



TAYLOR LIMA DE SOUZA

**FERTILIZANTES NITROGENADOS CONVENCIONAIS E
ESTABILIZADOS NA CAFEICULTURA: ANÁLISES
AGRONÔMICAS, DE QUALIDADE, AMBIENTAIS E
ECONÔMICA**

**LAVRAS – MG
2019**

TAYLOR LIMA DE SOUZA

**FERTILIZANTES NITROGENADOS CONVENCIONAIS E ESTABILIZADOS NA
CAFEICULTURA: ANÁLISES AGRONÔMICAS, DE
QUALIDADE, AMBIENTAIS E ECONÔMICA**

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

**LAVRAS – MG
2019**

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

Souza, Taylor Lima de.

Fertilizantes nitrogenados convencionais e estabilizados na
cafeicultura: análises agronômicas, de
qualidade, ambientais econômica / Taylor Lima Souza. - 2019.
152 p.

Orientador(a): Douglas Ramos Guelfi Silva.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2019.
Bibliografia.

1. Volatilização de amônia. 2. Mobilidade de nitrato e amônio.
3. Produtividade e pós colheita do café. I. Silva, Douglas Ramos
Guelfi. II. Título.

TAYLOR LIMA DE SOUZA

**FERTILIZANTES NITROGENADOS CONVENCIONAIS E ESTABILIZADOS NA
CAFEICULTURA: ANÁLISES AGRONÔMICAS, DE
QUALIDADE, AMBIENTAIS E ECONÔMICA**

**CONVENTIONAL AND STABILIZED NITROGEN FERTILIZERS IN
CAFFICULTURE: AGRONOMIC, QUALITY, ENVIRONMENTAL AND
ECONOMIC ANALYSIS**

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 27 de setembro de 2019.

Adélia Aziz Alexandre Pozza

UFLA

Rubens José Guimarães

UFLA

José Laércio Favarin

Esalq-USP

Edson Marcio Mattiello

UFV

Prof. Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva

Orientador

**LAVRAS – MG
2019**

*A meu avô Lázaro Lima (In memoriam), por ser meu grande exemplo de vida!
Honesto, trabalhador, e que fazia tudo por sua família...
À ele toda minha conquista*
DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, por fazer parte da minha vida em todos os momentos durante minha caminhada, por me guiar nos caminhos da luz, da fé e me dar forças para acreditar que conseguiria chegar onde fosse da sua vontade.

Aos meus pais Antônio e Ilda, meus irmãos Tiago e Tacio, por acreditarem me incentivar em todos os momentos durante minha caminhada.

À minha noiva Silvia, por ser minha grande companheira, o meu amor que me incentivou, me deu forças e foi uma grande inspiração na minha vida para ser sempre uma pessoa melhor e correr atrás dos meus sonhos.

Ao meu filho Hugo com muito amor, por me fazer ver o mundo de uma forma melhor e por ser minha inspiração diária para superar os grandes desafios diários da vida.

Ao meu orientador, Douglas Guelfi, por proporcionar um excelente trabalho como orientador, por estes seis anos de parceria, onde pude aprender muito e crescer muito, pessoalmente e na profissão. Sou eternamente grato por tudo!

Aos amigos graduandos em Agronomia, João Pedro e Renan, pela grande parceria por todo trabalho desenvolvido. Aqui fica registrado minha gratidão eterna, pela excelência, pelo comprometimento e pela grande amizade, que vou levar pra vida toda.

A todos do Departamento de Ciência do Solo e da UFLA, amigos e pessoas que ajudaram de alguma forma no desenvolvimento dos trabalhos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro na condução dos trabalhos e concessão de bolsa. A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) Conselho pelo apoio financeiro nas pesquisas.

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

Aos membros da banca Adélia, Rubens, Favarin, Mattiello, Gladyston e Faquin pela disponibilidade e contribuição com o trabalho.

À empresa YARA pela parceria no desenvolvimento dos trabalhos.

À fazenda NKG pela parceria em ceder a área para desenvolver o experimento e por toda prestatividade.

Por fim, todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

Muito Obrigado!!!

*“É graça divina começar bem.
Graça maior é persistir na caminhada certa.
Mas graça das graças é não desistir nunca.”*

Dom Hélder Câmara

RESUMO GERAL

A alta demanda de nitrogênio (N) pela cultura do cafeeiro faz com que se busque melhorar a recomendação e o fornecimento do N, a melhor fonte para diminuir as perdas no sistema e melhorar o aproveitamento pela cultura para melhores respostas em produtividade e qualidade do produto final colhido. O experimento foi conduzido em Santo Antônio do Amparo, MG. Foram utilizadas três fontes de N (ureia convencional, ureia + NBPT e nitrato de amônio) e 4 doses: 150; 275; 400 e 525 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ e um tratamento controle, sem adubação nitrogenada. No artigo 1 objetivou-se avaliar as fontes e doses de N aplicadas de forma parcelada no cafeeiro quanto as perdas de N pela volatilização da amônia (NH₃), produtividade e atributos relacionados a eficiência agrônômica provindos da produtividade. As perdas por volatilização de N foram maiores com o uso da ureia, proporcionais as doses de N aplicadas, em todos os anos de avaliação. As menores perdas por volatilização de N foi com o uso do nitrato de amônio. No quarto ano, a produtividade seguiu a seguinte ordem decrescente nitrato de amônio = ureia + NBPT > ureia comum > controle. Após quatro anos de adubação, o nitrato de amônio, ureia e ureia + NBPT não apresentaram diferenças significativas na produtividade média e na produtividade total acumulada, já o controle apresentou-se menor. No artigo 2 objetivou-se determinar a distribuição em profundidade no solo, do N-mineral (NH₄⁺ e NO₃⁻), N-total (mineral + orgânico), estoques de N total e teor de N foliar e nos grãos, e seu efeito na produtividade do cafeeiro em dois anos de safra. As concentrações de nitrato no solo são maiores que de amônio a partir da profundidade de 40 cm, onde já não se tem tantas raízes efetivas em absorver nutrientes. Os estoques de N-total diminuíram com o passar dos anos em todas as camadas avaliadas. A produtividade está altamente correlacionada com os estoques de N-total na dose de 400 kg ha⁻¹ nitrogênio nas análises multivariadas. No artigo 3 objetivou-se avaliar as características de pós colheita do café com relação à qualidade do café, após três anos de manejo com diferentes fontes e doses de nitrogênio. A análise sensorial apresentou ótimas notas nos três anos de avaliação, com descrição especial muito bom e classificação especial nas safras 15/16, 16/17 e 17/18 sendo que na safra 17/18 o controle se apresentou com descrição especial excelente e classificação especialidade. O número de defeitos dos grãos de café apresentou valores bem próximos com doses de N acima de 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹.

Palavras-chave: *Coffea arábica*. Estoques de Nitrogênio. Lixiviação. Peneira. Análise sensorial.

GENERAL ABSTRACT

The high demand for nitrogen (N) from coffee crop means that the recommendation and supply of N is the best source to decrease system losses and improve crop yield for better yield and product quality responses. harvested end. The experiment was conducted in Santo Antônio do Amparo, MG. Three sources of N (conventional urea, urea + NBPT and ammonium nitrate) and 4 doses: 150; 275; 400 and 525 kg N ha⁻¹ year⁻¹ and a control treatment without nitrogen fertilization. In article 1, the objective was to evaluate the sources and doses of N applied in a split way in the coffee tree as N losses due to ammonia volatilization (NH₃), productivity and attributes related to agronomic efficiency derived from productivity. N volatilization losses were higher with the use of urea, proportional to the applied N rates, in all evaluation years. The lowest N volatilization losses were with the use of ammonium nitrate. In the fourth year, productivity followed the following decreasing order ammonium nitrate = urea + NBPT > common urea > control. After four years of fertilization, ammonium nitrate, urea and urea + NBPT showed no significant differences in the average yield and total accumulated yield, but the control was smaller. In article 2 the objective was to determine the depth distribution in soil of N-mineral (NH₄⁺ and NO₃⁻), total N (mineral + organic), total N stocks and leaf and grain N content and their effect. on coffee yield in two crop years. Nitrate concentrations in soil are higher than ammonium from 40 cm depth, where there are not so many effective roots to absorb nutrients. N-total stocks have decreased over the years in all tiers evaluated. Yield is highly correlated with N-total stocks at 400 kg ha⁻¹ nitrogen in multivariate analyzes. In article 3 aimed to evaluate the postharvest characteristics of coffee in relation to coffee quality after three years of management with different nitrogen sources and doses. The sensory analysis presented excellent grades in the three years of evaluation, with very good special description and special classification in the 15/16, 16/17 and 17/18 seasons, and in the 17/18 season the control presented excellent special description and classification. specialty. The number of coffee bean defects was very close with N rates above 150 kg N ha⁻¹ year⁻¹.

Keywords: *Coffea arabica*. Nitrogen Stocks. Leaching. Sieve. Sensory analysis.

LISTA DE FIGURAS

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1

- Figura 1 - Precipitação, temperatura máxima, mínima e umidade relativa do ar, durante o período de condução do experimento no município de Santo Antônio do Amparo (MG) nas safras 15/16/, 16/17, 17/18 e 18/19.....28
- Figura 2 - Perdas acumuladas de N-NH₃ (a), perdas diárias de N-NH₃ (b) e dados climáticos (c), após 39 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados no 1º parcelamento de N no cafeeiro da safra 15/16.....31
- Figura 3 - Perdas acumuladas de N-NH₃ (a), perdas diárias de N-NH₃ (b) e dados climáticos (c), após 36 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados no 2º parcelamento de N no cafeeiro da safra 15/16.....33
- Figura 4 - Perdas acumuladas de N-NH₃ (a), perdas diárias de N-NH₃ (b) e dados climáticos (c), após 39 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados no 3º parcelamento de N no cafeeiro da safra 15/16.....35
- Figura 5 - Perdas acumuladas de N-NH₃ (a), perdas diárias de N-NH₃ (b) e dados climáticos (c), após 42 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados no 1º parcelamento de N no cafeeiro da safra 16/17.....38
- Figura 6 - Perdas acumuladas de N-NH₃ (a), perdas diárias de N-NH₃ (b) e dados climáticos (c), após 42 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados no 2º parcelamento de N no cafeeiro da safra 16/17.....39
- Figura 7 - Perdas acumuladas de N-NH₃ (a), perdas diárias de N-NH₃ (b) e dados climáticos (c), após 46 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados no 3º parcelamento de N no cafeeiro da safra 16/17.....41
- Figura 8 - Perdas acumuladas de N-NH₃ (a), perdas diárias de N-NH₃ (b) e dados climáticos (c), após 42 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados no 1º parcelamento de N no cafeeiro da safra 17/18.....44
- Figura 9 - Perdas acumuladas de N-NH₃ (a), perdas diárias de N-NH₃ (b) e dados climáticos (c), após 42 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados no 2º parcelamento de N no cafeeiro da safra 17/18.....46
- Figura 10 - Perdas acumuladas de N-NH₃ (a), perdas diárias de N-NH₃ (b) e dados climáticos (c), após 45 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados no 3º parcelamento de N no cafeeiro da safra 17/18.....48

Figura 11 - Perdas acumuladas de N-NH ₃ (a), perdas diárias de N-NH ₃ (b) e dados climáticos (c), após 42 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados no 1º parcelamento de N no cafeeiro da safra 18/19.....	50
Figura 12 - Perdas acumuladas de N-NH ₃ (a), perdas diárias de N-NH ₃ (b) e dados climáticos (c), após 42 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados no 2º parcelamento de N no cafeeiro da safra 18/19.....	51
Figura 13 - Perdas acumuladas de N-NH ₃ (a), perdas diárias de N-NH ₃ (b) e dados climáticos (c), após 45 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados no 3º parcelamento de N no cafeeiro da safra 18/19.....	52
Figura 14 - Teores foliares de nitrogênio em função das fontes e doses de N aplicados no cafeeiro, determinados em janeiro de 2016.....	60
Figura 15 - Leituras do N-Tester® determinadas em janeiro de 2016, em função das fontes e dose de N aplicados no cafeeiro.....	62
Figura 16 - Teores de N nos grãos de café em função das doses de N, aplicados no cafeeiro nas safras 15/16/, 16/17 e 17/18.....	64
Figura 17 - Produtividade de café em função da interação entre fontes e doses de N para a safra 15/16 e de fontes de N para as safras 16/17, 17/18 e 18/19.....	66
Figura 18 – Rendimento do café em função das doses de N para as safras 15/16 16/17, 17/18 e 18/19.....	70
Figura 19 - Renda do café em função das doses de N para as safras 15/16 16/17 e 17/18.....	71
Figura 20 – Eficiência Agronômica (EA) do café em função das doses de N para as safras 15/16 16/17 e 17/18.....	73

ARTIGO 2

Figura 1 - Teores de NH ₄ ⁺ e NO ₃ ⁻ no solo em suas respectivas camadas no perfil do solo, determinados em janeiro de 2017, (p≤0,05).....	87
Figura 2 - Teores de NH ₄ ⁺ e NO ₃ ⁻ no solo em suas respectivas camadas no perfil do solo, determinados em janeiro de 2018, (p≤0,05).....	89
Figura 3 - NH ₄ ⁺ e NO ₃ ⁻ no solo em função das fontes de N aplicadas e sem aplicação de N (controle), em janeiro de 2018.....	91
Figura 4 - N-NH ₄ ⁺ e N-NO ₃ ⁻ determinados em janeiro de 2017, nas diferentes camadas no perfil do solo (0-5, 6-10, 11-20, 21-40 e 41-60 cm), com o uso do nitrato de amônio, ureia e ureia + NBPT, nas doses de 150; 275;400 e 525 kg de N ha ⁻¹ ano ⁻¹	92

