



DANILO DE ARAÚJO SOARES

**EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA
POR FERTILIZANTES NITROGENADOS EM
LAVOURA CAFEIEIRA IRRIGADA**

LAVRAS - MG

2016

DANILO DE ARAÚJO SOARES

**EMISSIONES DE GASES DE EFEITO ESTUFA POR FERTILIZANTES
NITROGENADOS EM LAVOURA CAFEIEIRA IRRIGADA**

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

Prof. Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva
Orientador

Prof. Dr. Valdemar Faquin
Coorientador

LAVRAS - MG
2016

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

Soares, Danilo de Araujo.

Emissões de gases de efeito estufa por fertilizantes
nitrogenados em lavoura cafeeira irrigada / Danilo de Araujo
Soares. – Lavras : UFLA, 2016.
128 p. : il.

Tese(doutorado)–Universidade Federal de Lavras, 2016.
Orientador: Douglas Ramos Guelfi Silva.
Bibliografia.

1. Óxido Nitroso. 2. Amônia. 3. Gás carbônico. 4. Tecnologia
de fertilizantes nitrogenados. 5. Cafeicultura. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

DANILO DE ARAÚJO SOARES

**EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA POR FERTILIZANTES
NITROGENADOS EM LAVOURA CAFEEIRA IRRIGADA**

**GREENHOUSE GASES EMISSIONS BY NITROGEN FERTILIZERS IN
A IRRIGATED COFFEE CROP**

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

APROVADA em 18 de abril de 2016.

Prof. Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes	DAG/UFLA
Prof. Dr. Rubens José Guimarães	DAG/UFLA
Prof. Dr. Alberto Colombo	DEG/UFLA
Prof. Dr. Cícero Célio de Figueiredo	FAV/UNB

Prof. Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva
Orientador

Prof. Dr. Valdemar Faquin
Coorientador

LAVRAS – MG

2016

A Deus, Pai de infinita bondade, que a nenhum de seus filhos desampara e que concede a vitória a todos que o bem praticam.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, que, em sua misericórdia, guia-me e me conduz no caminho do amor, mostrando-me que, por maior que seja o obstáculo, nunca será intransponível pois Ele sempre estará ao meu lado.

Aos meus pais, Francisco e Celeste, pelo incondicional amor e, por vezes, abandonar os seus sonhos para fazer realidade os meus sonhos.

À minha esposa, Rosália, quem compartilhou comigo cada palavra deste trabalho, agradeço pelo seu amor, carinho, incentivo, companheirismo e por ajudar e fazer parte da concretização de mais uma vitoriosa etapa em minha vida.

Aos meus irmãos, Danyel e Dayane, que vibram e se emocionam com minhas vitórias, que sofrem com meus tropeços, mas, sobretudo, mostram-me que estão ao meu lado para continuarmos.

Aos meus sobrinhos que alegam minha vida.

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

À CAPES, pela concessão da bolsa.

Ao Prof. Dr. Douglas Guelfi, por sua orientação, apoio e confiança.

Ao Prof. Dr. Valdemar Faquin, por sua orientação, apoio e confiança.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes, Dr. Rubens José Guimarães, Dr. Alberto Colombo, Dr. Cícero Célio de Figueiredo pelas correções e sugestões.

Ao Prof. Dr. Júlio Bueno e à Analista Dra. Rosiana Rodrigues pela efetiva colaboração nas análises estatísticas dos dados dos experimentos.

Ao senhor Renato José Baiardi, proprietário da fazenda Juliana, por acreditar na excelência da pesquisa e por se dispor a ajudar toda a comunidade com o resultado da pesquisa realizada sob seu auxílio.

Aos funcionários da fazenda Juliana, pela grande disponibilidade em ajudar e, também, pela recepção fraternal a mim concedida e a toda a equipe, que trabalhou nesses experimentos, não medindo esforços em nos fazer sentir acomodados em uma verdadeira família.

Aos funcionários do laboratório Labras, pela realização das análises laboratoriais destes experimentos.

Aos orientados do Prof. Douglas, pelo apoio na condução dos experimentos.

À eterna república Bananinha e suas integrantes: Rosi, Tati, Clarinha, Cida, Caroline, Thalita, Ana Clara, Nara, Paula, Java, Juliana, Paulinha e Marcos pelos momentos juntos e amizade constante.

Ao amigo Julian, pela imensa disponibilidade em ajudar.

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

A todos que contribuíram com esta realização pessoal e profissional.

“Onde houver ciúme e contenda, ali há também perturbação e toda espécie de vícios. A sabedoria, porém, que vem de cima, é primeiramente pura, depois pacífica, condescendente, cheia de misericórdia e de bons frutos, sem parcialidade, nem fingimento. O fruto da justiça semeia-se na paz para aqueles que praticam a paz.”

Tg 3, 16-18

RESUMO GERAL

Na agricultura, os solos agrícolas são a maior fonte de emissões óxido nitroso (N_2O), para a atmosfera, gás esse que é produzido no solo durante as reações de nitrificação e desnitrificação e que tem impacto nas mudanças climáticas e na destruição da camada de ozônio. No Brasil, existem poucas informações científicas relacionadas às emissões de N_2O , em áreas de cafeicultura, onde a dose de nitrogênio (N) aplicada varia entre 200 – 600 $kg\ ha^{-1}\ ano$. A avaliação de práticas de manejo da adubação nitrogenada que reduzem a poluição ambiental e promovam aumento na eficiência de utilização do N pelas culturas precisa ser mais estudada nas condições brasileiras. Uma das alternativas, para tentar mitigar as emissões de N_2O e as perdas de N, na forma de amônia ($N-NH_3$), para a atmosfera, é a utilização de fertilizantes estabilizados, de liberação lenta ou controlada. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as perdas de N, na forma de amônia e óxido nitroso e as emissões de dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4), após aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados e de liberação controlada em lavoura cafeeira irrigada. O estudo foi realizado, no município de Monte Carmelo/MG, no ano agrícola 2012/2013, em lavoura cafeeira irrigada. Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram na aplicação de 368 $kg\ ha^{-1}$ de N (4 parcelamentos de 92 $kg\ ha^{-1}$ de N, à exceção da fertirrigação), aplicados na projeção da copa das plantas, utilizando - se as seguintes fontes: 1) Ureia convencional granulada (UR); 2) Ureia granulada revestida com 600 $mg\ kg^{-1}$ de NBPT (UR+NBPT); 3) Ureia granulada revestida por polímero elástico (UR+PE); 4) Composto orgânico + ureia (25% do N total aplicado na forma de composto orgânico e os outros 75% na forma de ureia) (UR+CO); 5) Cerrado (Controle: sem aplicação de fertilizantes) (CER) e 6) 11 aplicações de N na fertirrigação (FERT). As emissões de N, na forma de óxido nitroso, seguiram a seguinte ordem decrescente: UR+CO (0,925 $kg\ ha^{-1}$ de N) = UR (0,849 $kg\ ha^{-1}$ de N) = UR+NBPT (0,817 $kg\ ha^{-1}$ de N) > FERT (0,465 $kg\ ha^{-1}$ de N) = UR+PE (0,425 $kg\ ha^{-1}$ de N) > CER (0,064 $kg\ ha^{-1}$ de N). As emissões de N, na forma de amônia, seguiram a seguinte ordem decrescente: UR+NPBT (177,2 $kg\ ha^{-1}$ de N) = UR (166,5 $kg\ ha^{-1}$ de N) > UR+CO (116,9 $kg\ ha^{-1}$ de N) = UR+PE (103,5 $kg\ ha^{-1}$ de N) > CER (4,7 $kg\ ha^{-1}$ de N) = FERT (4,4 $kg\ ha^{-1}$ de N). A aplicação do N, na fertirrigação e na forma de ureia revestida com polímeros, promove as menores emissões de N- N_2O e NH_3 . A natureza e o modo de aplicação dos fertilizantes nitrogenados não influenciam nas emissões de metano e gás carbônico e a produtividade do cafeeiro.

Palavras-chave: Cafeicultura. Tecnologias de fertilizantes nitrogenados. Amônia. Óxido nitroso. Gás carbônico. Metano.

GENERAL ABSTRACT

Agricultural soils are the largest source of nitrous oxide (N₂O) emissions to the atmosphere. This gas is produced in the soil during nitrification and denitrification reactions, impacting over climate changes and the destruction of the ozone layer. In Brazil, there is little scientific information regarding N₂O emissions in coffee production areas, where the dose of applied nitrogen ranges from 200 to 600 kg ha⁻¹ per year. The evaluation of nitrogen fertilization management practices that reduce environmental pollution and increase the efficiency in the use of N by the cultures, must be further studied under Brazilian conditions. One of the alternatives to mitigating N₂O emissions and the loss of N in the form of ammonium (N-NH₃) to the atmosphere is the use of slow and controlled release and stabilized fertilizers. In this context, the objective of this work was to evaluate N loss in the form of ammonium and nitrous oxide, as well as the emissions of carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄) after the application of conventional nitrogen fertilizers, stabilized fertilizers and controlled release fertilizers in irrigated coffee crop. The study was conducted in the municipality of Monte Carmelo, Minas Gerais, Brazil, in the agricultural year of 2012/2013, using a randomized blocks design with six treatments and four replicates. The treatments consisted of the application of 368 kg ha⁻¹ of N (four plots of 92 kg ha⁻¹ of N, with the exception of fertirrigation) applied to the shoot projection of the plants, using the following sources: 1) conventional granular urea (UR); 2) granular urea coated with 600 mg kg⁻¹ of NBPT (UR+NBPT); 3) granular urea coated with elastic polymer (UR+PE); 4) organic compound + urea (25% of total N applied in the form of organic compounds and another 75% in the form of urea) (UR+CO); 5) cerrado (control: no fertilizer application) (CER) and 6) 11 applications of N in fertirrigation (FERT). The emissions of N in the form of nitrous dioxide followed the decreasing order: UR+CO (0.925 kg ha⁻¹ of N) = UR (0.849 kg ha⁻¹ of N) = UR+NBPT (0.817 kg ha⁻¹ of N) > FERT (0.465 kg ha⁻¹ of N) = UR+PE (0.425 kg ha⁻¹ of N) > CER (0.064 kg ha⁻¹ of N). The emissions of N in the form of ammonium followed the decreasing order: UR+NBPT (177.2 kg ha⁻¹ of N) = UR (166.5 kg ha⁻¹ of N) > UR+CO (116.9 kg ha⁻¹ of N) = UR+PE (103.5 kg ha⁻¹ of N) > CER (4.7 kg ha⁻¹ of N) = FERT (4.4 kg ha⁻¹ of N). The application of N in fertirrigation and in the form of urea coated with polymers cause lower emissions of N-N₂O and NH₃. The nature and manner of nitrogen fertilizer application do not influence methane and carbon dioxide emissions or coffee productivity.

Keywords: Coffee production. Nitrogen fertilizer technologies. Ammonia. Nitrous oxide. Carbon dioxide. Methane.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	11
1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Fertilizantes nitrogenados estabilizados e de liberação lenta ou controlada	22
2.2 Efeitos dos fertilizantes nitrogenados no meio ambiente	24
REFERÊNCIAS	31
SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	41
ARTIGO 1 Eficiência agronômica de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados e de liberação controlada em lavoura cafeeira irrigada	41
ARTIGO 2 Emissão de gases de efeito estufa após a aplicação de fertilizantes nitrogenados em lavoura cafeeira irrigada	79
APÊNDICE A - Correlação entre chuvas e valor de Nitrogênio volatilizado	124
ANEXO	128

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

Sustentabilidade, a palavra que, por si só, traz um cunho de responsabilidade e gera, no ser humano, um sentimento de alívio no tocante ao seu compromisso com a sociedade, ganha, cada dia mais, novos aliados. Na discussão sobre a sustentabilidade, a temática redução das emissões de poluentes para o ambiente, está sendo discutida por diversos líderes governamentais, no sentido de apontar como cada país pode colaborar.

O ano de 2015 foi um marco, na história da cooperação, em torno de um pensamento comum sobre as mudanças climáticas, principalmente, sobre a redução de gases como óxido nitroso, dióxido de carbono e metano. Destacam-se, neste ano, o plano de energia limpa dos Estados Unidos da América, que anunciou uma meta de redução nas emissões de gás carbônico de 32% até o ano de 2030 (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA, 2015) e a carta encíclica do Papa Francisco II, na qual o sumo pontífice faz menções sobre a necessidade de reduzir, drasticamente, as emissões de gás carbônico e outros gases poluentes e, ainda, coloca sob a responsabilidade do homem a maior parcela do desequilíbrio do clima ocorrido no planeta (FRANCISCO, 2015).

O Brasil, por sua vez, tem garantido local de destaque durante os eventos do clima organizados pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC). Na última reunião da conferência, ocorrida, no final do ano de 2015, em Paris (COP21), o Brasil apresentou suas metas. Foi proposta pelo governo brasileiro uma redução de 37% (trinta e sete por cento) das emissões de gases do efeito estufa (GEE), até o ano de 2025 e uma redução de 43% (quarenta e três por cento), até o ano de 2030, em comparação com o que o País emitiu, no ano base, para os cálculos, o ano de 2005.

Resumidamente, o Brasil criou seis grandes frentes para atingir a meta de redução da emissão de GEE: 1) energia; 2) bioenergia; 3) florestas, 4) indústria; 5) transportes e; 6) agricultura e pecuária. No setor de energia, o País se comprometeu em alcançar, até o ano de 2030, o uso de 45% da matriz energética, na forma de energias renováveis, atingir um ganho de eficiência de 10%, no uso da eletricidade e incrementar fontes de energia não fóssil, além da hídrica aos consumidores domésticos em 23%. No setor de bioenergia, comprometeu-se em aumentar a utilização dessa matriz, chegando a perfazer, aproximadamente, 18% da matriz energética brasileira. No setor de florestas, comprometeu-se em cessar o desmatamento ilegal, até o ano de 2030, restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares, até este mesmo ano, além de ampliar o manejo sustentável das florestas. No setor de indústria e no setor de transportes, comprometeu-se em melhorar infraestrutura, eficiência e novas tecnologias. Finalmente, no setor agrícola, comprometeu-se em fortalecer o Plano de Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC), dentre os quais serão inseridos a restauração adicional de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas e incremento de 5 milhões de hectares de sistemas de integração Lavoura Pecuária Floresta até o ano de 2030 (BRASIL, 2015a).

Segundo dados do Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação (MCTI), em seu último informativo das estimativas das emissões de GEE, no Brasil, foram emitidas, no ano de 2012, $1.203.424 \times 10^3$ toneladas de CO₂ eq (um bilhão duzentos e três milhões quatrocentos e vinte e quatro mil toneladas de dióxido de carbono equivalente) na atmosfera (BRASIL, 2014). Foram listados cinco setores: agropecuária, energia, mudanças do uso da terra e florestas, processos industriais e resíduos e cada um desses setores contribuiu com 37,10%; 37,07%; 14,60%; 7,09%; 4,14%, respectivamente.

As emissões de GEE brasileiras, quando comparadas aos demais países do mundo, situa o Brasil, no 7º lugar no ranking das emissões globais de GEE,

com a emissão de 3,83% do total de GEE emitido globalmente (WORLD RESOURCES INSTITUTE - WRI, 2015). Muito discrepante da média das emissões de GEE dos demais países do mundo é a porcentagem que cada setor contribui, na emissão total de gases de efeito estufa, no Brasil. O setor da agropecuária brasileira foi responsável, no ano de 2012, por 37,10% das emissões totais de GEE. No mundo a emissão da agropecuária contribui com 10 a 12% das emissões totais de GEE (INSTITUTO DE MANEJO FLORESTAL E AGRÍCOLA - IMAFLORA, 2015).

Embora a agropecuária brasileira tenha aumentado a porcentagem na contribuição das emissões totais de GEE, de 20,35 % para 37,1% do ano de 2005 para o ano de 2012, o valor absoluto aumentou em apenas 7,4%, de 415.724 x 10³ toneladas de CO₂ eq para 446.445 x 10³ toneladas de CO₂ eq, evidenciando que alguns setores conseguiram reduzir a emissão de GEE (BRASIL, 2014).

Se no cenário ambiental a agropecuária brasileira foi responsabilizada pela maior parcela de emissões de GEE, no cenário econômico, a agropecuária ganhou destaque por ser o único setor a apresentar ganhos diante da crise instalada no País. A produção da agropecuária teve crescimento estimado, no ano de 2015, de 1,7%, valor considerado bom, ademais diante de um ano em que o País apresentou retração, com perspectiva de redução do PIB em, aproximadamente, 3,6% (BANCO CENTRAL DO BRASIL - BACEN, 2015).

O produto interno bruto do agronegócio brasileiro, no ano de 2015, deverá produzir próximo de 1.247,20 bilhões de reais (CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - CEPEA, 2015) e responderá por mais de 20% do produto interno bruto brasileiro total. As exportações do agronegócio superaram as importações, durante o período de novembro de 2014 a outubro de 2015, em US\$ 73,95 bilhões (setenta e três bilhões e noventa e cinco milhões de dólares) (BRASIL, 2015b), valores que comprovam que o

agronegócio é um dos mais fortes motores quem movem a economia brasileira. Os setores do agronegócio que mais exportaram, nos doze meses analisados, seguiram a trajetória dos últimos anos e, em ordem decrescente, são: complexo soja, carne, produtos florestais, complexo sucroalcooleiro e, em quinto lugar, aparece o setor cafeeiro. O setor cafeeiro, foco deste estudo, comercializou US\$ 6,46 bilhões, no período analisado, o que significa um aumento de 4,1% do que foi comercializado no ano imediatamente anterior (BRASIL, 2015b).

A cafeicultura, historicamente, sempre foi um dos pilares de sustentação do agronegócio e, também, um dos pilares de sustentação da economia brasileira. Ao longo dos anos, sua importância sempre se fez presente e hoje é o produto que mais consegue evitar o êxodo rural, sendo uma das mais importantes fontes de renda para a agricultura familiar (BATISTA, 2010).

A cafeicultura que, primeiramente, ganhou espaço nos terrenos brasileiros de melhor fertilidade, estendeu-se depois aos solos do cerrado, solos estes com características físicas muito boas, para o desenvolvimento da cultura, mas com fertilidade baixa e que depende, para o bom desenvolvimento da cultura, de boa correção e constantes adubações.

O perfeito desenvolvimento, que garanta altas produtividades da lavoura cafeeira, requer elevadas doses de fertilizantes nitrogenados. A demanda de nitrogênio, em lavouras em produção, pode ultrapassar a dose de 550 kg de nitrogênio por hectare por ano (ANDRADE, 2004).

A simples associação entre a emissão de gases de efeito estufa (GEE) da agropecuária e a alta demanda de nitrogênio das lavouras cafeeiras do cerrado brasileiro sugere que a atividade cafeeira pode ser uma grande fonte de emissão de gases do efeito estufa da agropecuária brasileira. A afirmação de que culturas que demandem grande quantidade de N são grandes fontes de emissão de GEE, deu-se após estudos, principalmente, os divulgados pelo IPCC, ao apontarem que parte do N aplicado no solo volta para a atmosfera, na forma de óxido

nitroso, gás com potencial de aquecimento superior ao dióxido de carbono em quase trezentas vezes. Segundo dados do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006), para cada 100 kg de N aplicado ao solo, 1 kg é emitido para a atmosfera na forma de óxido nitroso (N_2O).

Alguns estudos realizados (OLIVEIRA, 2009; SOARES et al., 2015) nos mostram que as emissões de óxido nitroso (N_2O), em solos brasileiros, são menores que a quantidade estipulada pelo IPCC. Tal afirmação pode ser bem compreendida, uma vez que os solos brasileiros, principalmente, os solos do cerrado, são bem drenados e dificultariam um dos principais fatores de transformação do nitrogênio em óxido nitroso, que é o processo da desnitrificação.

Além das perdas de nitrogênio, na forma de N_2O , outras formas de perdas de nitrogênio no solo contribuem para diminuição da eficiência do uso dos fertilizantes nitrogenados. Perdas de amônia ($N-NH_3$), volatizada do solo, a lixiviação ($N-NO_3^-$) e a erosão, também, podem comprometer a eficiência da utilização dos fertilizantes nitrogenados.

Para diminuir as perdas de N em sistemas agrícolas, alguns cuidados agronômicos devem ser tomados, como aplicar a dose correta, utilizando-se a fonte correta, na época de maior demanda da cultura e no local correto (SOARES, 2011). Outra alternativa que vem ao encontro das boas práticas agronômicas são os fertilizantes de eficiência aumentada. Os fertilizantes de eficiência aumentada, nas suas mais variadas formas de ação, tentam otimizar a utilização do nutriente pela planta. Embora alguns trabalhos já venham utilizando fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada (DOMINGUETTI et al., 2016), estudos quanto a suas eficiências na lavoura cafeeira devem ser realizados, pois tais fertilizantes podem colaborar, principalmente, com a redução do impacto ambiental causado pela atividade cafeeira.

Diante do exposto e em função do atual momento, em que se requer cautela sobre a mudança do clima e melhores mensuramentos das emissões de GEE de cada atividade econômica, além de alternativas capazes de minimizar a produção de GEE, é necessária a elaboração de projetos que visem à utilização da tecnologia a favor da agricultura, a fim de garantir uma maior produção de alimentos, associada a menores impactos ambientais, deve ser o pensamento comum.

Nesse sentido, busca-se com o presente trabalho quantificar as perdas de nitrogênio na forma de amônia e óxido nítrico e as emissões de dióxido de carbono e metano, mediante a aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados e de liberação controlada em lavoura cafeeira irrigada.

Para isso, este estudo foi dividido em dois artigos. Objetivou-se com o primeiro artigo quantificar as perdas de N por volatilização de amônia e lixiviação, nutrição e produtividade do café irrigado após a aplicação de fertilizantes nitrogenados. No segundo artigo, buscou-se mensurar as emissões de gases causadores das mudanças climáticas. Anteriormente aos artigos, apresenta-se um referencial teórico geral, a fim de conceituar melhor os termos a serem utilizados no trabalho e evidenciar a visão de diversos autores sobre a temática.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O tema mudanças climáticas continua a ser um tópico de debate científico e de interesse público (COOK et al., 2013). Nessa discussão, a agricultura é vista como um setor da economia mundial que emite gases do efeito estufa (GEE) e que, também, pode influenciar de forma mitigadora. A mitigação da emissão desses gases, oriundos de sistemas agrícolas, pode ser mais efetiva. O Brasil, por exemplo, tem um compromisso perante a comunidade internacional de redução de 37% (trinta e sete por cento) das emissões totais de GEE até o ano de 2025, e uma redução de 43% (quarenta e três por cento), até o ano de 2030, em comparação com o que o País emitiu no ano de 2005 (BRASIL, 2015a).

No mundo, a estimativa é de que a agricultura contribua com, aproximadamente, 80% das emissões de óxido nitroso (N_2O), 22% das emissões totais de gás carbônico (CO_2) e 55% das emissões de metano (CH_4) (IPCC, 2007). De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos EUA, EPA (2016 b), a agricultura americana contribui com 9,1% das emissões totais de GEE, no país, no ano de 2014. No Canadá, a parte das emissões atribuída à agricultura representa menos de 8% do inventário de emissões (ENVIRONMENT CANADA, 2007).

Para o total da economia mundial, as emissões de CO_2 são as mais importantes. Porém, para a agricultura, o mais importante são as emissões de N_2O . No Brasil, estima-se que 93,7 % das emissões de N_2O e 79,6 % das emissões de CH_4 sejam oriundas de atividades agrícolas (BRASIL, 2014).

As concentrações de GEE na atmosfera são crescentes desde as primeiras décadas do século XX, quando a economia mundial e os setores produtivos, dentre estes a agricultura, passaram por diversas mudanças causadas pela Revolução Industrial (Tabela 1).

Tabela 1 - Concentração atmosférica global, taxa de mudança na concentração e tempo de duração na atmosfera de alguns gases causadores do efeito estufa

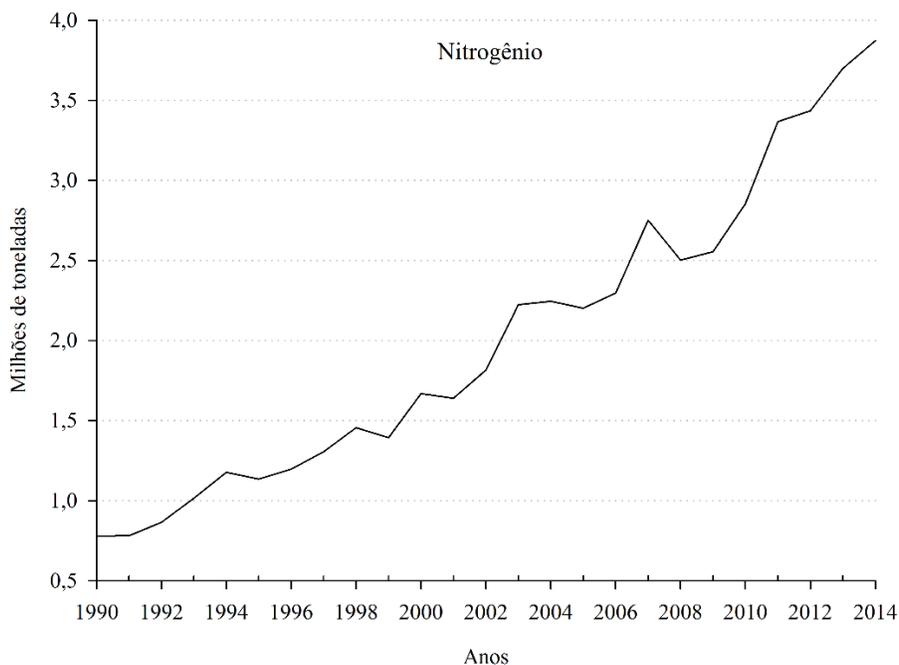
Variação atmosférica	N ₂ O	CO ₂	CH ₄
Concentração atmosférica no período pré-industrial	0,270 ppm	278 ppm	0,715 ppm
Concentração atmosférica atualmente	0,327-0,328 ppm	400,8 ppm	1,786-1,852 ppm
Taxa de mudança na concentração	0,26% por ano	1,4 ppm ano ⁻¹	0,005 ppm ano ⁻¹
Tempo de duração na atmosfera	114 anos	50-200 anos	12 anos

Fonte: Blasing (2009), EPA (2016), IPCC (1996, 2007) e National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA (2009)

Além da Revolução Industrial, no setor agrícola, ocorreram mudanças tecnológicas, no decorrer dos anos da revolução verde, como o aumento da utilização de fertilizantes nitrogenados (Figura 1), a expansão da fronteira agrícola e o crescimento da demanda por alimentos pela população mundial, o que vem afetando as emissões de GEE.

Desde o período pré-industrial, a concentração de N₂O tem aumentado a taxas anuais de 0,2 a 0,3% na atmosfera (COUNCIL FOR AGRICULTURAL SCIENCE AND TECHNOLOGY - CAST, 2004; IPCC, 2007). Estima-se que as concentrações atmosféricas de N₂O aumentaram de 270 partes por bilhão (ppb), durante a era pré-industrial, para 319 ppb em 2005, segundo Forster et al. (2007), chegando, em 2015, a 328 ppb (EPA, 2016).

Figura 1 - Quantidade de fertilizantes nitrogenados entregues aos consumidores brasileiros ao longo dos anos (1990 a 2014) em milhares de toneladas



Fonte: Associação Nacional para Difusão dos Adubos (ANDA, 2015)

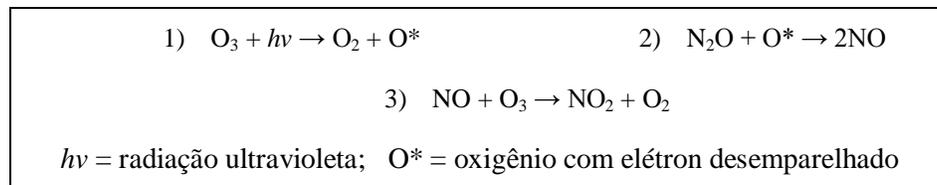
No que diz respeito à agricultura, as maiores contribuições, para a elevação das emissões de óxido nitroso, têm sido atribuídas ao aumento no uso de fertilizantes nitrogenados, decomposição de resíduos vegetais, conversão de áreas de floresta para agricultura e aumento de queimadas (ALVES et al., 2006; CARVALHO et al., 2006; DELGADO; MOISER, 1996; EPA, 2007).

Dessa forma, a utilização de fertilizantes, na agricultura mundial, especialmente, os nitrogenados, é considerada um fator preponderante para a elevação das emissões de GEE, principalmentedo, óxido nitroso (N_2O).

Dos três principais gases causadores de mudanças climáticas, o N_2O é o menos abundante na atmosfera (Tabela 1). No entanto seu potencial de contribuição, para o aquecimento global, é 298 vezes maior que o do CO_2

(BROTTO; KLIGERMAN; PICCOLI, 2010; IPCC, 2007). Além disso, o N_2O é muito estável no ar e sua destruição ocorre somente na estratosfera, pela ação ultravioleta, processo que contribui, indiretamente, para o consumo do ozônio (O_3) estratosférico, gás que protege a superfície do planeta de uma maior incidência de radiação ultravioleta (Figura 2) (CANTARELLA, 2007).

Figura 2 - Quebra da molécula de óxido nitroso na estratosfera com consumo de oxigênio



Fonte: Cantarella (2007)

Pode-se afirmar que os solos agrícolas constituem-se numa das mais importantes fontes de emissão de N_2O , para a atmosfera, que se dá por meio da adição de fertilizantes nitrogenados sintéticos e da deposição de dejetos animais ricos em nitrogênio que liberam esse gás no solo e, posteriormente, para a atmosfera. As emissões de N_2O dos solos ocorrem como consequência dos processos microbiológicos de desnitrificação e nitrificação, a partir do nitrogênio mineral (BUTTERBACH-BAHL et al., 2004; CONRAD, 1996; LIMA, 2000). Estima-se que 65% de todas as emissões de N_2O do mundo surjam de processos de nitrificação e desnitrificação que ocorrem no solo (SMITH; CONEN, 2004).

