

VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA DE UREIAS PROTEGIDAS NA CULTURA DO CAFEIRO CONILON

José de Oliveira Rodrigues¹, Fábio Luiz Partelli², Fábio Ribeiro Pires³, Gleison Oliosi⁴, Marcelo Curitiba Espindula⁵, José Antônio Monte⁶

(Recebido: 29 de fevereiro de 2016; aceito: 29 de junho de 2016)

RESUMO: Dentre as fontes de nitrogênio (N) utilizadas na agricultura, a ureia é o fertilizante mais utilizado no Brasil. Todavia, apresenta problemas com a aplicação na superfície do solo devido às perdas de N por volatilização de amônia, decorrentes da ação da enzima urease. Objetivou-se determinar as perdas de N por volatilização de amônia e a produtividade de plantas de cafeeiro Conilon adubadas com ureias protegidas. O experimento foi instalado em Nova Venécia – ES, em lavoura comercial de café Conilon ‘Vitória INCAPER 8142’ com cinco fontes de fertilizantes nitrogenados: Ureia Comum-45% N (UC45), Ureia-45% N + NBPT (U45+NBPT), Ureia-44,6% N + 0,15% de Cu + 0,4% de B (U44,6+Cu+B), Ureia-37% N + 17% de S (U37+S) e Nitrato de Amônio-34% N (NA34). O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com cinco tratamentos e seis repetições. Foram instalados coletores de amônia, em cada parcela experimental, imediatamente após a aplicação dos fertilizantes. As ureias protegidas pelo inibidor NBPT e pelos micronutrientes Cu + B apresentam as menores perdas por volatilização em relação à ureia não protegida. O recobrimento da ureia com enxofre não proporciona redução das perdas de N por volatilização. A produtividade dos cafeeiros não é afetada pela utilização de ureias protegidas com NBPT, Cu + B e S, sob as condições estudadas.

Termos de indexação: Perdas de N-NH₃, nitrogênio, *Coffea canephora*.

AMMONIA VOLATILISATION FROM COATED UREA IN CONILON COFFEE CROP

ABSTRACT: Among the sources of nitrogen (N) used in agriculture urea is the most widely used fertilizer in Brazil. However, this source presents problems with the application on the soil surface due to N losses by NH₃ volatilisation, resulting from the action of the enzyme urease. This study aimed to determine the losses of nitrogen (N) by Ammonia volatilisation and yield of Conilon coffee plants fertilized with protected ureas. The experiment was installed in Nova Venécia – Espírito Santo state, Brazil, in commercial coffee farming Conilon ‘Vitória INCAPER 8142’ with five sources of nitrogen fertilizers: Common Urea-45% N (UC45), Urea-45% N + NBPT (U45+NBPT), Urea-44.6% N + 0.15% Cu + 0.4 % B (U44.6+Cu+B); Urea-37% N + 17% de S (U37+S), and Ammonium Nitrate-34% N (AN34). The experimental design was randomized blocks with five treatments and six replicates. Ammonia collectors were installed in each plot immediately after fertilizer application. Ureas protected by NBPT inhibitor and the Cu + B micronutrients have lower volatilisation losses in relation to unprotected urea. The coating of urea with sulfur does not provide reduced losses of N by volatilisation. The coffee yield is not affected by the use of protected ureas with NBPT, Cu + B and S under the conditions studied.

Index terms: N-NH₃ losses, nitrogen, *Coffea canephora*.

1 INTRODUÇÃO

O Nitrogênio (N) é o nutriente mais acumulado no fruto do cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre ex A.Froehner), tendo comportamento sigmoidal (PARTELLI et al., 2014), bem como em toda planta do cafeeiro Conilon, com 38% do total de macronutrientes distribuídos entre os diversos órgãos. Uma planta adulta, com seis anos de idade, acumula cerca de 250 g planta⁻¹ de N, o que equivale à imobilização de 554 kg ha⁻¹ de N. Do total de N acumulado, aproximadamente 29% são alocados

nas folhas; 24% no tronco + ramos ortotrópicos; 20% nas raízes; 17% nos frutos e 10% nos ramos plagiotrópicos (BRAGANÇA et al., 2008). Diante disso, é dada a importância para os fertilizantes nitrogenados.

A ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado no Brasil devido ao seu baixo custo relativo, alta solubilidade e pela boa assimilação dos produtos de sua hidrólise pelas plantas. Porém, esta fonte de N tem apresentado problemas com a aplicação em superfície do solo devido às perdas de N por volatilização na forma de amônia decorrentes da ação da enzima urease.

^{1,2,3}Universidade Federal do Espírito Santo/UFES - Centro Universitário Norte do Espírito Santo/CEUNES - Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas/DCAB - 29932-540 - Rodovia BR 101 Norte - km 60 - Bairro Litorâneo - São Mateus - ES rodrigolajinha@gmail.com, partelli@yahoo.com.br, pires.fr@gmail.com

⁴Universidade Federal do Espírito Santo/UFES - Centro Universitário Norte do Espírito Santo/CEUNES - Fazenda Experimental 29.932-540 - Rodovia BR 101 Norte - km 60 - Bairro Litorâneo - São Mateus - ES - gleison.oliosi@hotmail.com

⁵Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/EMBRAPA - Centro de Pesquisa Agroflorestal de Rondônia - BR 364 - km 5,5 Zona Rural - Cx. P. 127 - 76.815-800 - Porto Velho - Rondônia - marcelo.espindula@embrapa.br

⁶Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro/UFRRJ - Departamento de Fitotecnia - Instituto de Agronomia - BR 465 - km 7 23.890-000 - Seropédica - RJ jam1agr@yahoo.com.br

As perdas de N por volatilização de amônia (N-NH₃) são influenciadas principalmente por condições climáticas, tais como ventos e temperatura do ar (MALHI et al., 2001), e condições do solo, tais como classe de solo (VALE; SOUSA; SCIVITTARO, 2014), umidade solo (DUARTE et al., 2007) e presença de restos culturais (ROJAS et al., 2012). Como na aplicação da ureia em superfície torna-se difícil manejar os fatores que influenciam a volatilização, os trabalhos de pesquisa têm sido voltados para a busca de substâncias que, adicionados à ureia, retardem a ação da enzima urease e reduzem as perdas de N-NH₃ por volatilização.

A substância que tem se mostrado mais eficiente para redução das perdas de N por volatilização é o NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) (BERNARDI et al., 2014), no entanto, esta substância não é capaz de controlar completamente as perdas de N-NH₃, sendo eficiente apenas para minimização das perdas (OKUMURA; MARIANO, 2012). Por isso, substâncias alternativas são constantemente testadas em comparação ao NBPT.

As principais substâncias testadas no Brasil incluem a zeólita natural (BERNARDI et al., 2013), carvão vegetal (PAIVA et al., 2012) e compostos acidificantes (CANTARELLA et al., 2008). As substâncias acidificantes incluem sulfato de amônio (OLIVEIRA et al., 2014), sulfato de cálcio (STAFANATO et al., 2013), sulfato de cobre e ácido bórico (FARIA et al., 2014) e enxofre elementar (OLIVEIRA et al., 2014). Esses compostos diminuem o pH no entorno dos grânulos permitindo que o N da ureia permaneça na forma do íon amônio.

O ácido bórico, além de fornecer nutriente e contribuir para a redução da volatilização do N-NH₃ pela redução do pH, também atua como inibidor direto da enzima urease sendo esta inibição dada por competição com a ureia pelos sítios de ligação da enzima urease. Na reação, dois dos três átomos de oxigênio do ácido (H₃BO₃) se ligam aos dois átomos de Ni que compõe a enzima urease inibindo sua ação (KRAJEWSKA, 2009).