Figura 5 - N-NH ₄ ⁺ e N-NO ₃ ⁻ determinados em janeiro de 2018, nas diferentes camadas no perfil do solo (0-5, 6-10, 11-20, 21-40 e 41-60 cm), com o uso do nitrato de amônio, ureia e ureia + NBPT, nas doses de 150; 275;400 e 525 kg de N ha ⁻¹ ano ⁻¹	93
Figura 6 - Análise de componente principal para as fontes e doses de N em resposta de produtividade, N-foliar, N-grãos, nitrato (NO ₃ ⁻), amônio (NH ₄ ⁺) e estoques de N-mineral e N-total em janeiro de 2017. Legenda: NA: nitrato de amônio.....	104
Figura 7- Análise de componente principal para as fontes e doses de N em resposta de produtividade, N-foliar, N-grãos, nitrato (NO ₃ ⁻), amônio (NH ₄ ⁺) e estoques de N-mineral e N-total em janeiro de 2018. Legenda: NA: nitrato de amônio.....	105

ARTIGO 3

Figura 1 - Notas de qualidade de bebida em função de diferentes doses de N aplicadas no cafeeiro.....	122
Figura 2 - Teores de N em grãos de café cereja em função das doses de N aplicados no cafeeiro nas safras 15/16, 16/17, 17/18.....	130
Figura 3 - Números de defeitos nos grãos em função das doses de N aplicados no cafeeiro, nas safras de 2016/2017 e 2017/2018.....	134

LISTA DE TABELAS

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1

Tabela 1 - Perdas por parcelamento e total de N-NH ₃ após a aplicação de doses e fontes de nitrogênio no cafeeiro na safra 15/16.....	36
Tabela 2 - Perdas por parcelamento e total de N-NH ₃ após a aplicação de doses e fontes de nitrogênio no cafeeiro na safra 16/17.....	42
Tabela 3 - Perdas por parcelamento e total de N-NH ₃ após a aplicação de doses e fontes de nitrogênio no cafeeiro na safra 17/18.....	49
Tabela 4 - Perdas por parcelamento e total de N-NH ₃ após a aplicação de doses e fontes de nitrogênio no cafeeiro nas safras 18/19.....	53
Tabela 5 - Perdas médias total de N-NH ₃ em quatro de avaliações, após a aplicação de doses e fontes de nitrogênio no cafeeiro 15/16, 16/17, 17/18 e 18/19.....	56
Tabela 6 - Teores de N foliar em função das fontes de N, aplicados no cafeeiro nas safras 15/16/, 16/17, 17/18 e 18/19.....	59
Tabela 7 - Leituras com o aparelho N-Tester® em função das fontes de N, aplicados no cafeeiro nas safras 15/16/, 16/17, 17/18 e 18/19.....	61
Tabela 8 - Teores de N nos grãos de cafés em função das fontes de N, aplicados no cafeeiro nas safras 15/16/, 16/17, 17/18 e 18/19.....	63
Tabela 9 - Produtividade em cada safra 15/16, 16/17, 17/18, 18/19 e média de quatro anos em função das fontes de N, aplicados no cafeeiro.....	65
Tabela 10 - Acúmulo de N (kg ha ⁻¹), nos grãos de café nas safras 15/16, 16/17 e 17/18.....	68
Tabela 11 - Rendimento do café em função das fontes de N aplicados no cafeeiro.....	68

ARTIGO 2

Tabela 1 - Estoques de NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ e N mineral total (NH ₄ ⁺ + NO ₃ ⁻) em (kg ha ⁻¹) em janeiro de 2017 determinados nas camadas de 0-5; 6-10; 11-20; 21-40 e 41-60 cm no perfil do solo.....	97
Tabela 2 - Estoques de NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ e N mineral total (NH ₄ ⁺ + NO ₃ ⁻) em (kg ha ⁻¹) em janeiro de 2018 determinados nas camadas de 0-5; 6-10; 11-20; 21-40 e 41-60 cm no perfil do solo.....	99
Tabela 3 - Estoques de N total em (kg ha ⁻¹) em janeiro de 2017 determinados nas camadas de 0-5; 6-10; 11-20; 21-40 e 41-60 cm no perfil do solo.....	101

Tabela 4 - Estoques de N total em (kg ha ⁻¹) em janeiro de 2018 determinados nas camadas de 0-5; 6-10; 11-20; 21-40 e 41-60 cm no perfil do solo.....	102
---	-----

ARTIGO 3

Tabela 1 - Escala de qualidade para a qualidade de bebida café cereja.....	117
Tabela 2 - Equivalência de grãos imperfeitos e impurezas.....	119
Tabela 3 - Notas atribuídas a classificação do café quanto a análise sensorial.....	121
Tabela 4 - Resultado das análises químicas dos grãos de café em função das fontes de nitrogênio nas duas safras 2016/17 e 2017/18.....	126
Tabela 5 - Teores de N nos grãos dos frutos cereja nas safras 15/16, 16/17 e 17/18.....	129
Tabela 6 - Porcentagem de maturação de grãos de café, cereja, verde, passa e seco para as safras 15/16, 16/17, 17/18 e 18/19.....	132
Tabela 7 - Classificação do número de defeitos em função da aplicação das fontes de N em três safras de café 15/16, 16/17 e 17/18.....	133
Tabela 8 - Porcentagem de retenção de grãos em diferentes formas e diâmetros de peneiras...	135

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	16
1 INTRODUÇÃO	16
REFERÊNCIAS	19
SEGUNDA PARTE – ARTIGOS	20
ARTIGO 1- EFICIÊNCIA DE USO DAS FONTES NITROGENADAS QUANTO AS PERDAS POR VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA E PRODUTIVIDADE DO CAFEIEIRO	20
RESUMO	21
1 INTRODUÇÃO	23
2 MATERIAL E MÉTODOS	25
2.1 Caracterização da área experimental	25
2.2 Análises de solo e da planta	26
2.3 Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia (N-NH₃)	26
2.4 Precipitação, temperatura e umidade relativa do ar	28
2.5 Produtividade, rendimento, renda, eficiência agrônômica e acúmulo de N	29
2.6 Análises estatísticas	29
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
3.1 Volatilização de amônia	30
3.1.1 Safra 15/16	30
3.1.2 Safra 16/17	36
3.1.3 Safra 17/18	42
3.1.4 Safra 18/19	49
3.2 Teores de nutrientes nas folhas e grãos de café e leitura com o aparelho N-Tester® 58	
3.3 Produtividade, rendimento, renda e eficiência agrônômica (EA)	64
4 CONCLUSÕES	74
REFERÊNCIAS	75
ARTIGO 2 - MOBILIDADE E ESTOQUES DE NITROGÊNIO NO PERFIL DO SOLO EM LAVOURA CAFEIEIRA	78
1 INTRODUÇÃO	81
2 MATERIAL E MÉTODOS	83
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	86
4 CONCLUSÕES	106
REFÊRENCIAS	107
ARTIGO 3- CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE DA PÓS COLHEITA DO CAFÉ NO SUL DE MINAS	109

1 INTRODUÇÃO	112
2 MATERIAL E MÉTODOS	115
2.1 Caracterização da área	115
2.2 Análise sensorial	116
2.3 Análises químicas dos grãos de café cereja	117
2.4 Teor de N nos grãos provindo dos frutos cereja	118
2.5 Porcentagem de maturação do café	118
2.6 Números de defeitos	118
2.7 Tamanho dos grãos.....	119
2.8 Análises estatísticas	119
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	121
3.1 Análise sensorial	121
3.2 Análises químicas dos grãos de café cereja	124
3.4 Teor de N nos grãos cereja	128
3.3 Porcentagem de maturação	131
3.4 Números de defeitos	133
3.5 Peneira	134
4 CONCLUSÕES.....	137
REFERÊNCIAS	138
APENDICE A - TABELAS	141
APENDICE B – FOTOS.....	150

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

Além de ser produzido e ofertado em grandes quantidades, o café brasileiro tem se destacado no cenário mundial com cafés de excelente qualidade de bebida. Existe conscientização dos produtores rurais em melhorar a qualidade de seus cafés visando atender a clientela crescente no mercado e garantir o retorno financeiro ampliado devido ao aumento na produtividade por conta do manejo da fertilidade do solo e outros fatores.

De acordo com o Conselho dos Exportadores de Café do Brasil (CECAFÉ, 2019) o Brasil exportou mais de 35 milhões de sacas de café, se destacando como o maior produtor do grão na safra 2017/2018. Além disso, o Brasil ocupa o primeiro lugar na exportação de café *in natura*, sendo o 5º produto mais exportado pelo agronegócio e retornando o total de US\$ 5,2 bilhões em 2017. A cadeia produtiva do café também impacta positivamente na microeconomia, gerando 8 milhões de empregos que trazem desenvolvimento e movimentam a economia das cidades produtoras (MAPA, 2018). Diante desse cenário de grande comercialização do café no mundo, é de extrema importância melhorar a eficiência da cadeia produtiva do café.

Dos diversos componentes inclusos na cadeia produtiva do café, está o manejo da adubação nas lavouras para atender as exigências nutricionais das plantas de cafeeiro, alcançar a produtividade máxima econômica e produzir café de boa qualidade. O agricultor está preocupado também em aumentar a produtividade e a sua renda, com a adoção de práticas agronômicas mais eficientes, dentro das práticas de manejo 4C, que descrevem a aplicação de fertilizantes com o uso da fonte correta, dose correta, época correta e local correto, baseados, não só na análise de solo, mas também na análise foliar. Todas essas premissas e práticas para melhorar a eficiência do sistema produtivo visam os equilíbrios econômico, social e ambiental.

A recomendação de adubação do cafeeiro em produção, deve se basear nos resultados obtidos por meio da análise de solo, do acompanhamento por análises foliares e também da capacidade produtiva da lavoura, alternada entre altas e baixas produtividades. Dentre os vários nutrientes exigidos pela planta de cafeeiro, o nitrogênio (N), tem importante papel no crescimento vegetativo vigoroso na planta e manutenção de uma frutificação ideal. O N é constituinte das proteínas e participa de vários compostos orgânicos, tem papel fundamental no metabolismo vegetal. Porém, é muito dinâmico no sistema solo-planta-atmosfera, podendo ser perdido facilmente tanto por lixiviação quanto por volatilização (CANTARELLA, 2007), o que aumenta a importância dos estudos relacionados a ele e sua influência no sistema produtivo da

cultura do cafeeiro. Além disso o N é também, o nutriente mineral mais exigido pela planta de cafeeiro, o que torna o desafio ainda maior em reduzir as perdas e aumentar o aproveitamento deste pelas plantas. Algumas estratégias como parcelamento da adubação, utilização de fontes de N menos suscetíveis à lixiviação e à volatilização, podem reduzir as perdas do N para o sistema. Com o maior aproveitamento do N pela planta de cafeeiro, espera-se obter maiores produtividades e maior qualidade do produto final. O nitrogênio (N) é aplicado na cultura do cafeeiro em altas doses para obtenção de altas produtividades, entretanto suas perdas por volatilização e lixiviação podem ser altas, quando aplicadas na superfície do solo. As perdas de N para o sistema podem variar em função de vários fatores, entre alguns, o manejo, tipo de solo, condições climáticas, a fonte e a dose de N utilizada.

O tipo de solo pode ter grande influência na magnitude do processo de lixiviação de N, principalmente de nitrato (NO_3^-), forma mineral de N predominante nos solos sem restrição de oxigênio (SANGOE, et al. 2003). Devido ao predomínio de cargas negativas na camada arável, a sua adsorção eletrostática é insignificante. Desta forma, o nitrato permanece na solução do solo, o que favorece sua lixiviação no perfil para profundidades inexploradas pelas raízes (CERETTA & FRIES, 1997). Quando o NO_3^- presente na solução do solo não é absorvido pelas plantas ou imobilizado pelos microrganismos do solo, pode ser facilmente lixiviado, pois apresenta carga negativa e não é adsorvido pelos colóides do solo que apresentam predominantemente cargas negativas (Primavesi, et al. 2006).

Como estratégia para minimizar as perdas de N por volatilização da amônia (NH_3) e lixiviação do N-NO_3^- foram adicionadas tecnologias na ureia a fim de se obter fertilizante de eficiência aumentada com classes de tecnologias diferentes. Uma delas é a dos fertilizantes estabilizados que consiste em adicionar aditivos para aumentar o tempo de disponibilidade no solo como os inibidores de urease e inibidores de nitrificação (CANTARELLA, 2007). Com o uso do inibidor de urease NBPT (N-butiltiofosfóricotriamida), as perdas de N-NH_3 podem ser reduzidas em relação ao uso da ureia convencional (SOUZA et al. 2017; CANTARELLA 2008). As menores perdas de N-NH_3 com o uso do inibidor de urease poderão adicionar mais N ao solo e este N poderá ser absorvido pela planta de cafeeiro ou ser perdido por lixiviação devido as formas do N no solo. Portanto a planta aproveitando mais o N provindo das fontes aplicadas, suas respostas em maiores produtividades e qualidade do produto podem ser potencializadas.

