorofila do cafeeiro conilon, em função da aplicação das tecnologias em fertilizantes nitrogenados dentro de cada potencial matricial ao longo do tempo

Fertilizantes	Potencial matricial (kPa)	Dias							
		Antes	3°	9°	43°	49°	90°	135°	180°
Clorofila total (IRC)									
UC	-75	44,40	47,41 a	47,96	68,54	61,24	58,43	54,73 a	43,10 a
	-150	44,60	44,58 b	44,93	67,93	61,10	61,12	43,02 b	35,16 b
UBC	-75	43,99	46,77	47,91	69,29	62,04	59,03	45,19 b	38,18
	-150	47,17	47,26	49,34	68,98	61,20	60,68	53,34 a	39,56
UNBPT	-75	48,69	51,58 a	52,90 a	70,76	63,22	63,37	56,42 a	42,23
	-150	45,68	46,15 b	48,47 b	69,65	61,94	60,17	50,28 b	38,63
UPS	-75	45,71	47,71 a	49,61	69,22	61,33	61,62	52,27	37,18
	-150	44,96	43,39 b	47,45	69,48	61,65	57,09	49,36	36,91

Médias seguidas por letras diferentes na coluna dentro de cada fertilizante, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Médias que não apresentam letras os tratamentos não diferem entre si. UC - ureia convencional; UBC - ureia + boro e cobre; UNBPT - ureia + inibidor de urease NBPT; UPS - fertilizante com ureia recoberta com polímero e enxofre.

Não houve correlação dos dados do IRC com o teor de N na folha nem com o conteúdo de N na matéria seca da folha, isso devido às mensurações não terem sido feitas no momento da coleta das folhas para análise. Resultados de Lima Filho et al. (1997) demonstram correlações significativas entre o IRC e os teores de clorofila de folha de cafeeiro cv. Catuaí Amarelo,

com 12 meses de idade, verificando também correlação com a concentração de N foliar. Resultados semelhantes foram obtidos por Torres Netto et al. (2005) em folhas de *Coffea canephora* Pierre e por Reis et al. (2006) em folhas de *Coffea arabica* L.

A correlação entre o IRC e o teor de N é atribuída, principalmente, ao fato de que 50 a 70 % do N total das folhas serem integrantes do conteúdo de clorofila das folhas (Chapman e Barreto, 1997). Contudo, quando as avaliações são realizadas poucos dias após o fornecimento de N, a planta pode apresentar grande alteração no conteúdo de N foliar, sem que este esteja incorporado às moléculas de clorofila. De acordo com Silva et al. (2009), os valores de IRC estão representados pela leitura em uma única folha indicadora, enquanto o N da matéria seca e o N acumulado representam uma estimativa da quantidade total de N presente na fitomassa da parte aérea, o que pode resultar em baixos índices de correlação. Além disso, o IRC não responde ao consumo de luxo de N pela planta e a correlação entre o IRC e a concentração de N pode não ocorrer (Godoy et al., 2008).

#### **4. CONCLUSÕES**

As variáveis área foliar (8,8 %), matéria seca na folha (9,7 %), matéria seca no caule (11,8 %) e conteúdo de N na matéria seca na folha (12,9 %) foram influenciadas pelas tecnologias em fertilizantes nitrogenados quando comparadas à ureia convencional, influenciando positivamente no crescimento inicial e na nutrição do cafeeiro conilon.

A UC, UBC e UNBPT foram influenciadas pelo potencial matricial de -75 kPa apresentando melhores resultados para as variáveis analisadas.

A UPS não foi influenciada pela variação do potencial matricial do solo utilizado.

O índice relativo de clorofila do cafeeiro conilon foi influenciado pela tecnologia aplicada no fertilizante nitrogenado, em que a UNBPT e a UPS apresentaram os maiores resultados.

#### **5. REFERÊNCIAS**

- Antil RS, Gupta AP, Narwal RP. Effect of substrate concentration, soils tures and organic amendments on urease activity of soil containing variable amnoicuknetls. *Arid Soil Res. Rehab.*, 7:381- 387, 1993.
- Azeem B, KuShaari K, Man ZB, Basit A, Thanh TH. Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer. *Journal of Controlled Release*. 181:11-21, 2014.

- Blaylock A. Novos Fertilizantes nitrogenados: O futuro dos fertilizantes nitrogenados de liberação controlada. *Informações Agronômicas*, 120:8-10, 2007.
- Bonomo DZ, Bonomo R, Partelli FL, Souza JM, Magiero M. Desenvolvimento vegetativo do cafeeiro Conilon submetido a diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 7:157-169, 2013.
- Borsari F. Fertilizantes inteligentes. *Agro DBO*. p 54-57, 2013.
- Bouwmeester RJB, Vlek PLG, Stumpe JM. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from a urea-fertilized soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49:376-381, 1985.
- Bragança SM, Martinez HEP, Leite HG, Santos LP, Sedyama CS, Alvarez VVH, Lani JA. Accumulation of Macronutrients for the Conilon Coffee Tree. *Journal of plant Nutrition*, 31:103-120, 2008.
- Braun H, Coelho FS, Silva MCC, Fontes PCR, Cecon PR, Busato C. Absorção, metabolismo e diagnóstico do estado de nitrogênio em plantas de batata. *Rev. Cienc. Agrar.*, 56: 185-195, 2013.
- Bremner JM, Mulvaney RL. Urease activity in soils. In: Burns RG. (ed) *Soil enzymes*. New York: Academic Press, 1978. p. 149-196.
- Bruno IP, Unkovich MJ, Bortolotto RP, Bacchi OOS, Dourado-Neto D, Reichardt K. Fertilizer nitrogen in fertigated coffee crop: absorption changes in plant compartments over time. *Field Crops Research*, 124:369-377, 2011.
- Cantarella H. Efficient use of N in new fertilizer products. In: *NITROGEN CONFERENCE*, 4., Costa do Saúpe, 2004. *Anais... Costa do Saúpe*, 44 p. 2007a.
- Cantarella H. Nitrogênio. In: Novais RF, Alvarez VVH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL., eds. *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007b. p.375-470.
- Chagas PHM, Gouveia GCC, Costa GGS, Barbosa WFS, Alves AC. Volatilização de amônia em pastagem adubada com fontes nitrogenadas. *Revista de Agricultura Neotropical*, 4:76-80, 2017.
- Chapman SC, Barreto HJ. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. *Agronomy Journal*, 89:557-562, 1997.
- Chitolina JC. Fertilizantes de lenta liberação de N: conceitos. *Uréia coberta com enxofre*. Piracicaba: ESALQ/USP, 1994. 16p.

- Civardi EA, Silveira Neto AN, Ragagnin VA, Godoy ER, Brod E. Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 41:52-59, 2011.
- Clay DE, Malzer GL, Anderson JL. Ammonia volatilization from urea as influenced by soil temperature, soil water content, and nitrification and hydrolysis inhibitors. *Soil Science Society of America Journal* 54: 263-266, 1990.
- Coelho FS, Fontes PCR, Finger FL, Cecon PR. Avaliação do estado nutricional do nitrogênio em batateira por meio de polifenóis e clorofila na folha. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47: 584-592, 2012.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: quarto levantamento safra café 2017 dezembro/2017. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_12\\_21\\_13\\_05\\_55\\_cafe\\_dezembro.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_12_21_13_05_55_cafe_dezembro.pdf). Acesso em: 27 dez. 2017.
- Dominghetti AW, Guelfi DR, Guimarães RJ, Caputo ALC, Spehar CR, Faquin V. Nitrogen loss by volatilization of nitrogen fertilizers applied to coffee orchard. *Ciênc Agrotec.*, 40:173–183, 2016.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: EMBRAPA, 1999. 370p.
- Espíndula MC, Rocha VS, Souza MA, Campanharo M, Paula GS. Rates of urea with or without urease inhibitor for topdressing wheat. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 73:160-167, 2013.
- Espíndula MC, Rocha VS, Souza MA, Campanharo M, Pimentel AJB. Urease inhibitor (NBPT) and efficiency of single or Split application of urea in wheat crop. *Revista Ceres*, 61:273-79, 2014.
- Fontes PCR. Diagnóstico do estado nutricional das plantas. Viçosa: UFV, 2001. 122p.
- Frazão JJ, Silva ÁR, Silva VL, Oliveira VA, Corrêa RS. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18:1262–1267, 2014.
- Garcia ALA, Padilha L, Garcia AWR, Mendes ANG, Carvalho CHS. Efeito da uréia com inibidor de urease no crescimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *Coffee Science*, 6:1-7, 2011.