Em ambiente controlado, utilizando um Planossolo Háplico, a incorporação de Cu e B na ureia pastilhada demonstrou ser eficiente contra as perdas de N-NH₃ por volatilização, reduzindo em até 54% a volatilização, quando comparada com ureia granulada comercial (STAFANATO et al., 2013). No entanto, quando testados em Latossolo Vermelho-Amarelo oriundos de plantio de cana de

açúcar, a ureia recoberta por B + Cu não afetou as perdas totais de N-NH₃, apesar de terem retardado o pico de volatilização (FARIA et al., 2014).

Com relação ao enxofre elementar, Oliveira et al. (2014) não encontraram efeitos positivos com o recobrimento da ureia com este elemento, mas sugeriram que a compactação de ureia com bentonita em conjunto com fontes de enxofre demonstraram ser alternativas viáveis para aumentar a eficiência do N-ureia. Desse modo objetivou-se determinar as perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e a produtividade de plantas de café Conilon adubadas com ureias protegidas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Nova Venécia - Espírito Santo - Brasil (18°43'43" S; 40°23'09" O; altitude de 89 m). O clima, conforme classificação de Köppen é Aw, tropical com inverno seco (ALVARES et al., 2013). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2013), de textura argilosa. Utilizaram-se seis genótipos de *Coffea canephora* L., denominados 1V, 2V, 3V, 4V, 5V e 6V que fazem parte da cultivar 'Vitória Incaper 8142', com dois anos de idade, e implantados no espaçamento com 3 m na entrelinha e 1 m entre plantas.

Os tratamentos foram cinco fontes de fertilizantes nitrogenados: T1 = Ureia Comum-45% N (UC45); T2 = Ureia-45% N + NBPT (U45+NBPT); T3 = Ureia-44,6% N + 0,15% de Cu + 0,4% de B (U44,6+Cu+B); T4 = Ureia-37% N + 17% de S (U37+S); e T5 = Nitrato de Amônio-34% N (NA34). Os tratamentos T2, T3 e T4 são considerados como ureias protegidas, e o tratamento T5 foi considerado como a testemunha positiva do experimento, ou seja, tratamento em que as perdas por volatilização de N-NH₃ são mínimas. O experimento foi instalado no delineamento em blocos casualizados, com seis repetições, onde cada genótipo (linha de plantio) constituiu um bloco, e a parcela experimental foi composta por três linhas com seis plantas, sendo que as quatro plantas centrais constituíram a parcela útil.

O experimento foi realizado durante os anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012. Durante esse período os fertilizantes nitrogenados foram aplicados manualmente a cada 60 dias, aproximadamente (outubro, dezembro, março, maio, junho e agosto). A adubação nitrogenada foi

estabelecida conforme os dados da análise do solo e a expectativa de produtividade de 100 sacas ha^{-1} . O N foi aplicado na dose de 24 g por planta em cada adubação, equivalente a 80 kg ha^{-1} por aplicação e 480 kg ha^{-1} por ano. O potássio, o fósforo e os micronutrientes foram aplicados separadamente conforme recomendação de adubação.

A colheita foi realizada no período de abril a julho de cada ano, de forma manual, colhendo-se um genótipo por vez, com 80% dos grãos maduros. A produção média dos grãos do caféiro foi quantificada em litros por planta, e extrapolada para sacas por hectares, considerando a relação de 320 L de café maduro ser equivalente a uma saca de 60 kg de café beneficiado.

As quantificações das perdas de N-NH_3 por volatilização foram realizadas em três épocas: outubro e dezembro de 2011 e março de 2012, utilizando a metodologia descrita por Araújo et al. (2009). Os coletores de amônia foram instalados, em cada parcela experimental, imediatamente após a aplicação do fertilizante. As esponjas coletoras de amônia com 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento foram trocadas a cada 120 h (5 dias), e com período de avaliação até 360 h (15 dias).