O sistema de produção e pós colheita de café necessitam de cuidados especiais para obtenção de bebida de melhor qualidade ao final do processo, assim, quanto melhor a qualidade, maiores serão os preços obtidos. Essa qualidade, contudo, é dependente de diversos fatores em

todas as etapas de produção do café, desde a escolha da variedade a ser plantada até o preparo da bebida. O nitrogênio (N) está presente na formação de diversos compostos minerais e orgânicos no grão de café que, estando em equilíbrio, são fundamentais para se obter bebida de boa qualidade (CARVALHO, 1997). Apesar da grande importância do N para a cultura do café, pouco se sabe sobre sua influência na qualidade da bebida. Entretanto, com o aumento da população mundial e crescimento da produção mundial de café, se tem aumento no consumo de café, além da procura por cafés com melhor qualidade de bebida, aumento do interesse das formas de produção e manejo da lavoura, pós colheita do café e cuidados com o meio ambiente no sistema de produção. Assim, é importante o produtor se atentar à necessidade e à oportunidade de suprir esse mercado de cafés selecionados, pois são capazes de retornar valores mais atrativos quando comparados aos demais cafés comuns existentes no mercado.

O N se destaca como nutriente complexo. Além da necessidade de estudar seu impacto no sistema de produção, sanidade da lavoura, perdas por volatilização, lixiviação e outras formas. É fundamental que se saiba manejá-lo visando maior qualidade do produto final, principalmente devido ao retorno econômico mais atrativo.

Portanto objetivou-se com esse trabalho avaliar o desempenho do uso de diferentes fontes e doses de N aplicadas de forma parcelada no cafeeiro quanto a perda de N por volatilização da amônia (NH_3), produtividade, e atributos de relacionados a eficiência agrônômica provindos da produtividade. Determinar a distribuição em profundidade no solo, do N-mineral (NH_4^+ e NO_3^-), N-total (mineral + orgânico), estoques de N e teor de N foliar e nos grãos, após o segundo parcelamento de N e avaliar o efeito na produtividade do cafeeiro em dois anos de safra. Por fim, avaliar as características de pós colheita do café com relação à qualidade do café (análise sensorial e químicas dos grãos de café cereja, números de defeitos e peneira), após três anos de manejo com diferentes fontes e doses de nitrogênio.

REFERÊNCIAS

- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIM, P.C.O.; CONTIN, T.L.M.; DIAS, F.L.F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R.B. & QUAGGIO, J.A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugar cane trash blankets. **Scientia Agricola**, v. 65, p. 397-401, 2008.
- CARVALHO, V. D.; CHAGAS, S. J. R.; SOUZA, S. M. C. **Fatores que afetam a qualidade do café**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 18, n. 187, p. 5-20, 1997.
- CERETTA, C.A. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia-milho, no sistema de plantio direto. In: FRIES, M.R; DALMOLIN, R.S.D. **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto**. Santa Maria: Pallotti, 1997. Cap.5. p.112-124.
- CONSELHO DOS EXPORTADORES DE CAFÉ DO BRASIL (CECAFE). **Estatísticas**: Agosto, 2019. Disponível em: <https://www.cecafe.com.br/indicadores-de-mercado/ultimo-mes/>. Acesso em 20 agosto 2019.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Café no Brasil**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>>. Acesso em 22 maio 2019.
- PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C.; CORRÊA, L. A.; SILVA, A. G.; CANTARELLA, H. Lixiviação de nitrato em pastagem de coascross adubada com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.3, p.683-690, 2006.
- SANGOI, L., ERNANI, P. R., LECH, V. A., RAMPAZZO, C. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da ureia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.1, p.65-70, jan/fev 2003.
- SOUZA, T. L. de et al. Ammonia and carbon dioxide emissions by stabilized conventional nitrogen fertilizers and controlled release in corn crop. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 41, n. 5, p. 494-510, set./out. 2017.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1- EFICIÊNCIA DE USO DAS FONTES NITROGENADAS QUANTO AS PERDAS POR VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA E PRODUTIVIDADE DO CAFEIEIRO

Artigo redigido conforme a NBR 6022 (ABNT, 2003) e formatado de acordo com o Manual da UFLA de apresentação de teses e dissertações.

RESUMO

Qualquer sistema de produção torna-se mais eficiente quando são contabilizados os ganhos e as perdas referentes a todos os processos produtivos. Para a cafeicultura não é diferente, pois além de ter grande importância no cenário mundial de comercialização de café, tem aumentado nos últimos anos o consumo de café de melhor qualidade. Além do interesse na comercialização de vários países quanto as formas com que esse café é produzido, e também com relação as pessoas envolvidas no processo e ao meio ambiente. Tendo em vista que o agricultor está preocupado em aumentar a produtividade, renda e produzir cafés de melhor qualidade é necessário melhorar dentre os vários fatores ligados a esses aspectos, a adubação das lavouras. O cafeeiro é exigente em nutrientes, mas principalmente o nitrogênio (N). O N apresenta dinâmica complexa no seu ciclo, pois é facilmente perdido por volatilização ou lixiviação. Portanto, objetivou-se com esse trabalho avaliar o desempenho do uso de diferentes fontes e doses de N aplicadas de forma parcelada no cafeeiro quanto as perdas de N pela volatilização da amônia (NH₃), produtividade, e atributos relacionados a eficiência agrônômica provindos da produtividade. O experimento foi conduzido em Santo Antônio do Amparo, MG. Foram utilizadas três fontes de N (ureia convencional, ureia + NBPT e nitrato de amônio) e 4 doses de nitrogênio: 150; 275; 400 e 525 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, e um tratamento controle, sem adubação nitrogenada. As perdas de N foram quantificadas apenas nas doses de 150 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹. As perdas por volatilização de N foram maiores com o uso da ureia, proporcionais as doses de N aplicadas, em todos os anos de avaliação. As menores perdas por volatilização de N foi com o uso do nitrato de amônio. No quarto ano, a produtividade seguiu a seguinte ordem decrescente nitrato de amônio = ureia + NBPT > ureia comum > controle. Após quatro anos de adubação, o nitrato de amônio, ureia e ureia + NBPT não apresentaram diferenças significativas na produtividade média e na produtividade total acumulada, já o controle apresentou-se menor. Com o aumento das doses de N, houve menor eficiência agrônômica, independente da fonte de N aplicada.

Palavras-chave: Inibidor de urease. Amônia. Volatilização. *Coffea Arabica*.

EFFICIENCY OF USE OF NITROGENED SOURCES AS LOSSES FROM AMMONIA VOLATILIZATION AND COFFEE PRODUCTIVITY

SUMMARY

Any production system becomes more efficient when gains and losses for all production processes are accounted for. It is no different for coffee growing, because besides having great importance in the world scenario of coffee commercialization, the consumption of better quality coffee has increased in recent years. In addition to the interest in the commercialization of various countries regarding the ways in which this coffee is produced, and also with regard to the people involved in the process and the environment. Given that the farmer is concerned with increasing productivity, income and producing better quality coffees, it is necessary to improve among the various factors related to these aspects, the fertilization of crops. Coffee is nutrient demanding, but mainly nitrogen (N). N has complex dynamics in its cycle as it is easily lost by volatilization or leaching. Therefore, the objective of this work was to evaluate the performance of the use of different sources and doses of N applied in installment in coffee as the losses of N by ammonia volatilization (NH_3), productivity, and agronomic efficiency attributes derived from yield. The experiment was conducted in Santo Antônio do Amparo, MG. Three sources of N (conventional urea, urea + NBPT and ammonium nitrate) and 4 nitrogen doses were used: 150; 275; 400 and 525 kg of N ha^{-1} year $^{-1}$, and a control treatment without nitrogen fertilization. N losses were only quantified at 150 and 400 kg N ha^{-1} year $^{-1}$. N volatilization losses were higher with the use of urea, proportional to the applied N rates, in all evaluation years. The lowest N volatilization losses were with the use of ammonium nitrate. In the fourth year, productivity followed the following decreasing order ammonium nitrate = urea + NBPT > common urea > control. After four years of fertilization, ammonium nitrate, urea and urea + NBPT showed no significant differences in the average yield and total accumulated yield, but the control was smaller. With increasing N rates, there was lower agronomic efficiency, regardless of the applied N source.

Keywords: Urease Inhibitor. Ammonia. Volatilization. *Coffea Arabica*.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Conselho dos Exportadores de Café do Brasil (CECAFÉ, 2019), o Brasil exportou mais de 35 milhões de sacas de café, se destacando como maior produtor grão na safra 2017/2018. Além disso, o Brasil ocupa o primeiro lugar na exportação de café *in natura*, sendo o 5º produto mais exportado no agronegócio e retornando o total de US\$ 5,2 bilhões em 2017. A cadeia produtiva do café também impacta positivamente na microeconomia, com geração total de 8 milhões de empregos que trazem desenvolvimento e movimentam a economia das cidades produtoras (MAPA, 2018). Diante desse cenário de grande comercialização de café no mundo, é necessário melhorar a eficiência da cadeia produtiva do café. Dos diversos componentes inclusos na cadeia produtiva do café, está o manejo da adubação nas lavouras para atender a exigências nutricionais das plantas de cafeeiro, alcançar a produtividade máxima econômica e produzir café de boa qualidade.

A recomendação de adubação do cafeeiro em produção, deve ser baseada nos resultados obtidos por meio da análise de solo, do acompanhamento por análises foliares, e também da capacidade produtiva da lavoura, alternada entre altas e baixas produtividades. Essa alternância comumente se deve há maior demanda por reservas das plantas em anos de safra alta, o que faz a produção do ano seguinte ser menor. Essa característica de alta e baixa produção é conhecida como bienalidade. Em anos de alta produção, a planta direciona os fotossintetizados para a formação e crescimento de frutos e nos anos de baixa produção, os fotossintetizados são direcionados para formação de novas gemas vegetativas dos novos ramos. O nitrogênio (N), é um nutriente importante para o crescimento vegetativo vigoroso da planta e para manter a frutificação ideal, visando chegar a altos níveis de produtividade. O N é constituinte das proteínas e participa de vários compostos orgânicos, tendo papel fundamental no metabolismo vegetal. Porém, é um nutriente muito dinâmico no sistema solo-planta-atmosfera, que pode ser perdido facilmente tanto por lixiviação quanto por volatilização. Esse fato aumenta a importância dos estudos relacionados a ele e sua influência no sistema produtivo da cultura do cafeeiro. Além disso o N é também o nutriente mineral mais exigido pela planta de cafeeiro, o que torna o desafio ainda maior em reduzir as perdas e aumentar o aproveitamento deste pelas plantas. Algumas estratégias como parcelamento da adubação, utilização de fontes de N menos suscetíveis à lixiviação e à volatilização, podem reduzir as perdas do N no sistema. Com o maior aproveitamento do N pela planta de cafeeiro, espera-se obter maiores produtividades e maior qualidade do produto final.

Além de ser produzido e ofertado em grandes quantidades, o café brasileiro tem se destacado no cenário mundial com excelente qualidade de bebida. Deste modo, existe a conscientização dos produtores rurais em melhorar a qualidade de seus cafés visando atender a clientela crescente no mercado e garantir o retorno financeiro ampliado devido ao aumento na produtividade por conta do manejo da fertilidade do solo, entre outros fatores. O agricultor está preocupado em aumentar a produtividade e a sua renda, a adoção de práticas agronômicas mais eficientes, dentro das práticas de manejo 4C. Nessas práticas são descritas a aplicação de fertilizantes com o uso da fonte correta, dose correta, época correta e local correto, com base não só na análise de solo, mas também na análise foliar. Todas essas premissas e práticas para melhorar a eficiência do sistema produtivo visam o equilíbrio econômico, social e ambiental.

Portanto objetivou-se avaliar o desempenho de diferentes fontes e doses de N aplicadas de forma parcelada no cafeeiro quanto à perdas de N por volatilização da amônia (NH_3), produtividade e atributos relacionados à eficiência agronômica provindos da produtividade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado na fazenda de café comercial (Lagoa Coffee Plantation - grupo NKG - fazendas brasileiras) no município de Santo Antônio do Amparo, MG, Brasil. A área central do experimento se situa nas coordenadas geográficas: 20°53'26,04"S e 44°52'04,14"W e altitude média de 1.100 m. O clima da região é do tipo Cwa, clima tropical úmido com inverno seco e verão temperado, segundo classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 19,6 °C com precipitação média de 1.493mm. A lavoura de cafeeiro pertence à espécie *Coffea arabica* L., cultivar Catuaí-IAC99 e foi plantada no ano de 2012 no espaçamento de 3,40 x 0,60 m, em um Latossolo vermelho, relevo plano (EMBRAPA, 2013). O delineado foi em blocos casualizados com esquema fatorial 3 x 4 + 1, com 4 repetições. Sendo 3 fontes de N (ureia comum (granulada), ureia tratada com 530 mg kg⁻¹ de (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) (NBPT) e nitrato de amônio) e 4 doses de nitrogênio: 150; 275; 400 e 525 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, e um tratamento controle, sem adubação nitrogenada. Apenas no primeiro ano não foi aplicado N, no demais anos, foram aplicado 50 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, parcelado em três vezes. As parcelas experimentais foram compostas por 16 plantas, sendo úteis as avaliações das 10 plantas centrais. Os blocos foram dispostos em uma linha. Foi deixada uma linha de bordadura entre blocos.

As doses de N foram aplicadas em três parcelamentos em cada ano safra, 2015/2016 (15/16), 2016/2017 (16/17), 2017/2018 (17/18) e 2018/2018 (18/19). O primeiro parcelamento de cada ano safra foi realizado no final do mês de outubro e início de novembro, os dois restantes foram aplicados em intervalos de 40 a 50 dias após a última adubação. Os fertilizantes utilizados nos tratamentos e os demais, como superfosfato triplo (ST) e cloreto de potássio (KCl), foram aplicados sobre o solo, na projeção dos ramos plagiotrópicos da planta de cafeeiro. O fornecimento de KCl, ST e quando necessário os micronutrientes, foram recomendados de acordo com a análise de solo, realizada para planejamento da adubação em cada safra, de acordo com as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (GUIMARÃES et al., 1999), (APÊNDICE A), nas mesmas dose para todos os tratamentos. O ST não foi parcelado, o KCl parcelado em três vezes e os micronutrientes foram aplicados separadamente no solo e quando necessário via foliar.