Alguns trabalhos mostram que a emissão de N_2O , em solos agrícolas, geralmente, é maior e mais variável do que em terras não cultivadas ou em ecossistemas naturais (BOUWMAN, 1990). O sistema de manejo do solo e da cultura a ser adubada (doses, fontes, épocas, métodos de aplicação e eficiência de utilização do N e sistema de plantio), também, tem grande influência nos

fluxos de N₂O em áreas agrícolas (CARVALHO et al., 2006; DALAL et al., 2003; FRENEY, 1997; GRANLI; BØCKMAN, 1994).

Além do sistema de manejo, as emissões de N₂O, também, são influenciadas pelas características físicas, químicas e microbiológicas do solo como: pH e densidade (STEHFEST; BOUWMAN, 2006), umidade do solo (KHALIL; BAGGS, 2005), temperatura do solo, aeração do solo, salinidade, carbono orgânico total, disponibilidade de N, mineralização do N (DALAL et al., 2003; GRANLI; BØCKMAN, 1994), textura e morfologia do solo (FRENEY, 1997).

No Brasil, existem poucas estimativas das emissões agrícolas de N₂O, baseadas em medições de campo (CARVALHO et al., 2006; CHIARADIA et al., 2009; MADARI et al., 2007; ZANATTA et al., 2010), principalmente, quando se trata de avaliações realizadas em solos com lavoura cafeeira.

A cafeicultura é uma das cinco mais importantes atividades agrícolas do nosso país e a mais importante do estado de Minas Gerais. Atualmente são cultivados, no Brasil, 2,3 milhões de hectares e, em Minas Gerais, são cultivados 1,21 milhões de hectares, ou seja, 52,5 % de toda a área cultivada no Brasil, (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2016). Apesar da significativa área cultivada com café, são poucos os trabalhos científicos que quantificam as emissões de N₂O oriundas de solos cultivados com cafeeiros. Entretanto essas avaliações são, extremamente, importantes frente às questões relacionadas às emissões antrópicas de N₂O, levando-se em conta que a quantidade de nitrogênio (N) aplicada, anualmente, nas lavouras cafeeiras brasileiras, pode chegar a 900.000 toneladas (ANDA, 2015).

Neste contexto, o entendimento da dinâmica entre práticas de cultivo, tipo de fertilizante, preparo do solo, uso de plantas de cobertura, irrigação, dentre outras e os fluxos de N₂O, é fundamental para a proposição de estratégias de mitigação da emissão de GEE em áreas de cafeicultura. O *Intergovernmental*

Panel on Climate Change (IPCC), órgão de referência internacional, quando o tema é mudanças climáticas, recomenda que políticas, medidas e instrumentos, para mitigar a mudança do clima, sejam adotados com o intuito de promover incentivos financeiros e regulamentações para a melhoria do manejo do solo, manutenção do teor de carbono no solo, uso eficiente de fertilizantes e irrigação. Além disso, descreve que não há uma lista de práticas de mitigação que possa ser aplicada, universalmente; as práticas, ainda, precisam ser avaliadas para cada sistema agrícola e suas características (IPCC, 2007).

2.1 Fertilizantes nitrogenados estabilizados e de liberação lenta ou controlada

No Brasil, o potencial dos chamados fertilizantes de liberação lenta e controlada, ainda, é pouco explorado, visto que, no mundo, o crescimento da utilização desse tipo de fertilizante ocorreu a taxas de 45% entre os anos de 1995 e 1996 e entre os anos de 2004 e 2005, quando o consumo atingiu 786.000 toneladas métricas (Tabela 2), totalizando 0,20% do consumo mundial de fertilizantes (INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION - IFA, 2010). Os fertilizantes de liberação lenta e controlada podem ser definidos como fertilizantes nos quais existem compostos que podem controlar, química ou fisicamente, as taxas de liberação dos nutrientes (SHAVIV, 2005), presentes nos fertilizantes, tentando sincronizar a liberação com a demanda pela planta e diminuindo as perdas de nutrientes no sistema solo-planta-atmosfera. Dessa forma, a principal vantagem dos fertilizantes de liberação controlada, em relação aos fertilizantes comuns, é que eles têm o potencial de aumentar a eficiência da adubação nitrogenada e diminuir as perdas de N no sistema solo-planta-atmosfera, o que reflete em um menor impacto ambiental (SHAVIV, 2005; TRENKEL, 2010).

Tabela 2 - Consumo mundial de fertilizantes de liberação lenta e controlada (toneladas métricas)¹

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

¹Fonte: Trenkel (2010);

²Somente capacidade de produção, consumo desconhecido.

Existem diversos compostos que influenciam nos mecanismos de controle da liberação de nutrientes do fertilizante e, dentre os mais utilizados, no Brasil, são os fertilizantes estabilizados, de liberação lenta ou quimicamente modificados e de liberação controlada (AZEEM et al., 2014; TIMILSENA et al., 2015).

Trenkel (2010) dividiu os compostos que controlam a liberação de nutrientes nos fertilizantes de liberação lenta ou controlada em três grupos: 1) fertilizantes com revestimentos orgânicos e inorgânicos (subdividido em três grupos: revestidos com enxofre; revestidos com polímeros e revestidos com enxofre e polímeros); 2) fertilizantes revestidos com inibidores da urease; e 3) com inibidores da nitrificação.

Os compostos que controlam a liberação de nutrientes presentes em fertilizantes de liberação lenta ou controlada contribuem para uma melhor utilização do nitrogênio (N) e, conseqüentemente, também, contribuem, diretamente, para menores emissões de GEE, como o óxido nitroso oriundo de áreas agrícolas (CHU; HOSEN; YAGI, 2004; SHAVIV; MIKKELSEN, 1993; SHOJI et al., 2001; SHOJI; KANNO, 1993, 1994; SOARES et al., 2015).

Dessa forma, uma das principais questões a serem resolvidas, quando se trata de fertilizantes de liberação lenta e controlada, é a melhoria da avaliação dos benefícios esperados, para o meio ambiente, em áreas de agricultura onde esses produtos são aplicados (SHAVIV, 2005).

2.2 Efeitos dos fertilizantes nitrogenados no meio ambiente

A utilização de fertilizantes nitrogenados tem aumentado, ao longo dos anos, principalmente, em países em desenvolvimento, como o Brasil. Porém a eficiência da utilização do N pelas plantas fica em torno de 50% do que é aplicado (BYRNES, 2000). As maiores causas da baixa eficiência de utilização desses nutrientes são as perdas por lixiviação, erosão e, na forma de gases, dentre estes, o óxido nitroso e amônia. A perda de gases para a atmosfera é um mecanismo dominante em muitos dos sistemas agrícolas. Os principais processos, em que ocorrem perdas de N, são a volatilização, nitrificação e desnitrificação que contribuem para liberação de NH_3 , NO, N_2O e N_2 para a atmosfera (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2001; SHAVIV, 2005; TRENKEL, 2010).

Explicando de maneira simplificada, ocorre, durante a nitrificação ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O}$) (processo aeróbico), uma reação na qual as bactérias utilizam o amônio contido em fertilizantes nitrogenados ou proveniente da própria biomassa do solo e o oxidam em NH_2OH . Posteriormente, este composto instável dá origem ao íon NO_3^- (nitrato) e aos compostos NO e N_2O . A planta só utiliza como fonte de nitrogênio o íon NO_3^- , sendo os outros dois compostos liberados para a atmosfera (EICHNER, 1990).

Outra reação importante que ocorre no solo tendo como substrato o N é a desnitrificação ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow 2\text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$), processo anaeróbico, em que o NO_3^- passa a ser o receptor de elétrons na respiração dos microrganismos do solo. Com isso, o NO_3^- pode ser convertido a formas voláteis

como o N_2 ou o N_2O , que se perdem para a atmosfera. Já a volatilização ($NH_4^+ \rightarrow NH_3 + H^+$) consiste na perda de N do solo na forma de gás amônia. Essa reação ocorre, principalmente, em condições alcalinas, após a hidrólise da ureia, na presença da enzima urease (CANTARELLA; MONTEZANO, 2010).

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

Dessa forma, maior atividade da urease no solo é um indicativo de grande população de microrganismos ureolíticos e, conseqüentemente, elevadas taxas de perdas de amônia por volatilização. Alguns fatores climáticos, como temperatura (LONGO; MELO, 2005; SENGIK et al., 2001) e fatores do solo, como pH, potencial de água, aeração, textura e quantidade de C orgânico (SENGIK et al., 2001), são determinantes da atividade da urease.

Sendo assim, são em etapas das reações descritas, anteriormente, que os compostos, presentes em alguns fertilizantes nitrogenados de liberação lenta ou controlada, podem atuar, para diminuir as perdas de N, aumentar a eficiência da adubação nitrogenada e mitigar as emissões de N_2O .

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

Os inibidores da nitrificação recobrem os fertilizantes nitrogenados tendo com um dos objetivos controlar as perdas por lixiviação e a emissão de gases como amônia e óxido nitroso (EDMEADES, 2004).

Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos (BREMNER; MCCARTY, 1993; MCCARTY, 1999; MCCARTY; BREMNER, 1989; WINLEY; SAN CLEMENTE, 1971) com o objetivo de encontrar inibidores da nitrificação que possam diminuir as perdas de N, na forma de gases, para a atmosfera e aumentar a eficiência da adubação nitrogenada.

Alguns resultados de redução da emissão de óxido nitroso, por fertilizantes nitrogenados com diferentes inibidores da nitrificação, aplicados em diferentes culturas, foram obtidos e estão compilados na Tabela 3.

Os fertilizantes de liberação controlada impedem que o nutriente do fertilizante seja liberado de forma indiscriminada e buscam sincronizar a liberação do nutriente com a demanda da planta. Os fertilizantes de liberação controlada mais utilizados são os polímeros, em que muitos têm sua ação influenciada pela hidratação do polímero e diferenças de temperatura, sendo, a liberação do nutriente, na maioria das vezes, menos influenciada pelos demais fatores do solo que os fertilizantes comuns.

Se o objetivo do fertilizante, liberação controlada, é alcançado, sincronizar a demanda da planta com o fornecimento do fertilizante, menores doses do nutriente podem ser utilizadas e, também, menor concentração de íons provenientes do fertilizante ficarão na solução do solo passível de perda. No caso dos fertilizantes nitrogenados, assim como no caso dos fertilizantes com inibidores de nitrificação, diversos estudos buscam, dentre os fertilizantes de liberação controlada, compostos que sejam efetivos na redução das perdas de N do sistema (CARVALHO et al., 2015; DOMINGUETTI et al., 2016; SANTOS, 2015; SOARES et al., 2015).

Tabela 3 Efeito de diferentes inibidores da nitrificação na redução da emissão de N₂O

Inibidor da nitrificação utilizado	Fertilizante	Cultura	Redução da emissão da N ₂ O	Período de avaliação	Referências citadas em Weiske (2006)
Nitrapyrin	Sulfato de amônio	Solo ² : condições de laboratório	93	30 dias	Bremer e Blackmer (1978)
Nitrapyrin	Ureia	Solo ² : condições de laboratório	96	30 dias	Bremer e Blackmer (1978)
Nitrapyrin	Ureia	Milho	40-65	100 dias	Bronson et al. (1992)
Carboneto de cálcio	Ureia	Milho	33-82	100 dias	Bronson et al. (1992)
DCD	Esterco líquido	Pastagem	50-88	14 dias	De Kein e van Logtestijn (1994)
DCD	Sulfato de amônio	Pastagem	40-92	64 dias	Skiba et al. (1993)
DCD	Ureia	Cevada (Primavera)	82-95 ⁶	90 dias	Delgado e Mosier (1996)
POCU ³	Ureia	Cevada (Primavera)	35-71 ⁶	90 dias	Delgado e Mosier (1996)
DCS ⁴	Sulfato de amônio	Pastagem	62	64 dias	Skiba et al. (1993)
DMPP ⁵	Sulfato de amônio	Cevada (prim., milho e trigo de inverno)	51	3 anos	Skiba et al. (1993)

¹Fonte: Snyder, Bruulsema e Jensen (2007).

²Condições estabelecidas para medir as emissões durante a nitrificação apenas

³Ureia encapsulada com poliofelina

⁴DCS = N (2,5 dichlorphenyl) ácido succínicomonoamida

⁵DMPP = 3,4-dimethylpyrazole fosfato

⁶Interpretação varia devido à grande variação nas emissões

Além dos inibidores da nitrificação e dos fertilizantes de liberação controlada, alguns inibidores da atividade da urease, também, vêm sendo avaliados na tentativa de reduzir as perdas de amônia (NH₃) por volatilização (CANTARELLA et al., 2003; CLAY; MALZER; ANDERSON, 1990; MENÉNDEZ et al., 2009; RAWLUK; GRANT; RACZ, 2001).

Dentre os inibidores da urease, o NBPT (Tiofosfato de N-n-butiltriamida) é um dos mais importantes e seu mecanismo de atuação consiste na redução da conversão da ureia em amônio ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{CO}_3$) (CANTARELLA, 2007; KOELLIKER; KISSEL, 1988; WATSON, 2000), diminuindo a volatilização.

O NBPT atua, indiretamente, como inibidor da urease, pois ele precisa ser convertido ao seu análogo de oxigênio, o NBPTO, que é a substância inibidora. Essa conversão pode levar desde alguns minutos e horas a até dias em solos inundados (WATSON, 2000).

Pereira et al. (2009) verificaram reduções nas perdas de N por volatilização, na cultura do milho, quando foi utilizada a mistura ureia e NBPT.

Essa redução ocorreu porque o NBPT ocupa o sítio de atividade da urease inativando a enzima e a consequência é a redução nas perdas de amônia para atmosfera.

Além da mistura do NBPT com fertilizantes minerais, como com a ureia comum, atualmente, vem sendo avaliada a viabilidade da utilização desse composto, na mistura com fertilizantes orgânicos (MENÉNDEZ et al., 2009; MERINO et al., 2005) com o mesmo objetivo da mistura a fertilizantes minerais, que é reduzir perdas de N na forma de gases e melhorar o aproveitamento do N do fertilizante.

Dessa forma, pode-se afirmar que o uso de NBPT em fertilizantes nitrogenados pode ser uma estratégia de manejo com potencial, não só de reduzir as perdas por volatilização de amônia, mas também as emissões de óxido

nitroso e de aumentar a eficiência da adubação nitrogenada seja na mistura com fertilizantes minerais ou orgânicos.

Diante disso, tornou-se importante o conhecimento da emissão de gases do efeito estufa pela utilização de fertilizantes nitrogenados minerais e orgânicos, em lavouras cafeeiras, bem como utilização de fertilizantes estabilizados, de liberação controlada e métodos de aplicação, na resposta de emissão de GEE e volatilização de amônia.

REFERÊNCIAS

ALVES, B. J. R. et al. **Manejo de sistemas agrícolas: impacto no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Genesis, 2006. 216 p.

ANDRADE, L. R. M. Corretivos e fertilizantes para culturas perenes e semiperenes. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004. p. 317-366.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DOS ADUBOS. **Anuário estatístico do setor fertilizantes, 2014**. São Paulo, 2015. 176 p.

AZEEM, B. et al. Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer. **Journal of Controlled Release**, Salt Lake City, v. 181, p. 11-21, May 2014.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Relatório de Inflação**, Brasília, DF, v. 17, n. 4, p. 1-109, dez. 2015.

BATISTA, E. E. **A importância da cafeicultura para a permanência dos sítios na terra: uma análise dos bairros rurais da Laranja Azeda e da Limeira em Lerroville, Londrina- PR**. 2010. 349 f. Tese (Doutorado em Geografia)- Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, São Paulo, 2010.

BLASING, T. J. **Recent greenhouse gas concentrations**. Oak Ridge: UNT, 2009. 5 p.

BOUWMAN, A. F. **Soils and the greenhouse effect**. Chichester: Wiley, 1990. 365 p.

BRASIL. **Pretendida contribuição nacionalmente determinada para consecução do objetivo da convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima**. Brasília, DF, 2015a. 10 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Balança comercial do agronegócio**. Brasília, DF, 2015b. 9 p.

BRASIL. Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 2. ed. Brasília, DF, 2014. 168 p.

BREMNER, J. M.; MCCARTY, G. W. Inhibition of nitrification in soil by allelochemicals derived from plants and plant residues. In: BOLLAG, J. M.; STOTZKY, G. (Ed.). **Soil biochemistry**. New York: Dekker, 1993. v. 8, p. 181-218.

BROTTO, A. C.; KLIGERMAN, D. C.; PICCOLI, A. S. Emissão de óxido nitroso de estação de tratamento de esgoto de lodos ativados por aeração prolongada: estudo preliminar. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 3, p. 618-623, mar. 2010.

BUTTERBACH-BAHL, K. M. et al. Quantifying the regional source strength of N-trace gases across agricultural and forest ecosystems with process based models. **Plant and Soil**, The Hague, v. 260, n. 1/2, p. 311-329, Mar. 2004.

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

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

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

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

CARVALHO, A. M. et al. Emissão de óxidos de nitrogênio associada à aplicação de ureias sob plantio convencional e direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 4, p. 679-685, abr. 2006.

CARVALHO, M. C. S. et al. Volatilização de amônia proveniente de ureia comum e ureia com tecnologias agregadas em arroz de terras altas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. **Resumos...** Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. p. 1-4.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **Relatório PIBAgro, Brasil**. São Paulo, 2015. 15 p.

CHIARADIA, J. J. et al. Fluxos de CO₂, CH₄ e N₂O de um argissolo tratado com lodo de esgoto e cultivado com mamona. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 1863-1870, nov./dez. 2009.

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

CLAY, D. E.; MALZER, G. L.; ANDERSON, J. L. Ammonia volatilization from urea as influenced by soil temperature, soil water content, and nitrification and hydrolysis inhibitors. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, n. 1, p. 263-266, 1990.

CONRAD, R. Soil microorganisms as controllers of atmospheric trace gases (H₂, CO, CH₄, OCS, N₂O, and NO). **Microbiological Reviews**, Bethesda, v. 60, n. 4, p. 609-640, Dec. 1996.

COOK, J. et al. Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature. **Environmental Research Letters**, Bristol, v. 8, n. 2, Apr./June 2013. Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/8/2/024024>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

COUNCIL FOR AGRICULTURAL SCIENCE AND TECHNOLOGY. **Climate change and greenhouse gas mitigation: challenges and opportunities for agriculture**. West Lincoln, 2004. 120 p.

DALAL, R. C. et al. Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: a review. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 41, n. 2, p. 165-195, Apr. 2003.

DELGADO, J. A.; MOSIER, A. R. Mitigation alternatives to decrease nitrous oxides emissions and urea-nitrogen loss and their effect on methane flux. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 25, n. 5, p. 1105-1111, Oct. 1996.

DOMINGHETTI, A. W. et al. Nitrogen loss by volatilization of nitrogen fertilizers applied to coffee orchard. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 1, p. 173-183, mar./abr. 2016.

EDMEADES, D. C. Nitrification and urease inhibitors: a review of the National and International literature on their effects on nitrate leaching, greenhouse gas emissions and ammonia volatilization from temperate legume-based pastoral system. **Environment Waikato Technology Report**, Waikato, v. 22, Aug. 2004. Disponível em: <<http://www.waikatoregion.govt.nz/PageFiles/2883/TR04-22.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2012.

EICHNER, M. J. Nitrous oxide emissions from fertilized soils: summary of available data. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 19, n. 2, p. 272-280, 1990.

ENVIRONMENT CANADA. **National inventory report, 1990-2005: greenhouse gas sources and sinks in Canada**. Gatineau, 2007. Disponível em: <http://www.ec.gc.ca/pdb/ghg/inventory_report/2005_report/toc_e.cfm>. Acesso em: 23 jan. 2016.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Carbon pollution emission guidelines for existing stationary sources. **Electric Utility Generating Units**, Washington, DC, v. 80, n. 205, p. 64661-65120, Oct. 2015.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Climate change indicators in the United States, 2016**. 4th ed. Washington, DC, 2016. Disponível em: <<https://www.epa.gov/climate-indicators>>. Acesso em: 2 jan. 2016.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2014**. Washington, DC, 2016b. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ghgemissions/us-greenhouse-gas-inventory-report-1990-2014>>. Acesso em: 12 jan. 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Global inventory of NH₃, emissions from mineral fertilizers and animal manure applied to croplands and grasslands**. Rome, 2001. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 1 set. 2011.

FORSTER, P. et al. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: SOLOMON, S. et al. (Ed.). **Climate change 2007: the physical science basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 129-234.

FRANCISCO, Papa. **Laudato SI'**: carta encíclica do Santo Padre Francisco, sobre o cuidado da casa comum. Rome, 2015. 88 p.

FRENEY, J. R. Emisión of nitrous oxide from soils used for agriculture. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 49, n. 1/3, p. 1-6, July 1997.

GRANLI, T.; BØCKMAN, O. C. Nitrous oxide from agriculture. **Norwegian Journal of Agricultural Science**, Norway, v. 12, p. 1-128, 1994.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 1, p. 1-78, jan. 2016.

INSTITUTO DE MANEJO FLORESTAL E AGRÍCOLA. **Evolução das emissões de gases de efeito estufa no Brasil (1970-2013) setor de agropecuária**. São Paulo: Observatório do Clima, 2015. 57 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2007: the physical science basis**. New York: Cambridge University Press, 2007. 996 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application. In: _____. **Guidelines for national greenhouse gas inventories**. Tokyo: IGES, 2006. v. 4, cap. 11, p. 11.5-11.54.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. The science of climate change. intergovernmental panel on climate change. In: _____. **Climate change 1995: IPCC second assessment report**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. p. 19-24.

INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION. **IFADATA statistics: production, imports, exports and consumption data for nitrogen, phosphate and potash 1973/74 to 2007/2008**. Paris, 2010. Disponível em: <<http://www.fertilizer.org/ifa/Home-Page/STATISTICS>>. Acesso em: 1 set. 2011.

KHALIL, M. I.; BAGGS, E. M. CH₄ oxidation and N₂O emissions at varied soil water-filled pore spaces and headspace CH₄ concentrations. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 37, n. 10, p. 1785-1794, Oct. 2005.

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

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

LIMA, M. A. Emissão de gases de efeito estufa. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, Brasília, DF, v. 3, n. 17, p. 38-43, nov. 2000.

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

MADARI, B. E. et al. **Fator de emissão de óxido nitroso (N₂O) para a fertilização com N na cultura do feijoeiro comum irrigado no Cerrado**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2007. 4 p. Comunicado técnico.

MCCARTY, G. W. Modes of action of nitrification inhibitors. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 29, n. 1, p. 1-9, Apr./Aug. 1999.

MCCARTY, G. W.; BREMNER, J. M. Inhibition of nitrification in soil by heterocyclic nitrogen compounds. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 8, n. 3, p. 204-211, July/Dec. 1989.

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

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

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Trends in atmospheric carbon dioxide**. Boulder, 2009. Disponível em: <<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>>. Acesso em: 1 set. 2012.

OLIVEIRA, W. R. D. **Quantificação das emissões de N₂O resultantes de fertilizante, fixação de N₂ e resíduos de colheita em argissolo vermelho amarelo**. 2009. 46 f. Dissertação (Mestrado em Ciência)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.

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

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

SANTOS, R. B. **Desenvolvimento de revestimentos poliméricos para liberação controlada de ureia**. 2015. 80 f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica e Inorgânica)-Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

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

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

SHAVIV, A.; MIKKELSEN, R. L. Controlled-release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation: a review. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 35, n. 1/2, p. 1-12, Feb. 1993.

SHOJI, S. et al. Use of controlled release fertilizers and nitrification inhibitors to increase nitrogen use efficiency and to conserve air and water quality. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, n. 7/8, p. 1051-1070, Apr. 2001.

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

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

SMITH, K. A.; CONEN, F. Impacts of land management on fluxes of trace greenhouse gases. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 20, n. 2, p. 255-263, Jan. 2004.

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

SOARES, D. A. **Eficiência da adubação nitrogenada no feijoeiro sob sistema de plantio direto**. 2011. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

SOARES, J. R. et al. Enhanced-efficiency fertilizers in nitrous oxide emissions from urea applied to sugarcane. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 44, n. 2, p. 423-430, Mar./Apr. 2015.

STEHFEST, E.; BOUWMAN, L. N₂O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 74, n. 3, p. 207-228, Mar. 2006.

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

TIMILSENA, Y. P. et al. Enhanced efficiency fertilizers: a review of formulation and nutrient release patterns. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Hoboken, v. 95, n. 6, p. 1131-1142, Apr. 2015.

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

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

WINELY, C. L.; CLEMENTE, C. S. The effect of two herbicides (CIPC and eptam) on oxidative phosphorylation by *Nitrobacter agilis*. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 17, n. 1, p. 47-51, Jan. 1971.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. Climate Analysis Indicators Tool. **WRI's climate data explorer**. Washington, DC, 2015. Disponível em: <<http://cait.wri.org>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

ZANATTA, J. A. et al. Nitrous oxide and methane fluxes in south Brazilian gleysol as affected by nitrogen fertilizers. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 5, p. 1653-1665, set./out. 2010.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1 Eficiência agronômica de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados e de liberação controlada em lavoura cafeeira irrigada

Danilo de Araújo Soares*

Artigo formatado de acordo com a revista Pesquisa Agropecuária Brasileira PAB.

* Doutorando em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Lavras.
E-mail: daniloagro@outlook.com

RESUMO

Os fertilizantes nitrogenados são essenciais para manutenção da produtividade na cafeicultura. Uma das alternativas para aumentar a eficiência dos fertilizantes convencionais são os fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada. Objetivou-se nesse estudo quantificar as perdas de nitrogênio por volatilização, os teores de N no solo e nas plantas e a produtividade do café adubado com fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados e de liberação controlada em lavoura cafeeira irrigada. O estudo foi realizado no município de Monte Carmelo/MG no ano agrícola 2012/2013, em lavoura em produção (2 anos de idade). Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 parcelas experimentais. Os tratamentos consistiram na aplicação de 368 kg ha⁻¹ de N (4 parcelamentos de 92 kg ha⁻¹ de N, à exceção da fertirrigação), na projeção da copa das plantas de café, da seguinte maneira: 1) Ureia convencional granulada (UR); 2) Ureia granulada revestida com 600 mg kg⁻¹ de NBPT (UR+NBPT); 3) Ureia granulada e revestida por polímero elástico (UR+PE); 4) Composto orgânico + ureia (25% do N total aplicado na forma de composto orgânico e os outros 75% na forma de ureia) misturados horas antes da aplicação na lavoura (UR+CO); 5) cerrado (Controle: sem aplicação de fertilizantes) (CER) e 6) 11 aplicações de N na fertirrigação (FERT). Foram avaliadas as perdas de N-NH₃ por volatilização, disponibilidade de nitrato (NO₃⁻) e amônio (NH₄⁺) no solo, o teor foliar de N e a produtividade do cafeeiro. A sequência decrescente das perdas de N-NH₃ no ano agrícola 2012/2013 é: Ureia + NPBT (177,2 kg ha⁻¹ de N) = Ureia granulada (166,5 kg ha⁻¹ de N) > Ureia + Composto orgânico (116,9 kg ha⁻¹ de N) = Ureia + polímeros (103,5 kg ha⁻¹ de N) > Cerrado (4,7 kg ha⁻¹ de N) = Fertirrigação (4,4 kg ha⁻¹ de N). Os fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação controlada e aplicação de N via fertirrigação não promoveram diferenças nos teores foliares de N e na produtividade do cafeeiro adubado com carga pendente.

Palavras Chave: *Coffea arabica* L. Fertirrigação. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada. Nitrato. Amônio. Perdas de N-NH₃.

1 INTRODUÇÃO

Em 2015 o Brasil manteve-se como o 1º produtor e exportador e 2º maior consumidor de café do mundo (COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2016). A cadeia produtiva do café foi responsável pela geração de mais de oito milhões de empregos no Brasil. Estima-se que a produção brasileira de café, em 2016, após sofrer dois anos de queda por efeito do clima, se recupere e possa alcançar 49,7 milhões de sacas (60 kg), um aumento de mais de 12% em relação ao ano de 2015 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2016). Minas Gerais continua a ser o estado que mais produz café no Brasil. É responsável por aproximadamente 70% do café arábica produzido no país.

A produtividade da cafeicultura ao longo dos anos apresentou ganhos expressivos. A produtividade média de café no Brasil passou de 14,36 sacas de café beneficiado ha⁻¹ em 2001, para 22,5 sacas em 2015 (CONAB, 2016). Esses ganhos foram possíveis devido as melhores práticas de manejo, melhoramento genético, uso de irrigação e de corretivos e fertilizantes, dentre outras práticas de manejo da cultura do café. O cerrado brasileiro tem se tornado região de destaque na produção agropecuária, a partir do uso de corretivos e fertilizantes (LOPES; GUILHERME, 2016).

Um dos nutrientes mais exigidos pelo cafeeiro é o nitrogênio (N). O fertilizante nitrogenado mais utilizado no mundo, a fim de atender a demanda de N das plantas é a ureia [(NH₂)₂CO]. Quando a ureia é aplicada à superfície do solo, em áreas sem fertirrigação, ocorrem perdas de N-NH₃ por volatilização que em média atingem 30% do total do N aplicado (DOMINGHETTI et al., 2016). Uma das alternativas para reduzir as perdas de N-NH₃ é a utilização dos fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada (AZEEM et al., 2014; TIMILSENA et al., 2015).

Os fertilizantes nitrogenados estabilizados e de liberação lenta ou controlada estão ganhando espaço no mercado de fertilizantes e possuem diversos modos de ação, sendo que o objetivo principal é diminuir as perdas do nutriente do sistema, tentando assegurar que o nutriente seja utilizado pelas plantas.