- Godoy LJV, Santos TS, Villas Bôas RL, Leite Júnior JB. Relative chlorophyll index and nitrogen status of fertigated coffee plants during the crop season. *R Bras Ciênc Solo*. 32:217–226, 2008.
- Holcomb JC, Sullivan DM, Horneck DA, Clough GH. Effect of irrigation rate on ammonia volatilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 75:446–452. 2011.
- INSTITUTO CAPIXABA DE ASSISTENCIA TECNICA E EXTENSÃO RURAL – INCAPER. 2017. Disponível em: <<https://incaper.es.gov.br/cafeicultura-conilon>>. Acesso em: nov. 2017.
- Johansson G. Chemical fixation of ammonia to soil organic matter after application of urea. *Acta Agric.*, 48:73-78, 1998.
- Johnson CM, Ulrich A. Analytical methods for use in plants analyses. Los Angeles: University of California, 1959. p. 32-33 (Bulletin, 766).
- Kissel DE, Cabrera ML, Vaio N, Craig JR, Rema JA, Morris LA. Forest floor composition and ammonia loss from urea in a loblolly pine plantation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73:630-637, 2009.
- Krajewska B. Ureases I. functional, catalytic and kinetic properties: a review. *Journal of Molecular Catalysis*. 59:9-21, 2009.
- Lima Filho OF, Malavolta E, Cabral CP. Avaliação preliminar de um medidor portátil de clorofila como ferramenta para o manejo da adubação nitrogenada do cafeeiro. *Braz. Arq. Biol. Technol.*, 40:642-650, 1997.
- Lima LC, Gonçalves AC, Fernandes ALT, Silva RO, Lana RMQ. Crescimento e produtividade do cafeeiro irrigado, em função de diferentes fontes de nitrogênio. *Coffee Science*, 11:97-107, 2016.
- Liu G, Li Y, Alva AK. High water regime can reduce ammonia volatilization from soils under potato production. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 38:1203-1220, 2007.
- Maia CE, Morais ERC, Porto Filho FQ, Gheyri RH, Medeiros JF. Teores foliares de nutrientes em meloeiro irrigado com águas de diferentes salinidades. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9:292- 295, 2005.
- Maia SCM. Uso do clorofilômetro portátil na determinação da adubação nitrogenada de cobertura em cultivares de feijoeiro [dissertação]. Botucatu, SP: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista; 2011, 86 f.
- Malavolta E, Yamada T, Aroaldo J. Nutrição e adubação do cafeeiro. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1981. 226 p.

- Malavolta, E. Manual de nutrição mineral de plantas. Piracicaba: Editora Ceres, 2006. 631p.
- Marques MG. Transformações do carbono e do nitrogênio no solo e produção de aveia com o uso de dejetos de suínos em plantio direto [dissertação]. Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Maria; 2005, 83p.
- Martinez HEP, Clemente JM, Lacerda JS, Neves YP, Pedrosa, AW. Nutrição mineral do cafeeiro e qualidade da bebida. *Revista Ceres*. 61:838-848, 2014.
- Moyo CC, Kissel DE, Cabrera ML. Temperature effects on soil urease activity. *Soil Biology and Biochemistry*. 21:935-938, 1989.
- Novais, RF, Neves JCL, Barros NF. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira AJ, Garrido WE, Araújo JD, Lourenço S. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. EMBRAPA-SAE, Brasília, 1991. p.189-254.
- O'Connor MJ, Hendrickson LL. Effect of phenylphosphorodiamidate on ammonia volatilization as affected by soil temperature and rates and distribution of urea. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:1062-1066, 1987.
- Reis AR, Furlani Junior E, Buzetti S, Andreotti M. Diagnóstico da exigência em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. *Bragantia*, 65:163-171, 2006.
- Rodrigues JO, Partelli FL, Pires FR, Oliosio G, Espindula MC, Monte JA. Volatilização de amônia de ureias protegidas na cultura do cafeeiro conilon. *Coffee Science*, 11:530-537, 2016.
- Sangoi L, Ernani PR, Lech VA, Rampazzo C. 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*, 33:687-692, 2003.
- Schneiders M, Scherer HM. Fixation and release of ammonium in flooded rice soils as affected by redox potential. *Eur. J. Agron.*, 8:181-189, 1998.
- Scivittaro WB, Gonçalves DRN, Vale MLC, Ricordi VG. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e resposta do arroz irrigado à aplicação de ureia tratada com o inibidor de urease NBPT. *Ciência Rural*, 40:1283-1289, 2010.
- Silva DF, Pegoraro RF, Maia VM, Kondo MK, Souza GLOD, Mota MFC. Volatilização de amônia do solo após doses de ureia com inibidores de urease e de nitrificação na cultura do abacaxi. *Revista Ceres*, 64:327-335, 2017.
- Silva RVMM, Rossiello ROP, Junior ÉB, Morenz MJF. Relação entre o acúmulo foliar de nitrogênio e as leituras de um clorofilômetro, no capim Tifton 85. In: Encontro Latino

- Americano de Iniciação Científica, 13.; Encontro Latino Americano de Pós-graduação, 9., 2009, Paraíba. **Anais...** Paraíba: Universidade do Vale do Paraíba, 2009. p. 1-3.
- Stafanato JB, Goulart RS, Zonta E, Lima E, Mazur, N.; Pereira, C. G.; Souza, H. N. Volatilização de amônia oriunda de ureia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. *R. Bras. Ci. Solo*, 37:726-732, 2013.
- Taiz L, Zeiger E. *Fisiologia vegetal*. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.
- Tasca FA, Ernani PR, Rogeri DA, Gatiboni LC, R Cassol, PC. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 35:493-502, 2011.
- Tedesco MJ, Gianello C, Bissani CA, Bohnen H, Volkweiss SJ. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p. (Boletim Técnico, 5)
- Teixeira PC, Donagema GK, Fontana A, Teixeira WG. (Org.). *Manual de métodos de análise de solos*. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2017. 573p.
- Torres Neto A, Campostrini E, Oliveira JG, Bressan Smith, RE. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Sci. Hortic.*, 104:199-209, 2005.
- Vitti GC, Tavares Jr JR, Luz PHC, Favarin JL, Costa CG. Influência da mistura de sulfato de amônio com uréia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. *R. Bras. Ci. Solo*, 26: 663-671, 2002.
- Whitehurst GB, Whitehurst BH. 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.
- Yin XY, Lantinga EA, Schapendonk, AHCM, Zhong X. Some quantitative relationships between leaf area index and canopy nitrogen content and distribution. *Annals of Botany*, 91: 893-903, 2003.
- Zavaschi E, Faria LA, Vitti GC, Nascimento CAC, Moura TA, Vale DW, Mendes FL, Kamogawa, MYR. Ammonia volatilization and yield components after application of polymer-coated urea to maize. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38:1200- 1206, 2014.



**APÊNDICE**

Quadro 1 – Análise de variância da área foliar (Área F.), matéria seca da folha (MSF), matéria seca do caule (MSC), nitrogênio na folha (NF), fósforo na folha (PF) e conteúdo de nitrogênio na folha (Cont. N) em função da aplicação dos fertilizantes nitrogenados (F), formas de aplicação (A) e potenciais matriciais ( $\Psi_m$ )

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio do Resíduo					
		Área F.	MSF	MSC	NF	PF	Cont. N
Bloco	2	290739	21,3	24,2	6,6	0,013	4863
Tempo (T)	3	204000189**	20310**	5371,3**	1682**	2,336**	4005175**
Resíduo (a)	6	85500	7,8	6,1**	7,3	0,013	6693
Fertilizante (F)	3	1819743**	199,8**	37,9**	22,3**	0,040*	205718**
Potencial ( $\Psi_m$ )	1	3619265**	330,6**	82,8	1,8	0,023	75014**
F* $\Psi_m$	3	103464	24,6	8,9	13,9*	0,035	17170
T* F* $\Psi_m$	9	172510	22,1	10,9*	12,6**	0,020	11013
Resíduo (b)	68	177201	17,5	5,8	4,8	0,014	8488
CV 1 (%)		7,29	7,39	15,41	11,28	10,41	10,82
CV 2 (%)		10,49	11,07	14,91	9,17	10,90	12,19

\*\* , \* significativo a 1 e 5 % respectivamente pelo teste F.

Quadro 2 – Análise de variância do índice relativo de clorofila no cafeeiro conilon, em função da aplicação das tecnologias em fertilizantes nitrogenados (F) e potencial matricial ( $\Psi_m$ ) ao longo do tempo

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio do Resíduo							
		Antes	3 dias	9 dias	43 dias	49 dias	90 dias	135 dias	180 dias
Bloco	2	72,5**	2,3	6,3	1,4	8,4	6,8	9,4	7,2
Fertilizante	3	7,5	13,0*	18,0*	3,9	2,2	6,9	24,7**	11,7
$\Psi_m$ d/ F1	1	0,1	11,9*	13,8	0,6	0,1	10,8	47,9**	94,5**
$\Psi_m$ d/ F2	1	15,1	0,4	3,1	0,1	1,0	4,1	23,3**	2,9
$\Psi_m$ d/ F3	1	13,6	44,2**	29,5**	1,8	2,5	15,3	13,2**	19,4
$\Psi_m$ d/ F4	1	0,8	27,9**	7,0	0,1	0,1	30,8	2,9	0,1
Resíduo	14	6,2	2,4	3,3	1,4	2,5	8,2	4,3	7,8
CV (%)		5,45	3,34	3,76	1,69	2,54	4,77	4,09	7,21

F1 = ureia convencional (UC); F2 = ureia + boro e cobre (UBC); F3 = ureia + inibidor de urease (NBPT); F4 = ureia recoberta com polímero e enxofre (UPS); \*\*, \* significativo a 1 e 5 % respectivamente pelo teste F.