2.2 Análises de solo e da planta

O solo foi amostrado nas profundidades 0-20 e 21-40 cm para determinação das características químicas e da granulometria do solo em agosto de cada ano referente ao planejamento de adubação para as safras seguintes.

Em janeiro de 2016, 2017, 2018 e 2019 foram realizadas as coletas de folhas no terço médio das plantas, no terceiro ou quarto par de folhas para determinação do N foliar. Foram coletadas apenas folhas saudáveis, sem lesões causadas, por doenças, pragas ou agentes climáticos, para determinação do N foliar. Em média 40 folhas foram coletadas por parcela e levadas para o laboratório, onde foram lavadas em água destilada. Em seguida foram secas em estufa a 65°C até atingir peso constante. As folhas secas foram moídas e levadas ao laboratório de nutrição de plantas do Departamento de Ciência do Solo, onde foi determinado o teor de N foliar pelo método de Kjeldahl.

Na mesma data das coletas de folhas de cada ano, foram realizadas as leituras com o clorofilômetro YARA N-Tester. Nesta avaliação foram realizadas leituras no terço médio, no terceiro ou quarto par de folhas, apenas nas folhas saudáveis, sem lesões causadas, por doenças, pragas ou agentes climáticos, totalizando 30 leituras por parcela.

Para a determinação do teor de N nos grãos, realizou-se a coleta de aproximadamente quatro litros de café provindo da colheita das parcelas. Após a colheita, os grãos foram armazenados em sacos telados e levado para serem secos em terreiro. Realizou-se o acompanhamento da secagem até as amostras apresentarem valores entre 11,5 e 12% de umidade. Logo após foram beneficiadas e levadas para secar em estufa a 65°C até atingir peso constante. Estando as amostras secas, elas foram moídas e levadas ao laboratório de nutrição de plantas do Departamento de Ciência do Solo, onde foi determinado o teor de N pelo método de Kjeldahl.

2.3 Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia (N-NH₃)

As perdas por volatilização de amônia (N-NH₃) foram quantificadas pelo método do coletor semiaberto de PVC (LARA CABEZAS, 1999). No solo foram inseridas tubos de PVC (bases) na profundidade de 10 cm, estas bases apresentaram diâmetro de 20 cm e altura de 15 cm, as bases ficaram fixas no solo para rotação das câmaras após cada coleta de esponjas. Em cada parcela foram colocadas três bases, dispostas na projeção da copa do cafeeiro e equidistantes na área útil. As câmaras foram confeccionadas por tubos de PVC com 20 cm de

diâmetro e 50 cm de altura. Para aplicação dos fertilizantes dentro da base, foi realizado o cálculo da área ocupada pela base. Com a área determinada, foi feita a pesagem dos fertilizantes e aplicados dentro das bases nas doses calculadas e corrigidas em função da área.

Para a coleta da amônia (NH_3) volatilizada foi utilizado disco de esponja laminada com densidade de $0,02 \text{ g cm}^{-3}$ e 2,5 cm de espessura. Esta esponja foi embebida com 80 mL de solução de ácido fosfórico (H_3PO_4) e glicerina nos volumes de 60 ml L^{-1} e 50 ml L^{-1} respectivamente. Posteriormente foi fixada na altura de 25 cm dentro da câmara. Também foi colocada uma esponja sem solução dentro da câmara, fixada na altura de 45 cm com a função de evitar a contaminação da esponja inferior. A esponja inferior (altura 25 cm) foi utilizada para quantificação da amônia volatilizada. As esponjas foram trocadas na câmara em sistemas de rotação contínuo nas três bases inseridas no solo, em datas pré-definidas e de acordo com as perdas ocorridas durante as avaliações.

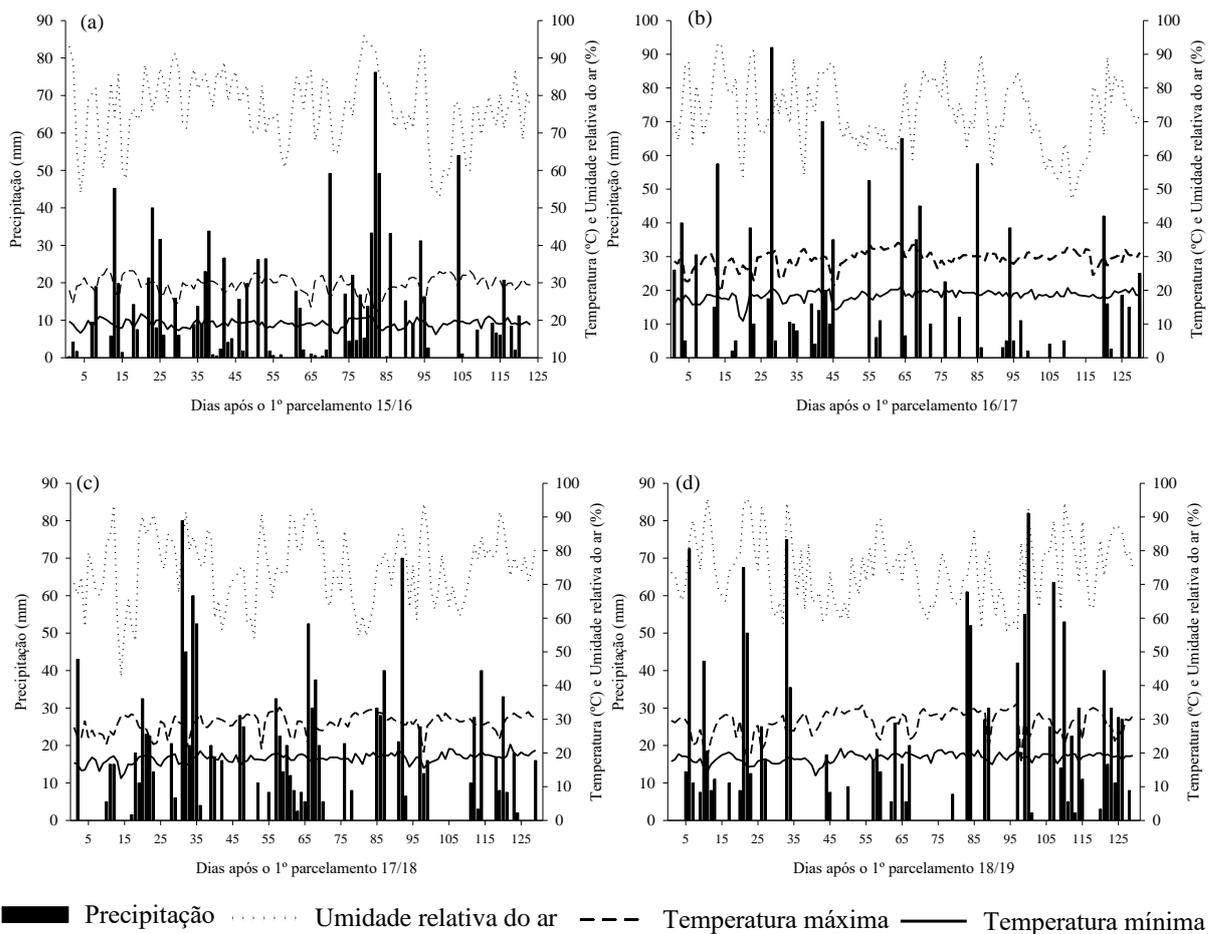
A solução das esponjas coletadas no campo foram extraídas por meio de filtragem em funil de Büchner com auxílio de bomba de vácuo, após 5 lavagens em extrações sequenciais com 80 mL de água deionizada cada. A partir do extrato foram retiradas alíquotas para determinação do teor de N por destilação pelo método de Kjeldahl.

Foram quantificadas as perdas de N-NH_3 nas doses de 150 e 400 kg ha^{-1} de N. As perdas diárias de nitrogênio por volatilização na safra 15/16 no 1º parcelamento foram determinadas no 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 7º, 9º, 11º, 15º, 18º, 24º, 30º e 39º dia após a adubação nitrogenada, o 2º parcelamento foram determinadas no 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 7º, 9º, 11º, 15º, 19º, 22º, 29º e 36º e no 3º parcelamento 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 7º, 9º, 11º, 15º, 19º, 24º, 24º, 30º e 39º dia após a adubação nitrogenada. Na safra 16/17 no 1º parcelamento foram determinadas no 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 7º, 9º, 11º, 14º, 17º, 21º, 25º, e 42º dia após a adubação nitrogenada, o 2º parcelamento foram determinadas no 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 7º, 11º, 16º, 24º, e 42º e no 3º parcelamento 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 7º, 9º, 11º, 14º, 17º, 21º, 25º, e 46º dia após a adubação nitrogenada. Na safra 17/18 no 1º parcelamento foram determinadas no 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 7º, 9º, 11º, 14º, 17º, 21º, 25º, e 42º dia após a adubação nitrogenada, o 2º parcelamento foram determinadas no 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 7º, 11º, 14º, 17º, 22º e 42º e no 3º parcelamento 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 7º, 9º, 11º, 14º, 17º, 24º, e 45º dia após a adubação nitrogenada. Por fim, na safra 18/19 no 1º parcelamento foram determinadas no 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 7º, 9º, 11º, 14º, 17º, 21º e 42º dia após a adubação nitrogenada, o 2º parcelamento foram determinadas no 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 7º, 11º, 14º, 17º e 42º e no 3º parcelamento 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 7º, 9º, 11º, 14º, 17º, 25º, e 45º dia após a adubação nitrogenada.

2.4 Precipitação, temperatura e umidade relativa do ar

Os dados de precipitação, temperatura máxima, mínima, umidade relativa do ar (Figura 1), foram mensurados diariamente em todo período de realização do experimento por uma estação climatológica instalada próxima a área experimental no município de Santo Antônio do Amparo. Na Figura 1a, iniciou-se no dia 27 de outubro de 2015 até 26 de fevereiro de 2016. Na Figura 1b, iniciou-se no dia 01 de novembro de 2016 até 10 de março de 2017. Na Figura 1c, iniciou-se no dia 31 de outubro de 2017 até 08 de março de 2018. Na Figura 1d, iniciou-se no dia 30 de outubro de 2018 até 07 de março de 2019.

Figura 1 - Precipitação, temperatura máxima, mínima e umidade relativa do ar, durante o período de condução do experimento no município de Santo Antônio do Amparo (MG) nas safras 15/16/, 16/17, 17/18 e 18/19.



Fonte: Do autor (2019).

2.5 Produtividade, rendimento, renda, eficiência agrônômica e acúmulo de N

A produtividade da safra 15/16, primeira quantificada neste trabalho, teve influência da adubação do ano anterior 14/15, responsável pelo desenvolvimento da parte vegetativa do cafeeiro. Portanto a safra 15/16 teve influência da adubação 14/15 realizada pela propriedade e dos tratamentos aplicados na safra 15/16.

Na data da colheita do café das parcelas foi quantificada a quantidade em litros de café no momento da colheita da área útil.

Após a colheita uma amostra de 5 litros da produção total provinda da parcela, foi colocada em recipiente de poliéster perfurado, e levada para serem secas em terreiro apropriado, onde se tem incidência de sol o dia todo. Quando as amostras umidade próxima a 12% foram levadas para pesagem. A seguir as amostras foram descascadas e determinada novamente a umidade. Posteriormente, foi realizada a correção da umidade de todas as amostras para 12%, umidade de comercialização.

A produtividade das 10 plantas de cafeeiro foram extrapoladas para 1 ha (4.525 plantas de café). A produtividade foi calculada com base na saca de 60 kg de café beneficiado

Com os dados da colheita foram calculados:

Rendimento (Litro de café colhido saca 60 kg⁻¹): Volume de café no momento da colheita (café colhido em litros) necessário para produzir uma saca de 60 kg de café beneficiado;

Renda (%): Proporção entre o peso de frutos e o peso dos grãos beneficiados.

Com os dados dos teores de N nos grãos e produtividade de grãos foram obtidos os valores de acúmulo desses nutrientes nos grãos de café.