Dentre os fertilizantes nitrogenados estabilizados, a molécula de NBPT, é uma das mais utilizadas. Essa molécula age na enzima catalisadora da quebra da ureia, a urease, se acoplando ao sítio de ativação desta enzima. O objetivo então é que a ureia não seja totalmente convertida a amônio imediatamente após sua aplicação ao solo.

Em relação aos fertilizantes de liberação controlada, o objetivo é sincronizar a liberação do nutriente com a demanda da planta. Normalmente são fertilizantes com maior tecnologia, o que normalmente reflete no preço final do produto. Os produtos mais comuns desta classe de fertilizantes são o recobrimento dos grânulos dos fertilizantes com polímeros orgânicos termoplásticos ou resinas (MAURI, 2016). Na maioria dos produtos, o modo de ação destes recobrimentos permite a liberação do fertilizante quando há aumento da umidade e da temperatura, sendo menos influenciados pelos demais fatores do ambiente que os fertilizantes comuns. Sendo a temperatura e a umidade fatores determinantes da demanda da planta em nutrientes, o efeito dos fertilizantes de liberação controlada tendem a deixar os nutrientes menos susceptíveis a perdas.

Com o objetivo de avaliar a eficiência agrônômica dos fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados e de liberação controlada foram quantificadas as perdas de $N-NH_3$, os teores de N no solo e nas plantas e a produtividade em lavoura de café irrigada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

O estudo foi realizado na Fazenda Juliana, localizada no município de Monte Carmelo/MG (local representativo do cerrado mineiro), com coordenadas UTM 23k 230320 metros de longitude, 7930542 metros de latitude e altitude de 862 m, no período compreendido entre os meses de outubro de 2012 a agosto de 2013.

As áreas de lavouras de café da Fazenda Juliana, estão subdivididas em 12 diferentes talhões, dentre os quais foi um deles foi selecionado para a realização do experimento o talhão denominado Soldado (Figura 1). Esse talhão foi plantado entre o final do mês de novembro e início do mês de dezembro do ano de 2010, com café arábica da cultivar Acaiá, linhagem IAC 474-19. O espaçamento utilizado no plantio foi de 0,7 metros entre plantas e 3,8 metros entre linhas do cafeeiro, totalizando 3.760 plantas por hectare.



Figura 1 Foto aérea mostrando a disposição da área experimental no talhão da lavoura de café. Contornos em vermelho delimitam os subsectores de fertirrigação, retângulos coloridos delimitam cada bloco experimental.

Fonte: Google Earth

O talhão soldado possui 5,5 hectares divididos em 5 setores de 1,1 hectares. Cada setor possui registros de fertirrigação separados, o que permite separar a lâmina de água e quantidade de fertilizante a ser aplicada em cada sub talhão. A condução do experimento foi realizada no setor 4 e no setor 5.

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico argiloso (SANTOS et al., 2013). As características químicas do solo nas camadas 0-10 cm do Setor 4 e do Setor 5 e nas camadas 11-30 cm também do Setor 4 e do Setor 5 foram determinadas segundo metodologia proposta pela Embrapa, 2009 (Tabela 1).

Durante todo o período de realização do experimento dados climatológicos foram mensurados por uma estação Davis Vantage Pro2 Plus, modelo 6162 localizada a 500 m de distância da área experimental, onde foram mensurados: a temperatura (média, mínima e máxima), a umidade do ar (interna e externa), velocidade e direção do vento, pressão barométrica, índice pluviométrico, radiação solar e radiação Uva. A precipitação pluviométrica, temperaturas máximas e mínimas, estão representados na Figura 2.

Tabela 1 Análise do solo do experimento (setor 4 e 5) nas profundidades de 0-10 e 10-30 cm

	Profundidade	pH		M.O.	S	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H+Al)
	cm	H ₂ O	CaCl ₂	g dm ⁻³	..... mg dm ⁻³ .....	..... mg dm ⁻³ .....	.....	..... cmol _c dm ⁻³ .....	.....	.....	.....
Setor	0-10	6,8	6,10	31,0	9	63,3	113	2,1	1,1	0,0	1,7
Setor	11-30	6,5	5,80	28,0	14	41,5	93	2,9	0,8	0,0	1,9
Setor	0-10	6,6	5,80	30,0	9	54,0	121	3,0	1,0	0,0	1,9
Setor	11-30	6,7	5,90	28,0	11	58,0	127	3,3	0,9	0,0	1,8

	Profundidade	SB	t	T	V	m	Fe ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Mn ²⁺	B
	cm	..... cmol _c dm ⁻³			..... % .....	.....	..... mg dm ⁻³				
Setor	0-10	3,49	3,49	5,19	67,2	0	32	4,1	2,5	9,3	0,50
Setor	11-30	3,94	3,94	5,84	67,5	0	31	3,7	2,2	7,7	0,49
Setor	0-10	4,31	4,31	6,21	69,4	0	33	3,5	1,7	6,2	0,67
Setor	11-30	4,52	4,52	6,32	71,5	0	35	4,9	1,8	7,0	1,04

M.O. = Matéria orgânica do solo; SB = Soma de bases; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio

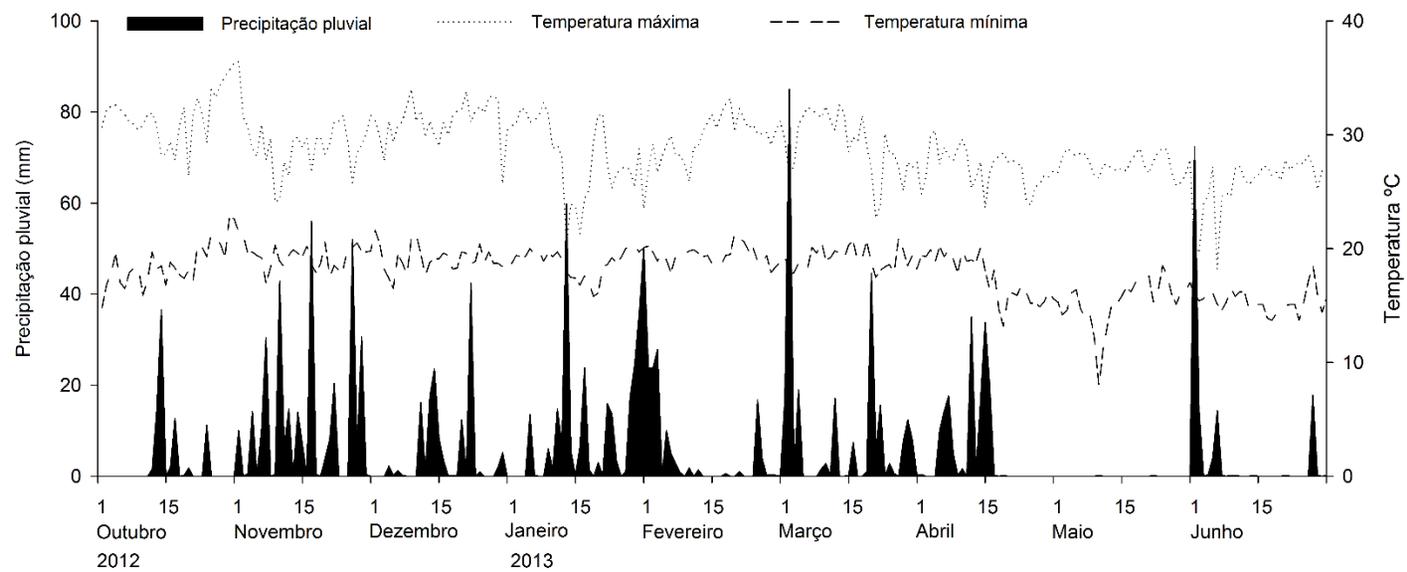


Figura 2 Precipitação pluviométrica, temperatura máxima e mínima durante o período realização do experimento no ano agrícola 2012/2013 no município de Monte Carmelo (MG)

2.2 Delineamento experimental

Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados com cinco tratamentos + 1 tratamento adicional, com quatro repetições. As parcelas experimentais foram constituídas por seis linhas com 25 (vinte e cinco) plantas de café em cada linha. Como área útil, foram considerados 15 plantas centrais das 2 duas linhas do centro da parcela (a bordadura foi dada pelas duas linhas externas do lado superior, duas linhas externas do lado inferior e cinco plantas de cada extremidade das linhas centrais).

Os tratamentos consistiram na aplicação de 368,5 kg ha⁻¹ de N (4 parcelamentos de 92 kg ha⁻¹ de N, à exceção da fertirrigação), na superfície do solo e na região da projeção da copa das plantas de café: 1) Ureia convencional granulada (UR); 2) Ureia granulada revestida com 600 mg kg⁻¹ de NBPT (UR+NBPT); 3) Ureia granulada e revestida por polímero elástico (UR+PE); 4) Composto orgânico + ureia convencional granulada (25% do N total aplicado na forma de composto orgânico (ANEXO A) e os outros 75% na forma de ureia), misturados antes da aplicação destes na lavoura (UR+CO); 5) cerrado (Controle: sem aplicação de fertilizantes), 6) 11 aplicações de nitrogênio na fertirrigação (FERT).

No tratamento com aplicação de N na fertirrigação foram realizadas aplicações quinzenais dos fertilizantes nitrogenados com a água de irrigação por gotejamento.

A fertirrigação foi aplicada durante o período compreendido entre outubro de 2012 a abril de 2013, com parcelamentos da dose total em aplicações quinzenais. As fertirrigações foram realizadas nos dias 04/10/2012; 24/10/2012; 07/11/2012; 23/11/2012; 20/12/2012; 14/01/2013; 18/01/2013; 08/02/2013; 19/02/2013; 06/03/2013; 20/03/2013, diluídos em uma lâmina de água de 4,4 mm, com os seguintes fertilizantes nitrogenados: Ureia, sulfato de amônio,

nitrato de cálcio, mono amônio fosfato purificado (MAP purificado). A ureia fez parte de mais de 85% do total dos fertilizantes aplicados na fertirrigação.

A 1ª adubação nitrogenada em cobertura com dos tratamentos foi realizada no dia 04/10/2012, a 2ª adubação (23/11/2012), a 3ª adubação (16/01/2013) e a 4ª adubação (06/03/2013).

2.3 Quantificação das perdas de nitrogênio no solo por volatilização de amônia

As quantificações das perdas de N-NH₃ por volatilização foram realizadas utilizando o método do coletor semiaberto, desenvolvido por Nonmik (1973) e adaptado por Lara Cabezas et al. (1999). As câmaras de coleta foram construídos com a utilização de tubos de PVC com 50 cm de altura e 25 cm de diâmetro. Esses coletores semiabertos foram instalados nas parcelas antes da aplicação dos fertilizantes nitrogenados em cobertura. Foram enterrados a 5 cm de profundidade no solo, permanecendo 45 cm acima da superfície. Para evitar a incidência de chuvas dentro dos coletores, protetores de polietileno com 35 cm de diâmetro foram fixados por dois fios perpendiculares de arame e colocadas sobre cada coletor, o que permitiu a circulação de ar dentro dos coletores e impediu a incidência de água dentro dos mesmos. A quantidade de fertilizante nitrogenado colocada em cada coletor, equivalente às doses referidas a cada tratamento, foi pesada no laboratório em balança de precisão e colocada em copo descartável tampado com papel filme para transporte até o campo.

Dentro de cada coletor foram acondicionadas duas espumas (densidade de 0,02 g cm⁻³) embebidas com 170 mL de solução de ácido fosfórico (50 mL L⁻¹) e glicerina (40 mL L⁻¹), uma a 15 cm de altura do solo e outra a 40 cm com a função de absorver a amônia volatilizada. A espuma localizada na parte superior do coletor teve a função de evitar a contaminação da espuma inferior, enquanto a

amônia era captada pela espuma inferior (LARA CABEZAS; TRIVELIN, 1990). Após cada coleta, novas espumas embebidas em ácido foram colocadas nos coletores.

As coletas foram realizadas no segundo (06/10/2012), quarto (08/10/2012), sétimo (11/10/2012), décimo primeiro (15/10/2012), vigésimo (24/10/2012), vigésimo segundo (26/10/2012), vigésimo sexto (30/10/2012), vigésimo nono (02/11/2012), trigésimo quarto (07/11/2012), trigésimo sexto (09/11/2012), quadragésimo terceiro (16/11/2012), quinquagésimo (23/11/2012) dia após a 1ª adubação nitrogenada em cobertura.

As coletas da 2ª adubação nitrogenada foram realizadas no terceiro (26/11/2012), quinto (28/11/2012), sétimo (30/11/2012), décimo (03/12/2012), décimo terceiro (06/12/2012), décimo quinto (08/12/2012), décimo oitavo (11/12/2012), vigésimo primeiro (14/12/2012), vigésimo oitavo (21/12/2012), trigésimo quinto (28/12/2012), quadragésimo quinto (07/01/2013), quinquagésimo quarto (16/01/2013) dia após a segunda adubação.

As coletas da 3ª adubação nitrogenada foram realizadas no segundo (18/01/2013), quarto (20/01/2013), sexto (22/01/2013), oitavo (24/01/2013), décimo primeiro (27/01/2013), décimo quinto (31/01/2013), décimo nono (04/02/2013), vigésimo primeiro (06/02/2013), vigésimo sétimo (12/02/2013), trigésimo quarto (19/02/2013), quadragésimo segundo (27/02/2013), quadragésimo nono (06/03/2013) dias após a adubação.

As coletas da 4ª adubação nitrogenada ocorreram no segundo (08/03/2013), quarto (10/03/2013), sétimo (13/03/2013), nono (15/03/2013), décimo terceiro (19/03/2013), décimo quinto (21/03/2013), vigésimo (26/03/2013), trigésimo segundo (07/04/2013), trigésimo oitavo (13/04/2013), quadragésimo quarto (19/04/2013), quinquagésimo (25/04/2013), sexagésimo (05/05/2013), septuagésimo segundo (17/05/2013), octogésimo (25/05/2013),

centésimo primeiro (15/06/2013), centésimo vigésimo primeiro (05/07/2013) dia após a quarta coleta.

Em cada coleta, as espumas foram acondicionadas em sacos plásticos e identificadas e transportadas em caixa de isopor com gelo até o laboratório, onde foram armazenadas sob refrigeração. Para determinação do N-NH₃ capturado pelas espumas, as mesmas foram lavadas com água destilada (1.100 mL) sobre funil de Büchner com placa porosa e auxílio de uma bomba a vácuo. O volume de solução extraído de cada espuma foi mensurado. Uma alíquota de 20 ml foi transferida para tubo de ensaio e levado para destilação pelo método semimicro Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995).

2.4 Avaliações das características produtivas do cafeeiro

No dia 31/05/2013 foram colhidas, separadamente, cinco plantas centrais de cada parcela de todos os tratamentos, exceto o tratamento cerrado (controle). Os grãos foram secos e pesados. A unidade de produção de cada tratamento foi obtida pela média da produção das quatro parcelas que foram transformadas para sacas de café beneficiadas por ha⁻¹.

2.5 Determinação da concentração de N-mineral do solo

As formas de nitrogênio mineral amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻) foram quantificadas em todas as parcelas nos dias 06/03/13, 09/03/13, 04/04/13, 01/05/13 e 15/05/13. As amostras de solo foram retiradas com auxílio de trado holandês no local de aplicação dos fertilizantes nitrogenados e nas profundidades de 0-20 e 21-40 cm. Logo em seguida, foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e colocadas em caixa de isopor com gelo e transportadas para o refrigerador onde permaneceram até o momento da análise

no laboratório, conforme recomendações de Mattos Junior, Cantarella e Raij (1995).

O N amoniacal e nítrico (N-NO_3^- e N-NH_4^+) foi determinado pelo método de destilação a vapor, conforme metodologia proposta por Tedesco et al. (1995).

2.6 Teor foliar de nitrogênio

Para avaliação do teor foliar de N nas plantas de café, no dia 12/12/2012 foram coletadas o 3º e o 4º pares de folhas a partir da ponta do ramo dos ramos produtivos a meia altura na planta (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). As folhas foram secas em estufa de ventilação forçada de ar, com temperaturas entre 58 a 65°C por 72 horas. Posteriormente, as amostras foram moídas em moinho do tipo Willey, com peneira de 1 mm, armazenadas em sacos de papel e identificadas. O teor foliar de N foi determinado conforme metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

2.7 Análises estatísticas

Os dados das perdas de N-NH_3 não apresentaram normalidade dos resíduos e passaram por transformações. A transformação de log foi a escolhida por ser a mais adequada para o conjunto de dados. A transformação de Box Cox também poderia ter sido utilizada neste conjunto, pois os pressupostos da análise de variância foram atendidos, mas em virtude de lambda tender a zero, fez-se a opção pela transformação de log. Por se tratar de medidas repetidas no tempo, utilizou um modelo misto com efeito aleatório das parcelas representadas nesse experimento pelos coletores.

Os dados foram submetidos às análises de variância e as equações de regressão foram ajustadas para a variável analisada em função dos tratamentos

ao longo do período de coleta. As diferenças entre os tratamentos foram verificadas pelo teste T de Student. Todas as operações estatísticas foram realizadas com auxílio do programa R (R CORE TEAM, 2015).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Volatilização de amônia (N-NH₃)

A sequência decrescente das perdas acumuladas de N-NH₃ nas quatro adubações (Dose total aplicada = 368 kg ha⁻¹ de N) realizadas no ano agrícola de 2012/2013 em lavoura cafeeira irrigada foi: ureia + NPBT (177,2 kg ha⁻¹ de N) = ureia granulada (166,5 kg ha⁻¹ de N) > ureia + composto orgânico (116,9 kg ha⁻¹ de N) = ureia + polímeros (103,5 kg ha⁻¹ de N) > cerrado (4,7 kg ha⁻¹ de N) = N aplicado por fertirrigação (4,4 kg ha⁻¹ de N); (Figura 3).

A volatilização de amônia oriunda da ureia ao longo das quatro adubações foi de 166 kg de N ha⁻¹. Esse valor representa 45 % de todo o total de N aplicado na lavoura cafeeira no ano agrícola 2012/2013.

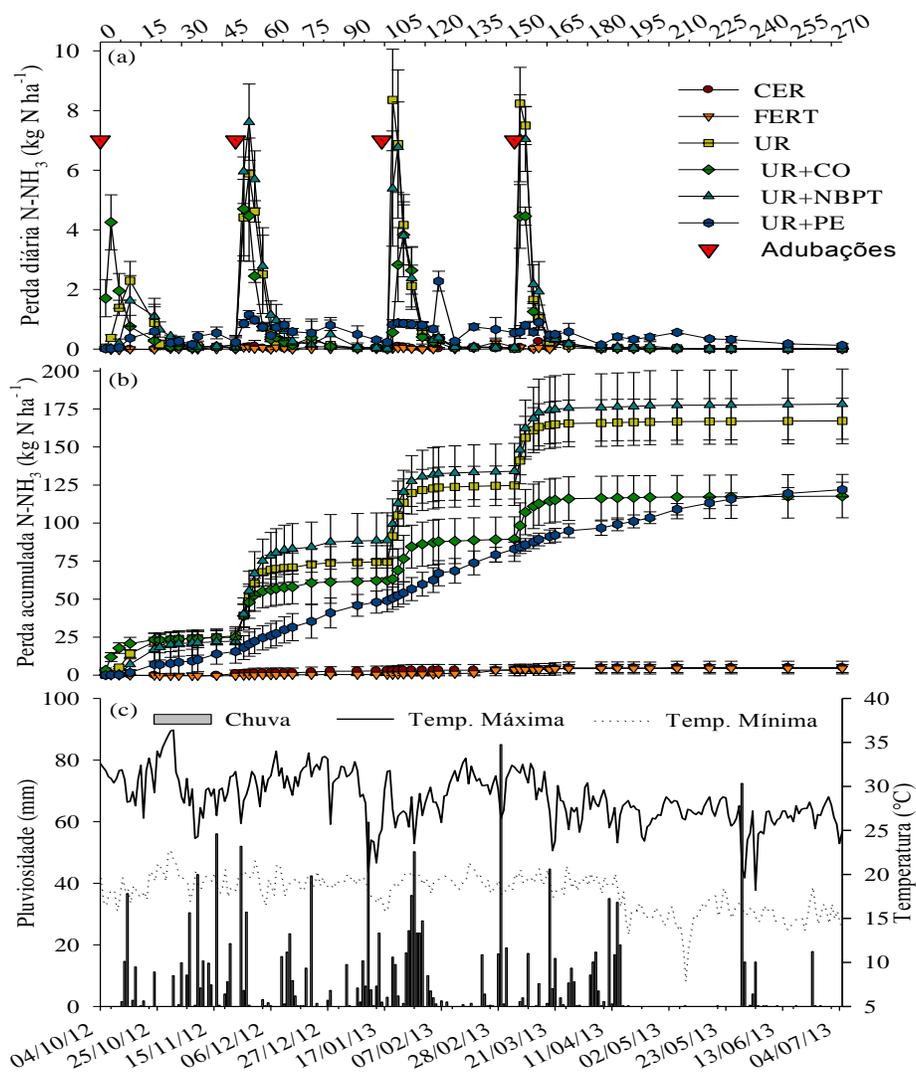
Em condições de lavoura cafeeira irrigada por gotejamento a perda acumulada de N-NH₃ da ureia + NBPT aplicada na superfície do solo foi semelhante à da ureia granulada convencional, inclusive com picos de volatilização logo nos primeiros dias após a 2^a, 3^a e 4^a adubação nitrogenada.

A aplicação do N via fertirrigação, com parcelamento da dose total em 11 vezes, foi eficiente na redução de perdas de N-NH₃. Quando comparado à ureia granulada a redução da volatilização proporcionada pela fertirrigação foi de 97,3%. Em se tratando de aplicação de N ao solo por irrigação somente pelo método da fertirrigação, as reduções de volatilização de N se dão principalmente por duas hipóteses: a) Carreamento do fertilizante nitrogenado pela água da irrigação, a qual incorpora o fertilizante ao solo. Estando incorporado ao solo, o fertilizante nitrogenado, quando sofre a hidrólise, favorece a formação do íon amônio (NH₄⁺), em detrimento a amônia (NH₃), uma vez que no solo há íons H⁺ para promover a reação NH₃ + H⁺ → NH₄⁺. O amônio é posteriormente ligado eletrostaticamente às cargas negativas presentes na fase sólida do solo. b)

Saturação da urease. Por ser aplicada em uma área reduzida da superfície do solo, a ureia aplicada por fertirrigação (gotejamento) rapidamente saturaria as enzimas urease próximas da região que recebeu o fertilizante.

Em trabalho realizado por Dominghetti (2016) foi reportada redução na perda acumulada de $N-NH_3$ com aplicação da ureia diluída em água (50 g L^{-1}) em lavoura cafeeira de sequeiro (Lavras – MG). No total de seis adubações nitrogenadas (cada adubação com 150 kg ha^{-1} de N, totalizando 900 kg ha^{-1} aplicados em dois anos agrícolas) as perdas de $N-NH_3$ da ureia aplicada na superfície do solo, em diferentes condições climáticas foi igual a 33,9 % do N total aplicado. Quando a ureia foi diluída em água antes da aplicação as perdas de $N-NH_3$ diminuíram para 5,0% do total do N aplicado, mostrando o potencial de redução das perdas de $N-NH_3$ da ureia incorporada ao solo juntamente com água.

Parte das reduções das perdas $N-NH_3$ de fertilizantes nitrogenados fluidos aplicados ao solo podem ser explicadas pelo método de aplicação em faixa desses fertilizantes, o que reduziria a área de contato destes com o solo promovendo a saturação da urease (HARGROVE; KISSEL, 1979).



Fertirrigação (FERT); Cerrado (CER); Ureia (UR); Ureia + Composto Orgânico (UR + CO); Ureia + NBPT (UR+NBPT); Ureia + Polímero Elástico (UR+PE).

Figura 3 Perda diária (a) e acumulada (b) de $N-NH_3$ após a aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados de liberação controlada e via fertirrigação no total de quatro adubações no ano agrícola 2012/2013.

Na Tabela 2 é possível observar as diferenças absolutas que cada tratamento teve em relação a uma referência que é a ureia convencional.

Tabela 2 Perdas de N-NH₃, total (kg N ha⁻¹), em função da dose de N aplicada ao solo (%) e em relação a ureia (%)

TRATAMENTO	Perda acumulada de N-NH ₃		Diferenças para ureia %
	kg ha ⁻¹ de N	% do N aplicado	
CER	4,68a	-	-
FERT	4,39a	1,19	-97,36
UR+PE	103,50b	28,09	-37,83
UR+CO	116,94b	31,73	-29,75
UR	166,47c	45,18	-
UR+NBPT	177,23c	48,09	+6,46

Fertirrigação (FERT); Cerrado (CER); Ureia (UR); Ureia + Composto Orgânico (UR + CO); Ureia + NBPT (UR+NBPT); Ureia + Polímero Elástico (UR+PE). *Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 5% de probabilidade

A ureia + polímero elástico (UR+PE) aplicada na superfície do solo promoveu menor perda acumulada de N-NH₃ (28,09% do total do N aplicado) em comparação a ureia convencional e a ureia + NBPT e maior em comparação ao fornecimento do N via fertirrigação por diferentes fontes. A perda acumulada de N-NH₃ da ureia + polímeros foi 37% menor em comparação a da ureia granulada.

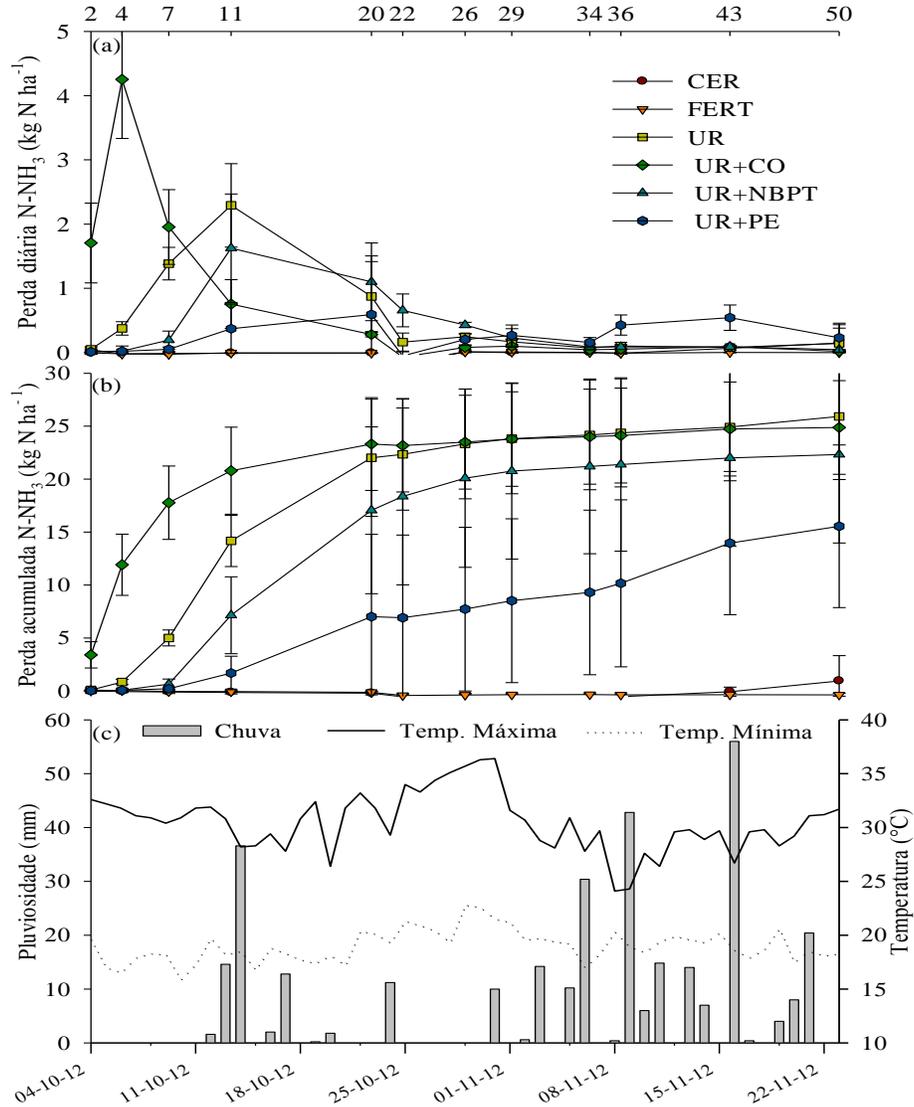
Em trabalho realizado em lavoura cafeeira, sem irrigação, também foi reportada redução nas perdas de N-NH₃ com a aplicação da ureia + resina termoplástica em comparação com a ureia granulada (DOMINGHETTI et al., 2016). No total das seis adubações nitrogenadas a perda acumulada de N-NH₃ da ureia + resina termoplástica (a mesma utilizada no presente estudo) foi de 11,6% do total de N aplicado (900 kg ha⁻¹ de N), enquanto que a da ureia convencional foi de 33,9% do total do N aplicado.

O mecanismo de difusão controla a taxa de liberação da ureia através do revestimento com o polímero (AZEEM et al., 2014; TIMILSENA et al., 2015).