As esponjas de cada frasco de 50 mL foram transferidas para tubos de erlenmeyer de 250 mL, com massa previamente conhecida (P1). Posteriormente, adicionou-se 40 cm^3 de água destilada a cada tubo. Os tubos com a solução e a lâmina de espuma foram levados a um agitador horizontal a 220 rpm. Após 20 min, os tubos foram removidos do agitador e pesados (P2). Uma alíquota de 5 a 10 cm^3 , conforme a concentração de NH_4^+ esperada foi analisada por destilação a vapor e submetida à titulação posterior, para a quantificação do N amoniacal conforme Alves et al. (1994).

As esponjas foram acondicionadas em frascos de 50 mL e conduzidas ao Laboratório de Nutrição Mineral do Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES), onde foi quantificado o teor de N volatilizado. Os resultados foram obtidos em miligramas de NH_4^+ por área do coletor (mg cm^{-2}) e transformados para kg ha^{-1} . A umidade do solo antes e após a avaliação foi igual em todos os tratamentos e em todas as épocas amostradas.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve volatilização de N-NH_3 de forma semelhante entre as cinco fontes de N, na primeira avaliação, em outubro de 2011, nos três períodos

de avaliação após a aplicação dos fertilizantes (Tabela 1). Isso ocorreu provavelmente devido a precipitação pluvial de 20,8 mm ocorrida no mesmo dia da adubação em 12/10/2011 (Figura 1A), fazendo com que os fertilizantes fossem dissolvidos e incorporados no perfil do solo. Resultados semelhantes foram relatados para um Latossolo Bruno aluminico (ROJAS et al., 2012). Estes autores afirmaram que a perda de N-NH_3 por volatilização é relacionada à ocorrência de chuva no período imediatamente após à aplicação da ureia.

Na segunda avaliação, em dezembro de 2011, aos cinco dias após a aplicação dos fertilizantes, o nitrato de amônio promoveu menor perda por volatilização de N-NH_3 , seguido pela ureia + NBPT e pela ureia + Cu e B (Tabela 1). A ureia perolada comum e a ureia + S foram as fontes de N que apresentaram maiores perdas de N-NH_3 e não diferiram estatisticamente entre si. Aos 10 dias após a aplicação dos fertilizantes, não houve diferença significativa entre as médias da perda de N-NH_3 para todas as fontes de N avaliadas. Esse fato foi provavelmente devido às precipitações anteriores a data de coleta, reduzindo assim a taxa de volatilização de N-NH_3 das fontes de N estudadas (Figura 1B). Aos 15 dias após aplicação dos fertilizantes, não houve diferença estatística entre as fontes de N estudadas, exceto entre o nitrato de amônio e a ureia + S, em que a volatilização de N-NH_3 do tratamento contendo ureia + S foi 88,8% maior que a do nitrato de amônio.

Com relação ao total volatilizado, as médias da volatilização de N-NH_3 das fontes ureia perolada comum e a ureia + S não diferiram estatisticamente entre si e apresentaram a maior volatilização acumulada, sendo seguidas pelas fontes ureia + Cu e B e ureia + NBPT que também não diferiram entre si. O nitrato de amônio apresentou a menor perda de volatilização de N-NH_3 . Resultados semelhantes foram relatados para um Planossolo Háplico do município de Seropédica, Rio de Janeiro, onde a ureia + Cu e B e a ureia + NBPT promoveram menores perdas que a ureia granulada (STAFANATO et al., 2013). No entanto, estes autores relatam que entre as duas fontes, a ureia + Cu e B promoveram menores perdas de N-NH_3 que a ureia + NBPT.

A baixa taxa de volatilização de N-NH_3 da ureia + NBPT está relacionada ao NBPT que ocupa o local de atuação da urease, inativando essa enzima, retardando o início da reação e reduzindo a velocidade de volatilização de N-NH_3 (KRAJEWSKA, 2009).

TABELA 1 - Perdas de N por volatilização de amônia (kg ha⁻¹) avaliada após a aplicação de fontes nitrogenadas no solo.