A eficiência agrônômica (EA) foi calculada pela seguinte equação (FAGERIA, 1998):

$$EA = \left(\frac{\text{Produtividade em kg ha}^{-1} \text{ (com adubação)} - \text{Produtividade em kg ha}^{-1} \text{ (controle)}}{\text{Quantidade de N aplicado em cobertura em kg ha}^{-1}} \right)$$

2.6 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5%. Para o efeito de doses, foi feita a regressão. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa de análise estatística SISVAR 5.3®(Ferreira, 2011). Os gráficos plotados pelo programa Sigma Plot 11.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Volatilização de amônia

3.1.1 Safra 15/16

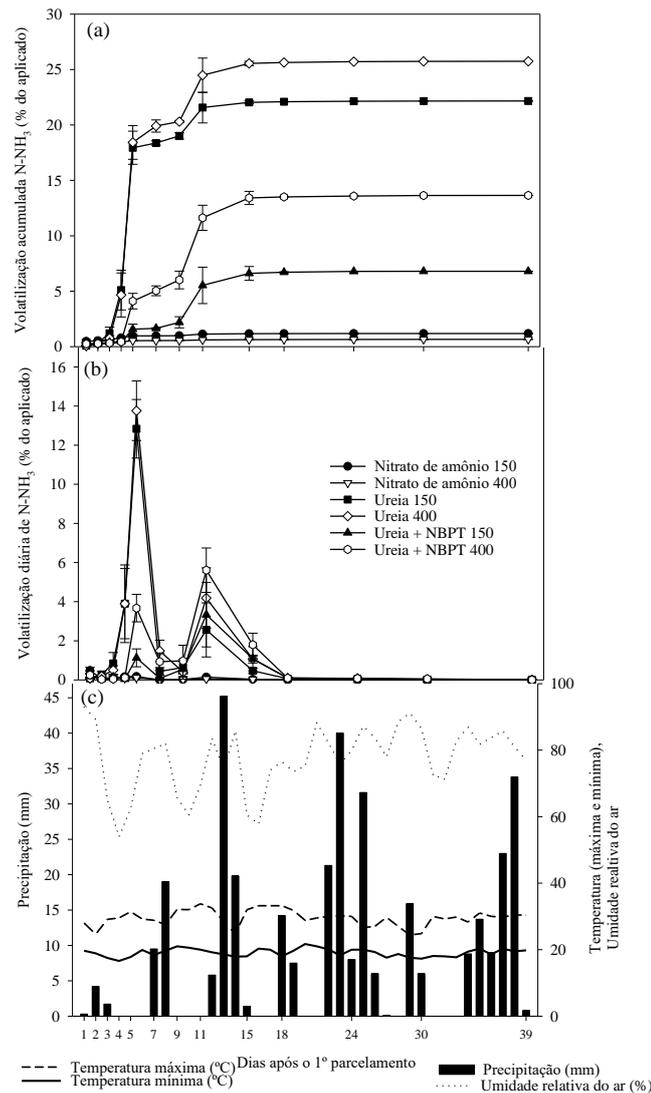
As perdas de N por volatilização de amônia (N-NH₃) diárias, acumuladas, precipitação, temperaturas máximas e mínimas e umidade relativa do ar do 1º parcelamento estão apresentados na Figura 2. Para as perdas acumuladas de N-NH₃ houve interação significativa ($p \leq 0,05$) entre as fontes e doses de N.

As maiores perdas diárias de NH₃ no 1º parcelamento ocorrem 5 dias após a aplicação da ureia, na dose de 400 e 150 kg ha⁻¹ ano⁻¹ com 55 e 19 kg de N ha⁻¹ respectivamente (Figura 2a). Já para a ureia + NBPT nas doses de 400 e 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ as perdas maiores ocorreram depois em relação a ureia, ocorreram onze dias após a adubação e foram menores, com 22 e 5 kg de N ha⁻¹ respectivamente. Houve atraso em relação aos picos de perdas de NH₃ de seis dias da ureia comum para a ureia + NBPT. Os dados de umidade relativa do ar temperaturas, 5 e 11 dias após a aplicação foi de 62,5% e 69,5% para umidade e 31 e 34°C de temperatura máxima e 18 e 20°C para temperatura mínima (Figura 2c) respectivamente Estes valores encontram-se abaixo da umidade relativa crítica da ureia, que é de 74,3%.

Dois dias após adubação ocorreu precipitação de 4 mm, suficiente para hidrolisar o grânulo de ureia e promover as perdas maiores do 5º dia para a ureia comum. As perdas acumuladas de NH₃ nos 7 primeiros dias foram de 23 e 18 % para a ureia e 3 e 4% para a ureia + NBPT nas doses de 150 e 400 kg de N ha⁻¹ respectivamente (Figura 2a). O pico de perdas de NH₃ no 11º dia para a ureia + NBPT pode ter sido promovido pela precipitação ocorrida no 7º e 8º dia de 10 e 19 mm. A partir de 15 dias a perdas de NH₃ foram irrelevantes, isso mostra que a ureia foi solubilizada e incorporada ao solo. Esta afirmação se dá com base nas altas precipitações ocorridas no 13º e 14º dias após a aplicação das fontes de N, de 45 e 20 mm respectivamente. Durante a quantificação das perdas de N por volatilização do 1º parcelamento na safra 15/16 no período de 39 dias, a precipitação acumulada foi de 15,7mm nos primeiros 7 dias e 346,6 mm no período todo (Figura 2c). Esta precipitação acumulada de 15,7 mm nos 7 dias após a adubação, não foi suficiente para incorporar a ureia + NBPT, a qual teve seu pico de emissão de NH₃ no 11º dia.

As perdas acumuladas de N-NH₃, em todo o período avaliado de 39 dias nas doses de 400 e 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, foram 25,7 e 22,2% para ureia comum, 13,6 e 6,8% para a ureia + NBPT e 0,7 e 1,1 % para o nitrato de amônio respectivamente (Figura 2a).

Figura 2 - Perdas acumuladas de N-NH₃ (a), perdas diárias de N-NH₃ (b) e dados climáticos (c), após 39 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados no 1º parcelamento de N no cafeeiro da safra 15/16.



As barras verticais representam o erro padrão das médias (n = 4).

Fonte: Do autor (2019).

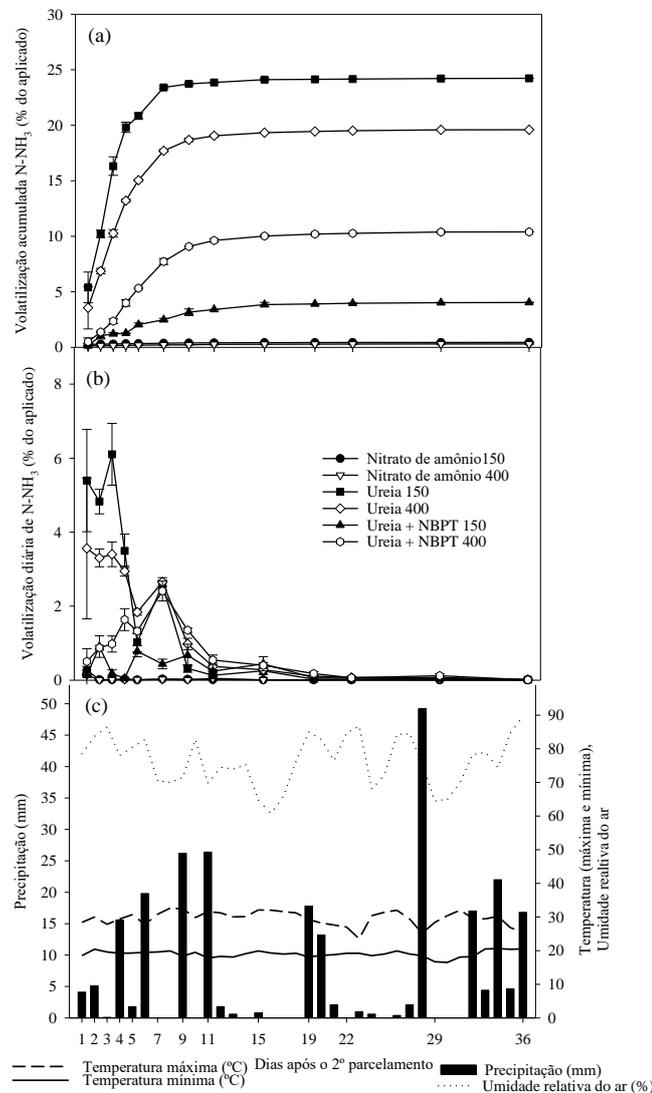
No 2º parcelamento as maiores perdas diárias de NH₃ ocorreram 5 dias após a adubação para a ureia comum e a ureia + NBPT na dose de 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 3b). Os valores de umidade relativa do ar (Figura 3c), nos 5 dias após a adubação encontram-se acima de 78%, ou seja acima do valor de umidade crítica da ureia, 74,3%. Entretanto o pico de emissão para a

ureia comum na dose de 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ ocorreu 1 dia após a aplicação com perda de 3,6% do aplicado, 14 kg de N ha⁻¹ (Figura 3b). Para ureia na dose de 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ o pico de emissão ocorreu 3 dias após a adubação, com perda de 6,1% do aplicado, 9 kg de N ha⁻¹ (Figura 3b). A ureia + NBPT na dose de 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ apresentou pico de emissão 2 dias após aplicação, com 0,91% do aplicado correspondendo a 1 kg de N ha⁻¹ enquanto na dose de 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ ocorreu 7 dias após a adubação com 2,4% e 10 kg de N ha⁻¹ de perdas (Figura 3b). Essa alta emissão logo no início principalmente para a ureia 1 dia após a adubação pode ser atribuída a precipitação de 27 mm (Figura 3c) ocorrida no dia da aplicação dos fertilizantes. A precipitação de 27 mm pode ter sido suficiente para deixar o solo úmido e ser suficiente para realizar a hidrólise da ureia.

Após 4 dias ocorreu precipitação de 16 mm, (Figura 3c) e todas as fontes apresentam baixa emissão de NH₃ 5 dias após a adubação. Porém voltaram a aumentar 7 dias após, com emissão de 2,5% para a ureia na dose de 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, 2,7% para a ureia na dose de 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ e 2,4% para a ureia + NBPT na dose de 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹. As perdas acumuladas de NH₃ nos 7 primeiros dias foram de 18 e 20 % para a ureia e 2 e 5% para a ureia + NBPT nas doses de 150 e 400 kg de N ha⁻¹ respectivamente (Figura 3a). Aos 11 dias após a adubação as perdas foram insignificantes, o que pode ter sido devido a precipitação de 26 mm ocorrida aos 9 dias após a adubação (Figura 3c). No 2º parcelamento no período de 36 dias, a precipitação acumulada foi de 46,5mm nos primeiros 7 dias e 253,6 mm no período todo (Figura 6c).

As perdas acumuladas de N-NH₃ no 2º parcelamento, no período avaliado de 39 dias nas doses de 400 e 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, foram 25,7 e 22,2% para ureia comum, 13,6 e 6,8% para a ureia + NBPT e 0,7 e 1,1 % para o nitrato de amônio respectivamente (Figura 3a).

Figura 3 - Perdas acumuladas de N-NH₃ (a), perdas diárias de N-NH₃ (b) e dados climáticos (c), após 36 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados no 2º parcelamento de N no cafeeiro da safra 15/16.



As barras verticais representam o erro padrão das médias (n = 4).

Fonte: Do autor (2019).

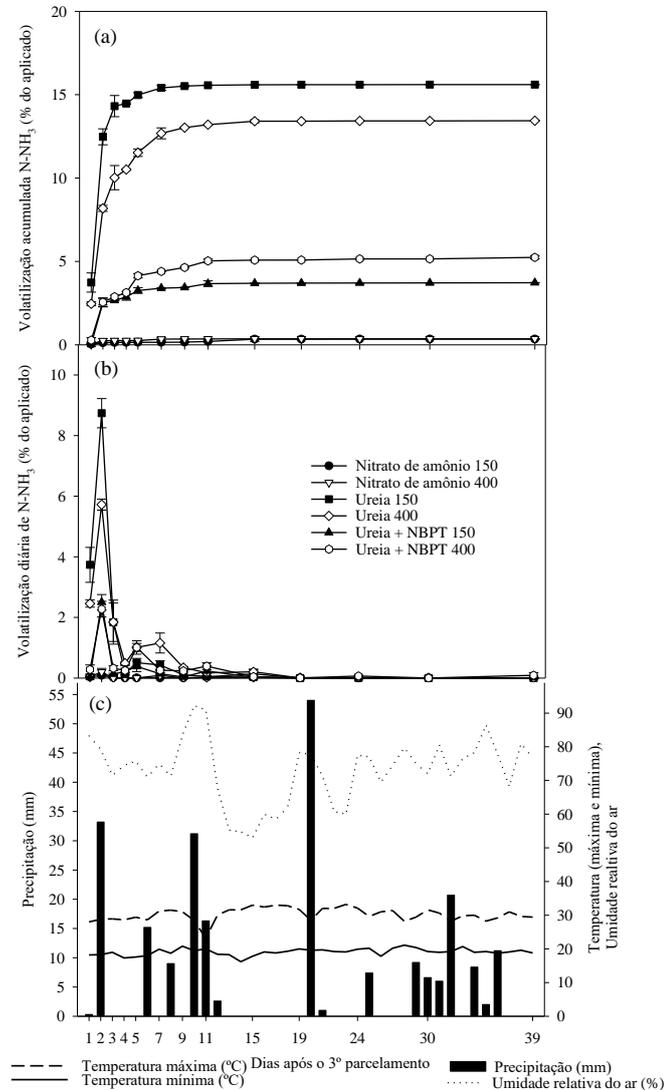
As perdas de N-NH₃ para a ureia se apresentaram altas 1 dia após adubação. Isso pode ser atribuído ao fato do solo estar com alta umidade devido a precipitações altas, com mais de 100 mm, ocorridas dois dias antes da aplicação dos fertilizantes. Com isso a ureia na dose de 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ perdeu 2,5% do N aplicado, ou seja, 10 kg de N e a ureia na dose de 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, perdeu 3,7%, 6 kg de N aplicado, no 1 dia após a adubação (Figura 4b). A ureia + NBPT não apresentou perdas expressivas 1 após a adubação.

O pico de emissão de N-NH₃ ocorreu 2 dias após a aplicação dos fertilizantes para a ureia e ureia + NBPT com perdas de 13, 23, 4 e 9 kg de N apenas em 1 dia para os

tratamentos ureia 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, ureia 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, ureia + NBPT 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ e ureia + NBPT 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹. Esses picos de emissão se devem as altas precipitações ocorridas dois dias antes das aplicações dos fertilizantes, em que o solo se encontrava bem úmido. Aos 2 dias após as aplicações dos fertilizantes e após a coleta das esponjas ocorreu uma precipitação de 30 mm, que pode ter sido responsável pela incorporação dos fertilizantes nitrogenados provindos das ureias, pois a partir de 3 dias as perdas se apresentaram menores que 2% e depois de 9 dias abaixo de 1%. As perdas acumuladas de NH₃ nos 7 primeiros dias foram de 15 e 13 % para a ureia e 3 e 4% para a ureia + NBPT nas doses de 150 e 400 kg de N ha⁻¹ respectivamente (Figura 4a).