## CAPÍTULO 4

### TECNOLOGIAS EM FERTILIZANTES NITROGENADOS NA NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE *COFFEA CANEPHORA*

#### RESUMO

A elevada demanda de N pelo cafeeiro conilon e as perdas às quais a ureia está sujeita fazem com que seja imprescindível a busca por tecnologias que aumentem a eficiência da adubação nitrogenada. Sendo assim, novas tecnologias em fertilizantes nitrogenados estão sendo desenvolvidas no intuito de reduzir as perdas, e conseqüentemente aumentar o aproveitamento de nitrogênio pelas plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação das fontes nitrogenadas de liberação lenta e controlada submetidas a diferentes formas de aplicação na nutrição e produção do cafeeiro conilon. O experimento com café conilon foi realizado em campo e seguiu o delineamento em blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial 4 x 3, sendo quatro fertilizantes nitrogenados [ureia convencional (UC), ureia + boro e cobre (UBC), ureia + inibidor de uréase - NBPT (UNBPT) e ureia recoberta com polímero e enxofre (UPS)] e três formas de aplicação (100 % da adubação nitrogenada em única aplicação; 50 % da adubação nitrogenada aplicada na floração e 50 % na formação dos chumbinhos; e 65% da adubação nitrogenada aplicada na floração e 35 % na formação dos chumbinhos). As tecnologias em fertilizantes nitrogenados aplicados ao cafeeiro conilon produziram 17 sacas por hectare a mais quando comparado à ureia convencional. Não houve diferença entre as tecnologias em fertilizantes nitrogenados ao avaliar a produtividade e a concentração de N e P nas folhas do cafeeiro conilon. As formas de aplicação, de cada fertilizante nitrogenado, não influenciaram a produtividade e a nutrição do cafeeiro conilon.

**Palavras-chave:** nitrogênio, ureia, café conilon, parcelamento de N.

## CHAPTER 4

### TECHNOLOGIES IN NITROGEN FERTILIZERS IN THE NUTRITION AND PRODUCTION OF *COFFEA CANEPHORA*

#### ABSTRACT

The high demand of N by conilon coffee and the losses to which urea is subject makes it imperative to search for technologies that increase the efficiency of nitrogen fertilization. Thus, new technologies in nitrogen fertilizers are being developed in order to reduce losses, and consequently increase nitrogen utilization by plants. The objective of this study was to evaluate the application of nitrogen sources of slow and controlled release submitted to different forms of application in nutrition and coffee conilon production. The experiment with conilon coffee was conducted in the field and followed the randomized block design with 3 replicates, in a 4 x 3 factorial scheme, with 4 nitrogen fertilizers [conventional urea (UC), urea + boron and copper (UBC), urea + urease inhibitor – NBPT (UNBPT) and urea coated with sulfur and polymer (UPS)] and 3 forms of application (100% of the nitrogen fertilization in single application; 50% of the nitrogen fertilization applied in the flowering and 50% in the grains formation; and 65% of nitrogen fertilization applied in flowering and 35% in grains formation). Nitrogen fertilizer technologies applied to the coffee conilon produced 17 bags per hectare more when compared to conventional urea. There was no difference between N fertilizer technologies when evaluating the productivity and the concentration of N and P in the conilon coffee leaves. The application forms of each nitrogen fertilizer did not influence the productivity and nutrition of conilon coffee.

**Keywords:** nitrogen, urea, conilon coffee, split application of N.

## 1. INTRODUÇÃO

A estimativa da produção mundial de café da safra 2016/17 foi superior a 157 milhões de sacas (International Coffee Organization - ICO, 2017). A previsão da safra brasileira de 2017/18 é de 44,97 milhões de sacas, sendo 24 %, representada pela produção de café conilon, estimada em 10,72 milhões de sacas. O Estado do Espírito Santo é responsável por cerca de 55 % dessa produção (CONAB, 2017), desempenhando função relevante para o desenvolvimento social e econômico do estado.

Em relação à nutrição cafeeira (*Coffea canephora* Pierre ex A.Froehner), o N é o nutriente mais acumulado e o segundo mais exportado com a colheita, sendo que seu fornecimento adequado promove rápido crescimento vegetativo, proporcionando também maior produtividade (Bragança et al., 2008; Partelli et al., 2014).

A ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado no Brasil devido à alta concentração de N (44 – 46 %), baixo custo relativo e alta solubilidade (Tasca et al., 2011; Gurgel et al., 2016). Por outro lado, essa fonte de N tem apresentado problemas com a aplicação na superfície do solo, resultando em perdas por volatilização de amônia, decorrentes da ação da enzima urease (Scivittaro et al., 2010; Rodrigues et al., 2016).

A elevada demanda de N pelo cafeeiro conilon e as perdas de N as quais a ureia está sujeita faz com que seja imprescindível a busca por tecnologias que aumentem a eficiência da adubação nitrogenada. Uma alternativa é a utilização de fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada, como os de liberação lenta ou controlada, visando reduzir os processos de perdas do N por volatilização (Frazão et al., 2014).

Diversos trabalhos mostram efeito positivo da utilização de tecnologias associadas aos adubos nitrogenados. A adição de B e Cu à ureia apresenta redução nas perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub>, seja pelo seu poder de acidificar o solo, por atuar como substrato análogo à ureia, ou por bloquear o sítio ativo da enzima urease (Grohs et al., 2011; Stafanato et al., 2013; Dominghetti et al., 2016).

A utilização de ureia associada ao NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida), inibidor de urease mais utilizado, tem apresentado ótimos resultados (Krajewska, 2009; Cunha et al., 2011; Espindula et al., 2013). Em estudos realizados por Scivittaro et al. (2010), foi constatada redução de 88 % das perdas por volatilização em solo úmido com o tratamento da ureia com NBPT. Pereira et al. (2009), trabalhando com ureia tratada com inibidores da urease (NBPT), reduziram a volatilização de N em torno de 50 % em comparação com a ureia comum.

A ureia revestida também tem sido utilizada para diminuir as perdas por volatilização de  $N-NH_3$  e sincronizar a liberação de nitrogênio com a demanda das culturas (Cahill et al., 2010). Dentre as substâncias utilizadas no revestimento, polímeros e enxofre são as mais utilizadas, pois regulam o processo de liberação do nutriente, além de acidificar o solo, diminuindo a intensidade da hidrólise da ureia (Alvarez V. et al., 2007; Silva et al., 2012).

Existe o conceito generalizado entre técnicos e produtores que ao aumentar o número de parcelamento da adubação nitrogenada aumenta-se a eficiência do uso do N e reduzem-se as perdas. Entretanto, Bono et al. (2008) constataram que a aplicação de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na semeadura na forma de ureia recoberta possibilitou melhor utilização do N comparado ao parcelamento da dose em duas aplicações. Resultados de Boman e Battikhi (2007) registraram que a aplicação de fertilizante nitrogenado de liberação lenta em dose única foi 6 % mais eficiente no aproveitamento do N quando comparado à aplicação de fertilizantes solúveis aplicados em três parcelamentos.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação das fontes nitrogenadas de liberação lenta e controlada, submetidas a diferentes formas de aplicação, na nutrição e produção do cafeeiro conilon.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foi selecionado o Clone 02 de uma lavoura de *Coffea canéfora* Pierre, variedade “Incaper 8142 – Conilon Vitória”, localizada em  $20^{\circ}49'58''$  S e  $41^{\circ}24'51''$  O, não irrigada, com três anos de idade, situada na região sul do Estado do Espírito Santo, no município de Jerônimo Monteiro, sobre um Argissolo Vermelho Amarelo de textura média, com relevo forte ondulado, altitude de 330 m e espaçamento entre plantas de  $2,5 \times 1,5$  m (2666 plantas/ha). O clima da região, conforme classificação de Köppen, é do tipo “Cwa”, ou seja, tropical quente úmido, apresentando chuva mal distribuída ao longo do ano, com temperatura média de  $23,8^{\circ}$  C e precipitação total média de 1094 mm.

Na tabela 1 estão apresentadas a precipitação, em milímetros de chuva, e a temperatura média, em  $^{\circ}$ C, no município de Jerônimo Monteiro para os períodos de outubro de 2015 a setembro de 2017.

Amostras de solo da lavoura foram coletadas na projeção da copa, na profundidade de 0 – 20 cm para caracterização física e química do solo (Teixeira et al., 2017) em julho de 2015 e 2016 (Tabela 2).