Tratamentos	Dia após a aplicação dos fertilizantes			Total
	5	10	15	
Primeira avaliação (Outubro de 2011)				
UC45	0,88 a	0,42 a	0,45 a	1,75 a
U45+NBPT	0,37 a	0,63 a	0,35 a	1,35 a
U44,6+Cu+B	0,50 a	0,35 a	0,50 a	1,35 a
U37+S	0,72 a	0,33 a	0,43 a	1,48 a
NA34	0,43 a	0,48 a	0,42 a	1,33 a
CV (%)	74,15	69,90	51,39	41,09
Segunda avaliação (Dezembro de 2011)				
UC45	17,73 a	2,62 a	1,78 ab	22,13 a
U45+NBPT	10,10 c	3,48 a	1,80 ab	15,38 b
U44,6+Cu+B	13,32 b	3,33 a	1,80 ab	16,03 b
U37+S	19,57 a	3,72 a	2,70 a	25,98 a
NA34	01,87 d	2,50 a	1,43 b	05,80 c
CV (%)	10,00	43,97	34,84	18,93
Terceira avaliação (Março de 2012)				
UC45	9,10 a	5,24 a	1,19 ab	15,53 a
U45+NBPT	6,57 b	2,76 bc	1,18 ab	10,52 b
U44,6+Cu+B	4,42 c	2,39 bc	1,00 ab	07,22 bc
U37+S	5,58 bc	4,28 ab	1,85 a	11,71 ab
NA34	1,75 d	1,31 c	0,73 b	04,12 c
CV (%)	34,51	36,92	52,96	27,55

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

A demora na hidrólise reduz a concentração de N-NH₃ na superfície do solo, aumentando as chances de que chuvas ou irrigação incorporem a ureia ao solo, diminuindo o potencial de volatilização.

Já para os efeitos da ureia + Cu e B, a inibição da atividade está relacionada ao íon Cu cuja inibição tem sido relatada como não competitiva, onde o íon se liga a grupos “tiol” da enzima, resultando na formação de mercaptides. Há também evidências que esses íons podem atuar por outras formas ainda pouco estudadas (KRAJEWSKA, 2009).

Na terceira avaliação, em março de 2012, não houve diferença significativa entre as fontes de N estudadas, aos 15 dias após a aplicação do adubo, mas houve diferença aos cinco dias e dez dias após a aplicação do adubo nitrogenado (Tabela 1). A ausência de diferença aos 15 dias está relacionada à redução da disponibilidade de

moléculas de ureia para serem hidrolisadas visto que, segundo Duarte et al. (2007), as maiores perdas de N por volatilização ocorrem dentro do intervalo de três dias após a aplicação do fertilizante. Aos cinco dias a ureia perolada comum apresentou as maiores perdas e o nitrato de amônio as menores perdas. As ureias protegidas apresentaram menores volatilizações que a ureia perolada comum, mas, maiores perdas que o nitrato de amônio. Aos dez dias, as maiores taxas de volatilização de N-NH₃ ocorreram nas fontes ureia perolada comum e na fonte ureia + S, que não diferiram estatisticamente entre si. Também não foi verificada diferença entre ureia + NBPT, ureia + Cu e B e nitrato de amônio (Tabela 1). Estes resultados corroboram os relatados para um solo arenoso cultivado com cana de açúcar no município de Piracicaba, São Paulo, onde as fontes ureia comum e ureia + S elementar tiveram semelhantes perdas de N-NH₃, tendo ambas apresentado maiores perdas que a ureia + Cu e B (NASCIMENTO et al., 2013).