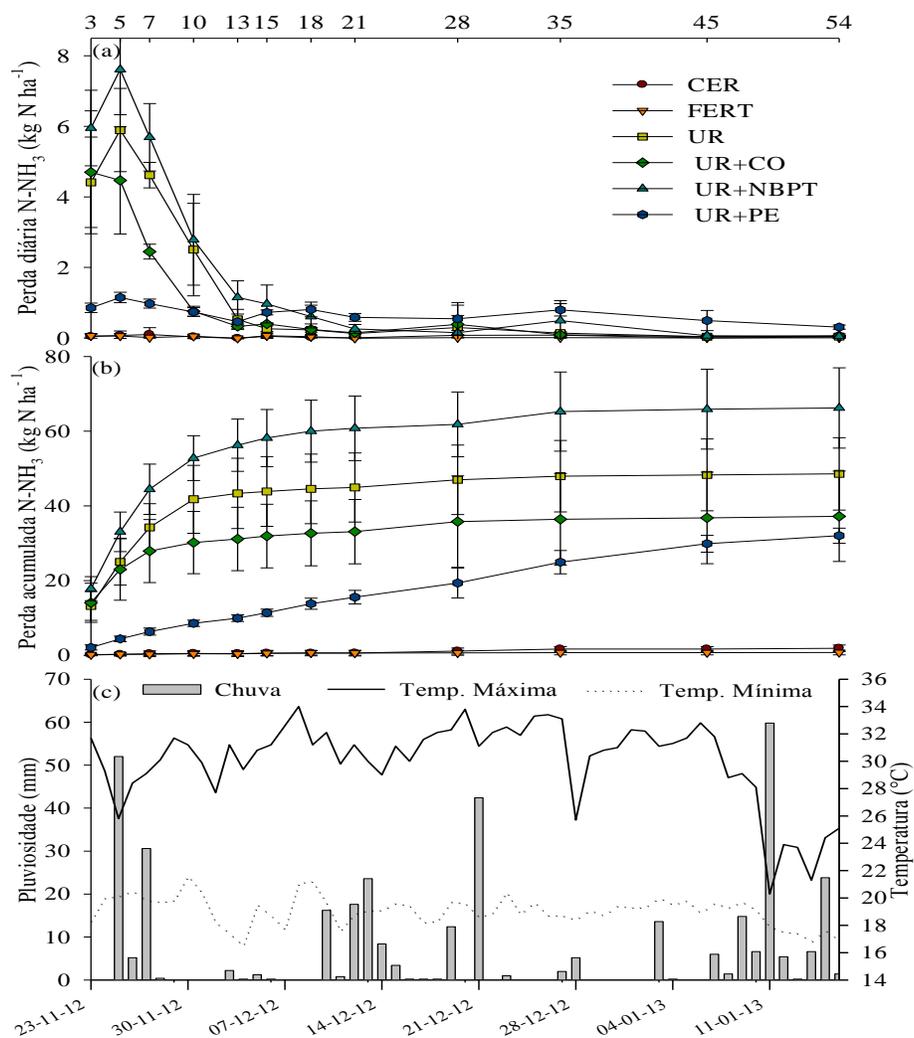
A difusão é influenciada basicamente pela temperatura e umidade do solo (Lei de Fick). Nesses fatores pode estar a explicação para a variação encontrada nas perdas de N-NH₃ da ureia + resina plástica aplicada em uma área de sequeiro em Lavras – MG (DOMINGHETTI et al., 2016) e as desse trabalho onde houve irrigação por gotejamento no manejo da lavoura cafeeira em Monte Carmelo - MG.

Embora não tenha sido aplicada nenhuma fonte de N no cerrado, que se encontrava com vegetação nativa, referência de um sistema natural localizada ao lado da área experimental, ocorreram reduzidas perdas de N-NH₃. Nesse tratamento a volatilização total acumulada de amônia observada ao longo dos 274 dias foi de 4,39 kg ha⁻¹ de N. A perda de amônia por volatilização em ambientes sem aplicação de N se deve a perda natural de amônia do N total presente no solo, decorrente das transformações que ocorrem naturalmente no solo. Menor valor na perda acumulada de N-NH₃ (1,27 kg de N ha⁻¹ em 47 dias de avaliação) em comparação ao solo com aplicação de fertilizantes nitrogenados na dose 110 kg de N ha⁻¹ (2,97 kg de N ha⁻¹ em 47 dias de avaliação) foram reportados em solo sob vegetação de cerrado (CARVALHO et al., 2008).

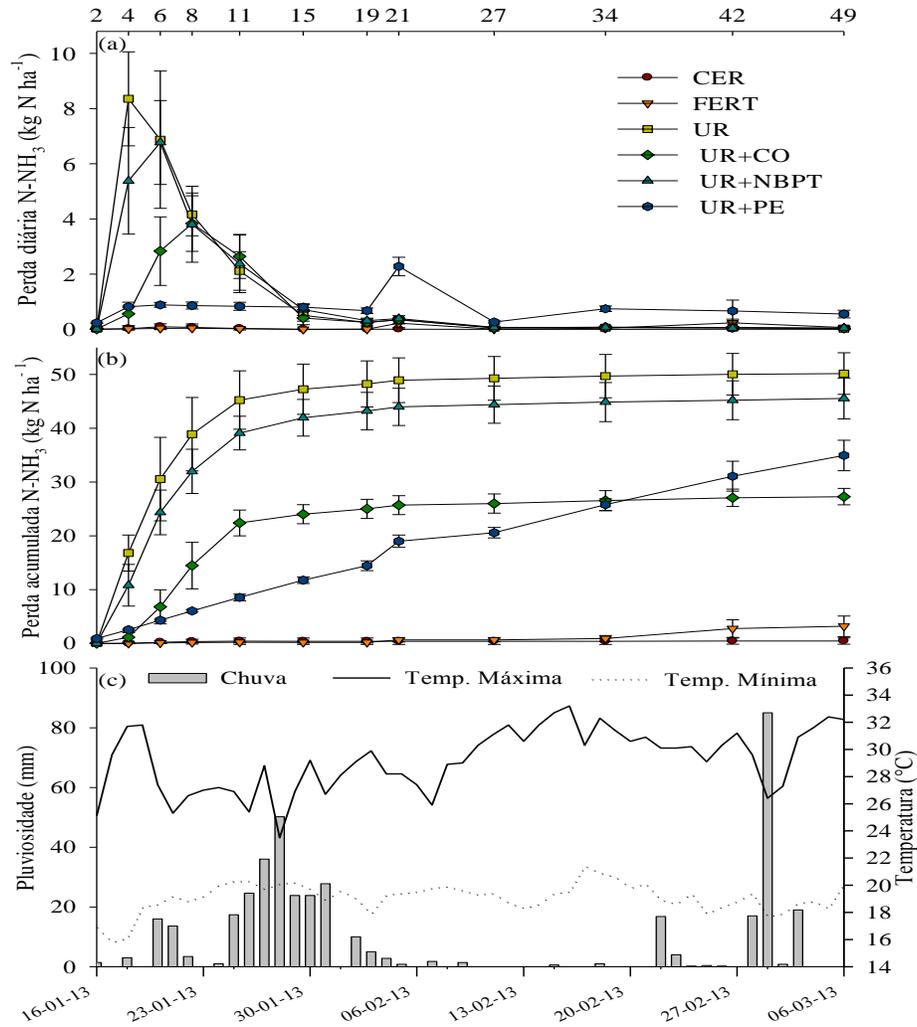
Os picos das perdas diárias de N-NH₃ da ureia (UR) ocorreram logo nos primeiros dias após sua aplicação na 1^a, 2^a, 3^a e 4^a adubação nitrogenada em lavoura cafeeira (Figuras 4, 5, 6 e 7). Esses dados corroboram com os de vários autores que relatam picos de perdas de amônia logo após a aplicação da ureia na superfície do solo (COSTA; VITTI; CANTARELLA, 2003; DHOMINGHETTI et al., 2016; LARA CABEZAS; KORNDORFER; MOTTA, 1997; SANGOI et al., 2003).



Fertirrigação (FERT); Cerrado (CER); Ureia (UR); Ureia + Composto Orgânico (UR + CO); Ureia + NBPT (UR+NBPT); Ureia + Polímero Elástico (UR+PE)
 Figura 4 Perdas diárias (a) e acumuladas (b) de N-NH₃ após a aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação controlada na 1ª adubação nitrogenada (Ano agrícola 2012/2013)

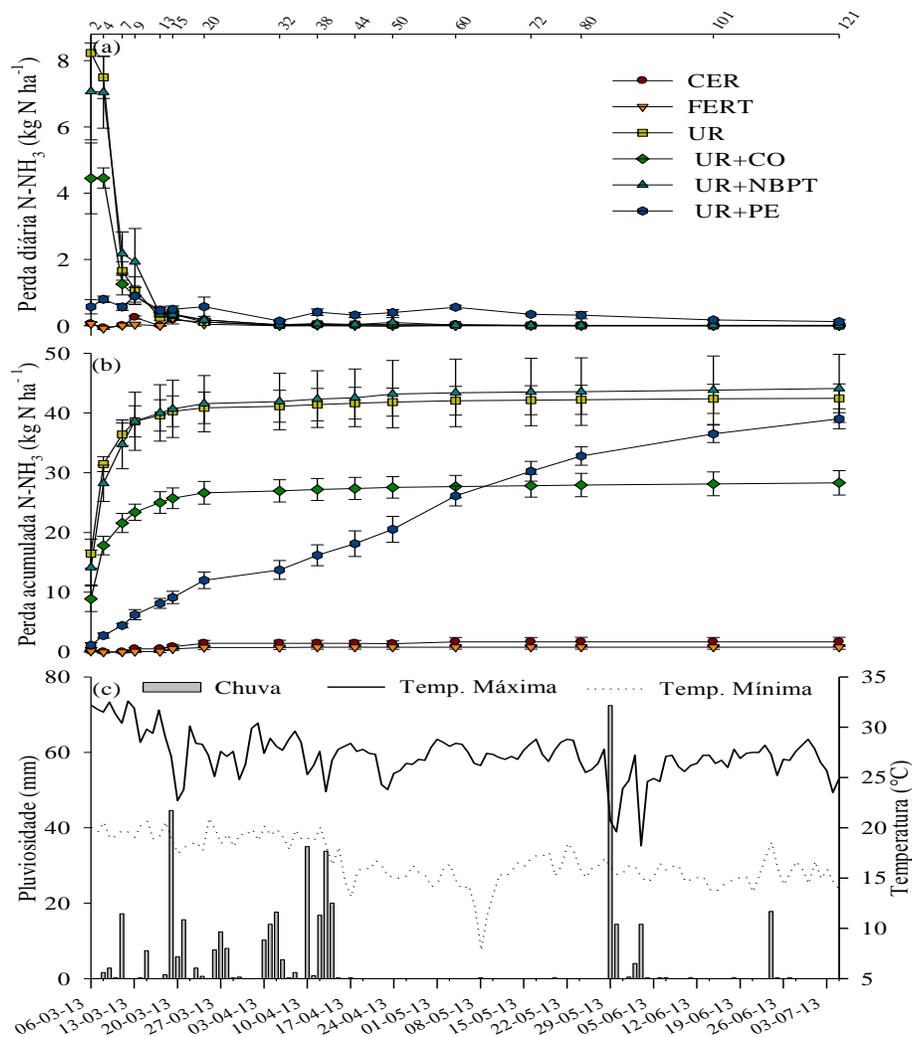


Fertirrigação (FERT); Cerrado (CER); Ureia (UR); Ureia + Composto Orgânico (UR + CO); Ureia + NBPT (UR+NBPT); Ureia + Polímero Elástico (UR+PE).
 Figura 5 Perdas diárias (a) e acumuladas (b) de N-NH₃ após a aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação controlada na 2ª adubação nitrogenada (Ano agrícola 2012/2013)



Fertirrigação (FERT); Cerrado (CER); Ureia (UR); Ureia + Composto Orgânico (UR + CO); Ureia + NBPT (UR+NBPT); Ureia + Polímero Elástico (UR+PE)

Figura 6 Perdas diárias (a) e acumuladas (b) de $N-NH_3$ após a aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação controlada na 3ª adubação nitrogenada (Ano agrícola 2012/2013)



Fertirrigação (FERT); Cerrado (CER); Ureia (UR); Ureia + Composto Orgânico (UR + CO); Ureia + NBPT (UR+NBPT); Ureia + Polímero Elástico (UR+PE)
 Figura 7 Perdas diárias (a) e acumuladas (b) de $N-NH_3$ após a aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação controlada na 4ª adubação nitrogenada (Ano agrícola 2012/2013)

A mistura ureia + composto orgânico (UR+CO) promoveu diferentes valores de perdas diárias de $N-NH_3$ por volatilização ao longo de cada adubação

nitrogenada. Na 1ª adubação essa mistura proporcionou maior perda N-NH₃ logo nos primeiros dias. No 2º dia após a realização da 1ª adubação nitrogenada ocorreu pico diário de perda de N-NH₃. Na ocasião não houve ocorrência de precipitação pluviométrica e o composto apresentava umidade natural de 53 % (ANEXO A). Dessa forma a umidade do composto orgânico foi suficiente para dar início ao processo de hidrólise da ureia e proporcionar picos diários de perdas de N-NH₃ logo após a aplicação da ureia em mistura com o composto orgânico. Outro fator importante é a presença no composto orgânico da urease, enzima necessária para hidrólise da ureia a amônio. A atividade da urease é dependente da umidade, em solos secos a taxa de hidrólise de da ureia é baixa. Duarte et al. (2007) relataram volatilização de amônia em solo seco que recebeu aplicação de N semelhante à do solo que não recebeu aplicação de N.

Picos de volatilização provenientes de esterco bovino ocorreram no primeiro dia após a adubação nitrogenada (SENGIK et al., 2001). Esses autores também reportaram pico de emissão no 5º dia quando o esterco e o solo foram autoclavados e no 3º dia quando somente o esterco foi autoclavado.

Embora a mistura ureia (75%) + composto orgânico (25%) promoveu pico de volatilização maior que os demais tratamentos nos primeiros dias após a 1ª adubação nitrogenada, a perda acumulada de N-NH₃ foi menor que da ureia e da ureia + NBPT. A perda acumulada de N-NH₃ da mistura (ureia + composto orgânico) foi 29% menor em comparação a ureia granulada aplicada na superfície do solo (Tabela 2).

Em trabalho no qual foram quantificadas as perdas de N-NH₃ da ureia, ureia revestida por polímeros e composto orgânico na cultura da videira, os autores reportaram menores perdas de N-NH₃ no tratamento com composto orgânico (0,35 kg ha⁻¹ de N) em comparação com a ureia (5,51 kg ha⁻¹ de N) (LORENSINI et al., 2012). A redução da volatilização foi atribuída a menor área

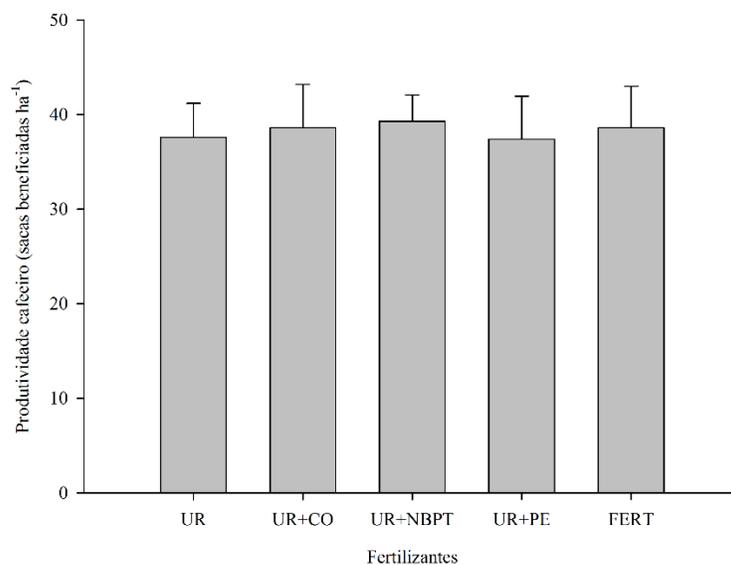
de contato do N do composto com a superfície do solo, o que atrasou sua decomposição e conseqüentemente a mineralização do N.

Com resultados semelhantes aos desse trabalho Vanin (2010) reportou picos iniciais de perdas de N-NH₃ após a aplicação de dejetos suínos. A maior volatilização de amônia inicial para o dejetos suíno foi atribuída a sua umidade natural. Entretanto, ao final do experimento, a perda acumulada de N-NH₃ do dejetos de suínos (4,26 kg ha⁻¹ de N) foi menor em comparação a da ureia (5,26 kg ha⁻¹ de N).

A volatilização diária de amônia do tratamento UR+PE, nos primeiros dias após a aplicação dos fertilizantes em cobertura, sempre foi menor que a perdas de N-NH₃ dos tratamentos UR, UR+NBPT e da mistura UR+CO (Figuras 4 (a), 5 (a), 6 (a), 7 (a)).

3.2 Produtividade

A produtividade do cafeeiro não foi influenciada ($p \geq 0.05$) pelos fertilizantes nitrogenadas. A produtividade média foi de 38,3 sacas de café beneficiado por hectare, o que considerada satisfatória para uma lavoura com dois anos de idade (Figura 8). Vale a pena ressaltar que as plantas foram adubadas com carga pendente e as principais interferências do manejo da adubação estão associadas ao ano agrícola 2011/2012.



Fertirrigação (FERT); Cerrado (CER); Ureia (UR); Ureia + Composto Orgânico (UR + CO); Ureia + NBPT (UR+NBPT); Ureia + Polímero Elástico (UR+PE)
Figura 8 Produtividade do cafeeiro em função dos tratamentos nitrogenados;

Lima et al. (2016) analisando as produtividades de cafeeiro em função de fontes nitrogenadas (ureia, ureia polimerizada e nitrato de amônio) nas doses de 210 e 300 kg de N ha⁻¹ e modo de aplicação (cobertura e fertirrigação) não verificaram diferença na produtividade do cafeeiro em função dos tratamentos, na média dos quatro anos agrícolas observados.

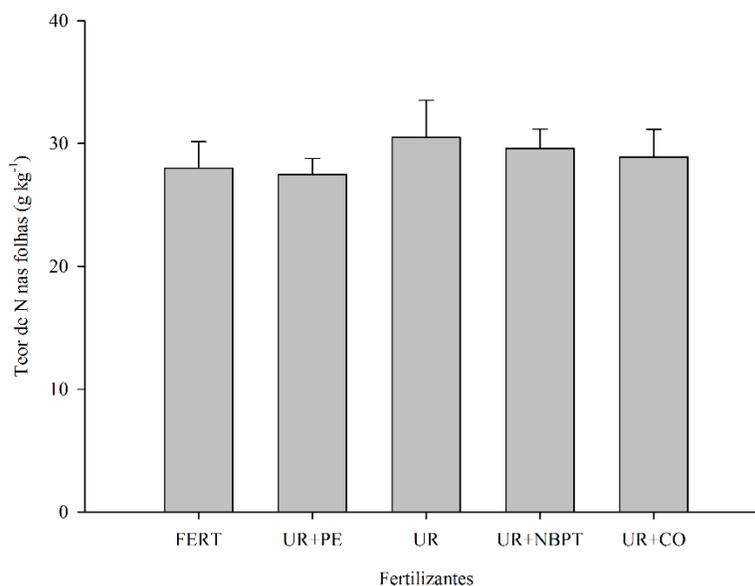
Os autores também observaram que embora não houvesse diferença quanto a produtividade, o tratamento fertirrigação na dose de 300 kg de N ha⁻¹ proporcionou melhor homogeneidade na maturação dos frutos (LIMA et al., 2016).

Durante três anos de avaliação da produtividade do cafeeiro adubado com diferentes fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de

liberação lenta ou controlada também não encontraram diferença significativa ($p>0,05$) na produtividade do cafeeiro (DOMINGHETTI et al., 2016).

3.3 Teores de nitrogênio nas folhas

Os teores de N nas folhas não foram influenciados ($p\geq 0,05$) pelos tratamentos (Figura 9). Os teores de N nas folhas de todos os tratamentos nitrogenados estudados estavam dentro da faixa considerada adequada segundo Guimarães et al. (1999). De acordo com os autores para produtividades entre 30 a 40 sacas beneficiadas de café o teor foliar adequado de N é entre 26 a 30 g kg⁻¹.



Fertirrigação (FERT); Cerrado (CER); Ureia (UR); Ureia + Composto Orgânico (UR + CO); Ureia + NBPT (UR+NBPT); Ureia + Polímero Elástico (UR+PE)

Figura 9 Teor de N nas folhas em função dos tratamentos nitrogenados

Em trabalho realizado em lavoura cafeeira sem irrigação o autor reportou teores foliares adequados de N após a aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados de liberação lenta ou controlada com aplicação de altas doses dos fertilizantes (DOMINGHETTI, 2016).

3.4 Concentração de amônio e nitrato nas camadas do solo

As concentrações de nitrato e a amônio no solo variaram entre os tratamentos (Figura 10). A fertirrigação apresentou as menores concentrações de nitrato e amônio no solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm. Provavelmente este valor esteja relacionado à distância entre os gotejadores de fertirrigação que diferentemente da adubação nitrogenada em cobertura aplicada na projeção da copa, libera o fertilizante nitrogenado em uma pequena área ao redor do gotejador. As coletas de solo, mesmo que realizadas próximas ao gotejador, podem não ter sido efetivas para atingir os pontos de caminho do N no solo e cobrir a variabilidade horizontal.

Os teores de nitrato e amônio do solo no cerrado, em algumas coletas, foram maiores do que os encontrados nos tratamentos que receberam fertilização nitrogenada. Os teores de nitrato e amônio no solo após a aplicação da ureia (UR), ureia + NBPT (UR+NBPT), ureia + polímero elástico (UR+PE) e ureia + composto orgânico (UR+CO) não diferiram entre si nas camadas de 0-20 cm e de 20-40 cm (Tabela 3).

Souza (2012) avaliando a lixiviação de nitrato em um Latossolo sob lavoura cafeeira fertilizado com ureia e com ureia + NBPT não verificou diferenças nos teores de lixiviação de nitrato entre as fontes para as doses de 200 e também 400 kg de N ha⁻¹.

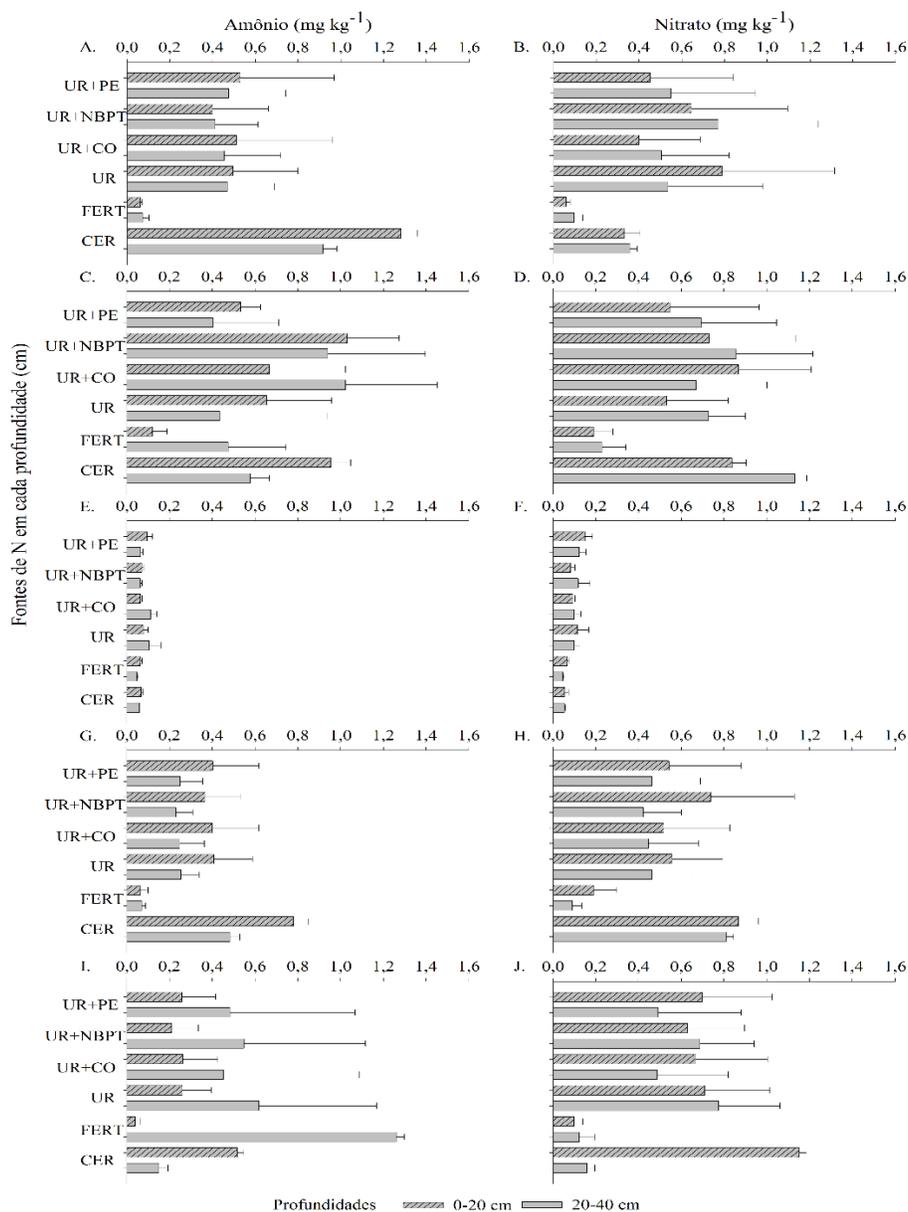


Figura 10 Nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) do solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, após a 4ª adubação nitrogenada, ao longo das coletas. A e B 06/03/2013; C e D 09/03/2013; E e F 04/04/2013; G e H 01/05/2013; I e J 15/05/2013; (0, 3, 29, 56 e 70 dias após a 4ª adubação respectivamente)

A variabilidade dos resultados encontrados em todos os tratamentos, inerentes a metodologia de estudos, pode ter contribuído para a não ocorrência de diferença nos resultados de nitrato e amônio do solo dos tratamentos que receberam N em cobertura. As rápidas transformações das formas lábeis de N no solo, principalmente imediatamente após a coleta, onde a exposição do solo a uma maior concentração de oxigênio proporciona uma alteração da atividade microbiana do solo coletado, condicionam que as variações das concentrações de nitrato e amônio encontrados nas repetições de um mesmo tratamento sejam altas. Embora muitos trabalhos busquem quantificar a quantidade de amônio e nitrato no solo, ainda não é conhecida uma metodologia viável para coletas em campo, capazes de neutralizar essas rápidas transformações e a variabilidade horizontal.

A época de coleta do solo para avaliação do teor de nitrato e amônio, após a 4ª adubação nitrogenada, elevada demanda de N pelo cafeeiro (pleno enchimento de grãos) contribuiu para ocorrência de valores menores de N mineral no solo.

Assim como com alguns dados climatológicos, os teores de nitrato e amônio do solo foram usados na tentativa de elaborar um modelo de predição da volatilização da amônia, mas constatou-se que os dados de nitrato e amônio somente após a quarta adubação, não são suficientes para compor o modelo de predição de volatilização de amônia do solo.

Tabela 3 Nitrato (NO₃⁻) e amônio (NH₄⁺) no solo nas camadas de 0-20 cm e 21-40 cm após a última adubação

Coletas	06/03/13	09/03/13	04/04/13	01/05/13	15/05/13	06/03/13	09/03/13	04/04/13	01/05/13	15/05/13
	AMÔNIO (NH ₄ ⁺)									
Tratamentos	..... 0 - 20 cm .....					..... 20 - 40 cm				
CER	1,28 c	0,96 c	0,07 a	0,78 c	0,52 c	0,92 c	0,58 a	0,06 a	0,48 c	0,15 a
FERT	0,06 a	0,12 a	0,07 a	0,07 a	0,04 a	0,07 a	0,48 a	0,05 a	0,07 a	1,26 b
UR	0,50 b	0,66 b	0,08 a	0,41 b	0,26 b	0,47 b	0,44 a	0,11 b	0,25 b	0,62 a
UR+CO	0,51 b	0,67 b	0,06 a	0,40 b	0,26 b	0,46 b	1,02 a	0,11 b	0,25 b	0,45 a
UR+NBPT	0,40 b	1,03 c	0,07 a	0,37 b	0,21 b	0,41 b	0,94 a	0,06 a	0,23 b	0,55 a
UR+PE	0,53 b	0,53 b	0,10 b	0,40 b	0,26 b	0,48 b	0,40 a	0,07 a	0,25 b	0,48 a
	NITRATO (NO ₃ ⁻)									
CER	0,33 a	0,84 a	0,06 a	0,87 a	1,15 c	0,36 a	1,13 b	0,05 a	0,81 c	0,16 a
FERT	0,06 a	0,19 a	0,07 a	0,19 a	0,10 a	0,10 a	0,23 a	0,05 a	0,09 a	0,12 a
UR	0,79 a	0,53 a	0,12 b	0,56 a	0,71 b	0,54 a	0,73 b	0,10 b	0,46 b	0,78 b
UR+CO	0,40 a	0,87 a	0,09 a	0,52 a	0,67 b	0,51 a	0,67 b	0,10 b	0,45 b	0,49 b
UR+NBPT	0,65 a	0,73 a	0,08 a	0,74 a	0,63 b	0,77 a	0,86 b	0,12 b	0,42 b	0,69 b
UR+PE	0,45 a	0,55 a	0,15 b	0,54 a	0,70 b	0,55 a	0,69 b	0,12 b	0,46 b	0,49 b

Fertirrigação (FERT); Cerrado (CER); Ureia (UR); Ureia + Composto Orgânico (UR+CO); Ureia + NBPT (UR+NBPT); Ureia + Polímero Elástico (UR+PE)

*Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% probabilidade

4 CONCLUSÕES

A ureia revestida com polímero elástico foi eficiente na redução das perdas de $N-NH_3$. A aplicação de nitrogênio via fertirrigação reduziu as perdas de $N-NH_3$, mostrando ser uma prática eficiente de manejo da adubação nitrogenada de lavouras cafeeiras, porém sem aumento na produtividade de café.

Em lavoura irrigada por gotejamento a ureia + NBPT não reduziu as perdas de $N-NH_3$.

Os teores foliares de N em diferentes épocas foram adequados para as diferentes opções de adubação nitrogenada.