Tabela 1. Precipitação em milímetros de chuva e temperatura média no município de Jerônimo Monteiro – ES para o período de outubro de 2015 a setembro de 2017

Mês/ano	1º ano (2016)		Mês/ano	2º ano (2017)	
	Precipitação (mm)	Temperatura Média (°C)		Precipitação (mm)	Temperatura Média (°C)
out/15	38	26,3	out/16	91,8	26,7
nov/15	126	30,5	nov/16	333	27,1
dez/15	152	31,0	dez/16	424	28,1
jan/16	183	30,1	jan/17	67	30,6
fev/16	43	32,4	fev/17	121,4	29,4
mar/16	127	30,4	mar/17	75	28,7
abr/16	28	29,6	abr/17	44	27,0
mai/16	14	25,3	mai/17	46	24,0
jun/16	85	22,3	jun/17	44	22,7
jul/16	0	22,6	jul/17	23	21,4
ago/16	0	24,7	ago/17	4	22,2
set/16	84	26,8	set/17	7	25,7

Tabela 2. Características físicas e químicas da lavoura (0 – 20 cm) do cafeeiro conilon

Características	julho/2015	julho/2016
Areia ( $\text{g kg}^{-1}$ ) <sup>1/</sup>	670	-
Silte ( $\text{g kg}^{-1}$ ) <sup>1/</sup>	60	-
Argila ( $\text{g kg}^{-1}$ ) <sup>1/</sup>	270	-
Densidade de partículas ( $\text{kg dm}^{-3}$ ) <sup>2/</sup>	2,66	-
Densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ) <sup>3/</sup>	1,11	1,10
pH-H <sub>2</sub> O <sup>4/</sup>	5,9	4,90
Al <sup>3+</sup> ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) <sup>5/</sup>	0,00	0,25
Ca <sup>2+</sup> ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) <sup>5/</sup>	2,64	2,27
Mg <sup>2+</sup> ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) <sup>5/</sup>	1,10	0,61
SB ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) <sup>6/</sup>	5,23	3,04
t ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) <sup>7/</sup>	5,23	3,29
H+Al ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) <sup>8/</sup>	3,16	5,44
T ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) <sup>9/</sup>	8,39	8,48
V (%) <sup>10/</sup>	62,88	35,81
m (%) <sup>11/</sup>	0,00	7,60
Na ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) <sup>12/</sup>	17,8	3,00
K ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) <sup>12/</sup>	552,17	57,00
P ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) <sup>12/</sup>	2,65	5,96
Matéria orgânica ( $\text{dag kg}^{-1}$ )	2,18	2,26

Método da pipeta; <sup>2/</sup>Método da proveta; <sup>3/</sup> Método do balão volumétrico <sup>4/</sup>Relação solo-água 1: 2,5; <sup>5/</sup>Extrator KCl 1 mol/L; <sup>6/</sup>Soma de bases; <sup>7/</sup>CTC efetiva; <sup>8/</sup>Extrator Ca(Oac)2 0,5 mol/L pH 7,0; <sup>9/</sup>CTC a pH 7,0; <sup>10/</sup>Porcentagem de saturação por bases; <sup>11/</sup>porcentagem de saturação por alumínio; <sup>12/</sup>Extrator Mehlich-1.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, seguindo um esquema fatorial 4 x 3 em que os fatores de estudo foram quatro fertilizantes nitrogenados (Ureia comercial - UC; Ureia + boro e cobre - UBC; Ureia + inibidor de uréase (NBPT) - UNBPT; e Ureia recoberta com polímero e enxofre - UPS); três formas de aplicação (100 % da adubação nitrogenada em uma única aplicação na floração; 50 % da adubação nitrogenada aplicada na floração e 50 % na formação dos chumbinhos; e 65% da adubação nitrogenada aplicada na floração e 35 % na formação dos chumbinhos), totalizando 12 tratamentos, sendo seis plantas de café por unidade experimental, com três repetições.

Os adubos nitrogenados foram aplicados por dois anos na superfície do solo sob a projeção da copa do cafeeiro conilon. A adubação com P e K foi realizada de acordo com Prezotti et al. (2007). Os tratos fitossanitários foram realizados de acordo com a necessidade da cultura. A adubação mineral de produção com N foi realizada para uma produtividade de 70 sacas/ha.

As análises foliares das plantas de café foram realizadas somente na safra 2016/2017, sendo realizadas cinco coletas (junho, agosto e outubro de 2016; março e maio de 2017). Foram coletados o 3º e 4º pares de folhas de ramos produtivos localizados à meia altura da planta, um par de cada lado da planta, para a determinação dos teores de nitrogênio total e fósforo (Malavolta et al., 1997).

A colheita foi iniciada quando a maior parte dos frutos (90%) estava maduro, para a determinação da produtividade de cada tratamento. Foram colhidos, lavados e pesados, separadamente, os frutos das quatro plantas centrais de cada tratamento. Posteriormente os índices de grãos maduros, verdes, boias e total foram determinados. Foi retirada uma amostra simples de 0,5 kg/planta das quatro plantas centrais formando uma amostra composta de 2 kg por tratamento. As amostras foram levadas para estufa de circulação forçada a 45 °C até obter umidade entre 11 e 12 % verificada por medidor de umidade modelo G800 da Gehaka AGRI e beneficiadas para obtenção da produtividade em sacas beneficiadas por hectare. A produtividade média dos grãos do cafeeiro conilon foi quantificada em kg por planta, e extrapolada para sacas por hectares, considerando o rendimento de 1/4 da produção total após o beneficiamento.

## **2.1. Análises estatísticas**

Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo os efeitos dentro dos fatores qualitativos (fertilizantes nitrogenados e a interação entre fertilizantes nitrogenados e forma



de aplicação) desdobrados em contrastes ortogonais e testados pelo teste F a 5 e 10 % de probabilidade.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Produtividade do cafeeiro conilon

A produtividade do cafeeiro conilon em função da aplicação dos fertilizantes nitrogenados, independente das formas de aplicação, de uma maneira geral, não apresentou diferença entre os tratamentos na safra de 2015/2016, referente ao primeiro ano de avaliação (Tabelas 3 e 4). A adubação realizada no primeiro ano de avaliação não apresentou diferença entre os tratamentos, provavelmente em função do tempo de avaliação ter sido muito curto.

Outro ponto a ser considerado é o momento das adubações, pois foram realizadas com o solo úmido devido a precipitações ocorridas antes e depois da aplicação dos tratamentos. Isso pode ter proporcionado condições adequadas para solubilização e incorporação de todos os fertilizantes, mascarando os resultados entre tecnologias e a própria ureia.

Tabela 3 – Médias da produção de grãos maduros, verdes, boias e total de café conilon em função da aplicação dos fertilizantes nitrogenados e formas de aplicação ao final de duas safras

Fertilizante	Forma	Produção de Grãos (kg planta <sup>-1</sup> )							
		1º ano (2015/2016)				2º ano (2016/2017)			
		maduro	verde	boia	total	maduro	verde	boia	total
UC	100%	3,889	0,678	0,167	4,733	2,856	0,634	0,192	3,682
	50/50%	2,761	0,147	0,278	3,186	2,024	0,512	0,286	2,822
	65/35%	4,263	0,532	0,477	5,272	2,038	0,372	0,146	2,556
	<b>média</b>	<b>3,638</b>	<b>0,452</b>	<b>0,307</b>	<b>4,397</b>	<b>2,306</b>	<b>0,506</b>	<b>0,208</b>	<b>3,020</b>
UBC	100%	3,960	0,607	0,367	4,933	4,879	0,958	0,402	6,239
	50/50%	3,618	0,204	0,662	4,484	3,405	0,199	0,162	3,766
	65/35%	3,487	0,321	0,500	4,308	2,573	0,307	0,208	3,088
	<b>média</b>	<b>3,688</b>	<b>0,377</b>	<b>0,510</b>	<b>4,575</b>	<b>3,619</b>	<b>0,488</b>	<b>0,257</b>	<b>4,364</b>
UNBPT	100%	3,608	0,373	0,371	4,352	4,193	0,401	0,304	4,898
	50/50%	2,874	0,410	0,572	3,857	2,766	0,308	0,190	3,264
	65/35%	3,396	0,279	0,446	4,120	3,709	0,253	0,333	4,296
	<b>media</b>	<b>3,293</b>	<b>0,354</b>	<b>0,463</b>	<b>4,110</b>	<b>3,556</b>	<b>0,321</b>	<b>0,276</b>	<b>4,152</b>
UPS	100%	4,071	0,772	0,326	5,169	4,532	0,686	0,385	5,603
	50/50%	4,633	0,527	0,354	5,514	3,778	0,569	0,353	4,701
	65/35%	3,684	0,302	0,301	4,288	4,291	0,370	0,402	5,063
	<b>média</b>	<b>4,130</b>	<b>0,534</b>	<b>0,327</b>	<b>4,990</b>	<b>4,201</b>	<b>0,541</b>	<b>0,380</b>	<b>5,122</b>

UC - ureia convencional; UBC - ureia + boro e cobre; UNBPT - ureia + inibidor de urease NBPT; UPS - fertilizante com ureia recoberta com polímero e enxofre.