No 3º e último parcelamento da safra 2015/2016 no período de 39 dias, a precipitação acumulada foi de 48,7mm nos primeiros 7 dias e 234,3 mm no período todo (Figura 4c). As perdas acumuladas de N-NH₃ no 3º parcelamento, em todo o período avaliado de 39 dias nas doses de 150 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, foram 15,6 e 13,4% para ureia comum, 3,7 e 5,2% para a ureia + NBPT e por fim não chegando nem a 1%, o nitrato de amônio com 0,3 e 0,4% para respectivamente. No final dos três parcelamentos na safra 15/16 precipitação total foi de 834,4mm (Figura 1a).

Figura 4 - Perdas acumuladas de N-NH₃ (a), perdas diárias de N-NH₃ (b) e dados climáticos (c), após 39 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados no 3º parcelamento de N no cafeeiro da safra 15/16.



As barras verticais representam o erro padrão das médias (n = 4).

Fonte: Do autor (2019).

As perdas de N-NH₃ em kg ha⁻¹ no final de cada parcelamento em ordem decrescente foi: 1º parcelamento: Ureia 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (34,3) > ureia + NBPT 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (18,2) > ureia 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (11,1) > ureia + NBPT 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (3,4) > nitrato de amônio 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (0,6) = nitrato de amônio 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (0,9). 2º parcelamento: Ureia 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (26,1) > ureia + NBPT400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (13,9) = ureia 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (12,1) > ureia + NBPT 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (2) = nitrato de amônio 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (0,2) = nitrato de amônio kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (0,4). 3º parcelamento Ureia 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (17,9) > ureia + NBPT400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (7,0)

= ureia 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (7,8) > ureia + NBPT 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (1,9) = nitrato de amônio 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (0,2) = nitrato de amônio kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (0,5). No final dos três parcelamentos as perdas se deram: Ureia 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (78,4) > ureia + NBPT 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (39) > ureia 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (31) > ureia + NBPT 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (7,3) = nitrato de amônio 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (1,0) = nitrato de amônio kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (1,8) (Tabela 1).

Tabela 1 - Perdas por parcelamento e total de N-NH₃ após a aplicação de doses e fontes de nitrogênio no cafeeiro na safra 15/16.

Tratamentos	Doses de N (kg ha ⁻¹)	Volatilização total de N-NH ₃			
		1° Parc.	2° Parc.	3° Parc.	Total
		kg ha ⁻¹			
Nitrato de amônio	150	0,6d	0,2c	0,2c	1,0d
Nitrato de amônio	400	0,9d	0,4c	0,5c	1,8d
Ureia	150	11,1c	12,1b	7,8b	31,0c
Ureia	400	34,3a	26,1a	17,9a	78,4a
Ureia + NBPT	150	3,4d	2,0c	1,9c	7,3d
Ureia + NBPT	400	18,2b	13,9b	7,0b	39,0b
Média		11,4	9,1	5,9	26,4
CV (%)		30,8	28,1	26,6	18,8
Precipitação 7 dias		15,7	46,5	48,7	-
Precipitação total		346,6	253,6	234,3	-

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$).
Fonte: Do autor (2019).

3.1.2 Safra 16/17

As perdas diárias e acumuladas de N-NH₃ juntamente com os dados meteorológicos durante os três parcelamentos da adubação nitrogenada estão nas figuras 5, 6 e 10.

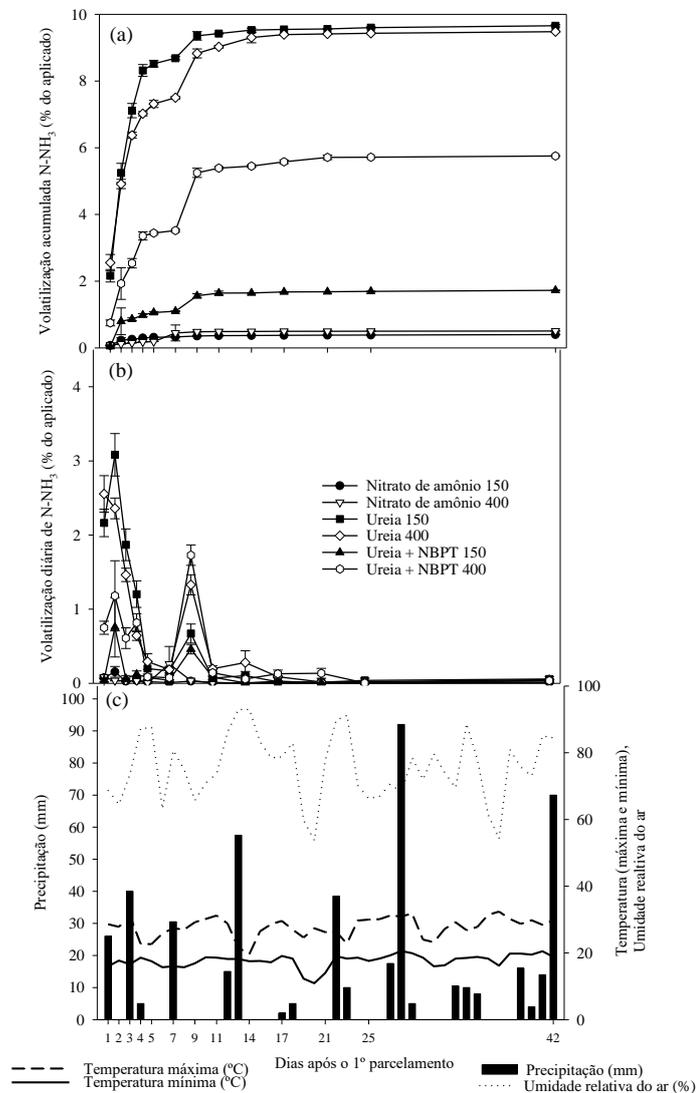
As perdas acumuladas e diárias de N-NH₃ (kg ha⁻¹) foram influenciadas significativamente ($p \leq 0,05$) pelos tratamentos nas três fertilizações nitrogenadas aplicadas em cobertura na cultura do café na safra agrícola 16/17.

No dia da aplicação do 1° parcelamento ocorreu uma precipitação de 26 mm no final da tarde, após serem aplicados os fertilizantes. Esta precipitação foi o suficiente para deixar o solo úmido e fazer com que as fontes de ureia convencionais apresentassem maiores perdas já 1 dia após a aplicação (Figura 5b) e também uma possível incorporação no solo devido ao fato das perdas acumuladas de no final de 42 dias terem apresentado nem 10% de perdas de N-NH₃ (Figura 5a). No dia 3 após serem aplicados os fertilizantes ocorreu outra precipitação de 40

mm o que fez com que a emissão de N-NH₃ se apresentasse baixa nos dias 4, 5 e 6 para todas as fontes de N, no 7º dia ocorreu outra precipitação de 31 mm, mesmo assim aos 9 dias após a aplicação apenas para a ureia + NBPT nas doses de 150 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ apresentou perdas de N-NH₃ de 1,3 e 1,7% do aplicado (Figura 5b).

Após 11 dias as perdas diárias de N-NH₃ se apresentaram menores que 0,5%. As perdas acumuladas de N-NH₃ no 1º parcelamento, em todo o período avaliado de 42 dias nas doses de 150 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, foram 9,7 e 9,5% para ureia comum, 1,7 e 5,8% para a ureia + NBPT e por fim não chegando nem a 1%, o nitrato de amônio com 0,4 e 0,5% para respectivamente. A quantificação das perdas de N por volatilização do 1º parcelamento na safra 16/17 iniciado em 01 de novembro de 2016, em um período de 42 dias, apresentou precipitação acumulada de 101,5 mm nos primeiros 7 dias e 475,5 mm no período todo (Figura 5c).

Figura 5 - Perdas acumuladas de N-NH₃ (a), perdas diárias de N-NH₃ (b) e dados climáticos (c), após 42 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados no 1º parcelamento de N no cafeeiro da safra 16/17.



As barras verticais representam o erro padrão das médias (n = 4).

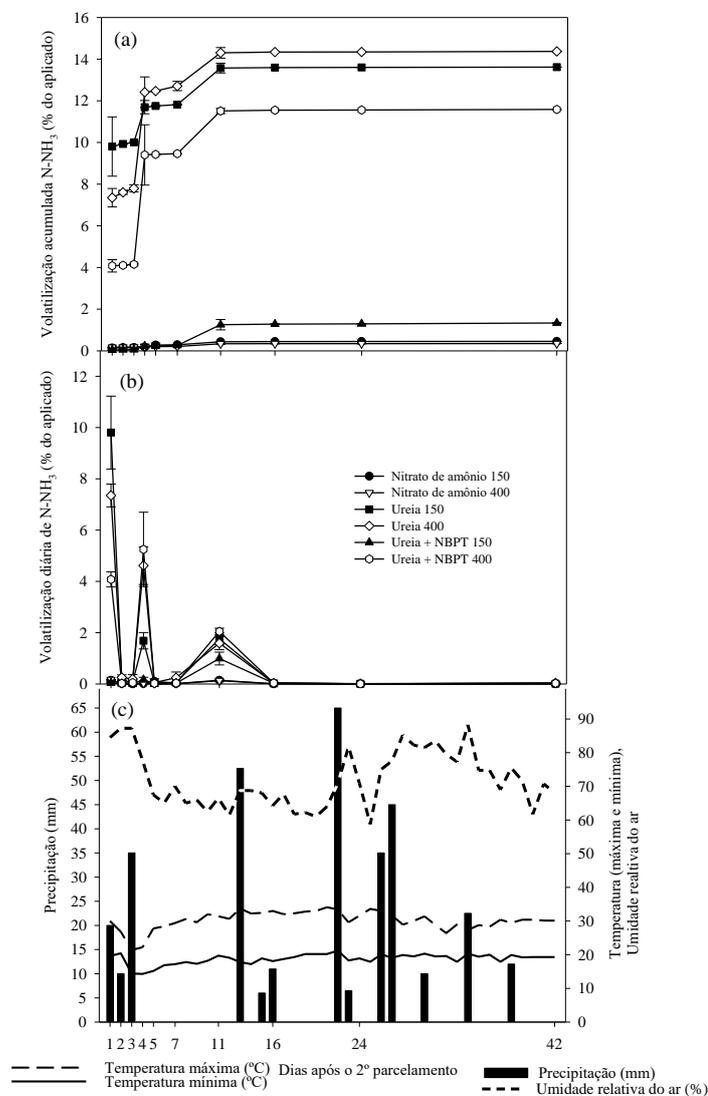
Fonte: Do autor (2019).

As aplicações dos fertilizantes do 2º parcelamento foram realizadas 1 dia após ter ocorrido uma precipitação de 70 mm, em que no momento da aplicação o solo se encontra bem úmido. Com isso logo no 1 dia após a aplicação as perdas diárias foram altas, chegando a 9,8% pra a ureia na dose de 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, 7,3% para a ureia 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ e 4,1% para a ureia + NBPT na dose de 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 6b). Logo após a aplicação dos fertilizantes ocorreu uma precipitação de 20 mm fazendo com que as perdas nos dias 2 e 3 chegassem a zero, mas voltassem a perder no 4º dia com perdas de 4,6 e 5,3 para ureia e ureia

+ NBPT nas doses de 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹. Aos 5 e 7 dias as perdas foram baixas, chegando a zerar e 10 dias correu mais um pico de emissão e depois não houve mais perdas significativas.

As perdas acumuladas de N-NH₃ no 2º parcelamento, em todo o período avaliado de 42 dias nas doses de 150 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, foram 13,6 e 14,4% para ureia comum, 1,3 e 11,6 % para a ureia + NBPT e por fim não chegando nem a 1%, o nitrato de amônio com 0,4 e 0,4% para respectivamente. No 2º parcelamento em um período de 42 dias, a precipitação acumulada foi de 65mm nos primeiros 7 dias e 330,5 mm no período todo (Figura 6c).

Figura 6 - Perdas acumuladas de N-NH₃ (a), perdas diárias de N-NH₃ (b) e dados climáticos (c), após 42 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados no 2º parcelamento de N no cafeeiro da safra 16/17.