ABSTRACT

Nitrogen fertilizers are essential for maintaining productivity in coffee production. An alternative to increasing the efficiency of conventional fertilizers are nitrogen fertilizers stabilized, slow or controlled release. This study aimed to quantify the loss of nitrogen through volatilization, N content in soil and plants and productivity of coffee fertilized with conventional nitrogen fertilizers, stabilized and controlled release in irrigated coffee plantations. The study was conducted in the city of Monte Carmelo / MG in the agricultural year 2012/2013 in crop production (2 years old). The design was used in a randomized block design with six treatments and four replications, totaling 24 experimental plots. The treatments consisted of applying 368 kg ha⁻¹ N (4 installments of 92 kg ha⁻¹ N, except for fertigation), the projection of the crown of the coffee plants, as follows: 1) granular conventional urea (UR); 2) Granular Urea coated with 600 mg kg⁻¹ NBPT (UR + NBPT); 3) Granular Urea and coated elastic polymer (UR + PE); 4) Organic Compound + Urea (25% total N applied to the organic compound form and the other 75% as urea) mixed hours before application to the crop (UR+CO); 5) Cerrado (control: without fertilizer application) (CER) and 6) 11 N applications in fertigation (FERT). We assessed the losses of N-NH₃ volatilization, nitrate availability (NO₃⁻) and ammonium (NH₄⁺) in the soil, foliar N content and productivity of coffee. A descending sequence of losses of N-NH₃ in the agricultural year 2012/2013 is: Urea + NPBT (177,2 kg ha⁻¹ N) = Granular Urea (166,5 kg ha⁻¹ N) > Urea + Organic Compound (116,9 kg ha⁻¹ N) = Urea + elastic polymers (103,5 kg ha⁻¹ N) > Cerrado (4,7 kg ha⁻¹ N) = Fertirrigation (4,4 kg ha⁻¹ N). Nitrogen fertilizers stabilized, controlled release and application of N for fertigation no differences in foliar N and productivity of coffee plants fertilized with pending production.

Key words: *Coffea arabica* L. Fertirrigation. Nitrogen fertilizers enhance efficiency. Nitrate. Ammonium. Losses of NH₃.

REFERÊNCIAS

AZEEM, B. et al. Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer. **Journal of Controlled Release** Salt Lake City, v. 181, p. 11-21, May 2014.

CARVALHO, MT de M. et al. Emissão de N₂O e volatilização de NH₃ em sistema de produção de feijoeiro comum irrigado em Latossolo no Cerrado. **Embrapa Arroz e Feijão**. Santo Antônio de Goiás, 2008. Boletim de pesquisa e desenvolvimento 32, p. 23. Disponível em: <
<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/216554/1/bolpesq32.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB.
Acompanhamento da safra brasileira de café, v. 2 – Safra 2016, n.1 - Primeiro Levantamento, Brasília, p. 1-68, jan.2016. Disponível em: <
http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_01_20_09_24_06_bol_etim_cafe_-_janeiro_2016.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2016.

COSTA, M. C. G.; VITTI, G. C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 631-637, ago. 2003.

DOMINGHETTI, A. W. **Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e convencionais na cultura do cafeeiro**. 2016. 101f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

DOMINGHETTI, A. W. et al. Nitrogen loss by volatilization of nitrogen fertilizers applied to coffee orchard. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.40, n.1, Mar. /Apr., 2016.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA.
Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Embrapa
Informação Tecnológica. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627 p.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. (Eds). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação.** Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG – 1999. p. 289-302.

GOOGLE. **Google Earth.** Versão 7.1.5 1557. 2015. Vista aérea da área experimental (Fazenda Juliana, Monte Carmelo, MG). Disponível em: <<https://www.google.com/earth/>>. Acesso em: 6 jan. 2016.

HARGROVE, W. L.; KISSEL, D. E. Ammonia volatilization from surface applications of urea in the field and laboratory. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 43, n. 2, p. 359-363, Oct. 1979.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE.
Levantamento sistemático da produção agrícola: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Rio de Janeiro, v.29 n.1 p.1-78, jan. 2016. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default.shtm>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

LARA CABEZAS, W. A. R. et al. Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizers. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, Athens, v. 30, n. 3-4, p. 389-406, 1999.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A.
Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da ureia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 481-487, jul. / set. 1997.

LARA-CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado da ureia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, n. 3, p. 345-352, 1990.

LIMA, L. C. et al. Crescimento e produtividade do cafeeiro irrigado, em função de diferentes fontes de nitrogênio. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 97-107, jan. /mar. 2016.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Chapter One-A Career Perspective on Soil Management in the Cerrado Region of Brazil. **Advances in Agronomy**, v. 137, p. 1-72, 2016.

LORENSINI, F. et al. Lixiviação e volatilização de nitrogênio em um Argissolo cultivado com videira submetida à adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 7, p. 1173-1179, jul. 2012.

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

MATTOS JÚNIOR, D.; CANTARELLA, H.; VAN RAIJ, B. Manuseio e conservação de amostras de solo para preservação de nitrogênio inorgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, p.423-431, 1995.

MAURI, R. **Adubação do café conilon irrigado por gotejamento: fertirrigação x fertilizantes de eficiência aprimorada**. 2016. 93 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

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

SANGOI, L. et al. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n.4, p.687-692, ago. 2003.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 Ed. rev. ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

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

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

TEDESCO, M. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174 p.

TIMILSENA, Y. P. et al. Enhanced efficiency fertilizers: a review of formulation and nutrient release patterns. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Hoboken, v. 95, n. 6, p. 1131-1142, Apr. 2015.

VANIN, A. **Perda de nitrogênio por volatilização de amônia proveniente da aplicação superficial de resíduos orgânicos**. 2010. 56f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2010.

(VERSÃO PRELIMINAR)

**ANEXO A - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO COMPORTO
ORGÂNICO**

Análises	Unidade	Base Seca 110°C	Umidade Natural
pH CaCl ₂ 0,01 M Ref. 1:2,5	pH	-	7,93
Densidade	g cm ⁻³	-	0,55
Umidade perdida a 60-65°C	%	-	52,55
Umidade perdida entre 65 e 110° C	%	-	0,49
Umidade Total	%	-	53,04
Materiais Inertes	%	-	0,00
Nitrogênio Total	%	1,94	0,91
M.O. Total (Combustão)	%	55,73	26,17
M.O. Compostável (Titulação)	%	42,53	19,97
M.O. Resistente à Compostagem	%	13,20	6,20
Carbono Total (Orgânico e Mineral)	%	30,96	14,54
Carbono Orgânico	%	23,63	11,09
Resíduo Mineral Total	%	44,49	20,89
Resíduo Mineral Insolúvel	%	13,59	6,38
Resíduo Mineral Solúvel	%	30,90	14,51
Relação C/N (C e N Total)	-	16/1	16/1
Relação C/N (C Org. e N total)	-	12/1	12/1
Fósforo (P ₂ O ₅ Total)	%	1,69	0,79
Potássio (K ₂ O Total)	%	2,89	1,36
Cálcio (Ca Total)	%	10,7	5,02
Magnésio (Mg Total)	%	0,65	0,31
Enxofre (S Total)	%	7,30	3,43
Boro (B Total)	mg kg ⁻¹	21	10,00
Cobre (Cu Total)	mg kg ⁻¹	43	20
Ferro (Fe Total)	mg kg ⁻¹	22289	10466
Manganês (Mn Total)	mg kg ⁻¹	398	187
Zinco (Zn Total)	mg kg ⁻¹	147	69

ARTIGO 2 Emissão de gases de efeito estufa após a aplicação de fertilizantes nitrogenados em lavoura cafeeira irrigada

Danilo de Araújo Soares *

Artigo formatado de acordo com a revista Pesquisa Agropecuária Brasileira PAB.

* Doutorando em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Lavras.
E-mail: daniloagro@outlook.com

RESUMO

O óxido nitroso (N_2O) emitido na atmosfera tem estreita relação com a quantidade de nitrogênio (N) aplicado e com o manejo do solo. A nitrificação e desnitrificação são reações determinantes para a quantidade de N_2O emitido para atmosfera. Objetivou-se nesse estudo quantificar as emissões de gases causadores das mudanças climáticas em lavoura cafeeira adubada após a aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados e de liberação controlada. O estudo foi realizado no município de Monte Carmelo/MG no ano agrícola 2012/2013, em lavoura cafeeira irrigada e em produção (2 anos de idade). Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados com seis tratamentos, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na aplicação de 368 kg ha^{-1} de N (4 parcelamentos de 92 kg ha^{-1} de N, à exceção da fertirrigação), na projeção da copa das plantas de café, da seguinte maneira: 1) Ureia convencional granulada (UR); 2) Ureia granulada revestida com 600 mg kg^{-1} de NBPT (UR+NBPT); 3) Ureia granulada e revestida por polímero elástico (UR+PE); 4) Composto orgânico + ureia (25% do N total aplicado na forma de composto orgânico e os outros 75% na forma de ureia) misturados antes da aplicação destes na lavoura (UR+CO); 5) Cerrado (Controle): sem aplicação de fertilizantes (CER) e 6) 11 aplicações de N via fertirrigação (FERT). Foram avaliadas as emissões de óxido nitroso, gás carbônico e metano. A sequência decrescente das emissões de óxido nitroso foi: UR+CO ($0,925 \text{ kg de ha}^{-1}$ de N_2O) = UR ($0,849 \text{ kg de ha}^{-1}$ de N_2O) = UR+NPBT ($0,849 \text{ kg de ha}^{-1}$ de N_2O) > FERT ($0,465 \text{ kg de ha}^{-1}$ de N_2O) = UR+PE ($0,425 \text{ kg de ha}^{-1}$ de N_2O) > CER ($0,064 \text{ kg de ha}^{-1}$ de N_2O). O fator de emissão de óxido nitroso, incluindo todos os tratamentos com aplicação de fertilizantes nitrogenados foi igual a 0,25%. Os fatores de emissões de N_2O após a aplicação de fertilizantes nitrogenados nos diferentes tratamentos foram menores em comparação ao valor estabelecido pelo IPCC de 1%. Os fertilizantes nitrogenados não influenciaram nas emissões diárias de gás carbônico e metano.

Palavras chave: Cafeeiro. Fertirrigação. Gás carbônico. Metano. Óxido nitroso. Ureia.

1 INTRODUÇÃO

O solo é um grande reservatório de carbono (C) e no primeiro metro da sua camada superior estão armazenados 1550 Pg de carbono, valor esse maior que o C encontrado na atmosfera. O estoque de C do solo está susceptível tanto a mudança do uso da terra como ao manejo agrícola que se faz nele, podendo o solo funcionar como dreno ou emissor de gases causadores das mudanças climáticas.

O setor agropecuário ainda ganha destaque na emissão de GEE quanto a emissão de metano, principalmente devido ao rebanho bovino que emite esse gás, e também quanto a emissão de óxido nítrico, principalmente proveniente da emissão desse gás pela fertilização do solo com nitrogênio.

No Brasil as emissões de óxido nítrico (N₂O), se dão principalmente pelas atividades agropecuárias, o setor da economia responsável por 93,7% da emissão desse gás no ano de 2012 (BRASIL, 2014).

As emissões de N₂O estão diretamente associadas ao consumo de fertilizantes, principalmente os nitrogenados. O Brasil é o 4º maior consumidor de fertilizantes no mundo, atrás apenas de China, Índia e Estados Unidos. O consumo nacional de N passou de 800 mil toneladas em 1990 para 3,87 milhões de toneladas no ano de 2014 (ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DOS ADUBOS - ANDA, 2015).

O Brasil importa mais de 80% de todo o N que consome. Ressaltando-se ainda o alto preço dos fertilizantes nitrogenados, provenientes do alto custo de obtenção do N, uma vez que a produção da amônia (matéria prima para fabricação dos demais fertilizantes nitrogenados) é necessário aplicar muita energia e alta pressão, onerando os custos de produção.

A média de utilização de fertilizante por hectare no Brasil nos anos de 2012 a 2014 foi de 358 kg ha⁻¹. Em algumas culturas a média de utilização de fertilizantes é muito maior, chegando a ultrapassar o dobro desse valor, como o

caso da cafeicultura onde a média de utilização de fertilizantes, nos anos de 2012 a 2014, foi de 757 kg ha⁻¹ (ANDA, 2015), demonstrando a grande utilização de fertilizantes na cafeicultura quando comparados as demais culturas.

Dentre os fertilizantes utilizados na cultura do cafeeiro os nitrogenados são os mais demandados e assim como no mundo, a ureia é a fonte de N mais utilizada na cultura.

A quantidade de N a ser aplicada na lavoura cafeeira depende, dentre outros fatores, da expectativa da safra e do teor de N nas folhas, com recomendação podendo alcançar os 450 kg de N ha⁻¹ (GUIMARÃES et al., 1999).

Além do alto custo, da alta demanda pela cultura do cafeeiro e o eminente risco de emissão de GEE, os fertilizantes nitrogenados podem ter sua eficiência comprometida, pois após a aplicação o N pode ser perdido por lixiviação e volatilização (LORENSINI et al., 2012). Assim, a avaliação de práticas de manejo da adubação e o uso de tecnologias que promovam aumento na eficiência de utilização do nitrogênio pelas culturas precisam estar alinhadas, garantindo retorno financeiro e menor impacto ambiental.

Neste contexto pode-se citar os fertilizantes nitrogenados estabilizados e de liberação lenta e controlada. Fertilizantes estabilizados, de liberação lenta e controlada possuem em sua composição substâncias que podem diminuir a solubilidade, reduzir a atividade da urease e a intensidade da reação de nitrificação no solo, e buscam sincronizar a liberação do fertilizante com a demanda da planta. Caso ocorra sincronismo na liberação do nutriente e demanda da planta, além da diminuição das perdas de N por lixiviação e por volatilização de amônia, estes podem também contribuir para redução da emissão de oxido nitroso para a atmosfera (AZEEM et al., 2014; TIMILSENA et al., 2015).

Outro ponto a ser considerado na avaliação da emissão de GEE é a forma de mensuração utilizada na determinação de quanto de N está realmente voltando para a atmosfera na forma de óxido nítrico. As incertezas geradas nos cálculos de emissão de N₂O para o ano de 2012, na segunda edição das estimativas de emissões de gases de efeito estufa do Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação seguem os mesmos critérios de cálculos do Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, e tem como média 45% de incerteza nos cálculos da emissão desse gás, sendo que no setor agropecuário a incerteza é ainda maior, chegando a 48% (BRASIL, 2014).

Muito comuns nos levantamentos de emissão de GEE a palavra *Tier* significa a complexidade metodológica que se estimam as emissões de GEE, e são diferenciadas em três níveis, 1, 2 e 3 (SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA – SEEG, 2015). A metodologia *Tier 1* se referem aos dados de emissão de GEE obtidos por meio de cálculos onde se utilizam valores padrões (*default*) para obtenção dos resultados. Como exemplo podemos citar os valores padrões de emissão de N₂O estabelecidos pelo IPCC de 1% a partir de fertilizantes nitrogenados. Apesar da facilidade, esses dados podem não representar efetivamente a realidade, uma vez que diversos fatores locais influenciam as emissões de GEE. Os valores *default* do IPCC (1%) para emissão de N₂O a partir de fertilizantes nitrogenados ainda são muito utilizados nos levantamentos brasileiros, embora muitos trabalhos já demonstrem que a emissão em solos brasileiros possa ser bem menor. Quando um setor, ou mesmo o País avança na pesquisa, conhecendo a fundo a emissão que cada segmento emite de GEE, este passa a utilizar seus próprios modelos para cálculos, diminuindo as incertezas e aumentando a eficiência em planos de mitigação da emissão de GEE, passando esses dados, usados nos cálculos de emissão, a ser chamados de *Tier 2* e 3 (SEEG, 2015).

Diante do exposto, objetivou-se nesse estudo quantificar as emissões de gases causadores das mudanças climáticas em lavoura cafeeira irrigada após a aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados e de liberação controlada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

O estudo foi realizado na Fazenda Juliana, localizada no município de Monte Carmelo/MG (local representativo do cerrado mineiro), com coordenadas UTM 23k 230320 metros de longitude, 7930542 metros de latitude e altitude de 862 m, no período compreendido entre os meses de outubro de 2012 a agosto de 2013.

As áreas de lavouras de café da Fazenda Juliana, estão subdivididas em 12 diferentes talhões, dentre os quais foi selecionado para a realização do experimento o talhão denominado Soldado (Figura 1). Esse talhão foi plantado no período entre o final do mês de novembro e início do mês de dezembro do ano de 2010, com café arábica da cultivar Acaiá, linhagem IAC 474-19. O espaçamento utilizado no plantio foi de 3,8 metros entre linhas e 0,7 metros entre plantas, totalizando 3.760 plantas por hectare.

O talhão soldado possui 5,5 hectares divididos em 5 setores de 1,1 hectares. Cada setor possui registros de fertirrigação separados, o que permite separar a lâmina de água e quantidade de fertilizante a ser aplicada em cada sub talhão. A condução do experimento foi realizada no setor 4 e no setor 5.



Figura 1 Foto aérea da disposição da área experimental no talhão da lavoura de café. Contornos em vermelho delimitam os sub setores de fertirrigação, retângulos coloridos delimitam cada bloco experimental

Fonte: Google Earth

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico argiloso (SANTOS et al., 2013). As características químicas dos solos das camadas 0-0,10 cm do setor 4 e do setor 5 e das camadas 0,10-0,30 cm também do setor 4 e do setor 5, foram determinadas segundo a metodologia Embrapa (2009) (Tabela 1).

Durante a condução do experimento os dados climatológicos foram mensurados por uma estação Davis Vantage Pro2 Plus, modelo 6162, localizada a 500 metros da área experimental. Foram mensurados: a temperatura (média, mínima e máxima), a umidade do ar (interna e externa), velocidade e direção do vento, pressão barométrica, índice pluviométrico, radiação solar e radiação Uva. A precipitação pluviométrica, temperaturas máximas e mínimas estão representados na Figura 2.

Tabela 1 Análise do solo do experimento (setor 4 e 5) nas camadas de 0-10 e 10-30 cm

	Profundidade	pH		M.O.	S	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al
		H ₂ O	CaCl ₂	g dm ⁻³	..... mg dm ⁻³ .....			..... cmol _c dm ⁻³			
Setor 4	0-10	6,8	6,10	31,0	9	63,3	113	2,1	1,1	0,0	1,7
Setor 4	11-30	6,5	5,80	28,0	14	41,5	93	2,9	0,8	0,0	1,9
Setor 5	0-10	6,6	5,80	30,0	9	54	121	3,0	1,0	0,0	1,9
Setor 5	11-30	6,7	5,90	28,0	11	58	127	3,3	0,9	0,0	1,8
		SB	t	T	V	m	Fe ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Mn ²⁺	B
		..... cmol _c dm ⁻³ .....			..... % .....		..... mg dm ⁻³				
Setor 4	0-10	3,49	3,49	5,19	67,2	0	32	4,1	2,5	9,3	0,5
Setor 4	11-30	3,94	3,94	5,84	67,5	0	31	3,7	2,2	7,7	0,49
Setor 5	0-10	4,31	4,31	6,21	69,4	0	33	3,5	1,7	6,2	0,67
Setor 5	11-30	4,52	4,52	6,32	71,5	0	35	4,9	1,8	7	1,04

M.O. = Matéria orgânica do solo; SB = Soma de bases; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio

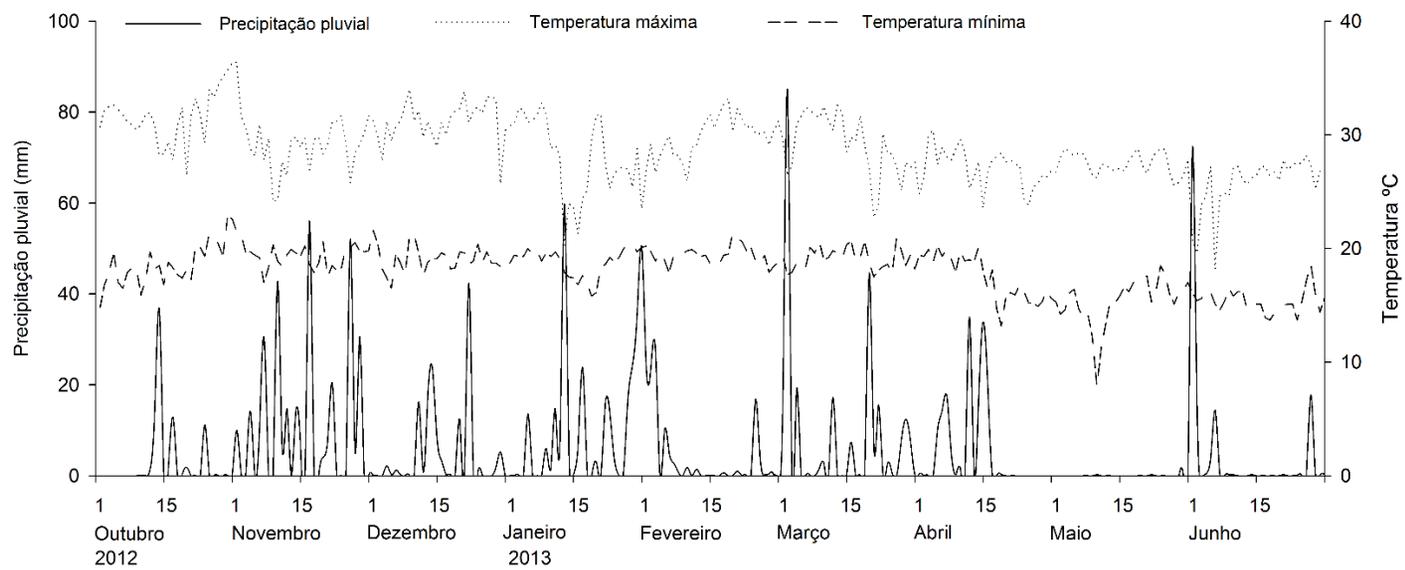


Figura 2 Precipitação, temperaturas máximas e mínimas durante o período de condução do experimento

2.2 Delineamento experimental

Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados com cinco tratamentos + 1 tratamento adicional, com quatro repetições. As parcelas experimentais foram constituídas por seis linhas com 25 (vinte e cinco) plantas de café em cada linha. Como área útil, foram considerados 15 plantas centrais das 2 duas linhas do centro da parcela (a bordadura foi dada pelas duas linhas externas do lado superior, duas linhas externas do lado inferior e cinco plantas de cada extremidade das linhas centrais).

Os tratamentos consistiram na aplicação de 368,5 kg ha⁻¹ de N (4 parcelamentos de 92,125 kg ha⁻¹ de N, à exceção da fertirrigação), na projeção da copa das plantas de café, da seguinte maneira: 1) Ureia convencional granulada (UR); 2) Ureia granulada revestida com 600 mg kg⁻¹ de NBPT (UR+NBPT); 3) Ureia granulada e revestida por polímero elástico (UR+PE); 4) Composto orgânico + ureia convencional granulada (25% do N total aplicado na forma de composto orgânico (ANEXO A) e os outros 75% na forma de ureia), misturados horas antes da aplicação destes na lavoura (UR+CO); 5) Cerrado (Controle: sem aplicação de fertilizantes) (CER); 6) 11 aplicações de nitrogênio na fertirrigação (FERT).

O tratamento Cerrado foi incluído para quantificar a emissão de GEE de um Latossolo sob vegetação nativa de Cerrado.

No tratamento fertirrigação foram realizadas aplicações quinzenais dos fertilizantes nitrogenados com a água de irrigação por gotejamento. A fertirrigação foi programada para ser aplicada durante o período compreendido entre outubro de 2012 a abril de 2013, parcelando a dose total em aplicações quinzenais. As fertirrigações foram realizadas nos dias 04/10/2012; 24/10/2012; 07/11/2012; 23/11/2012; 20/12/2012; 14/01/2013; 18/01/2013; 08/02/2013; 19/02/2013; 06/03/2013; 20/03/2013 e foram realizadas com os seguintes

fertilizantes nitrogenados: Ureia, sulfato de amônio, nitrato de cálcio, mono amônio fosfato purificado. A ureia fez parte de mais de 85% do total dos fertilizantes aplicados na fertirrigação.

A 1ª adubação em cobertura com os tratamentos nitrogenados foi realizada no dia 04/10/2012, a 2ª adubação (23/11/2012), a 3ª adubação (16/01/2013) e a 4ª adubação (06/03/2013).

A faixa fertilizada, em cobertura, correspondeu a 10% da área total.

2.3 Avaliação das perdas de óxido nitroso, gás carbônico e metano

Para determinação dos fluxos de óxido nitroso foi utilizado o método da câmara fechada, semelhante ao descrito por Hutchinson e Mosier (1981). Para isso, na área útil de cada parcela do bloco, foi instalada uma câmara de coleta de gases, por parcela, sob a copa do cafeeiro (região de aplicação do fertilizante), conforme ilustrado na Figura 3.

Cada câmara de coleta de amostras de GEE foi composta por uma base retangular de 38 cm x 52 cm de metal (área de 0,1976 m²), inserida no solo até cinco centímetros de profundidade, permanecendo no mesmo local durante todo o período de avaliação, evitando-se assim, a perturbação do solo.

No momento da amostragem, a parte superior da câmara, uma caixa plástica, revestida com material refletivo, com dezessete centímetros de altura e as mesmas dimensões de comprimento e largura da base de metal, foi acoplada a essa base que foi selada com água.

As coletas de GEE das câmaras localizadas sob a copa do cafeeiro foram realizadas uma hora depois da aplicação dos fertilizantes nitrogenados, seguido de outras coletas que foram realizadas no primeiro dia após cada adubação, seguida de coletas espaçadas a cada três dias. Todavia sabendo-se da maior emissão de GEE do solo na condição de maior umidade, sempre se fez uma

coleta de gases após a ocorrência de chuva, voltando sempre depois dessa coleta a espaçar as coletas de três em três dias.

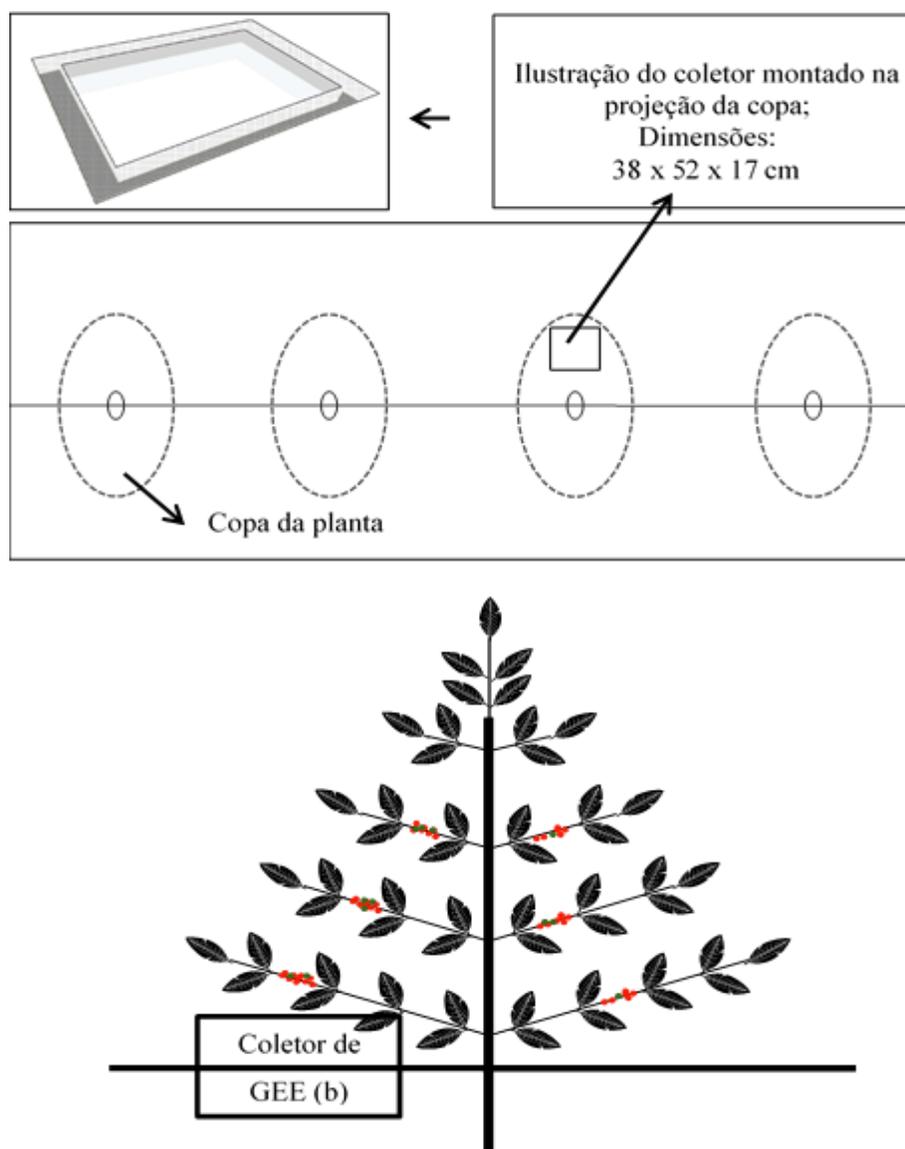


Figura 3 Representação esquemática da localização das câmaras de coleta de gases de efeito estufa (N_2O ; CO_2 ; CH_4) na lavoura cafeeira.

As datas de coletas dos gases foram: 04/10/2012, 06/10/2012, 08/10/2012, 10/10/2012, 15/10/2012, 19/10/2012, 23/10/2012, 26/10/2012, 29/10/2012, 01/11/2012, 07/11/2012, 09/11/2012, 12/11/2012, 14/11/2012, 15/11/2012, 17/11/2012, 20/11/2012, 22/11/2012, 23/11/2012, 26/11/2012, 27/11/2012, 28/11/2012, 02/12/2012, 05/12/2012, 08/12/2012, 11/12/2012, 13/12/2012, 14/12/2012, 17/12/2012, 20/12/2012, 24/12/2012, 27/12/2012, 01/01/2013, 04/01/2013, 08/01/2013, 10/01/2013, 16/01/2013, 18/01/2013, 19/01/2013, 20/01/2013, 22/01/2013, 29/01/2013, 01/02/2013, 04/02/2013, 12/02/2013, 16/02/2013, 18/02/2013, 22/02/2013, 26/02/2013, 04/03/2013, 06/03/2013, 07/03/2013, 08/03/2013, 09/03/2013, 12/03/2013, 15/03/2013, 18/03/2013, 20/03/2013, 22/03/2013, 25/03/2013, 26/03/2013, 27/03/2013, 29/03/2013, 01/04/2013, 04/04/2013, 05/04/2013, 06/04/2013, 08/04/2013, 11/04/2013, 15/04/2013, 18/04/2013, 21/04/2013, 25/04/2013; 28/04/2013; 01/05/2013; 05/05/2013; 08/05/2013; 11/05/2013; 14/05/2013; 17/05/2013; 20/05/2013; 31/05/2013; 04/06/2013; 12/06/2013.