Tabela 4 - Contrastes ortogonais (C) da produção de grãos maduros, verdes, boia e total do cafeeiro conilon ao final de duas safras, considerando os fertilizantes independente da forma de aplicação

Fertilizantes	C1	C2	C3
UC	-3	0	0
UBC	1	-2	0
UNBPT	1	1	-1
UPS	1	1	1
	Contrastes analisados		
Safr (2015/2016)			
Grãos Maduros	0,066 <sup>ns</sup>	0,023 <sup>ns</sup>	0,837 <sup>o</sup>
Grãos Verdes	-0,030 <sup>ns</sup>	0,066 <sup>ns</sup>	0,179 <sup>ns</sup>
Grãos Boia	0,126 <sup>ns</sup>	-0,115 <sup>ns</sup>	-0,136 <sup>ns</sup>
Total	0,161 <sup>ns</sup>	-0,025 <sup>ns</sup>	0,880 <sup>ns</sup>
Safr (2016/2017)			
Grãos Maduros	1,485*	0,259 <sup>ns</sup>	0,644 <sup>ns</sup>
Grãos Verdes	-0,056 <sup>ns</sup>	-0,056 <sup>ns</sup>	0,220 <sup>ns</sup>
Grãos Boia	0,096 <sup>ns</sup>	0,070 <sup>ns</sup>	0,104 <sup>ns</sup>
Total	1,526*	0,273 <sup>ns</sup>	0,970 <sup>ns</sup>

UC - ureia convencional; UBC - ureia + boro e cobre; UNBPT - ureia + inibidor de urease NBPT; UPS - fertilizante com ureia recoberta com polímero e enxofre; <sup>ns</sup> não significativo; \* e <sup>o</sup> significativo a 5 e 10 % respectivamente

Resultados de Martins et al. (2014) demonstram que a ureia revestida por polímeros apresentou desempenho semelhante ao da ureia comum, quando aplicada à superfície do solo em período com chuvas frequentes e suficientes para a imediata solubilização e incorporação de ambos os fertilizantes em camadas internas do solo.

A produtividade de *Coffea arabica* L., cultivar Topázio, não foi influenciada pelas fontes de N (Malta et al., 2003). Diante disso, Rodrigues et al. (2016) sugeriram que os experimentos conduzidos com espécies do gênero *Coffea* spp. sejam conduzidos por maior período, pelo menos quatro safras.

As tecnologias em fertilizantes nitrogenados, independente das formas de aplicação, apresentaram diferença ( $p \leq 0,05$ ) na produtividade de grão maduros, o que refletiu também na produção total do cafeeiro conilon na safra de 2017 quando comparado à UC (Tabelas 3 e 4). A produtividade de grãos maduros e total da safra de 2016/2017 em função da aplicação das tecnologias associadas aos fertilizantes nitrogenados foi de 42 e 51 sacas beneficiadas de café por hectare, enquanto com a aplicação da UC foi de apenas 26 e 34, respectivamente. Considerando o preço médio de venda entre agosto e dezembro de 2017 de R\$ 373,38, por saca de café conilon (CETCAF, 2018), a aplicação das tecnologias em fertilizantes

nitrogenados proporcionou renda bruta superior a UC de R\$ 5.974,08 e R\$ 6.347,46 por hectare, para grãos maduros e total, respectivamente.

A diferença de nove sacas beneficiadas de café por hectare na safra de 2017, quando comparada a 2016, pode ser explicada pela maior precipitação pluviométrica que ocorreu no ano de 2017, e com isso maior disponibilidade de água e nutriente para a produção do cafeeiro conilon (Tabela 1).

Freitas (2017), em seu trabalho, encontrou que a produtividade do cafeeiro, cuja adubação foi realizada com fertilizante nitrogenado com polímero e enxofre, produziu em média 11 sacas a mais quando comparado à ureia convencional.

Ao comparar as tecnologias em fertilizantes nitrogenados entre si pelos contrastes C2 e C3 na safra de 2017, não houve diferença entre os tratamentos na produtividade do cafeeiro conilon para todas as variáveis analisadas (Tabela 4).

Fagundes et al. (2015), avaliando a produtividade média do cafeeiro por cinco safras (2011 a 2016), verificaram que a aplicação de fertilizante com tecnologia associada proporcionou maior produtividade em comparação ao uso de formulado com N. Entretanto, Rodrigues et al. (2016) demonstram que a produtividade dos cafeeiros não é afetada pela utilização de ureias protegidas com NBPT, Cu + B e S, quando comparadas à ureia convencional. Lima et al. (2016), ao comparar a ureia convencional com fertilizantes nitrogenados com tecnologia associada em condição de sequeiro, demonstraram que na média de quatro safras não houve diferenças significativas entre as produtividades do cafeeiro.

As formas de aplicação avaliadas pelo contraste C4 (Tabela 5), dentro de cada fertilizante nitrogenado no primeiro e segundo ano de avaliação (Safras de 2015/2016 e 2016/2017), mostraram, de maneira geral, que não houve diferença na produção de grãos do cafeeiro conilon. Os dados sugerem que essas tecnologias não necessitam de parcelamento, podendo ser realizada uma única adubação, reduzindo os custos, principalmente com mão de obra.

A possibilidade de redução do parcelamento das adubações possibilita minimizar, em parte, os custos de produção (gastos com maquinário, combustível e mão de obra, por exemplo), além de poder ser um facilitador do manejo de lavouras, principalmente aquelas situadas em montanhas (Freitas, 2017).

Ao analisar as formas de aplicação, dentro de cada fertilizante nitrogenado na safra 2015/2016 pelo contraste C5 (50 %/50 % vs 65 %/35 %), o parcelamento realizado 65% da adubação nitrogenada aplicado na floração e 35 % na formação dos chumbinhos apresentou resultados superiores para a produção de grãos maduros e verde, o que refletiu na produção

total apenas quando o fertilizante UC foi aplicado na lavoura (Tabela 5). O fato pode estar associado à maior dose de ureia (65 %) aplicada no momento da floração associado à maior solubilidade da ureia, favorecendo a absorção pelas plantas, ao não abortamento das flores e sim a uma maior produção. Na safra de 2016/2017, as formas de aplicação não apresentaram diferença para nenhuma das variáveis relacionadas à produção do cafeeiro conilon comparadas pelo contraste C5.

Tabela 5 - Contrastes ortogonais (C) da produção de grãos maduros, verdes, boia e total do cafeeiro conilon ao final de duas safras, considerando as formas de aplicação dentro de cada fertilizante nitrogenado

Produção	C4				C5			
	UC	UBC	UNBPT	UPS	UC	UBC	UNBPT	UPS
Safra (2015/2016)								
G. Maduros	-0,376 <sup>ns</sup>	-0,408 <sup>ns</sup>	-0,473 <sup>ns</sup>	0,088 <sup>ns</sup>	1,502 <sup>o</sup>	-0,131 <sup>ns</sup>	0,521 <sup>ns</sup>	-0,949 <sup>ns</sup>
G. Verdes	-0,338 <sup>o</sup>	-0,344 <sup>o</sup>	-0,028 <sup>ns</sup>	-0,357 <sup>o</sup>	0,386 <sup>o</sup>	0,117 <sup>ns</sup>	-0,131 <sup>ns</sup>	-0,224 <sup>ns</sup>
G .Boia	0,210 <sup>ns</sup>	0,214 <sup>ns</sup>	0,138 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	0,199 <sup>ns</sup>	-0,163 <sup>ns</sup>	-0,126 <sup>ns</sup>	-0,053 <sup>ns</sup>
Total	-0,504 <sup>ns</sup>	-0,537 <sup>ns</sup>	-0,363 <sup>ns</sup>	-0,267 <sup>ns</sup>	2,086 <sup>o</sup>	-0,177 <sup>ns</sup>	0,263 <sup>ns</sup>	-1,227 <sup>ns</sup>
Safra (2016/2017)								
G. Maduros	-0,824 <sup>ns</sup>	-1,890 <sup>o</sup>	-0,955 <sup>ns</sup>	-0,498 <sup>ns</sup>	0,013 <sup>ns</sup>	-0,831 <sup>ns</sup>	0,943 <sup>ns</sup>	0,513 <sup>ns</sup>
G. Verdes	-0,192 <sup>ns</sup>	-0,705 <sup>o</sup>	-0,120 <sup>ns</sup>	-0,216 <sup>ns</sup>	-0,141 <sup>ns</sup>	0,107 <sup>ns</sup>	-0,055 <sup>ns</sup>	-0,199 <sup>ns</sup>
G .Boia	0,024 <sup>ns</sup>	-0,217 <sup>ns</sup>	-0,042 <sup>ns</sup>	-0,007 <sup>ns</sup>	-0,140 <sup>ns</sup>	0,047 <sup>ns</sup>	0,143 <sup>ns</sup>	0,048 <sup>ns</sup>
Total	-0,993 <sup>ns</sup>	-2,811 <sup>*</sup>	-1,118 <sup>ns</sup>	-0,721 <sup>ns</sup>	-0,266 <sup>ns</sup>	-0,678 <sup>ns</sup>	1,032 <sup>ns</sup>	0,363 <sup>ns</sup>

UC - ureia convencional; UBC - ureia + boro e cobre; UNBPT - ureia + inibidor de urease NBPT; UPS - fertilizante com ureia recoberta com polímero e enxofre; C4 = (100%) vs (50%/50%) + (65%/35%), (-2 vs 1+1); C5 = (50%/50%) vs (65%/35%), (-1 vs 1); ns não significativo; \* e ° significativo a 5 e 10 % respectivamente.

Quando se estuda a eficiência do N em parcelamentos, os resultados apresentam-se variados. Espindula (2014), em seu trabalho utilizando o trigo como cultura, não encontrou benefícios ao parcelar a adubação nitrogenada. Para Sainz Rozas et al. (2004), a recuperação do milho foi maior quando o N foi aplicado todo na semeadura quando comparado com a aplicação no estádio V6.