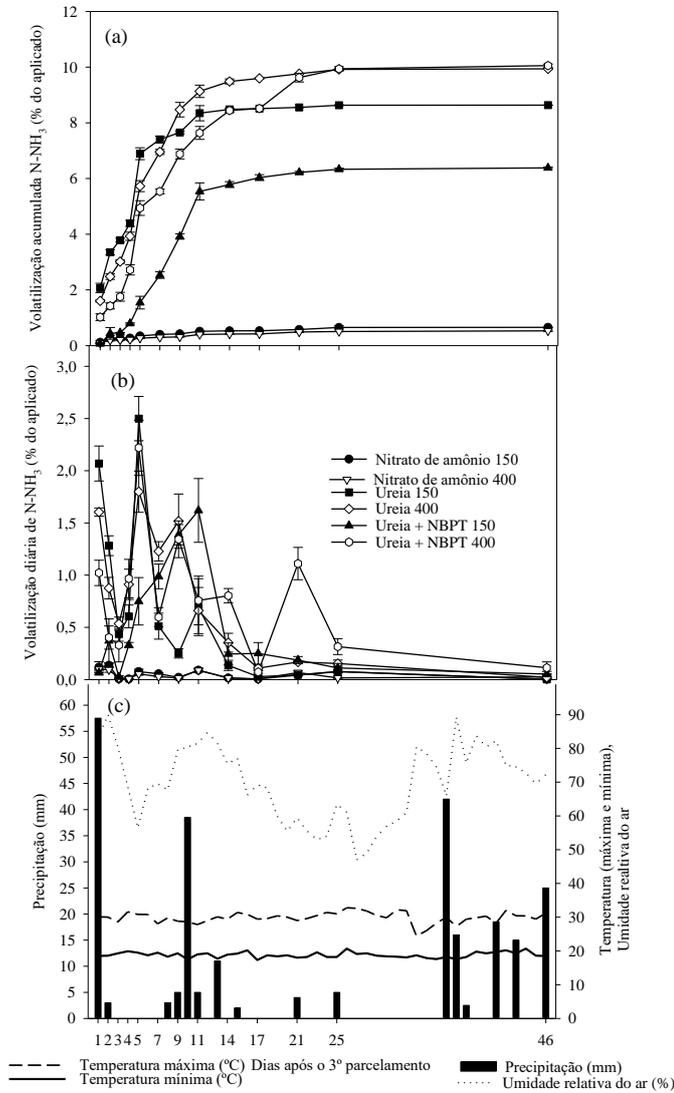
As barras verticais representam o erro padrão das médias (n = 4).

Fonte: Do autor (2019).

No 3º e último parcelamento da safra 16/17 após a aplicação dos fertilizantes ocorreu uma precipitação de 58 mm (Figura 7c) e fez com que as perdas de N-NH₃ chegassem a 2 e 1,6% para a ureia nas doses de 150 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ logo no primeiro dia. Já 2 e 3 dias após a aplicação, as perdas baixaram, mas voltando a emitir no 4º dia, com picos de perdas para a ureia nas duas doses com 2,5 e 1,8% e 2,2% para a ureia + NBPT (Figura 7b).

As perdas acumuladas de N-NH₃ no 3º parcelamento, em todo o período avaliado de 46 dias nas doses de 150 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, foram 8,6 e 9,9% para ureia Comum, 6,4 e 10,1% para a ureia + NBPT e por fim não chegando nem a 1%, o nitrato de amônio com 0,6 e 0,5% para respectivamente. Neste 3º parcelamento as perdas de N da ureia e ureia + NBPT da dose de 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, foram iguais. Em um período de 46 dias, a precipitação acumulada foi de 60,5mm nos primeiros 7 dias e 253 mm no período todo (Figura 7c). No final dos três parcelamentos na safra de 16/17 a precipitação total foi de 1060 mm (Figura 1b).

Figura 7 - Perdas acumuladas de N-NH₃ (a), perdas diárias de N-NH₃ (b) e dados climáticos (c), após 46 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados no 3º parcelamento de N no cafeeiro da safra 16/17.



As barras verticais representam o erro padrão das médias (n = 4).

Fonte: Do autor (2019).

As perdas de N-NH₃ em kg ha⁻¹ no final de cada parcelamento na safra 16/17 em ordem decrescente foi: 1º parcelamento: Ureia 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (12,6) > ureia + NBPT 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (7,7) > ureia 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (4,8) > ureia + NBPT 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (0,9) = nitrato de amônio 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (0,2) = nitrato de amônio 400kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (0,7).

2º parcelamento: Ureia 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (19,2) > ureia + NBPT400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (15,4) > ureia 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (6,8) > ureia + NBPT 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (0,7) = nitrato de amônio 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (0,2) = nitrato de amônio kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (0,5).

3° Ureia 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (13,3) = ureia + NBPT 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (13,4) > ureia 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (4,3) > ureia + NBPT 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (3,2) > nitrato de amônio 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (0,3) = nitrato de amônio kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (0,7).

No final total dos três parcelamentos as perdas foram: Ureia 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (45,1) > ureia + NBPT 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (36,5) > ureia 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (16) > ureia + NBPT 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (4,7) > nitrato de amônio 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (0,8) = nitrato de amônio kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (1,9) (Tabela 2).

Tabela 2 - Perdas por parcelamento e total de N-NH₃ após a aplicação de doses e fontes de nitrogênio no cafeeiro na safra 16/17.

Tratamentos	Doses de N (kg ha ⁻¹)	Volatilização total de N-NH ₃			
		1° Parc.	2° Parc.	3° Parc.	Total
		kg ha ⁻¹			
Nitrato de amônio	150	0,2d	0,2d	0,3d	0,8d
Nitrato de amônio	400	0,7d	0,5d	0,7d	1,9d
Ureia	150	4,8c	6,8c	4,3b	16,0c
Ureia	400	12,6a	19,2a	13,3a	45,1a
Ureia + NBPT	150	0,9d	0,7d	3,2c	4,7d
Ureia + NBPT	400	7,7b	15,4b	13,4a	36,5b
Média		4,5	7,1	5,9	17,5
CV (%)		19,8	30,9	11,4	16,9
Precipitação 7 dias		101,5	65	60,5	-
Precipitação total		475,5	330,5	253	-

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

3.1.3 Safra 17/18

As perdas diárias e acumuladas de N-NH₃ juntamente com os dados meteorológicos durante os três parcelamentos da adubação nitrogenada no ano de safra 17/18, estão nas figuras 8, 9 e 10.

As perdas acumuladas e diárias de amônia (kg ha⁻¹) foram influenciadas significativamente ($p \leq 0,05$) pelos tratamentos nas três fertilizações nitrogenadas aplicadas em cobertura na cultura do café no ano agrícola 17/18.

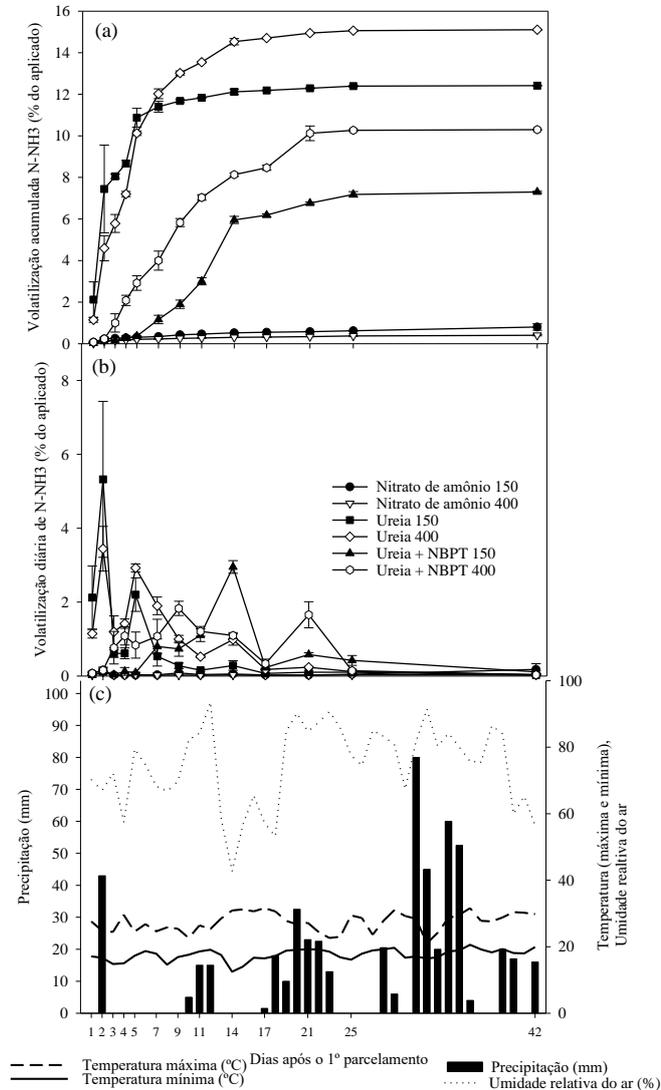
No 1º parcelamento as maiores perdas diárias de NH_3 ocorreram até 7 dias após a aplicação dos fertilizantes para a ureia Comum nas duas doses de 150 e 400 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ e até 10 dias para a ureia + NBPT (Figura 8b).

Dois dias antes de serem aplicados os fertilizantes, ocorreu uma precipitação de 68 mm, no qual deixou o solo úmido, apresentando perdas logo 1 dia após a aplicação para as fontes provindas das ureias. Mesmo a umidade relativa do ar estando abaixo de 74,3%, temperaturas médias, máxima abaixo dos 25°C e mínima de 16°C nos 9 dias após aplicação, a umidade do solo foi suficiente para hidrolisar a ureia e apresentar as maiores perdas nesses 10 dias.

O pico de perdas de NH_3 ocorrem 2 dias após a adubação para a ureia, com 5,3 e 3,4% do aplicado, 8, e 14 kg de N perdidos apenas no 2º dia. As perdas apresentam-se baixas e com variação muito grande de perdas com o passar dos dias, sendo que 25 dias após a adubação, essas passam a ser insignificantes. Mesmo tendo ocorrido precipitações de 15 mm no 11 e 12º dia não foi suficiente para incorporação.

As perdas acumuladas de N- NH_3 no 1º parcelamento, em todo o período avaliado de 42 dias nas doses de 150 e 400 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, foram 12,4 e 15,2% para ureia comum, 7,3 e 10,3 % para a ureia + NBPT e por fim não chegando nem a 1%, o nitrato de amônio com 0,8 e 0,4% para respectivamente (Figura 8a). Durante a quantificação das perdas de N por volatilização do 1º parcelamento que deu início em 30 de outubro de 2017, em um período de 42 dias, a precipitação acumulada foi de 43mm nos primeiros 7 dias e 540 mm no período todo (Figura 8c).

Figura 8 - Perdas acumuladas de N-NH₃ (a), perdas diárias de N-NH₃ (b) e dados climáticos (c), após 42 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados no 1º parcelamento de N no cafeeiro da safra 17/18.



As barras verticais representam o erro padrão das médias (n = 4).

Fonte: Do autor (2019).

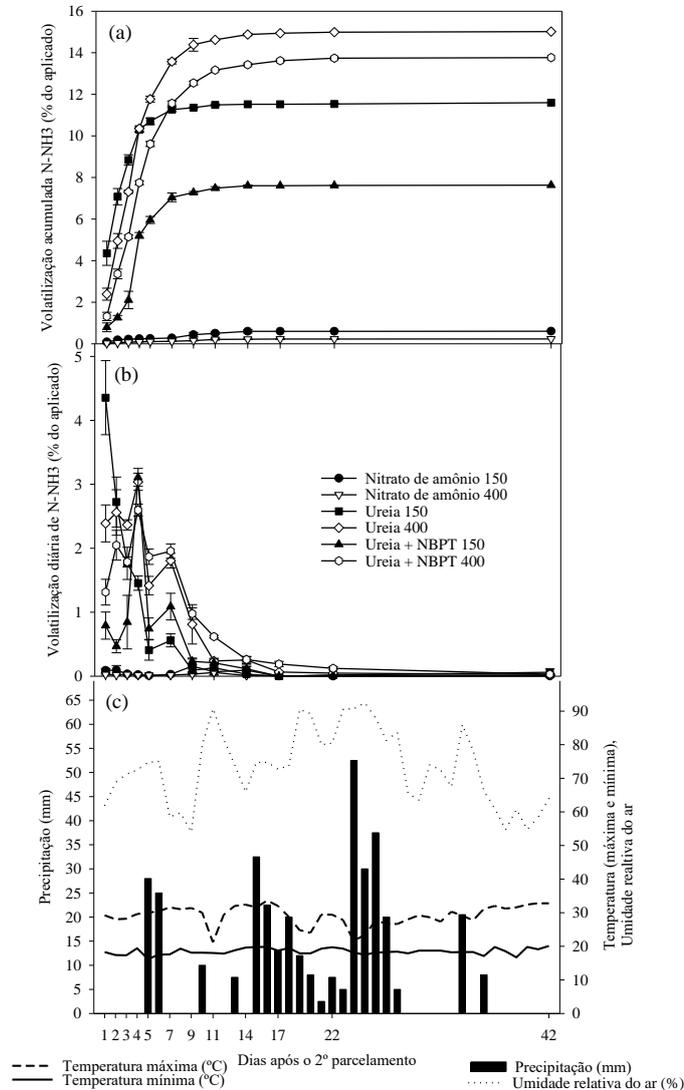
Para todas as fontes, no 2º as maiores perdas de N-NH₃ ocorreram até por volta de 7 dias. A ureia na dose de 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ apresentou pico de perda 1 dia após aplicação com 4,4%, 7 kg de N, e já a ureia na dose de 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ apresentou pico de perda no 4º dia, com perda de 3%, 12 kg de N. Os picos de perdas para a ureia + NBPT também ocorrem no 4º com 3% de perdas do aplicado (5 kg de N) para a dose de 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ e 2,6%, com perdas de 10 kg de N para a dose de 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹. A partir do 11º dias as perdas são menores que 1% (Figura 9b). O fato das perdas não terem sido tão altas e não

apresentarem perdas depois do 11^o pode ter sido devido as precipitações ocorridas nos dias 5 e 6 com respectivos 28 e 25 mm de precipitação.

As perdas acumuladas de N-NH₃ nos 7 primeiros dias para 150 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ de N de foram de 11,3 e 13,6 % para ureia, 7,0 e 11,6% para ureia + NBPT e 0,2 e 0,1% para nitrato de amônio, o que corresponde as perdas de 17, 54, 11, 46, 0, 0 kg de N respectivamente (Figura 9a). Quando são observados os dados de precipitação acumulada ocorre 53mm nos primeiros 7 dias, sendo que a umidade relativa do ar se manteve abaixo do valor crítico.