As amostras de ar foram retiradas com auxílio de uma seringa de nylon acoplada a câmara por meio de uma válvula de três vias nos tempos 0, e 40 minutos após o fechamento das câmaras, sempre em horário próximo das 9h00 da manhã (até o momento da análise da concentração dos gases, as amostras coletadas foram armazenadas em frascos com pressão negativa de 80Kpa com tampa de borracha e colocadas sob refrigeração). Posteriormente, após a realização da coleta, 10mL do gás presente no frasco foram analisados por cromatografia gasosa em cromatógrafo Agilent 7890-0468, equipado com 2 colunas “HayeSep Q” e detector de captura de elétrons (μ ECD), para determinação da concentração de N_2O e detector de ionização de chama (FID) para determinação de CH_4 , e também a determinação do CO_2 após o processo de metanação.

Para obtenção dos valores dos fluxos dos GEE foi utilizada a equação abaixo:

$$F_{\text{GEE}} = \Delta X / \Delta t (V/A) M / V_m, \text{ onde:}$$

$\Delta X / \Delta t$: são os valores da mudança de concentração de GEE ($X = \text{N}_2\text{O}$, CO_2 e CH_4) no interior da câmara no intervalo de incubação;

V: volume da câmara;

A: área do solo coberto pela câmara;

M: Peso molecular do GEE;

V_m = Volume molecular na temperatura de amostragem.

Os fluxos dos GEE foram calculados por meio da variação da concentração destes nos tempos 0, e 40 minutos dentro da câmara (HUTCHINSON; LIVINGSTON, 1993). A variação da concentração de GEE foram obtidas pelo coeficiente angular da equação da reta ajustada. A emissão total de cada GEE foi calculada pela interpolação linear dos valores observados em cada coleta ao longo dos dias até o dia em que os tratamentos nitrogenados tiveram diferenças do tratamento controle (cerrado), calculando depois a área abaixo da curva.

A definição data final de coleta, para efeito de cálculos de emissão total se deu pela não diferença das emissões diárias de N_2O em função dos tratamentos nitrogenados em comparação a emissão do tratamento CER, e pelo pequeno desvio padrão das médias de todos os tratamentos.

A área fertilizada com fertilizantes nitrogenados em cobertura se limitou a 10% da área total do cafeeiro, ou seja, em cada linha do cafeeiro com 3,8 m de largura apenas 0,38 m (largura do coletor de GEE) recebeu o fertilizante. Para

tanto foi assumido que a emissão de óxido nitroso (N₂O) de 90% da área (entrelinha) ter apenas a emissão de *background*.

As emissões provenientes do solo durante a primeira adubação não foram contempladas nos resultados, devido às incertezas nos resultados das primeiras coletas. Mesmo assim os resultados das emissões das coletas da primeira adubação que imediatamente antecediam os resultados da segunda adubação, embora não constem nesse documento, serviram para demonstrar a baixa emissão de N₂O do solo de todos tratamentos ao fim da primeira adubação.

Para determinação do fator de emissão de N₂O de cada fonte nitrogenada, da emissão total de N-N₂O de cada fonte nitrogenada foi subtraída a emissão total de N-N₂O do tratamento controle (CER), e o valor encontrado foi dividido pela quantidade de nitrogênio aplicado.

$$F (N-N_2O) = \frac{N-N_2O_{(trat)} - N-N_2O_{(CER)}}{N_{(Aplicado)}} \times 100$$

Onde N-N₂O_(tratamento) e N-N₂O_(cerrado) são a emissão acumulada de cada tratamento e emissão acumulada do tratamento cerrado, respectivamente.

2.4 Análises estatísticas

Os dados não apresentaram normalidade dos resíduos, portanto passaram por transformações. Foram testadas diversas transformações e a transformação de log a que mais se adequou ao conjunto de dados. A transformação de Box Cox também pode ser utilizada neste conjunto, pois os pressupostos da análise de variância foram supridos, mas em virtude de lambda tender a zero, fez-se a opção pela transformação de log. Por se tratar de medidas

repetidas no tempo, utilizou um modelo misto, com efeito aleatório das parcelas, representadas nesse experimento pelos coletores.

Os dados então foram submetidos às análises de variância e equações de regressão foram ajustadas para a variável analisada em função dos tratamentos ao longo do período de coleta. As diferenças entre os tratamentos foram verificadas pelo teste T de Student. Todas as operações estatísticas foram realizadas com auxílio do programa R (R CORE TEAM, 2015).

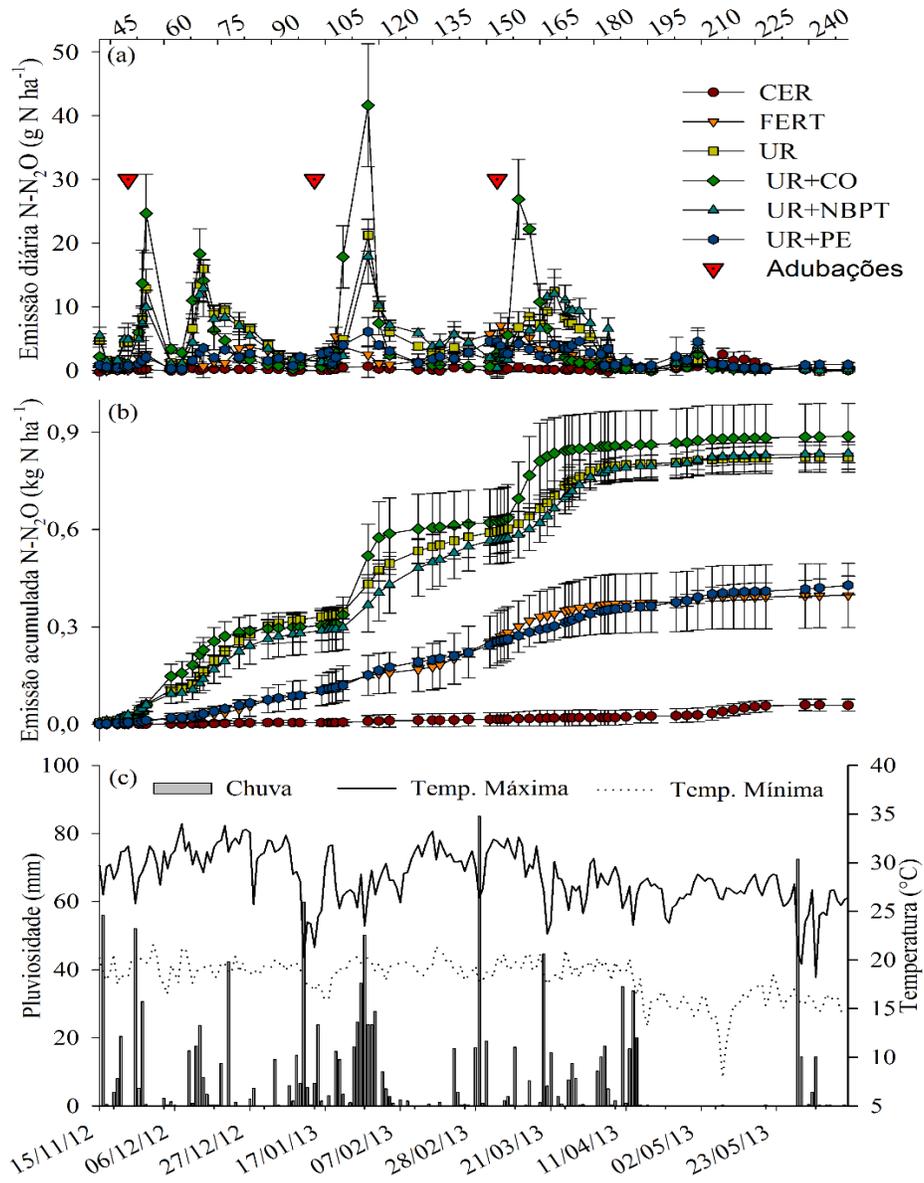
3 RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1 Emissões de óxido nitroso (N-N₂O)

A Figura 4 mostra as emissões diárias de óxido nitroso (N₂O) do solo ao longo do período da 2^a, 3^a e 4^a adubação.

A aplicação de fertilizantes nitrogenados aumentou as emissões de N₂O. A média das emissões dos tratamentos foi quase onze vezes maior que a emissão no cerrado. Os valores de emissão acumulada de N-N₂O dos tratamentos que receberam adubação nitrogenada variaram de 0,425 a 0,925 kg ha⁻¹ de N₂O.

Houve interação significativa ($p \leq 0,05$) entre os efeitos de fertilizantes ao longo do tempo (dias após a adubação). Esse resultado permite inferir que os fertilizantes nitrogenados não tiveram a mesma intensidade nas emissões de N₂O ao longo de cada uma das adubações nitrogenadas. Como o objetivo principal desse trabalho foi avaliar qual fertilizante foi mais eficaz na redução de emissão de óxido nitroso, se deu ênfase em discutir o comportamento de cada fertilizante ao longo de todo o experimento e não simplesmente o comportamento de cada fertilizante dentro de cada adubação.



Fertirrigação (FERT); Cerrado (CER); Ureia (UR); Ureia + Composto Orgânico (UR + CO); Ureia + NBPT (UR+NBPT); Ureia + Polímero Elástico (UR+PE) *Barras verticais representam o desvio padrão da média

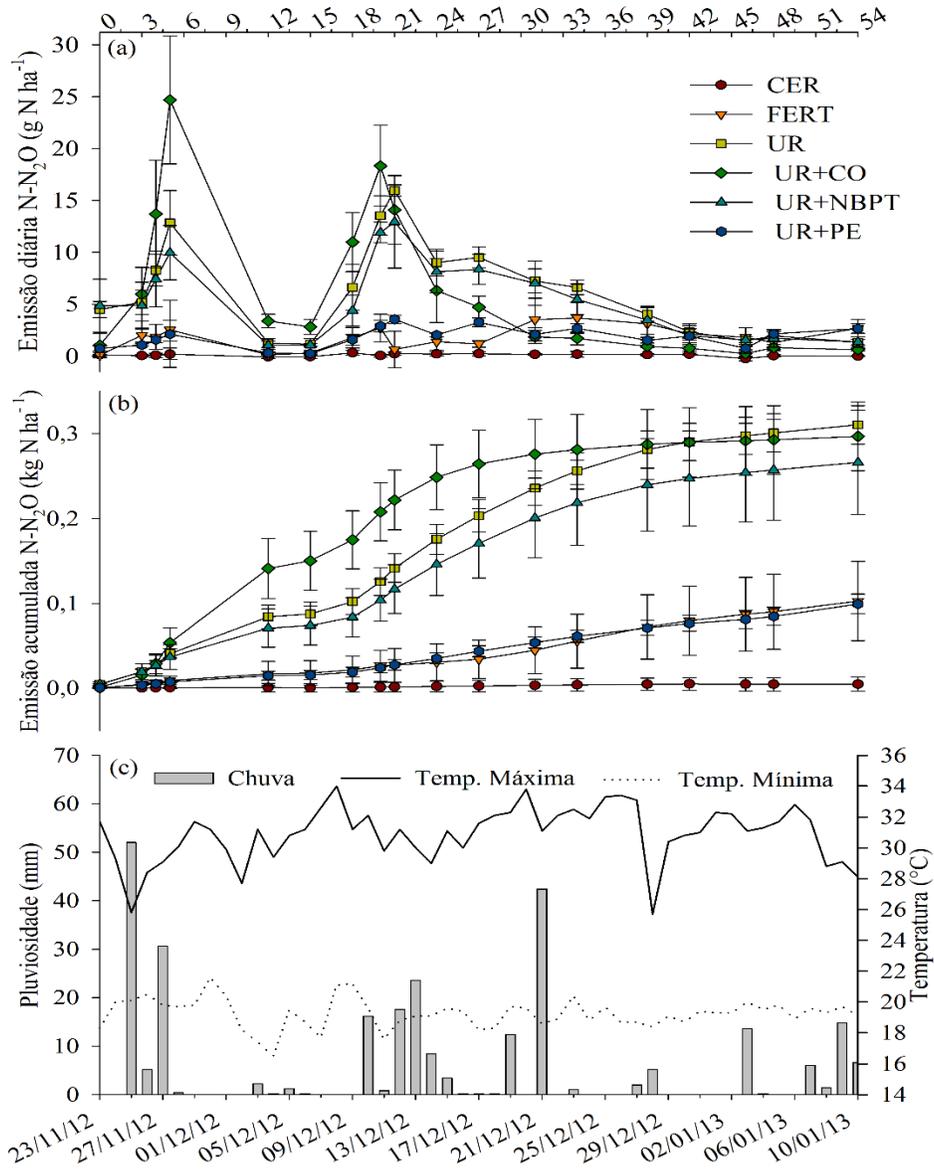
Figura 4 Emissões diárias (a) e acumuladas (b) de óxido nitroso ($\text{N-N}_2\text{O}$) após a aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação controlada na 2ª, 3ª e 4ª adubação

As médias das emissões de N-N₂O dos tratamentos apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) até o dia 06/04/2013 (31 dias após a 4ª adubação nitrogenada e 184 dias após a 1ª adubação), e não apresentaram diferenças significativas entre o dia 11/04/13 (36 dias após a 4ª adubação nitrogenada e 189 dias após a 1ª adubação) até o dia 28/04/13 (53 dias após a 4ª adubação nitrogenada e 206 dias após a 1ª adubação), sendo que foram realizadas 6 coletas nesse período.

No dia 01/05/13 e no dia 08/05/13 as emissões médias de N-N₂O apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, determinando a continuidade do experimento. A partir do dia 11/05/13 (66 dias após a 4ª adubação nitrogenada e 219 dias após a 1ª adubação) foram realizadas mais sete coletas, onde não se verificou diferença entre as médias de emissões de N-N₂O pelos tratamentos, mesmo com a elevada precipitação pluviométrica (86,6 mm) em curto espaço de tempo (2 dias).

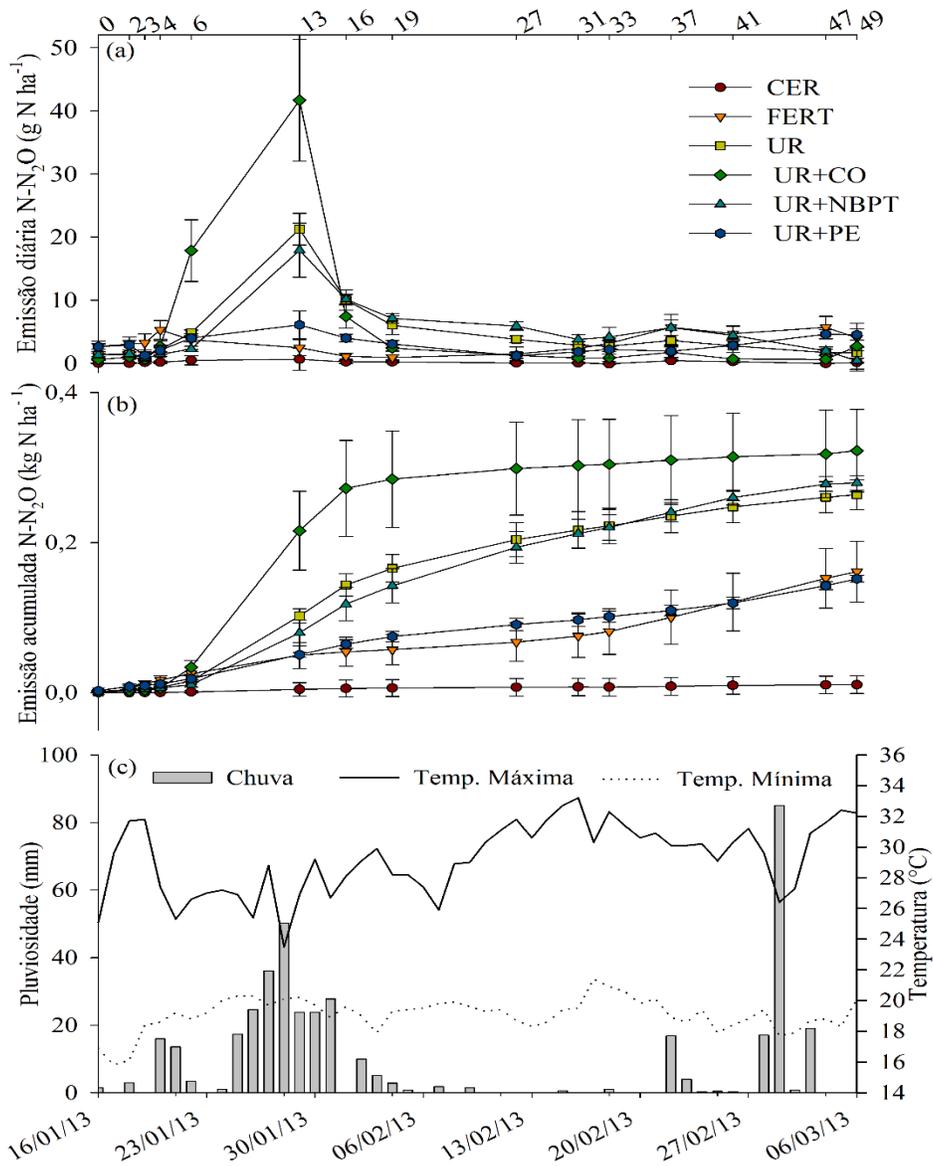
A data final para os cálculos de N total emitido dos solos na forma de óxido nítrico foi o dia 04 de junho de 2013 (243 dias após a primeira adubação).

As emissões diárias e acumuladas de cada tratamento ao longo da 2ª, 3ª e 4ª adubação nitrogenada podem ser observadas separadamente nas Figuras 5, 6 e 7 respectivamente.



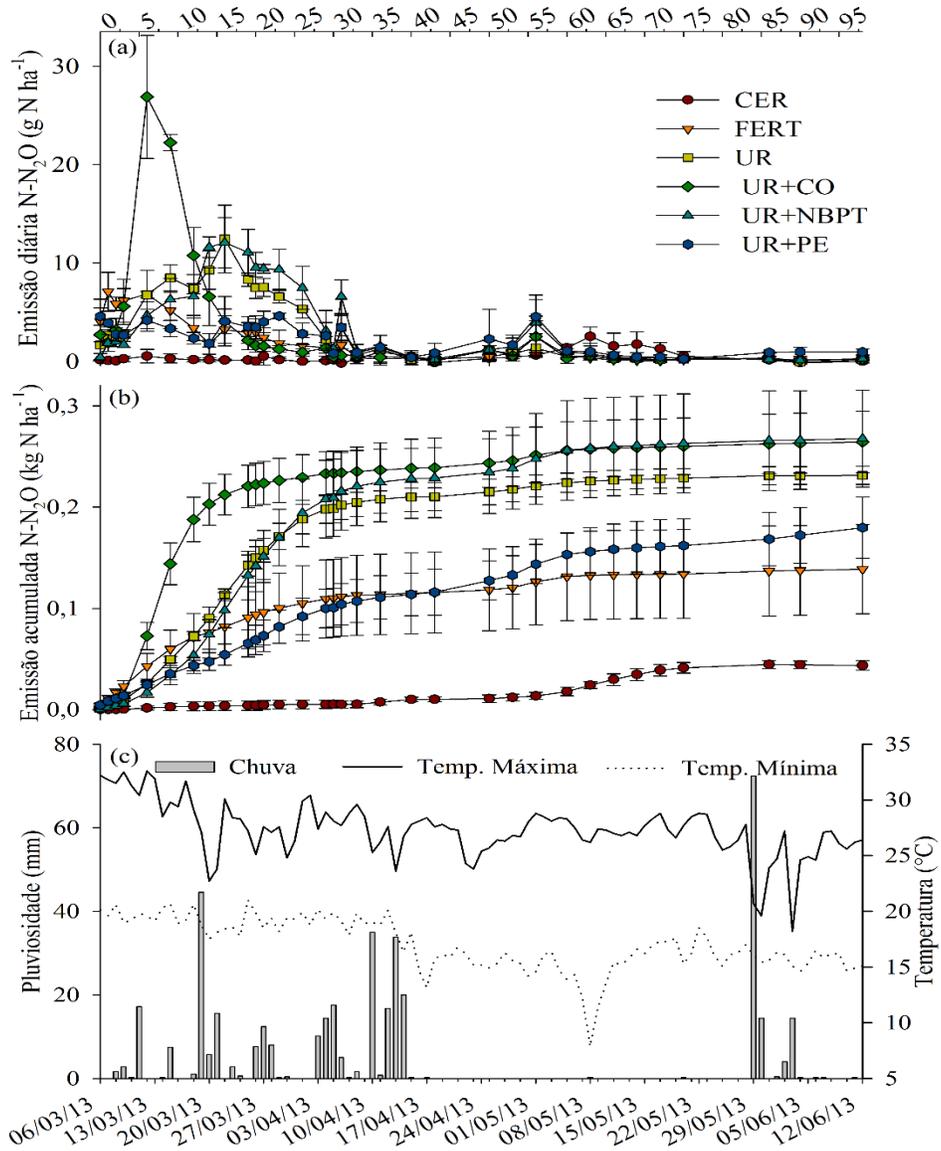
Fertirrigação (FERT); Cerrado (CER); Ureia (UR); Ureia + Composto Orgânico (UR + CO); Ureia + NBPT (UR+NBPT); Ureia + Polímero Elástico (UR+PE) *Barras verticais representam o desvio padrão da média

Figura 5 Emissões diárias (a) e acumuladas (b) de óxido nítrico ($N-N_2O$) após a aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação controlada durante a 2ª adubação



Fertirrigação (FERT); Cerrado (CER); Ureia (UR); Ureia + Composto Orgânico (UR + CO); Ureia + NBPT (UR+NBPT); Ureia + Polímero Elástico (UR+PE) *Barras verticais representam o desvio padrão da média

Figura 6 Emissões diárias (a) e acumuladas (b) de óxido nitroso ($\text{N-N}_2\text{O}$) após a aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação controlada durante a 3ª adubação



Fertirrigação (FERT); Cerrado (CER); Ureia (UR); Ureia + Composto Orgânico (UR + CO); Ureia + NBPT (UR+NBPT); Ureia + Polímero Elástico (UR+PE) *Barras verticais representam o desvio padrão da média

Figura 7 Emissões diárias (a) e acumuladas (b) de óxido nitroso ($N-N_2O$) após a aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação controlada durante a 4ª adubação

O tratamento CER foi escolhido por representar a emissão de N₂O de um solo sem a interferência humana e a ureia por esta ser o fertilizante nitrogenado mais utilizado no mundo (Tabela 5).

Tabela 2 Emissão acumulada de N-N₂O (kg ha⁻¹ de N₂O), em função da quantidade de N aplicado ao solo (%) e em relação a uma referência, a ureia (%)

TRATAMENTO	Emissão acumulada de N-N ₂ O		Diferenças para ureia (%)
	kg de N ha ⁻¹ *	% do N aplicado	
CER	0,064a	-	-
UR	0,849c	0,307	-
UR + NBPT	0,817c	0,296	-3,77
UR + CO	0,925c	0,335	+8,75
UR + PE	0,425b	0,154	-49,94
FERT	0,465b	0,168	-45,23

Fertirrigação (FERT); Cerrado (CER); Ureia (UR); Ureia + Composto Orgânico (UR + CO); Ureia + NBPT (UR+NBPT); Ureia + Polímero Elástico (UR+PE) *Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 5% de probabilidade

Por ser feita a adubação do cafeeiro, por via de regra, no período chuvoso do sudeste brasileiro, a quantidade de água presente no solo não foi limitante para cessar ou baixar drasticamente a atividade microbiana do solo e conseqüentemente a emissão de oxido nitroso durante o experimento, ponto este notado pela alta emissão de oxido nitroso de vários tratamentos uma hora após a adubação.

A ocorrência de alta quantidade de chuva por um período maior de tempo foi determinante nos picos de emissão de N-N₂O. A precipitação pluviométrica (203,6 mm) que ocorreu entre os dias 25/01/2013 a 01/02/13 promoveu o maior pico de emissão de N₂O, dos tratamentos ureia (UR), ureia + composto orgânico (UR+CO) e ureia + NBPT (UR+NBPT), 18 dias após a 3ª adubação nitrogenada. A ocorrência de chuvas no final do mês de novembro e

entre os dias 13 a 15 de dezembro determinaram os dois picos de emissão de N_2O ocorridos durante a 2ª adubação.

Na 4ª adubação nitrogenada o pico de emissão de N_2O ocorreu no dia 22/03/13, após chuvas constates desde o dia 18/03/13.

Costa (2015) avaliando a emissão de oxido nitroso ao longo das épocas do ano verificou que na época seca do ano de 2012 e de 2013 o fluxo positivo de oxido nitroso ocorre após precipitações, já no período chuvoso, os fluxos de N- N_2O aumentam após a aplicação de fontes N para às plantas.

Os picos de emissão de N_2O deste experimento mostraram que em solos com boa drenagem, a precipitação pluviométrica que ocorreu após espaços de dias sem chuvas não resultou em aumento na emissão de N_2O (Figura 4).

A emissão acumulada de N- N_2O no Cerrado entre os dias 23/11/12 e 04/07/13 (193 dias) foi de 0,064 kg de N ha^{-1} .

Carvalho et al. (2008) quantificaram no bioma cerrado emissões acumuladas N- N_2O de 0,024 kg ha^{-1} de N_2O (Período de coleta de 47 dias). As emissões de N- N_2O , mesmo sem aplicação de N, ocorrem devido as transformações do N que ocorrem naturalmente nos solos sob vegetação natural.

A mistura ureia + composto (UR+CO) orgânico promoveu os maiores picos de emissão de N_2O imediatamente após a sua aplicação na lavoura cafeeira e, posteriormente, diminuíram rapidamente (Figura 4).

Uma das possíveis causas das altas e rápidas emissões de N_2O da mistura ureia + composto em comparação aos demais tratamentos nitrogenados se dá pela alta atividade microbológica.

Segundo Moreira e Siqueira (2006), processos anaeróbios, como a desnitrificação, ocorrem em solos aeróbios, em microssítios de anaerobiose devido à alta atividade respiratória de organismos aeróbios.

Os picos de emissão do tratamento da mistura ureia + composto orgânico ultrapassou 40 g $ha^{-1} dia^{-1}$ de N- N_2O . A emissão de oxido nitroso em

solos é muito dependente da atividade de microrganismos e também da disponibilidade de agente oxidante preferencial aos óxidos de N. Esse fato elucidou a relação linear positiva entre emissão de óxido nitroso e precipitação pluviométrica em um curto período de tempo, pois a difusão do oxigênio na água é baixa, e estando o espaço poroso do solo ocupado por água, a concentração de oxigênio no solo diminuiu drasticamente. De acordo com Moreira e Siqueira (2006), a taxa de difusão de O_2 , CO_2 e N_2 na água é cerca de 10.000 vezes menor que no ar.

A emissão acumulada de N_2O com aplicação do N via fertirrigação (FERT) e da ureia revestida por polímero elástico (UR+PE) foi maior que a do tratamento controle (CER), mas foram menores que as dos demais tratamentos.

O fornecimento de N na fertirrigação e na forma de ureia revestida por polímero elástico também apresentaram menor amplitude de picos de emissão de N_2O em decorrência de precipitações elevadas por maior período de tempo que os demais tratamentos que receberam adubações nitrogenadas.

A emissão de N- N_2O com aplicação de N via fertirrigação ao longo do período avaliado foi de $0,465 \text{ kg ha}^{-1}$. Comparado à ureia, a redução nas emissões de N_2O foi de 45%.

Kennedy et al. (2013) avaliando a emissão N- N_2O provenientes da aplicação de N por fertirrigação em comparação ao adubação convencional na superfície do solo no tomateiro também reportaram que a fertirrigação promoveu menores valores de emissão de N_2O . Os autores relacionaram a queda de emissão de N_2O devido à ocorrência de sincronia entre a disponibilidade de N no solo com a aplicação do N via fertirrigação e a demanda da planta.

Alsina et al. (2013) quantificaram e estimaram a distribuição espacial das emissões de N_2O com fornecimento de N pela fertirrigação por gotejamento e por micro aspersão. Os autores reportaram que a fertirrigação por gotejamento emitiu menos da metade de N- N_2O ($0,60 \text{ kg ha}^{-1}$) do que a fertirrigação por

micro aspersão ($1,61 \text{ kg ha}^{-1}$), e que a emissão dos GEE de ambos os tratamentos se dá apenas nas proximidades do solo onde concentrou-se a aplicação do fertilizante com a água.

A emissão acumulada de $\text{N-N}_2\text{O}$ do tratamento UR+PE foi $0,425 \text{ kg ha}^{-1}$, quando comparada da ureia, a redução obtida nas emissões de N_2O foi de 50%.

Scheer et al. (2016) encontraram redução na emissão de N_2O ainda maiores do que a quantificada nesse trabalho, em torno de 70% da ureia revestida por polímero em comparação a ureia.

Halvorson et al. (2014) avaliando a eficiência de fertilizantes nitrogenados de liberação controlada em lavoura de milho irrigada verificaram redução de 42% da emissão de $\text{N-N}_2\text{O}$ da ureia revestida com polímero em relação a ureia.