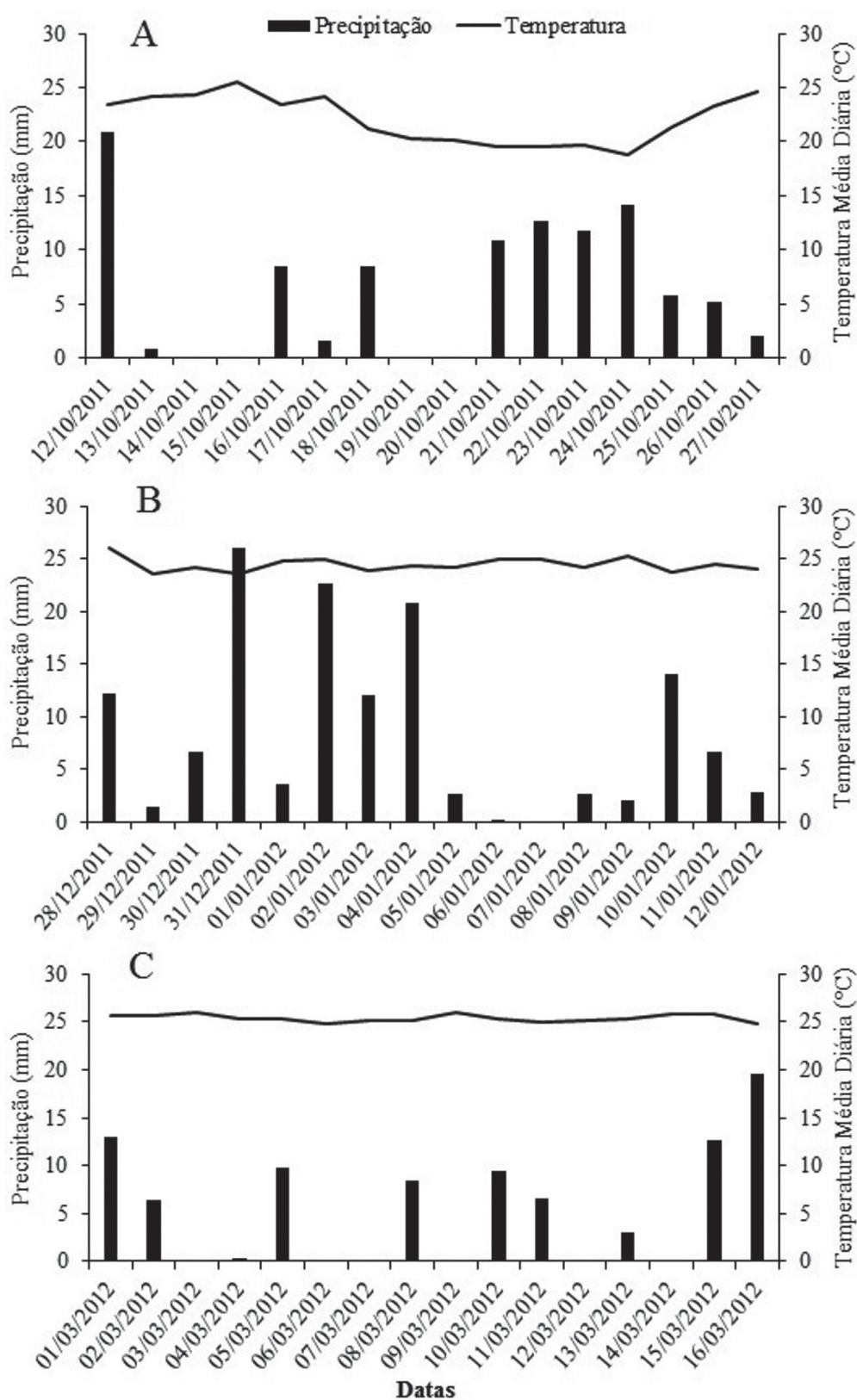


FIGURA 1 - Precipitações e temperaturas médias registradas em outubro de 2011 (A), dezembro de 2011(B) e março de 2012 (C).

Estes resultados indicam que o emprego do sulfato de cobre e o ácido bórico, da categoria dos íons metais pesados, ao lado do Hg^{2+} e do Ag^+ (ZABORSKA; KRAJEWSKA; OLECH, 2004) podem ser uma alternativa viável para minimização das perdas por volatilização de N-NH_3 , juntamente com o NBPT que tem sido o principal inibidor de urease utilizado em adição a ureia conforme sugerido por Nascimento et al. (2013) e Stafanato et al. (2013).