Hyatt et al. (2010) não observaram diferença na produtividade de batata entre o uso de fertilizante recoberto com polímero aplicado na semeadura, e ureia em aplicações parceladas. Girardi e Mourão Filho (2004) não encontraram diferenças no crescimento vegetativo da laranjeira ‘Valência’ quando a adubação única de uma fonte de ureia com tecnologia associada foi comparada à ureia convencional em quatro parcelamentos. Desta forma, a vantagem do fertilizante de liberação controlada estaria na redução do custo de produção pela eliminação das operações de parcelamento de N. Entretanto, Duete et al. (2009) e Martins et al. (2014) obtiveram maiores produtividades de grãos por meio do parcelamento da adubação

nitrogenada. Essas diferenças decorrem de diversos fatores, principalmente condições edafoclimáticas, tipo de fertilizante e, sobretudo, pelo sistema de cultivo.

### 3.2. Nutrição do cafeeiro conilon

A análise da concentração de N total e P total nas folhas do cafeeiro conilon foi realizada apenas na safra de 2016/2017, para evitar a influência de adubações anteriores ao início do experimento. De modo geral, as concentrações de N total e P total obtidas no presente trabalho estão próximas das encontradas na literatura quanto a N e inferiores em relação a P. A concentração de N total na folha do cafeeiro conilon, em função da aplicação dos fertilizantes nitrogenados, variou de 23,61 a 29,28 g kg<sup>-1</sup>, enquanto a fosfatada de 0,68 a 1,02 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 6).

Na literatura, as faixas críticas das concentrações de nutrientes nas folhas de cafeeiro variam bastante. Segundo Mills e Jones Junior (1996), a faixa crítica da concentração de N total está entre 23 e 30 g kg<sup>-1</sup> e a de P entre 1,2 e 2,0 g kg<sup>-1</sup>. Já para Malavolta et al. (1997) esses valores variam de 29 a 32 g kg<sup>-1</sup> de N, e de 1,6 a 1,9 g kg<sup>-1</sup> de P, respectivamente.

Tabela 6 - Médias da concentração de nitrogênio total e fósforo total nas folhas do cafeeiro conilon na safra de 2016/2017 em função da aplicação dos fertilizantes nitrogenados e formas de aplicação

Fases Fenológicas		Maturação dos frutos		Repouso e senescência		Chumbinho e expansão		Granação dos frutos		Maturação dos frutos	
Fertilizante	Forma de aplicação	jun/16		ago/16		out/16		mar/17		mai/17	
		N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
		-----g kg <sup>-1</sup> -----									
UC	100%	26,13	0,96	24,31	0,88	24,64	0,96	27,58	0,96	26,69	0,76
	50/50%	25,20	0,91	24,64	0,88	25,57	0,93	28,09	0,87	26,32	0,98
	65/35%	25,20	0,75	22,59	1,02	21,14	0,84	27,63	0,94	27,49	0,95
	<b>média</b>	<b>25,51</b>	<b>0,87</b>	<b>23,85</b>	<b>0,93</b>	<b>23,78</b>	<b>0,91</b>	<b>27,77</b>	<b>0,92</b>	<b>26,83</b>	<b>0,89</b>
UBC	100%	22,98	0,71	23,89	0,80	24,36	0,82	26,46	0,83	25,20	0,92
	50/50%	24,97	0,59	23,66	0,77	24,13	0,82	26,55	0,91	25,29	0,86
	65/35%	24,50	0,73	24,03	0,73	22,82	0,82	26,74	0,91	25,01	0,92
	<b>média</b>	<b>24,15</b>	<b>0,68</b>	<b>23,86</b>	<b>0,77</b>	<b>23,77</b>	<b>0,82</b>	<b>26,58</b>	<b>0,88</b>	<b>25,17</b>	<b>0,90</b>
UNBPT	100%	24,62	0,77	24,31	1,00	24,03	0,81	29,87	0,96	25,34	0,96
	50/50%	26,13	0,94	24,55	0,77	24,08	0,86	29,87	0,90	25,48	1,06
	65/35%	26,13	0,84	24,27	1,03	23,94	0,89	28,09	0,87	25,71	1,04
	<b>média</b>	<b>25,63</b>	<b>0,85</b>	<b>24,38</b>	<b>0,93</b>	<b>24,02</b>	<b>0,85</b>	<b>29,28</b>	<b>0,91</b>	<b>25,51</b>	<b>1,02</b>
UPS	100%	26,37	0,68	22,91	0,89	22,82	0,87	28,09	0,96	25,20	0,95
	50/50%	24,85	0,79	23,29	0,80	23,33	0,78	28,37	1,04	24,59	0,92
	65/35%	25,20	0,89	25,06	0,84	24,69	0,88	27,21	0,88	25,71	0,85
	<b>média</b>	<b>25,47</b>	<b>0,79</b>	<b>23,75</b>	<b>0,84</b>	<b>23,61</b>	<b>0,85</b>	<b>27,89</b>	<b>0,96</b>	<b>25,17</b>	<b>0,91</b>

A concentração de P total nas folhas do cafeeiro conilon em função da aplicação dos fertilizantes nitrogenados, independente da forma de aplicação, não apresentou diferenças (Tabela 7).

A concentração de N total nas folhas do cafeeiro conilon apresentou diferença em relação à aplicação das tecnologias em fertilizantes nitrogenados quando comparado à UC (contraste C1 - Tabela 7). A concentração de N total nas plantas que foram adubadas com UC foi superior apenas na 5ª análise, em maio de 2017, que coincide com o período de maturação dos frutos. Essa diferença deve-se ao fato de que a maior parte do N absorvido pela planta é proveniente do solo e não do fertilizante, uma vez que a UC é um fertilizante solúvel, rapidamente absorvido pela planta, não fazendo sentido apresentar diferença quatro meses após a última adubação realizada na lavoura. Dourado Neto et al. (2010), estudando 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.

Tabela 7 - Contrastes ortogonais (C) da concentração de nitrogênio e fósforo nas folhas do cafeeiro conilon na safra de 2017, considerando os fertilizantes independente da forma de aplicação.

Fertilizantes	C1	C2	C3
UC	-3	0	0
UBC	1	-2	0
UNBPT	1	1	-1
UPS	1	1	1
Contrastes analisados			
1ª análise (Maturação dos frutos - Junho 2016)			
Nitrogênio	-0,426 <sup>ns</sup>	1,403*	-0,161 <sup>ns</sup>
Fósforo	-0,102 <sup>ns</sup>	0,142 <sup>ns</sup>	-0,061 <sup>ns</sup>
2ª análise (Repouso e senescência - Agosto 2016)			
Nitrogênio	0,150 <sup>ns</sup>	0,202 <sup>ns</sup>	-0,622 <sup>ns</sup>
Fósforo	-0,079 <sup>ns</sup>	0,122 <sup>ns</sup>	-0,090 <sup>ns</sup>
3ª análise (Chumbinho e expansão - Outubro 2016)			
Nitrogênio	0,015 <sup>ns</sup>	0,046 <sup>ns</sup>	-0,404 <sup>ns</sup>
Fósforo	-0,070 <sup>ns</sup>	0,030 <sup>ns</sup>	-0,008 <sup>ns</sup>
4ª análise (Granação dos frutos - Março 2017)			
Nitrogênio	0,150 <sup>ns</sup>	1,999**	-1,384**
Fósforo	-0,006 <sup>ns</sup>	0,050 <sup>ns</sup>	0,050 <sup>ns</sup>
5ª análise (Maturação dos frutos - Maio 2017)			
Nitrogênio	-1,550**	0,171 <sup>ns</sup>	-0,342 <sup>ns</sup>
Fósforo	0,051 <sup>ns</sup>	0,063 <sup>ns</sup>	-0,111 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup> não significativo; \*\* e \* significativo a 1 e 5 % respectivamente.

Ao avaliarem o efeito da aplicação da ureia convencional e revestida com polímero na cultura do milho, em duas safras consecutivas, Maestrello et al. (2014), na primeira safra, não

encontraram diferenças no teor de N na folha, porém, na segunda safra a ureia convencional proporcionou as maiores médias no teor de N. Os autores atribuíram tal efeito à liberação mais rápida de N da ureia convencional em função do volume de chuva. Para Silva et al. (2012), fertilizantes com tecnologia associada podem conter uma camada muito grossa de revestimento com baixa permeabilidade que prejudica a liberação dos nutrientes para o solo e, portanto, sua disponibilidade para as plantas.

O encapsulamento influencia diretamente o mecanismo e a intensidade do processo de liberação de nutrientes. Características como a espessura, a natureza química da resina de revestimento, a quantidade de microfissuras na superfície do revestimento e o tamanho dos grânulos do fertilizante também contribuirão para determinar a taxa de liberação de nutrientes (Trenkel, 1997).