A ureia + NBPT ($0,817 \text{ kg ha}^{-1}$ de N_2O) promoveu valores de emissão acumulada de N_2O semelhantes aos da ureia ($0,849 \text{ kg ha}^{-1}$ de N_2O). Embora em alguns trabalhos (DOBBIE; SMITH, 2003; ZANATTA et al., 2010) o uso do fertilizante estabilizado tenha sido eficiente na redução da emissão de $\text{N-N}_2\text{O}$, neste trabalho não houve redução nas emissões da ureia + NBPT (UR+NBPT) quando comparadas as da ureia granulada convencional (UR).

A aplicação da ureia + NBPT em pastagem não promoveu redução nas emissões de $\text{N-N}_2\text{O}$ (DOUGHERTY et al., 2016).

Belizário (2013) quantificou as emissões de N_2O de fertilizantes nitrogenados aplicados em quatro parcelamentos na cultura do café e concluiu que o parcelamento da adubação em duas doses de 50 kg ha^{-1} foi efetivo na diminuição da emissão de N_2O para a ureia. A ureia foi o fertilizante nitrogenado que promoveu maior emissão de N_2O , porém, quando houve a adição e NBPT as emissões desse gás diminuíram pela metade.

O coeficiente de determinação (r^2) da regressão do melhor ajuste de um modelo misto para os resultados de emissão de N_2O ao longo das três adubações nitrogenada, foi de 0,42. Embora se tenha tentado ajustar um modelo levando-se em consideração as precipitações ocorridas desde a última coleta, as precipitações ocorridas 1, 3 e 24 horas antes das coletas, e também a temperatura e umidade relativa do ar e interior da câmara e umidade do solo no momento da coleta, constatou-se que mais fatores são necessários para compor um melhor modelo de predição da emissão de $N-N_2O$ ao longo do tempo.

Fator de Emissão $N-N_2O$:

A Tabela 6 apresenta os resultados dos fatores de emissão de $N-N_2O$. Como não se utilizou os valores da primeira adubação para calcular a emissão acumulada de $N-N_2O$, o valor utilizado para dividir o resultado da diferença entre o valor de emissão do tratamento e do controle foi 276 ($276 \text{ kg de N ha}^{-1}$ nas três adubações).

Tabela 3 Fator de emissão de $N-N_2O$

TRATAMENTO	Fator de emissão (% do N aplicado)
UR + CO	0,312b
UR	0,284b
UR + NBPT	0,274b
FERT	0,145a
UR + PE	0,131a
Média	0,229

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 5% de probabilidade Fertirrigação (FERT); Cerrado (CER); Ureia (UR); Ureia + Composto Orgânico (UR + CO); Ureia + NBPT (UR+NBPT); Ureia + Polímero Elástico (UR+PE)

Em levantamento realizado em 78 trabalhos de emissão de gases causadores de mudanças climáticas Shcherbak et al. (2014) constataram que o

fator de emissão não é uma função linear e a utilização deste dado não representaria a emissão real.

Embora muitos trabalhos contestem esse índice, o fator de emissão continua sendo o recurso mais utilizado nos inventários de emissão de N_2O .

Como apresentado anteriormente, o Painel Intergovernamental para mudanças climáticas (IPCC) coloca como valor padrão para emissão de N_2O a partir de aplicação de fertilizantes nitrogenados 1%.

Os fatores de emissão encontrados nesse experimento foram bem menores que os estipulados pelo IPCC. O maior valor absoluto encontrado para o fator de emissão foi de 0,31% do N aplicado. Este valor foi quase 70% inferior ao valor proposto pelo IPCC. O menor valor absoluto do fator de emissão encontrado foi de 0,13%, para a ureia + polímero elástico, 87% menor quando comparado ao proposto pelo IPCC.

Em lavoura de café cultivada em condições de sequeiro os fatores de emissão para óxido nitroso de diferentes fertilizantes nitrogenados foram: nitrato de cálcio 0,01%, nitrato de amônio (0,03 e 0,06%) e para a ureia convencional e tratada com NBPT esses valores variaram entre 0,06% e 0,55% e 0,04 e 0,21% em função da dose de N aplicada.

Em estudos realizados em área cultivada com cana os fatores de emissões de N_2O foram: ureia convencional = 0,69%, ureia + dicianamida (inibidor de nitrificação) = 0,04%, ureia + DMPP (inibidor de nitrificação) = 0,01% e ureia revestida com S^0 + polímeros = 0,93, todos abaixo do fator de emissão de N_2O para fertilizantes nitrogenados estabelecido pelo IPCC que é de 1% (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC, 2006; SOARES et al., 2015).

3.2 Emissões de gás carbônico (CO₂)

A emissão diária de CO₂ não diferiu em função de nenhum dos tratamentos utilizados, ao longo das adubações. A emissão de CO₂ variou ao longo dos dias do experimento e foi dada principalmente pelas precipitações e pelo manejo de roçadas que se fazia na cultura do cafeeiro em função do crescimento de plantas daninhas (Figuras 8, 9, 10 e 11). A emissão média de CO₂ do solo de cada tratamento está apresentado na Tabela 7.

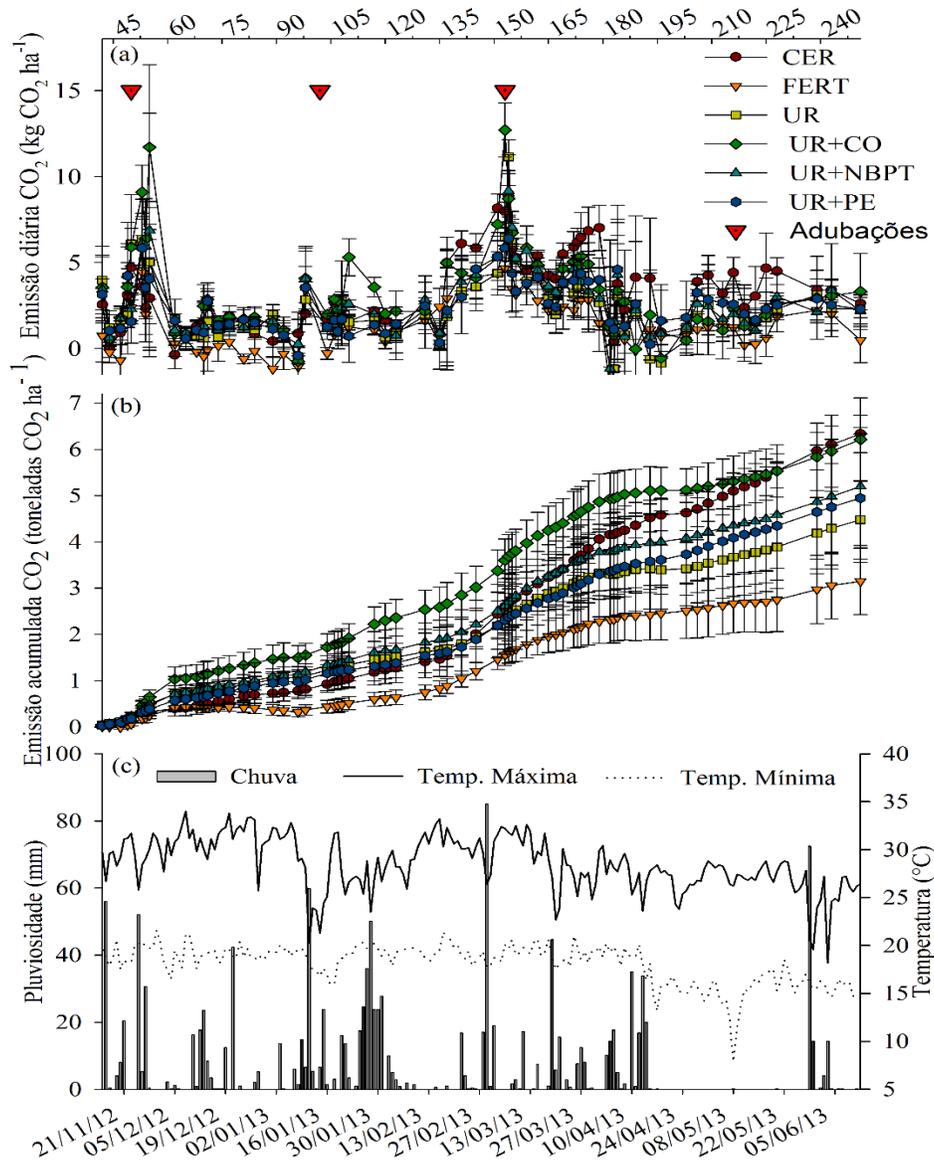
Tabela 4 Emissões de CO₂ após a aplicação de fertilizantes nitrogenados estabilizados e de liberação controlada em lavoura cafeeira irrigada.

TRATAMENTO	Emissão CO ₂	
	(g m ⁻² h ⁻¹)	(kg ha ⁻¹ dia ⁻¹)
CER	0,134a	32,16
FERT	0,079a	18,96
UR	0,091a	21,84
UR+CO	0,129a	30,96
UR+NBPT	0,099a	23,76
UR+PE	0,083a	19,92
Média	0,123	29,52

Fertirrigação (FERT); Cerrado (CER); Ureia (UR); Ureia + Composto Orgânico (UR + CO); Ureia + NBPT (UR+NBPT); Ureia + Polímero Elástico (UR+PE)

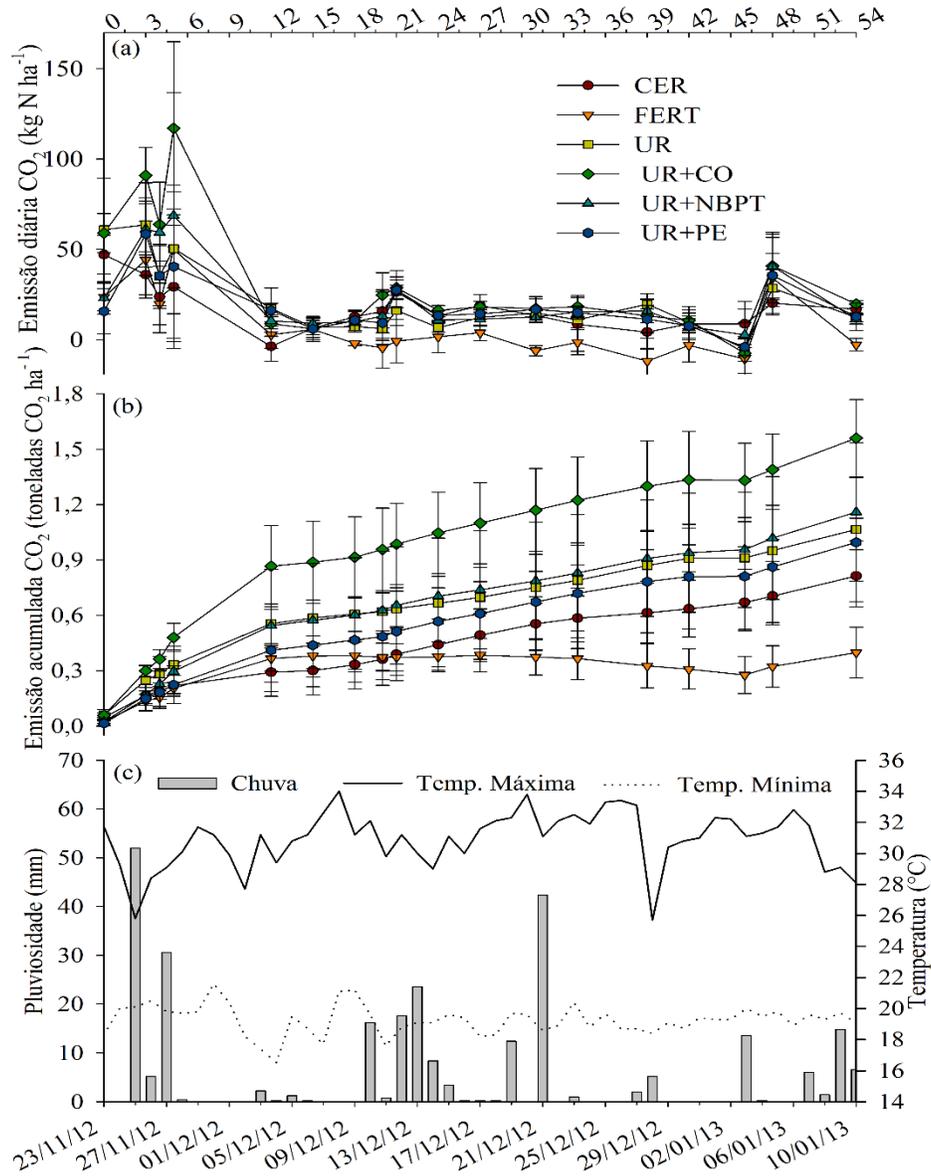
*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 5% de probabilidade

Os fluxos médios de CO₂ (g m⁻² h⁻¹) variaram de 0,083 a 0,134, e nenhum dos tratamentos apresentou diferença significativa nem mesmo em comparação ao cerrado.



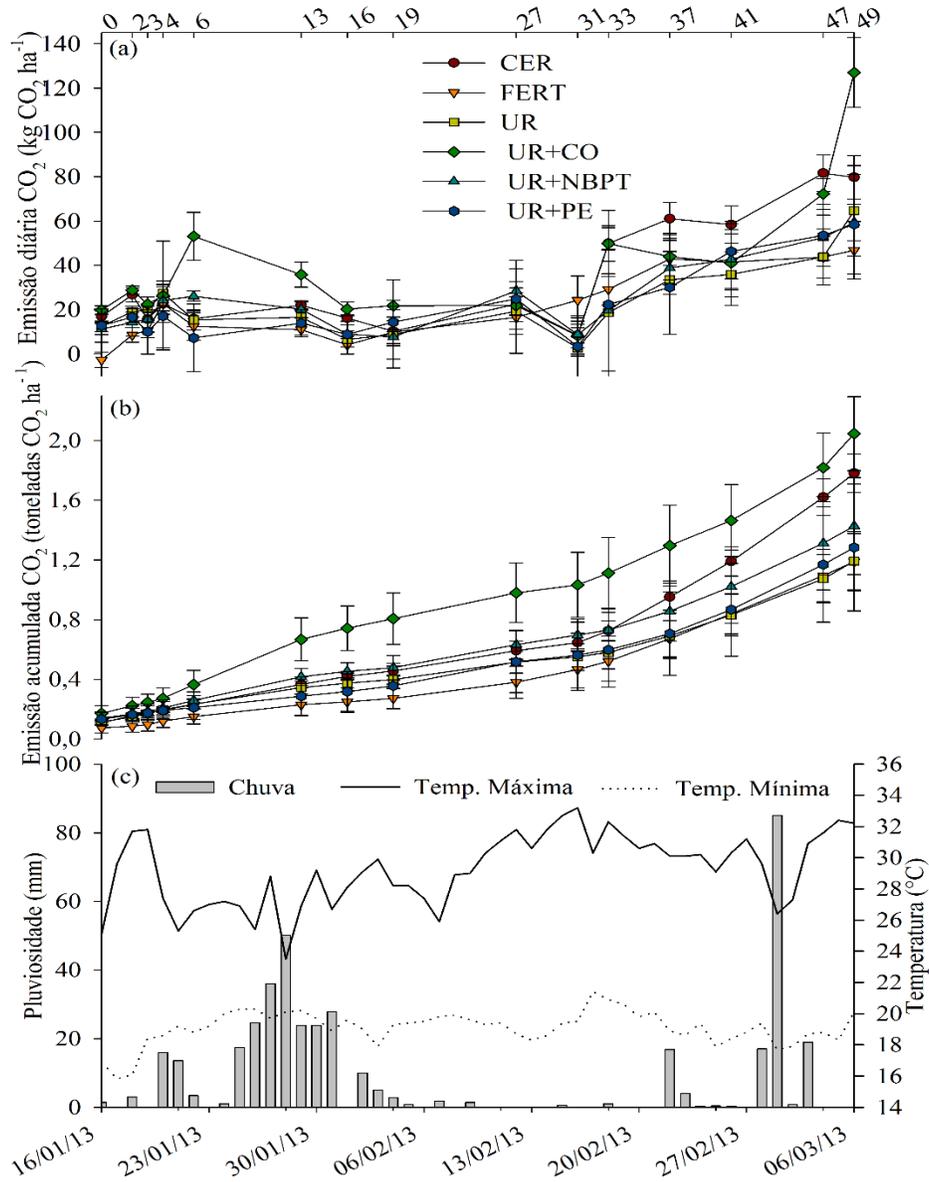
Fertirrigação (FERT); Cerrado (CER); Ureia (UR); Ureia + Composto Orgânico (UR + CO); Ureia + NBPT (UR+NBPT); Ureia + Polímero Elástico (UR+PE) *Barras verticais representam o desvio padrão da média

Figura 8 Emissões diárias (a) e acumuladas (b) de dióxido de carbono do solo (C- CO₂) após a aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação controlada na 2^a, 3^a e 4^a adubação



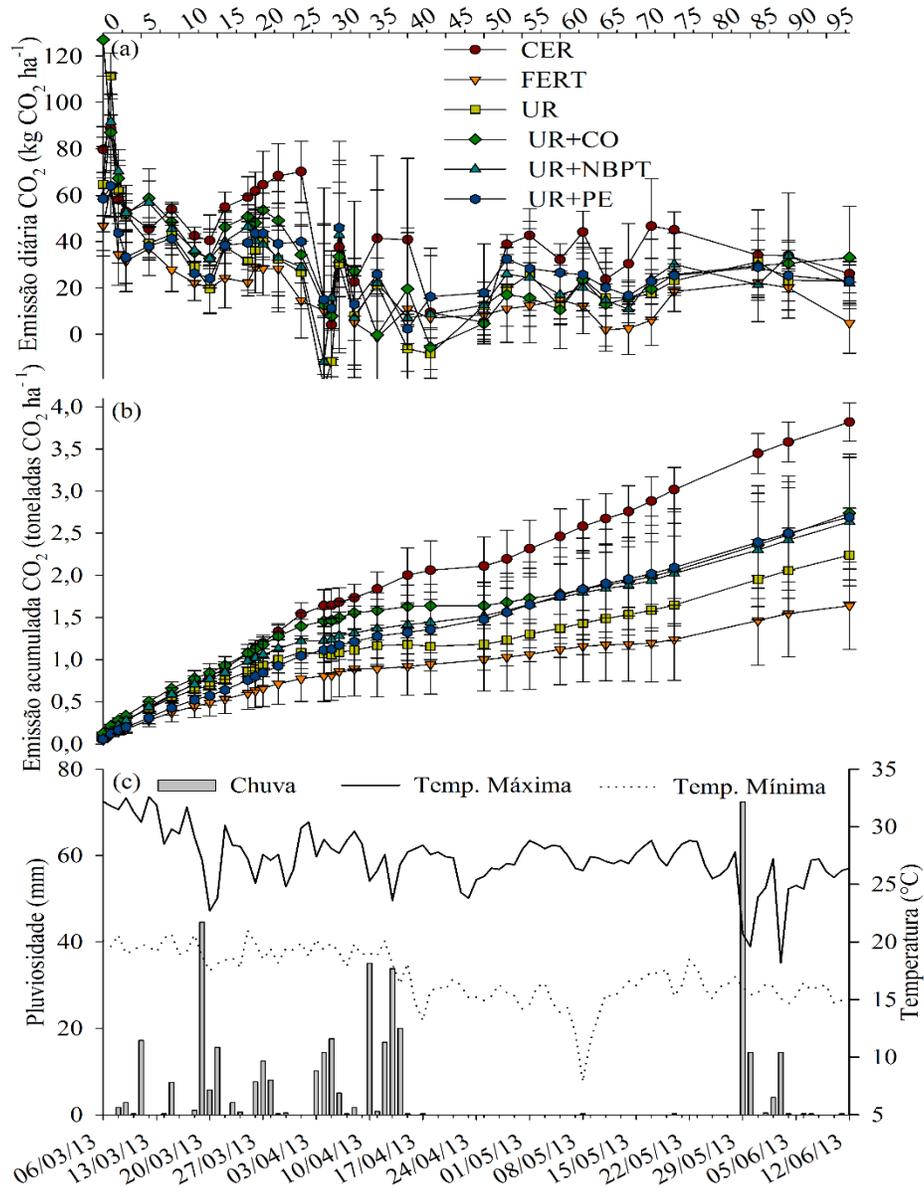
Fertirrigação (FERT); Cerrado (CER); Ureia (UR); Ureia + Composto Orgânico (UR + CO); Ureia + NBPT (UR+NBPT); Ureia + Polímero Elástico (UR+PE) *Barras verticais representam o desvio padrão da média

Figura 9 Emissões diárias (a) e acumuladas (b) de dióxido de carbono (CO₂) após a aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação controlada durante a 2^a adubação



Fertirrigação (FERT); Cerrado (CER); Ureia (UR); Ureia + Composto Orgânico (UR + CO); Ureia + NBPT (UR+NBPT); Ureia + Polímero Elástico (UR+PE) *Barras verticais representam o desvio padrão da média

Figura 10 Emissões diárias (a) e acumuladas (b) de dióxido de carbono (CO₂) após a aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação controlada durante a 3^a adubação



Fertirrigação (FERT); Cerrado (CER); Ureia (UR); Ureia + Composto Orgânico (UR + CO); Ureia + NBPT (UR+NBPT); Ureia + Polímero Elástico (UR+PE) *Barras verticais representam o desvio padrão da média

Figura 11 Emissões diárias (a) e acumuladas (b) de dióxido de carbono (CO₂) após a aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação controlada durante a 4ª adubação

D' Andrea et al. (2009) verificaram que os fatores abióticos do ambiente foram menos determinantes que os fatores bióticos (plantas e microbiota do solo) nos fluxos de CO₂ do solo sob cafeeiro, os autores encontraram fluxos de CO₂ que variaram de 0,393 a 0,183 g CO₂ m⁻² h⁻¹.

Embora a emissão diária de CO₂ não ter sido diferente em função de nenhum dos tratamentos, nem mesmo do tratamento controle (cerrado), a emissão acumulada dos tratamentos ao longo dos dias foi diferente em função dos tratamentos.

A emissão acumulada de CO₂ com a fertirrigação foi menor que todos os outros tratamentos no somatório do período da 2^a, 3^a e 4^a adubação nitrogenada, apresentando emissão total de 3,15 toneladas de CO₂ ha⁻¹ durante 209 dias analisados (Figura 8). Os tratamentos ureia, mistura ureia + composto orgânico, ureia + polímeros e ureia + NBPT tiveram emissões acumuladas semelhantes entre eles e também do Cerrado, quando contabilizado a emissão o somatório das emissões durante a 2^a, 3^a e 4^a adubação.

Analisando cada adubação separadamente é possível observar que durante a 2^a adubação, os tratamentos UR+CO, UR+NBPT e UR+PE apresentaram ao final desse período, emissões acumuladas de CO₂ maiores que os tratamentos UR, FERT e CER. A FERT promoveu menor emissão acumulada de CO₂, durante a 2^a adubação, que os tratamentos UR e CER.

A emissão acumulada de CO₂ da mistura entre ureia e composto orgânico (UR+CO) foi maior que a dos demais tratamentos, no período imediatamente posterior a cada adubação. O início da emissão de CO₂ do solo que recebeu o tratamento UR+CO é proveniente do carbono facilmente assimilável, presente no composto orgânico, associado à umidade (ANEXO A), também presente no composto orgânico, que juntamente com o N adicionado, proporcionaram um rápido crescimento na emissão de CO₂ do solo.

3.3 Emissões de metano (CH₄)

Na Figura 12 estão os fluxos diários e acumulados de metano em função dos tratamentos analisados durante a 2^a, 3^a e 4^a adubação nitrogenada.

Durante grande parte do experimento tanto no cerrado quanto nos tratamentos que receberam fertilizantes nitrogenados as emissões de CH₄ ficaram muito próximas a zero.

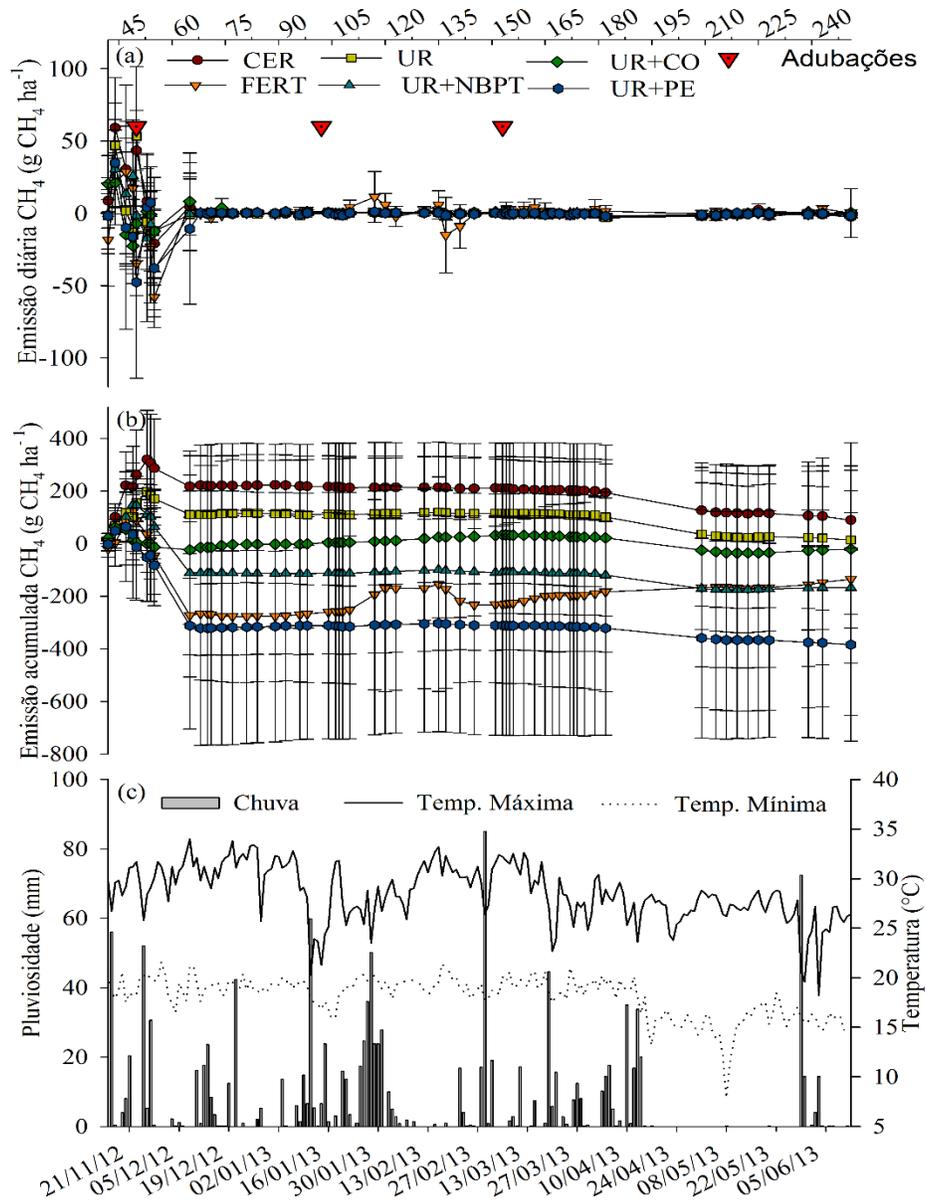
Solos aerados atuam com sumidouros de CH₄ por meio da oxidação microbiana (DOBBIE; SMITH, 2003). Muitos trabalhos (BESEN, 2015; ZANATTA et al., 2010) relacionam a maior à emissão de CH₄ com maior disponibilidade de NH₄⁺ no solo, pois o íon amônio sofreria oxidação no lugar do CH₄. Entretanto, mesmo com aplicação de doses de N igual a 368 kg ha⁻¹ no cafeeiro, os fluxos de médios de CH₄ nesse estudo ficaram próximos de zero (Tabela 8).