As perdas totais de N-NH_3 , na terceira avaliação (março de 2012), foram menores quando se utilizou nitrato de amônio e maior quando se utilizou ureia perolada comum e ureia + S, que não diferiram significativamente entre si. Também não foi verificada diferença significativa nas perdas totais entre os tratamentos ureia + NBPT, ureia + Cu e B e a ureia + S (Tabela 1).

As reduções nas perdas de N por volatilização podem ser explicadas pela ação inibitória tanto do boro quanto do cobre sobre a atividade da enzima urease. Segundo Benini et al. (2004), o ácido bórico atua como inibidor competitivo com a urease em relação a ureia, uma vez que a molécula da ureia apresenta conformação semelhante à do ácido bórico, competindo assim pelos mesmos sítios enzimáticos com a enzima urease, o que atribui ao boro maior potencial em inibir a atividade da urease. Assim o boro pode fazer com que a ureia permaneça no solo por tempo maior sem se dissociar, aumentando assim a eficácia do adubo.

Em relação à produção de frutos do cafeeiro Conilon, não foi observada diferença significativa entre as cinco fontes nitrogenadas nas safras 2011 e 2012 (Tabela 2). Trabalhos realizados no Brasil com NBPT adicionado à ureia aplicada em cana de açúcar colhida sem despalha a fogo indicaram que o inibidor reduziu à metade as perdas de N-NH_3 por volatilização (CANTARELLA et al., 2002). Contudo, não houve diferença entre o rendimento de colmos obtidos com ureia e ureia tratada com NBPT. Os benefícios da mistura ureia + NBPT são dependentes das mesmas variáveis que controlam a volatilização da amônia e ainda não se pode assumir que a redução das perdas de N-NH_3 será convertida em aumento de produção de culturas (WATSON; POLAND; ALLEN, 1998).

Malta, Nogueira e Guimarães (2003) relataram que as médias da produtividade de *Coffea arabica* L., cultivar Topázio não foram influenciadas tanto pelas fontes e doses de N quanto pela interação entre esses dois fatores. Diante disso, sugere-se que os experimentos conduzidos com espécies do gênero *Coffea* spp., sejam conduzidos por pelo menos quatro safras.

TABELA 2 - Produtividade do cafeeiro Conilon nas safras dos anos 2011 e 2012, submetido a cinco fontes de fertilizantes nitrogenados.

Tratamento	Produtividade (Sacac ha ⁻¹)	
	Safra 2011	Safra 2012
UC45	49,2 a	102,1 a
U45+NBPT	51,4 a	102,7 a
U44,6+Cu+B	49,1 a	99,1 a
U37+S	47,4 a	85,1 a
NA34	50,2 a	104,7 a
CV (%)	14,66	22,47

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

4 CONCLUSÃO

As ureias protegidas pelo inibidor NBPT e pelos micronutrientes Cu e B apresentam as menores perdas por volatilização de N-NH₃ que a ureia não protegida.

O recobrimento da ureia com enxofre não proporciona redução das perdas de N-NH₃ por volatilização.

A produtividade dos cafeeiros não é afetada pela utilização de ureias protegidas com NBPT, Cu + B e S, sob as condições estudadas.

5 AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos. Às empresas Fertilizantes Heringer e Fertipar Fertilizantes. À Universidade Federal do Espírito Santo pelo suporte à pesquisa e ao produtor rural Sr. João Batista Marré por disponibilizar a área para o estudo.