As tecnologias em fertilizantes nitrogenados foram comparadas entre si pelo contraste C2 (UBC vs UNBPT + UPS), em que foi possível observar diferença na concentração de N nas folhas do cafeeiro conilon na 1ª e na 4ª análise. As plantas que receberam os fertilizantes UNBPT e UPS apresentaram 5,8 e 7,5 % mais N na folha quando comparada a UBC na 1ª e na 4ª análise, respectivamente (Tabelas 6 e 7), sendo a 1ª análise realizada 10 dias após a colheita e a 4ª no período de granação dos frutos. Isso se deve ao maior poder em inibir a atividade da urease, e no controle na liberação do N relacionado à UNBPT e à UPS. Diversos trabalhos relatam a superioridade da UNBPT e da UPS quando comparados a fontes recobertas com boro e cobre (UBC) (Souza et al., 2012; Stafanato et al., 2013; Cancellier et al., 2016). A ureia tratada com NBPT, apesar de ser solúvel, é menos suscetível às perdas devido à inibição da urease pelo NBPT, o que atende à demanda imediata de N pela cultura, e a ureia associada ao polímero mais enxofre, libera o N gradualmente a médio e longo prazo (Guelfi, 2017).

Ao analisar o contraste C3 (UNBPT vs UPS) é possível observar que apenas a 4ª análise apresentou diferença entre as tecnologias em fertilizantes nitrogenados para a concentração de N nas folhas do cafeeiro conilon (Tabela 7). O fertilizante UPS foi 5 % mais eficiente que o fertilizante UNBPT em acumular N no tecido foliar do cafeeiro conilon.

Apesar das diferenças significativas apresentadas pelos contrastes C1, C2 e C3, quanto ao teor de N no tecido foliar, percebe-se que não houve significância em todas as análises ao longo do tempo. Presume-se então que apenas as fontes de N não foram responsáveis pelas alterações no teor de N foliar, uma vez que existem outros fatores que afetam a absorção de N pelo cafeeiro e as perdas de N nos solos. Segundo Ribeiro et al. (2016), os fertilizantes com

tecnologia associada não foram efetivos em aumentar a concentração e o teor foliar de N em plantas de café (*Coffea arabica* L.). Além disso, a ureia proporcionou maior conteúdo e concentração de N foliar nas plantas de café (*Coffea arabica* L.). Chagas et al. (2016), em seu trabalho com café, não encontraram diferenças na nutrição e no rendimento da colheita quando utilizaram ureia convencional e ureia recoberta com polímero e enxofre.

Ao analisar as formas de aplicação dentro de cada fertilizante nitrogenado individualmente foi possível observar, de maneira geral, que não houve diferenças nas concentrações de N e P nas folhas do cafeeiro conilon devido ao parcelamento das adubações, como apresentado pelos contrastes C4 e C5 (Tabela 8). Soratto et al. (2012), trabalhando com diferentes fontes e formas de parcelamento de N, não encontraram diferenças no teor de N, na altura de inserção da primeira espiga, na população final de plantas, no número de espigas por planta e no número de grãos por espiga no milho.

Tabela 8 - Contrastes ortogonais (C) da concentração de nitrogênio e fósforo nas folhas do cafeeiro conilon na safra de 2017, considerando as formas de aplicação dentro de cada fertilizante nitrogenado

Análise	Nutriente	C4				C5			
		UC	UBC	UNBPT	UPS	UC	UBC	UNBPT	UPS
Jun/2016	N	-0,933	2,667	1,525	1,342	0,000	-0,467	-0,017	0,350
	P	-0,125	-0,052	0,118	0,167	-0,163	0,150	-0,090	0,100
Ago/2016	N	-0,700	-0,047	0,093	1,260	-2,053	0,373	-0,280	1,773
	P	0,070	-0,057	-0,105	-0,065	0,133	-0,040	0,263	0,037
Out/2016	N	-1,283	-0,887	-0,023	1,190	-4,433*	-1,307	-0,140	1,353
	P	-0,076	0,005	0,069	-0,042	-0,093	-0,002	0,032	0,103
Mar/2017	N	0,280	0,187	-0,887	-0,303	-0,467	0,186	-1,773	-1,167
	P	-0,057	0,078	-0,083	0,001	0,067	0,003	-0,027	-0,170*
Mai/2017	N	0,210	-0,047	0,257	-0,047	1,167	-0,280	0,233	1,120
	P	0,207*	-0,030	0,093	-0,063	-0,027	0,060	-0,013	-0,073

C4 = (100%) vs (50%/50%) + (65%/35%), (-2 vs 1+1); C5 = (50%/50%) vs (65%/35%), (-1 vs 1); \* significativo a 5 %.

Os resultados do presente trabalho demonstram que o uso das tecnologias em fertilizantes nitrogenados comparadas à ureia convencional não apresentaram diferenças na nutrição do cafeeiro conilon. Esse fato é devido as condições de umidade e temperatura, no momento da aplicação, estarem adequadas para solubilizar os fertilizantes, pois os fertilizantes foram aplicados horas antes das chuvas. A imediata incorporação e proteção em camadas internas do solo da ureia convencional pela água foi primordial para a redução das perdas e maior aproveitamento de N pelas plantas. Com isso, o uso das tecnologias em fertilizantes



nitrogenados não revelou vantagens quando coincide com períodos chuvosos. Essas tecnologias são indicadas quando as condições climáticas tendem a favorecer a volatilização de amônia e conseqüentemente a perda de nitrogênio

Em relação ao que foi dito, é de se esperar que as tecnologias em fertilizantes nitrogenados, em condições de veranicos, apresentem melhores resultados quando comparados à ureia convencional. As condições de alta temperatura favorecem a hidrólise da ureia e, com isso, as perdas por volatilização de amônia. As tecnologias são desenvolvidas para atuar em condições adversas de umidade e temperatura; situações que favoreçam a solubilização do fertilizante e o seu carreamento para camadas mais profundas do solo provavelmente não apresentarão diferenças quando comparados à ureia convencional.

#### **4. CONCLUSÕES**

A produção do cafeeiro conilon foi influenciada pelas tecnologias aplicadas aos fertilizantes nitrogenados produzindo 17 sacas por hectare a mais quando comparado à ureia convencional.

Não houve diferença entre as tecnologias em fertilizantes nitrogenados ao avaliar a produtividade e a concentração de N total e P total nas folhas do cafeeiro conilon.

As formas de aplicação de cada fertilizante nitrogenado não influenciaram a produtividade e a nutrição do cafeeiro conilon.

#### **5. REFERÊNCIAS**

- Alvarez V. VH, Roscoe R, Kurihara CH, Pereira NF. Enxofre. In: Novais RF, Alvarez V. VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti, RB, Neves JCL. eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.595-646.
- Boman BJ, Battikhi AM. Growth, evapotranspiration, and nitrogen leaching from young lysimeter-grown orange trees. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133:350-358, 2007.
- Bono JAM, Rodrigues APDC, Mauad M, Aluquerque JC, Yamamoto CR, Chermouth KS, Freitas ME. Modo de aplicação de fertilizantes nitrogenados na qualidade fisiologia de sementes de milho. *Agrarian*, 1:91-102, 2008.
- Bragança SM, Martinez HEP, Leite HG, Santos RP, Sedyama CS, Venegas VHA, Lani JL. Accumulation of macronutrients for the Conilon coffee tree. *Journal of Plant Nutrition*, 31:103-120, 2008.

- Cahill S, Osmond D, Weisz R, Heiniger R. Evaluation of alternative nitrogen fertilizers for corn and winter wheat production. *Agronomy Journal*, 102:1226–1236, 2010.
- Cancellier EL, Silva DRG, Faquin V, Almeida BA, Cancellier LL, Spehar CR. Ammonia volatilization from enhanced-efficiency urea on no-till corn in Brazilian cerrado with improved soil fertility. *Ciência e Agrotecnologia*, 40:15-23, 2016.
- CETCAF - Centro de Desenvolvimento Tecnológico do Café. Cotação Anual de Preços de Café – 2017. Disponível em: < [http://www.cccv.org.br/imagens/gerais/2017\\_51c.pdf](http://www.cccv.org.br/imagens/gerais/2017_51c.pdf)>. Acesso em: 19 fev. 2018.
- Chagas WFT, Guelfi DR, Caputo ALC, Souza TL, Andrade AB, Faquin V. Ammonia volatilization from blends with stabilized and controlled-released urea in the coffee system. *Ciência e Agrotecnologia*, 40:497–509, 2016.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: quarto levantamento safra café 2017 dezembro/2017. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_12\\_21\\_13\\_05\\_55\\_cafe\\_dezembro.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_12_21_13_05_55_cafe_dezembro.pdf). Acesso em: 27 dez. 2017.
- Cunha PCR, Silveira PM, Ximenes PA, Souza RF, Nascimento JL. Fontes, formas de aplicação e doses de nitrogênio em feijoeiro irrigado sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 41:80-86, 2011.
- Dominghetti AW. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e convencionais na cultura do cafeeiro [tese]. Lavras: Universidade Federal de Lavras; 2016.
- Duete RRC, Muraoka T, Silva EC, Trevelin PCO, Ambrosano EJ. Viabilidade econômica de doses e parcelamentos da adubação nitrogenada na cultura do milho em Latossolo Vermelho Eutrófico. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.31, p.175-181, 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. 2ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 212 p., 1997.
- Espindula MC, Rocha VS, Souza MA, Campanharo M, Paula GS. Rates of urea with or without urease inhibitor for topdressing wheat. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 73:160-167, 2013.
- Espindula MC, Rocha VS, Souza MA, Campanharo M, Pimentel AJB. Urease inhibitor (NBPT) and efficiency of single or Split application of urea in wheat crop. *R Ceres*, 61:273-79, 2014.