Tabela 5 Emissão de CH₄ do solo

TRATAMENTO	Emissão (g m ⁻² h ⁻¹ CH ₄)
CER	0,0017 ^a
FERT	-0,0009 ^a
UR	0,0001 ^a
UR+CO	0,0002 ^a
UR+NBPT	0,0003 ^a
UR+PE	-0,0003 ^a
Média	0,0003

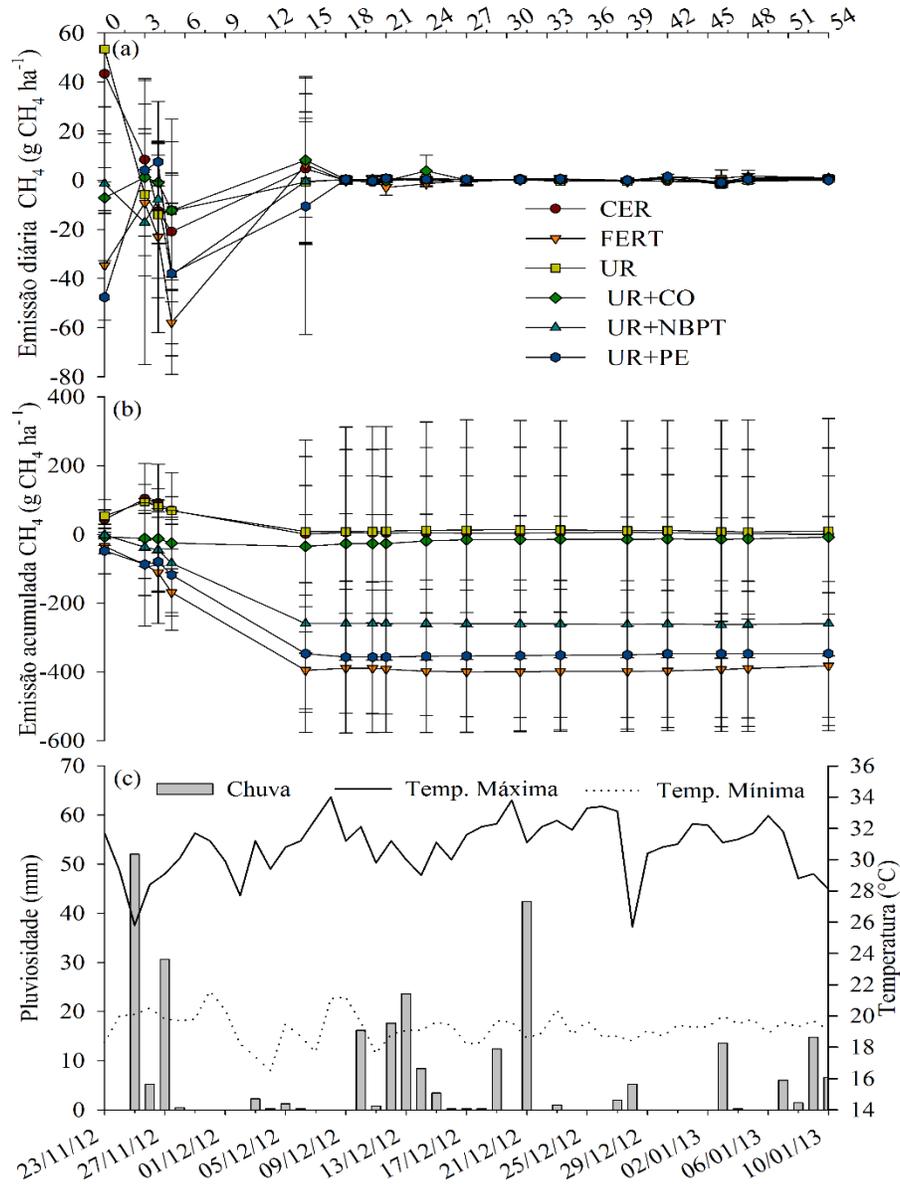
*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 5% de probabilidade; Fertirrigação (FERT); Cerrado (CER); Ureia (UR); Ureia + Composto Orgânico (UR + CO); Ureia + NBPT (UR+NBPT); Ureia + Polímero Elástico (UR+PE)

Nas Figuras 13, 14 e 15 estão os fluxos diários e acumulados de CH₄ em função dos tratamentos analisados durante a 2^a, 3^a e 4^a adubação nitrogenada.



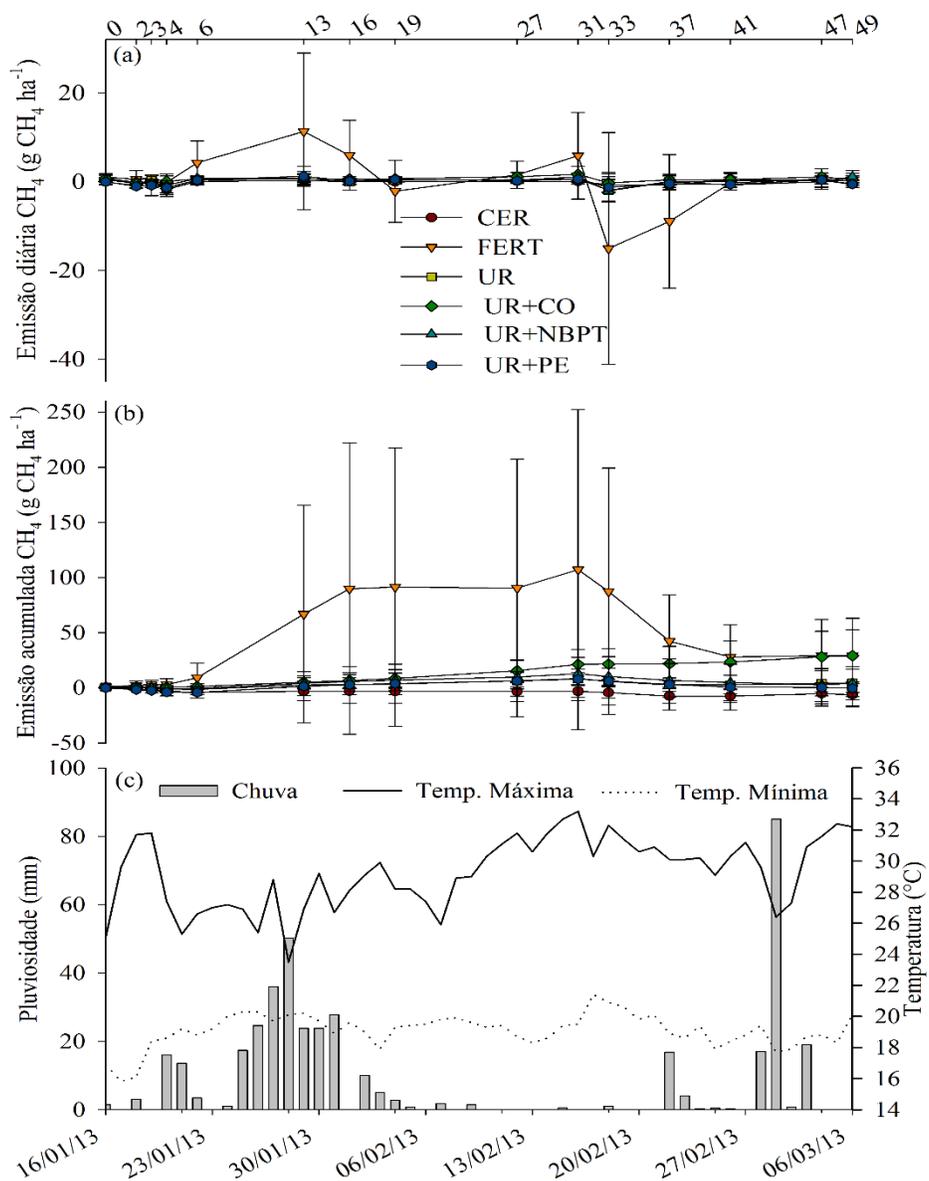
Fertirrigação (FERT); Cerrado (CER); Ureia (UR); Ureia + Composto Orgânico (UR + CO); Ureia + NBPT (UR+NBPT); Ureia + Polímero Elástico (UR+PE) *Barras verticais representam o desvio padrão da média

Figura 12 Emissões diárias (a) e acumuladas (b) de metano (CH_4) após a aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação controlada durante a 2^a, 3^a e 4^a adubação



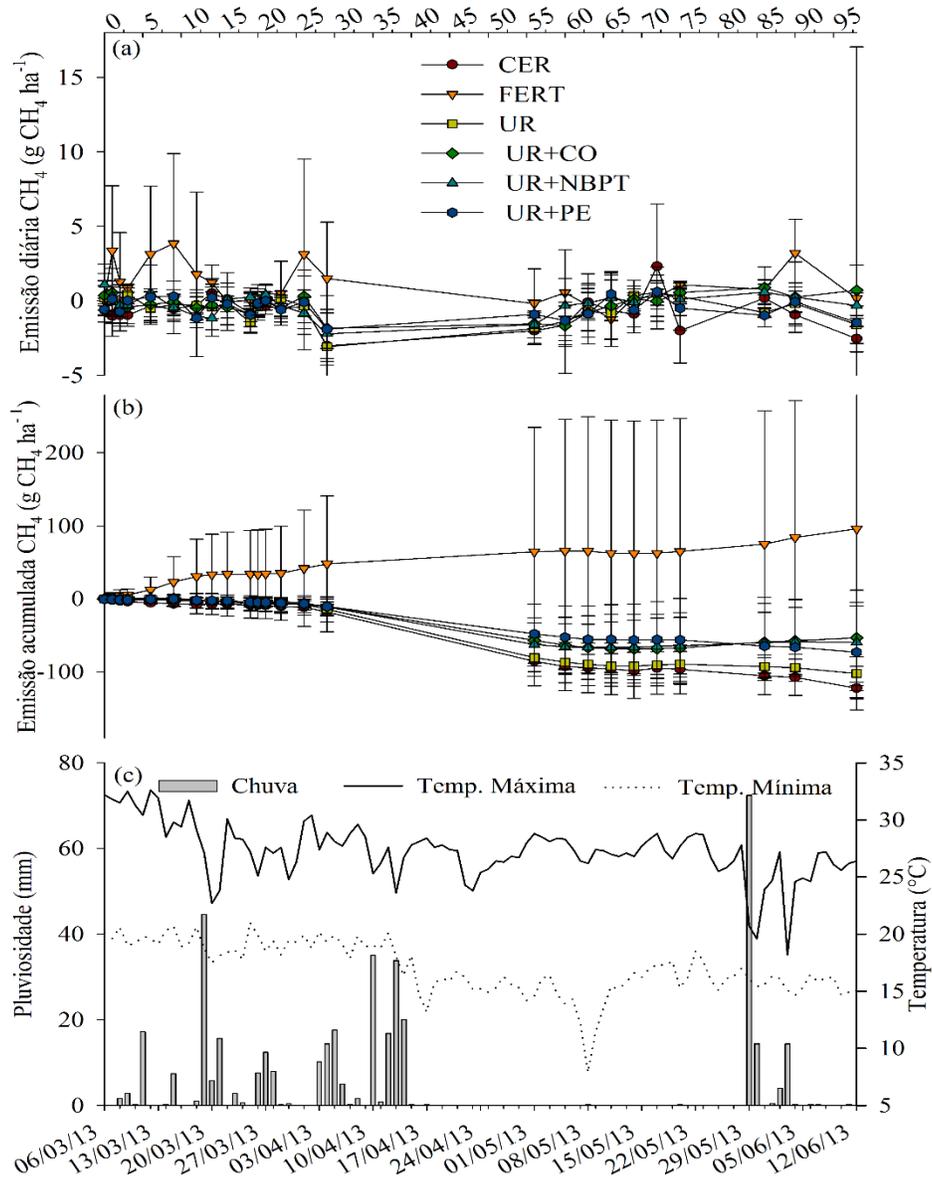
Fertirrigação (FERT); Cerrado (CER); Ureia (UR); Ureia + Composto Orgânico (UR + CO); Ureia + NBPT (UR+NBPT); Ureia + Polímero Elástico (UR+PE) *Barras verticais representam o desvio padrão da média

Figura 13 Emissões diárias (a) e acumuladas (b) de metano (CH_4) após a aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação controlada durante a 2ª adubação



Fertirrigação (FERT); Cerrado (CER); Ureia (UR); Ureia + Composto Orgânico (UR + CO); Ureia + NBPT (UR+NBPT); Ureia + Polímero Elástico (UR+PE) *Barras verticais representam o desvio padrão da média

Figura 14 Emissões diárias (a) e acumuladas (b) de metano (CH₄) após a aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação controlada durante a 3^a adubação



Fertirrigação (FERT); Cerrado (CER); Ureia (UR); Ureia + Composto Orgânico (UR + CO); Ureia + NBPT (UR+NBPT); Ureia + Polímero Elástico (UR+PE) *Barras verticais representam o desvio padrão da média

Figura 15 Emissões diárias (a) e acumuladas (b) de metano (CH_4) após a aplicação de fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação controlada durante a 4ª adubação

ABSTRACT

Nitrous oxide (N_2O) emitted into the atmosphere is closely related to the amount of nitrogen (N) applied and soil management. The nitrification and denitrification reactions are determinative for the quantity of N_2O emitted to the atmosphere. This study aimed to quantify the emissions of gases that cause climate change in coffee fertilized crop after application of conventional nitrogen fertilizers, stabilized and controlled release. The study was conducted in the city of Monte Carmelo/MG in the agricultural year 2012/2013 in irrigated coffee plantations and production (2 years old). The randomized block design with six treatments, with four replications. The treatments consisted of applying $368 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ (4 installments of $92 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, except for fertigation), the projection of the crown of the coffee plants, as follows: 1) granular conventional urea (UR); 2) Granular Urea coated with 600 mg kg^{-1} NBPT (UR + NBPT); 3) Granular Urea and coated elastic polymer (UR + PE); 4) Organic Compound + urea (25% total N applied to the organic compound form and the other 75% as urea) mixed prior to application in these crops (UR + CO); 5) Cerrado (Control): no fertilizer application (CER) and 6) 11 applications of N fertigation (FERT). Emissions of nitrous oxide, carbon dioxide and methane were evaluated. A descending sequence of nitrous oxide emissions was: UR + CO ($0,925 \text{ kg ha}^{-1} N_2O$) = UR ($0,849 \text{ kg ha}^{-1} N_2O$) = UR + NPBT ($0,849 \text{ kg ha}^{-1} N_2O$) > FERT ($0,465 \text{ kg ha}^{-1} N_2O$) = UR + PE ($0,425 \text{ kg ha}^{-1} N_2O$) > CER ($0,064 \text{ kg ha}^{-1} N_2O$). The nitrous oxide emission factor including all treatments with application of nitrogenous fertilizer was equal to 0,25%. N_2O emission factors after the application of nitrogenous fertilizers in different treatments were lower compared to the value set by the IPCC 1%. Nitrogen fertilizer did not influence the daily emissions of carbon dioxide and methane gas.

Key words: Coffee. Fertirrigation. Carbon dioxide. Methane. Nitrous oxide. Urea.

4 CONCLUSÃO

A sequência decrescente das emissões de óxido nitroso foi: Ureia + composto orgânico = Ureia = Ureia + NPBT > Fertirrigação = Ureia + polímero elástico > cerrado.

O fator de emissão de óxido nitroso, incluindo todos os tratamentos com aplicação de fertilizantes nitrogenados foi igual a 0,25%.

Os fatores de emissões de N_2O após a aplicação de fertilizantes nitrogenados nos diferentes tratamentos foram menores em comparação ao valor estabelecido pelo IPCC de 1%.

Os fertilizantes nitrogenados não influenciaram nas emissões diárias de gás carbônico e metano.

REFERÊNCIAS

ALSINA, M. M.; FANTON-BORGES, A. C.; SMART, D. R. Spatiotemporal variation of event related N₂O and CH₄ emissions during fertigation in a California almond orchard. **Ecosphere**, Lianjiang, v. 4, n. 1, p. 1-21, Jan. 2013.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DOS ADUBOS - ANDA. **Anuário Estatístico do Setor Fertilizantes**, 2014. São Paulo, 2015. 176 p. Disponível em: <<http://anda.org.br/index.php?mpg=06.01.00&acao=ver&idc=34&ver=por>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

AZEEM, B. et al. Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer. **Journal of Controlled Release**, Salt Lake City, v. 181, p. 11-21, May 2014.

BELIZÁRIO, M. H. **Estoque de carbono do solo e fluxo de gases de efeito estufa no cultivo do café**. 2013. 144f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2013.

BESEN, M. R. **Influência de fontes de nitrogênio no fluxo de gases e na produtividade do milho e do trigo em sistema de plantio direto**. 2015. 64f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2015.

BRASIL. Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação -MCTI. **Estimativas anuais de Emissões de gases de efeito estufa no Brasil**, 2. ed. Brasília, 2014. 168p. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0235/235580.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2016

CARVALHO, MT de M. et al. Emissão de N₂O e volatilização de NH₃ em sistema de produção de feijoeiro comum irrigado em Latossolo no Cerrado. **Embrapa Arroz e Feijão**. Santo Antônio de Goiás, 2008. Boletim de pesquisa e desenvolvimento 32, p. 23. Disponível em: <

<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/216554/1/bolpesq32.pdf>. Acesso em: 10 set. 2011.

COSTA, A. R. **Perdas gasosas de nitrogênio e atributos microbiológicos do solo em pastagens após aplicação de urina e fezes de bovinos**. 2015. 93f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

D'ANDRÉA, A. F. et al. Variações de curto prazo nas emissões de CO₂ do solo em diferentes sistemas de manejo do cafeeiro. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 9, p. 2314-2317, out. 2009

DOBBIE, K. E.; SMITH, K. A. Impact of different forms of N fertilizer on N₂O emissions from intensive grassland. **Nutrient cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 67, n. 1, p. 37-46, Sept. 2003.

DOUGHERTY, W. J. et al. Nitrification (DMPP) and urease (NBPT) inhibitors had no effect on pasture yield, nitrous oxide emissions nor nitrate leaching under irrigation in a hot-dry climate. **Soil Research**, Melbourne, v. 54, n. 5, p. 675-683, July 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa Informação Tecnológica. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627 p.

GOOGLE. **Google Earth**. Versão 7.1.5 1557. 2015. Vista aérea da área experimental (Fazenda Juliana, Monte Carmelo, MG). Disponível em: <<https://www.google.com/earth/>>. Acesso em: 6 jan. 2016.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. (Eds). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG – 1999. p. 289-302.

HALVORSON, A. D. et al. Enhanced-Efficiency Nitrogen Fertilizers: Potential

Role in Nitrous Oxide Emission Mitigation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 106, n. 2, p. 715-722, Feb. 2014.

HUTCHINSON, G.L.; LIVINGSTON, G.P. Use of chamber systems to measure trace gas fluxes. In: HARPER, L.A. et al. (Eds). **Agricultural ecosystem effects on trace gases and global climate change**. Madison: ASA special publication, 1993. p.63-78.

HUTCHINSON, G. L.; MOSIER, A. R. Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, n. 2, p. 311-316, 1981.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. N₂O Emissions from Managed Soils, and CO₂ Emissions from Lime and Urea Application. In: 2006 IPCC. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. IGES: Japan, 2006. v. 4, cap.11, p. 11.5 – 11.54. Disponível em: <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf>. Acesso em:13 mar. 2016.

KENNEDY, T. L.; SUDDICK, E. C.; SIX, J. Reduced nitrous oxide emissions and increased yields in California tomato cropping systems under drip irrigation and fertigation. **Agriculture, ecosystems & environment**, Zurique, v. 170, p. 16-27, Apr. 2013.

LORENSINI, F. et al. Lixiviação e volatilização de nitrogênio em um Argissolo cultivado com videira submetida à adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 7, p. 1173-1179, jul. 2012.

MOREIRA, F. M. S; SIQUEIRA, J. O.; **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. Ed. atual. e ampl. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729 p.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 3. Ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

SCHEER, C. et al. Effect of enhanced efficiency fertilizers on nitrous oxide emissions in a sub-tropical cereal cropping system. **Soil Research**, Melbourne, v. 54, n. 5, p. 544-551, July 2016

SHCHERBAK, I.; MILLAR, N.; ROBERTSON, G. P. Global metaanalysis of the nonlinear response of soil nitrous oxide (N₂O) emissions to fertilizer nitrogen. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 111, n. 25, p. 9199-9204, June 2014.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA – SEEG. **Documento síntese**: análise das emissões de GEE no Brasil (1970-2013) e suas implicações para políticas públicas. São Paulo: Observatório do Clima, 2015. 52 p. Disponível em: <http://mediadrawer.gvces.com.br/oc/original/sintese_2015.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2016.

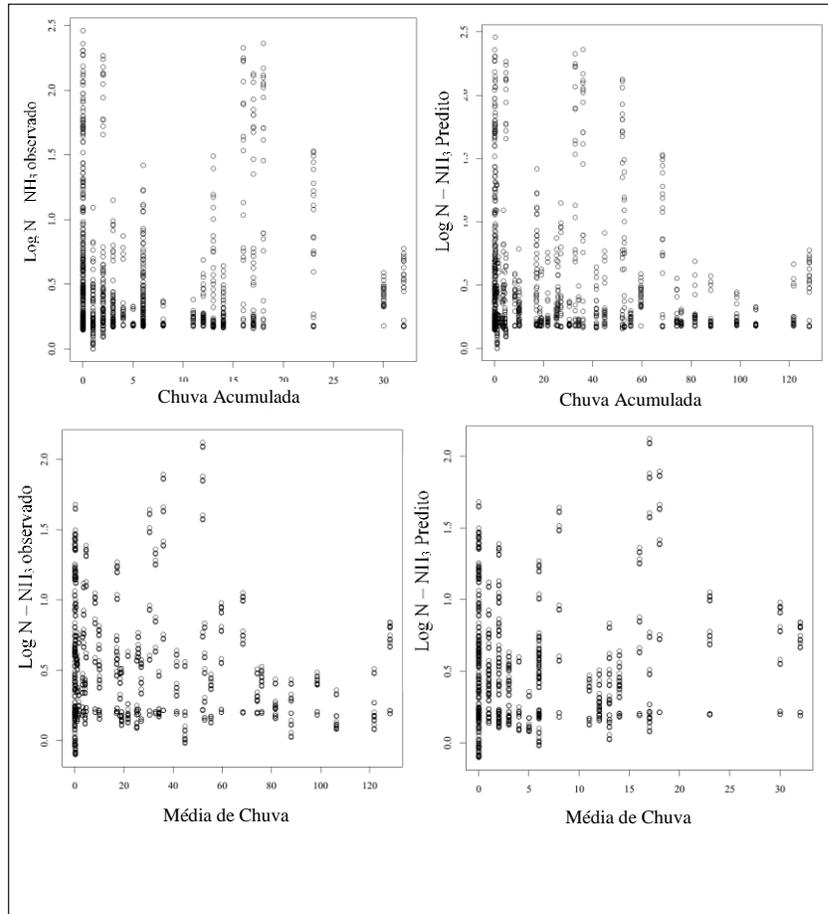
SOARES, J. R. et al. Enhanced-efficiency fertilizers in nitrous oxide emissions from urea applied to sugarcane. **Journal of environmental quality**, Madison, v. 44, n. 2, p. 423-430, Mar. /Apr. 2015.

TIMILSENA, Y. P. et al. Enhanced efficiency fertilizers: a review of formulation and nutrient release patterns. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Hoboken, v. 95, n. 6, p. 1131-1142, Apr. 2015.

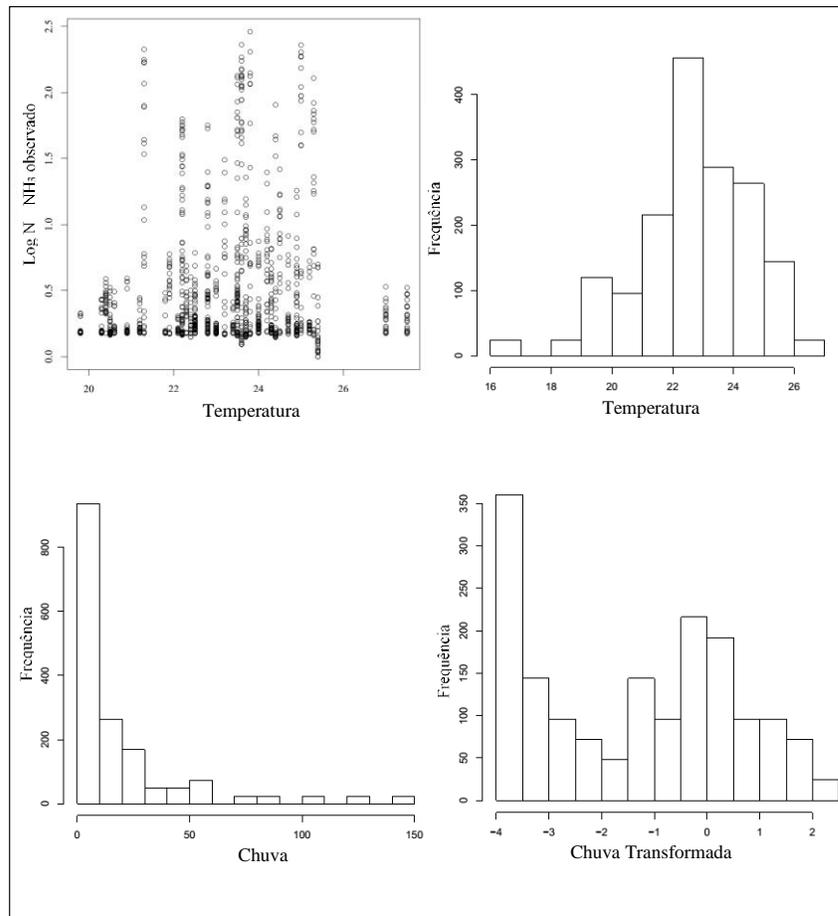
ZANATTA, J.A. et al. Nitrous oxide and methane fluxes in south Brazilian gleysol as affected by nitrogen fertilizers. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 5, Sept./Oct. 2010

(VERSÃO PRELIMINAR)

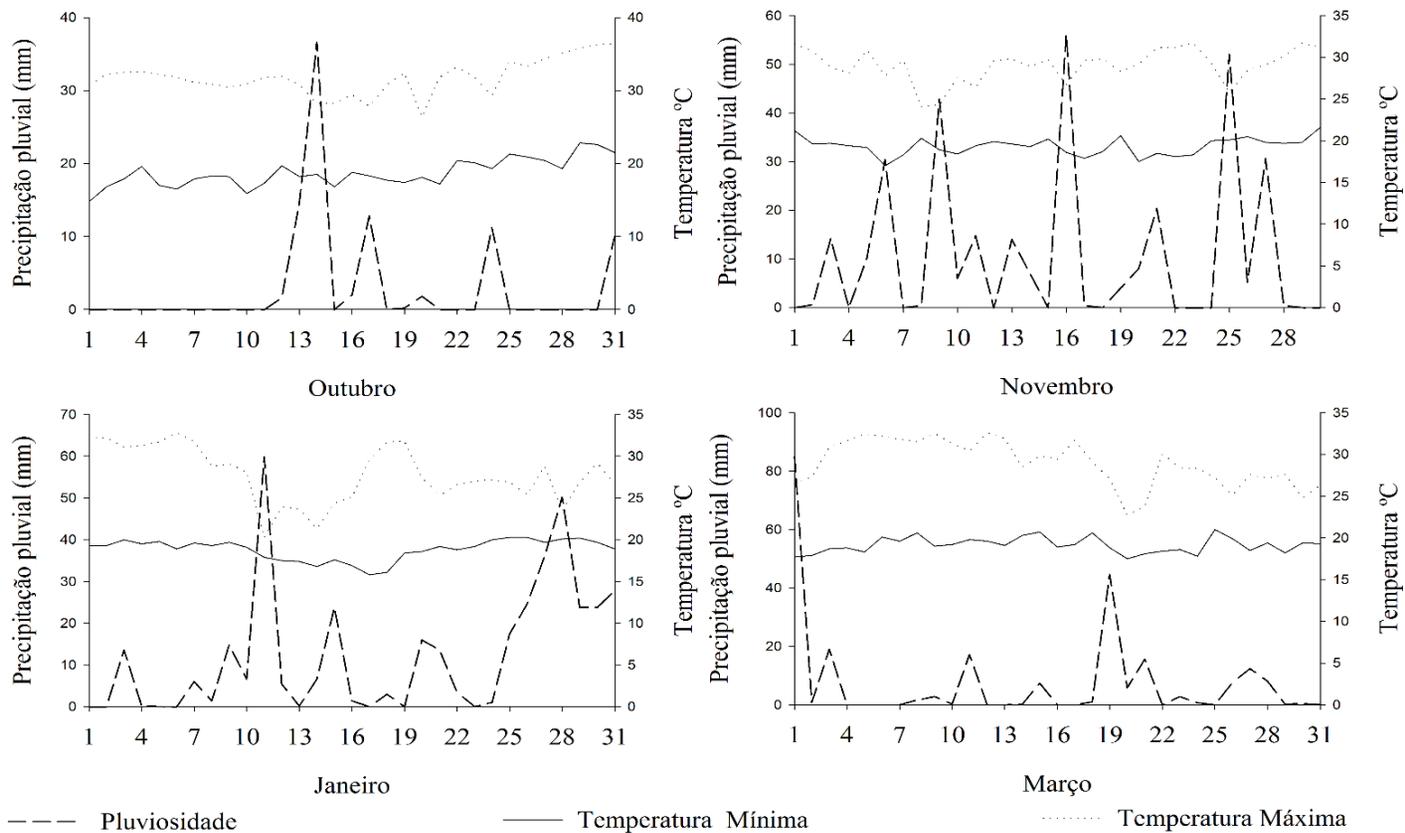
APÊNDICE A - CORRELAÇÃO ENTRE CHUVAS E VALOR DE NITROGÊNIO VOLATILIZADO



**APÊNDICE B - CORRELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA E
NITROGÊNIO VOLATILIZADO E FREQUÊNCIAS DE CHUVAS E
TEMPERATURAS**



APÊNCIE C Precipitação, temperaturas máximas e mínimas durante os meses de adubação do experimento (outubro e novembro de 2012, e janeiro e março de 2013)



**ANEXO A - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO COMPOSTO
ORGÂNICO**

Análises	Unidade	Base Seca 110°C	Umidade Natural
pH CaCl ₂ 0,01 M Ref. 1:2,5	pH	-	7,93
Densidade	g cm ⁻³	-	0,55
Umidade perdida a 60-65°C	%	-	52,55
Umidade perdida entre 65 e 110° C	%	-	0,49
Umidade Total	%	-	53,04
Materiais Inertes	%	-	0,00
Nitrogênio Total	%	1,94	0,91
M.O. Total (Combustão)	%	55,73	26,17
M.O. Compostável (Titulação)	%	42,53	19,97
M.O. Resistente à Compostagem	%	13,20	6,20
Carbono Total (Orgânico e	%	30,96	14,54
Carbono Orgânico	%	23,63	11,09
Resíduo Mineral Total	%	44,49	20,89
Resíduo Mineral Insolúvel	%	13,59	6,38
Resíduo Mineral Solúvel	%	30,90	14,51
Relação C/N (C e N Total)	-	16/1	16/1
Relação C/N (C Org. e N total)	-	12/1	12/1
Fósforo (P ₂ O ₅ Total)	%	1,69	0,79
Potássio (K ₂ O Total)	%	2,89	1,36
Cálcio (Ca Total)	%	10,7	5,02
Magnésio (Mg Total)	%	0,65	0,31
Enxofre (S Total)	%	7,30	3,43
Boro (B Total)	mg kg ⁻¹	21	10,00
Cobre (Cu Total)	mg kg ⁻¹	43	20
Ferro (Fe Total)	mg kg ⁻¹	22289	10466
Manganês (Mn Total)	mg kg ⁻¹	398	187
Zinco (Zn Total)	mg kg ⁻¹	147	69