6 REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, dec. 2013.
- ALVES, B. J. R. et al. Métodos de determinação do nitrogênio em solo e planta. In: HUNGRIA, M. E.; ARAÚJO, R. S. (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p. 449-470.
- ARAÚJO, E. S. et al. Calibração de câmara semi aberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 44, n. 7, p. 769-776, jul. 2009.
- BENINI, S. et al. Molecular details of urease inhibition by boric acid: Insights into the catalytic mechanism. *Journal of the American Chemical Society*, Washington, v. 126, n. 12, p. 3714-3715, Mar. 2004.
- BERNARDI, A. C. C. et al. Ammonia volatilization from soil, dry-matter yield, and nitrogen levels of Italian ryegrass. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 45, n. 2, p. 153-162, dec. 2014.
- _____. Brazilian sedimentary zeolite use in agriculture. *Microporous and Mesoporous Materials*, Mülheim an der Ruhr, v. 167, p. 16-21, Feb. 2013.
- BRAGANÇA, S. M. et al. Accumulation of macronutrients for the Conilon coffee tree. *Journal of Plant Nutrition*, Philadelphia, v. 31, n. 1, p. 103-120, dec. 2007 - 2008.
- CANTARELLA, H. et al. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 65, n. 4, p. 397-401, jul./ago. 2008.
- _____. **Evaluation of the effect of the urease inhibitor NBPT (N-(n-butyl) tiophosphoric acid triamide) on the efficiency of urea fertilizer under Brazilian soil conditions**: technical report. Campinas: Instituto Agrônomico; FUNDAG, 2002.
- DUARTE, F. M. et al. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia com aplicação de uréia em solo de várzea com diferentes níveis de umidade. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 705-711, maio/jun. 2007.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, 2013. 353 p.
- FARIA, L. A. et al. Hygroscopicity and ammonia volatilization losses from nitrogen sources in coated urea. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 942-948, 2014.
- KRAJEWSKA, B. Ureases I: functional, catalytic and kinetic properties: a review. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, Amsterdam, v. 59, n. 1, p. 9-21, jun. 2009.
- MALHI, S. S. et al. Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: a review. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 60, n. 3, p. 101-122, July 2001.
- MALTA, M. R.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G. Composição química, produção e qualidade do café fertilizado com diferentes fontes e doses de nitrogênio. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 27, n. 6, p. 1246-1252, nov./dez. 2003.
- NASCIMENTO, C. A. C. et al. Ammonia volatilization from coated urea forms. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 1057-1063, jul/ago. 2013.
- OKUMURA, R. S.; MARIANO, D. C. Aspectos agrônomicos da ureia tratada com inibidor de urease. *Ambiência*, Guarapuava, v. 8, n. 2, p. 403-414, maio/ago. 2012.

- OLIVEIRA, J. A. et al. Volatilização de amônia proveniente de ureia compactada com enxofre e bentonita, em ambiente controlado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 1558-1564, set./out. 2014.
- PAIVA, D. M. et al. Urea coated with oxidized charcoal reduces ammonia volatilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 1221-1229, jul./ago. 2012.
- PARTELLI, F. L. et al. Dry matter and macronutrient accumulation in fruits of conilon coffee with different ripening cycles. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 214-222, jan./fev. 2014.
- ROJAS, C. A. L. et al. Volatilização de amônia da ureia alterada por sistemas de preparo de solo e plantas de cobertura invernais no centro-sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 261-270, jan/fev. 2012.
- STAFANATO, J. B. et al. Volatilização de amônia oriunda de ureia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 726-732, mai./jun. 2013.
- VALE, M. L. C. do; SOUSA, R. O.; SCIVITTARO, W. B. Evaluation of ammonia volatilization losses by adjusted parameters of a logistic function. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 223-231, jan.fev. 2014.
- WATSON, C. J.; POLAND, P.; ALLEN, M. B. D. The efficacy of repeated applications of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide for improving the efficiency of urea fertilizer utilization on temperature grassland. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 53, n. 2, p. 137-145, May 1998.
- ZABORSKA, W.; KRAJEWSKA, B.; OLECH, Z. Heavy metal ions inhibition of jack bean urease: potential for rapid contaminant probing. **Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry**, London, v. 19, n. 1, p. 65-69, Feb. 2004.