- Fagundes AV, Paiva RF, Prada Neto I, Pinheiro TAT. 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.
- Frazão JJ, Silva ÁR, Silva VL, Oliveira VA, Corrêa RS. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18:1262–1267, 2014.
- Freitas T. Fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação lenta ou controlada na cultura do cafeeiro: eficiência e custos [dissertação]. Lavras: Universidade Federal de Lavras; 2017.
- Girardi EA, Mourão Filho FAA. Crescimento inicial de laranjeira “Valencia” sobre dois porta-enxertos em função da adubação nitrogenada no plantio. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26: 117-119, 2004.
- Grohs M, Marchesan E, Santos DE, Massoni PFS, Sartori GMS, Ferreira RB. Resposta do arroz irrigado ao uso de inibidor de urease em plantio direto e convencional. *Ci. Agrotec.*, 35:336-345, 2011.
- Guelfi D. Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada. *Informações Agronômicas*, 157:1-14, 2017.
- Gurgel GCS, Ferrari AC, Fontana A, Polidoro JC, Coelho LAM, Zonta E. Volatilização de amônia proveniente de fertilizantes minerais mistos contendo ureia. *Pesq. agropec. bras.*, 51:1686-1694, 2016.
- Hyatt CR, Venterea RT, Rosen CJ, Mcnearney M, Wilson ML, Dolan MS. Polymer-coated urea maintains potato yields and reduces nitrous oxide emissions in a Minnesota loamy sand. *Soil Science Society of America Journal*, 74:419-428, 2010.
- INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION - ICO. Coffee Market Report. October 2017. Disponível em: <http://www.ico.org/documents/cy2017-18/cmr-1017-e.pdf> . Acesso em: 27 dez. 2017.
- Krajewska B. Ureasas I. functional, catalytic and kinetic properties: a review. *Journal of Molecular Catalysis*. 59:9-21, 2009.
- Lima LC, Gonçalves AC, Fernandes ALT, Silva RO, Lana RMQ. Crescimento e produtividade do cafeeiro irrigado, em função de diferentes fontes de nitrogênio. *Coffee Science*, 11: 97-107, 2016.

- Maestrello PR, Buzetti S, Teixeira Filho MCM, Garcia CMP, Rodrigues MAC, Lino ACM, Andreotti M. Aplicação de ureia revestida em cobertura no milho irrigado sob sistema de semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 9:192-199, 2014.
- Malavolta E, Vitti GC, Oliveira SA. de. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- Malta MR, Nogueira FD, Guimarães PTG. Composição química, produção e qualidade do café fertilizado com diferentes fontes e doses de nitrogênio. *Ciência e Agrotecnologia*, 27:1246-1252, 2003.
- Martins IS, Cazetta JO, Fukuda AJF. Condições, modos de aplicação e doses de ureia revestida por polímeros na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 44:271-279, 2014.
- Mills HA, Jones Junior JB. *Plant analysis handbook II.2*. ed. Athens: Micro-Macro, 1996. 422 p.
- Partelli FL, Espindula MC, Marré WB, Vieira HD. Dry matter and macronutrient accumulation in fruits of conilon coffee with different ripening cycles. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38:14-222, 2014.
- Pereira HS, Leão AF, Verginassi A, Carneiro MAC. Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:1685-1694, 2009.
- Prezotti LC, Gomes JA, Dadalto GG, Oliveira JA. Manual de recomendação de Calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo - 5ª aproximação. Vitória, SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.
- Ribeiro VJ, Andrade FV, Passos RR, Mendonca ES, Silva LL, Sartori AF. Slow-release stabilized nitrogen fertilizers on initial development and nutrition of coffee plants (*Coffea arabica* L.). *Australian Journal of Crop Science*, 10:497-502, 2016.
- Rodrigues JO, Partelli FL, Pires FR, Olios G, Espindula MC, Monte JA. Volatilização de amônia de ureias protegidas na cultura do cafeeiro conilon. *Coffee Science*, 11:530-537, 2016.
- Sainz Rozas HR, Echeverría HE, Barbieri PA. Nitrogen Balance as Affected by Application Time and Nitrogen Fertilizer Rate in Irrigated No-Tillage Maize. *Agronomy Journal*, 96:1622-1631, 2004.
- Scivittaro WB, Gonçalves DRN, Vale MLC, Ricordi VG. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e resposta do arroz irrigado à aplicação de ureia tratada com o inibidor de urease NBPT. *Ciência Rural*, 40:1283-1289, 2010.

- Silva AA, Silva TS, Vasconcelos ACP, Lana RMQ. Aplicação de diferentes fontes de ureia de liberação gradual na cultura do milho. *Bioscience Journal*, 28:104-111, 2012.
- Soratto RP, Costa TAM, Fernandes AM, Pereira M, Maruyama WI. Parcelamento de fontes alternativas de nitrogênio no milho safrinha em sucessão à soja. *Revista de Ciências Agrárias*, 40:179-188, 2012.
- Souza HA, Cavalcante ACR, Pompeu R, Tonucci R, Natale W. Avaliação da eficiência agrônômica de fontes e doses de nitrogênio na cultura do milho em região Semiárida. In *Embrapa Caprinos e Ovinos-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 30.; Reunião Brasileira Sobre Micorrizas, 14.; Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo, 12.; Reunião Brasileira de Biologia do Solo, 9.; Simpósio Sobre Selênio No Brasil, 1., 2012, Maceió. A responsabilidade socioambiental da pesquisa agrícola: anais. Viçosa, MG: SBCS, 2012. 4 p. 1 CD-ROM.
- Stafanato JB, Goulart RS, Zonta E, Lima E, Mazur N, Pereira CG, Souza HN. Volatilização de amônia oriunda de ureia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. *R. Bras. Ci. Solo*, 37:726-732, 2013.
- Tasca FA, Ernani PR, Rogeri DA, Gatiboni LC, R Cassol, PC. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 35:493-502, 2011.
- Teixeira PC, Donagema GK, Fontana A, Teixeira WG. (Org.). *Manual de métodos de análise de solos*. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2017. 573p.
- Trenkel ME. Improving fertilizer use efficiency: controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. *International Fertilizer Industry Association*, Paris, 151p. 1997.

**APÊNDICE**

Quadro 1 - Análise de variância da produção de grãos Maduros, Verdes, Boia e Total do cafeeiro conilon ao final de duas safras, considerando os fertilizantes nitrogenados (F) e as formas de aplicação (A).

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio do Resíduo							
		Safra 2015/2016				Safra 2016/2017			
		Maduro	Verde	Boia	Total	Maduro	Verde	Boia	Total
Bloco	2	0,37	0,03	0,20*	1,11	24,32**	0,69°	0,12*	31,63**
Fertilizante	3	1,06	0,06	0,09	1,22	5,72°	0,08	0,04	6,80
A d/ F1	2	1,83	0,23*	0,07	3,52	0,68	0,05	0,01	1,04
A d/ F2	2	0,18	0,13	0,06	0,31	4,09	0,50	0,04	8,24°
A d/ F3	2	0,43	0,01	0,03	0,18	1,57	0,01	0,01	2,04
A d/ F4	2	0,68	0,16	0,01	1,20	0,44	0,07	0,01	0,61
Resíduo	22	1,06	0,07	0,05	1,61	2,00	0,25	0,03	2,99
CV (%)		28,0	59,96	58,16	28,12	41,39	108,09	64,46	41,58

F1 = ureia convencional (UC); F2 = ureia + boro e cobre (UBC); F3 = ureia + inibidor de urease (NBPT); F4 = ureia recoberta com polímero e enxofre (UPS); \*\*, \* e ° significativo a 1, 5 e 10 % respectivamente pelo teste F.

Quadro 2 - Análise de variância da concentração de nitrogênio e fósforo nas folhas do cafeeiro conilon na safra de 2017, considerando os fertilizantes nitrogenados (F) e as formas de aplicação (A)

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio do Resíduo									
		1ª análise		2ª análise		3ª análise		4ª análise		5ª análise	
		N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
Bloco	2	9,43**	0,023	0,52	0,089**	0,01	0,152*	4,46	0,054	3,75	0,059**
Fertilizante	3	10,9**	0,008	5,64	0,032	4,38	0,070	0,71	0,056	0,25	0,013
A d/ F1	2	0,24	0,006	1,06	0,043	0,87	0,035	3,65	0,018	16,38	0,012
A d/ F2	2	0,06	0,006	0,06	0,003	3,22	0,019	0,10	0,004	2,06	0,001
A d/ F3	2	3,14	0,007	0,10	0,008	2,32	0,020	0,06	0,063	0,01	0,005
A d/ F4	2	1,11	0,021	0,94	0,008	1,89	0,035	3,94	0,005	2,78	0,009
Resíduo	22	1,11	0,009	2,01	0,014	2,06	0,037	3,84	0,028	5,84	0,005
CV (%)		3,78	10,68	5,52	13,04	5,71	24,33	8,19	19,63	10,16	8,33

F1 = ureia convencional (UC); F2 = ureia + boro e cobre (UBC); F3 = ureia + inibidor de urease (NBPT); F4 = ureia recoberta com polímero e enxofre (UPS); \*\*, \* significativo a 1, 5 % respectivamente pelo teste F.