As perdas acumuladas após 42 dias, nas doses de 150 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, foram 11,6 e 15,2% para ureia Comum, 7,6 e 13,8 % para a ureia + NBPT e por fim, o nitrato de amônio com 0,6 e 0,2% respectivamente. No período de 42 dias, a precipitação total foi de 367 mm (Figura 9c).

Figura 9 - Perdas acumuladas de N-NH₃ (a), perdas diárias de N-NH₃ (b) e dados climáticos (c), após 42 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados no 2º parcelamento de N no cafeeiro da safra 17/18.



As barras verticais representam o erro padrão das médias (n = 4).

Fonte: Do autor (2019).

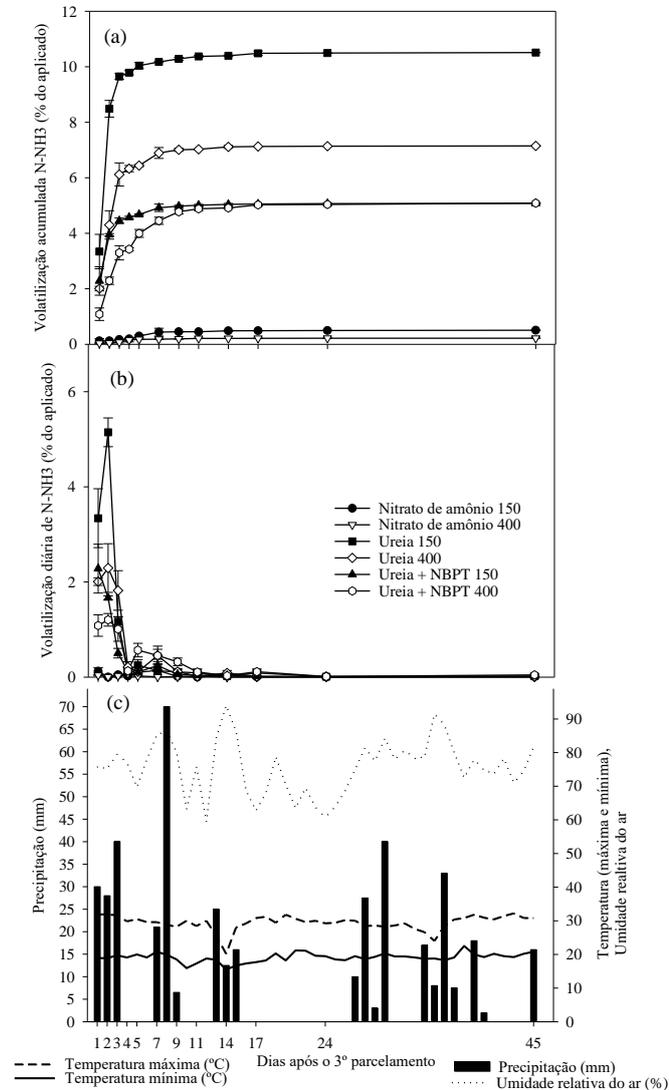
Por fim, as perdas no 3º parcelamento foram relativamente baixas, onde o ponto máximo ocorre 2 dias após a aplicação. Para a ureia + NBPT nas doses de 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ os picos de perdas ocorrem logo 1 dia após aplicação com 2,9% (8 kg de N). Já com o uso da ureia na dose de 150 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, com 5,1% (8 kg de N) e 2,3% (9 kg de N) (Figura 10a).

No dia 1, 2 e 3 após a aplicação dos tratamentos, houve precipitação de 30, 28 e 40 mm, promovendo incorporação dos fertilizantes no 4º dia, pois as perdas que ocorreram após esse dia são muito baixas. Apenas nos 7 primeiros dias a precipitação foi de 119 mm, o que se pode afirmar que para esta situação foi suficiente para incorporação.

As perdas acumuladas de N-NH₃ nos 7 primeiros dias para 150 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ de N de foram de 10,2 e 6,9 % para ureia, 4,6 e 4,5% para ureia + NBPT e 0,4 e 0,2% para nitrato de amônio, o que corresponde as perdas de 15, 28, 7, 18, 1 e 1 kg de N respectivamente (Figura 10a). Já as perdas acumuladas após 45 dias, nas doses de 150 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, foram 10,5 e 7,2% para ureia Comum, 5,1 e 5,2 % para a ureia + NBPT e por fim, o nitrato de amônio com 0,5 e 0,2% respectivamente (Figura 10a).

Por fim, no 3º e último parcelamento em um período de 45 dias, a precipitação acumulada foi de 430mm no período todo (Figura 10c). No final dos três parcelamentos na safra de 17/18 a precipitação total foi de 1337 mm (Figura 1c).

Figura 10 - Perdas acumuladas de N-NH₃ (a), perdas diárias de N-NH₃ (b) e dados climáticos (c), após 45 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados no 3º parcelamento de N no cafeeiro da safra 17/18.



As barras verticais representam o erro padrão das médias (n = 4).

Fonte: Do autor (2019).

As maiores perdas de N-NH₃ em (kg ha⁻¹) após os três parcelamentos no ano agrícola 17/18 ocorreram na seguinte sequência decrescente: ureia (400 kg ha⁻¹ de N) > ureia + NBPT (400 kg ha⁻¹) > Ureia (150 kg ha⁻¹) > ureia + NBPT (150 kg ha⁻¹) > nitrato de amônio (400 kg ha⁻¹) = nitrato de amônio (150 kg ha⁻¹), (Tabela 3).

Tabela 3 - Perdas por parcelamento e total de N-NH₃ após a aplicação de doses e fontes de nitrogênio no cafeeiro na safra 17/18.

Tratamentos	Doses de N (kg ha ⁻¹)	Volatilização total de N-NH ₃			
		1º Parc.	2º Parc.	3º Parc.	Total
		kg ha ⁻¹			
Nitrato de amônio	150	0,4e	0,3e	0,3e	1,0e
Nitrato de amônio	400	0,5e	0,3e	0,3e	1,1e
Ureia	150	6,2c	5,8c	5,3c	17,3c
Ureia	400	20,1a	20,0a	9,5a	49,7a
Ureia + NBPT	150	3,6d	3,8d	2,5d	10,0d
Ureia + NBPT	400	13,7b	18,4b	6,8b	38,9b
Média		7,4	8,1	4,1	19,7
CV (%)		19,9	10,7	24,4	10,6
Precipitação 7º dias (mm)		43	53	119	-
Precipitação total período (mm)		540	367	431	-

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$).

Fonte: Do autor (2019).

3.1.4 Safra 18/19

As perdas diárias e acumuladas de N-NH₃ juntamente com os dados meteorológicos durante os três parcelamentos da adubação nitrogenada no ano de safra 18/19, estão nas figuras 11, 12 e 13.

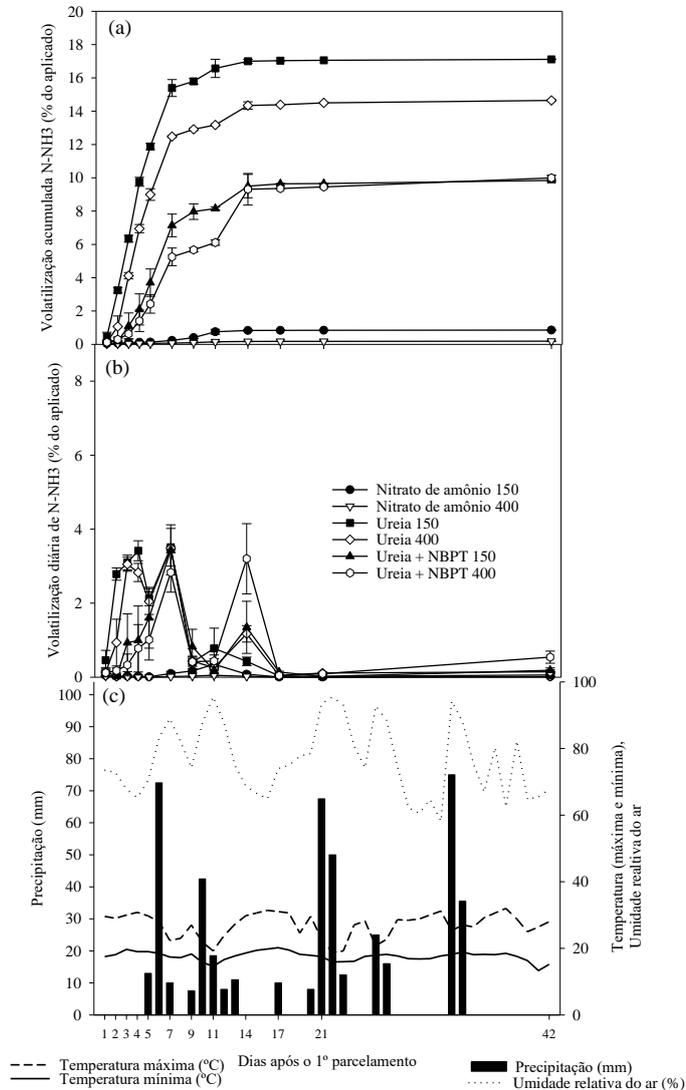
As perdas acumuladas e diárias de N-NH₃ (kg ha⁻¹) foram influenciadas significativamente ($p \leq 0,05$) pelos tratamentos nas três fertilizações nitrogenadas aplicadas em cobertura na cultura do café no ano agrícola 18/19.

Neste 1º não foi observado um pico de perdas de N-NH₃ que ficasse em maior evidência. Isso pode ser atribuído ao fato de pequenas precipitações ocorridas dois dias antes da aplicação dos fertilizantes. No 6º dia ocorre uma precipitação de 73 mm, na qual ainda sim existe perdas de N-NH₃ após esta ocorrência no 14º dia com perdas de 3,2% do N aplicado (Figura 11b).

Mesmo com o solo um pouco úmido as perdas diárias não foram muito altas, mas quando são somadas e apresentadas de forma acumulada, foram encontrados valores em porcentagem de 17,1 e 14,7% para ureia, 9,5 e 9,9% para ureia + NBPT e de 0,8 e 0,2% para o nitrato de amônio nas dose de 150 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ respectivamente (Figura 11a).

Durante a quantificação das perdas de N por volatilização do 1º parcelamento que deu início em 30 de outubro de 2018, em um período de 42 dias, a precipitação acumulada foi de 96mm nos primeiros 7 dias e 483 mm no período todo (Figura 11c).

Figura 11 - Perdas acumuladas de N-NH₃ (a), perdas diárias de N-NH₃ (b) e dados climáticos (c), após 42 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados no 1º parcelamento de N no cafeeiro da safra 18/19.



As barras verticais representam o erro padrão das médias (n = 4).

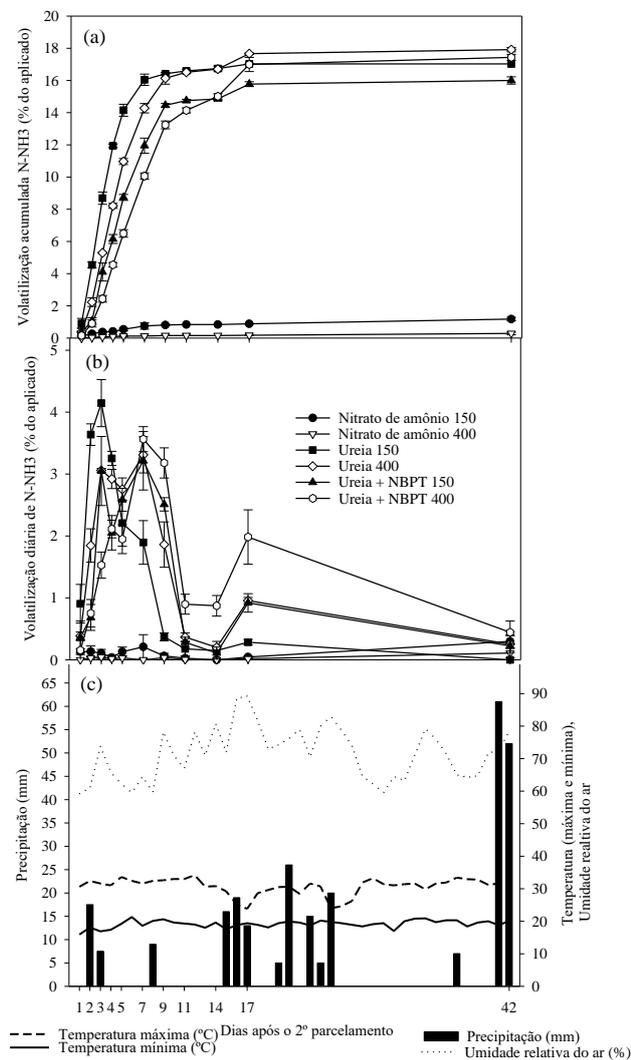
Fonte: Do autor (2019).

As perdas de N-NH₃ 1 dia após a aplicação dos fertilizantes no 2º parcelamento é baixa, com média de 0,5% de perdas para as fontes amídicas. Isso pode ser atribuído ao fato do solo estar bem seco no momento da aplicação, devido a vários dias sem precipitação. No dia 2 da coleta ocorreu precipitação de 18 mm, o que foi necessário para umedecer o solo e promover maiores perdas, como pode ser observado na Figura 12b.

Nesse 2º parcelamento as precipitações foram baixas, o que pode explicar a variação das perdas de N-NH₃ ocorrerem praticamente em quase toda avaliação, por um período de 42 dias, sendo que apenas no 42º dia as perdas foram menores que 0,5%.

As perdas acumuladas do 2º parcelamento após 42 dias, nas doses de 150 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, foram 17,0 e 17,9% para ureia comum, 16 e 17,4 % para a ureia + NBPT e por fim, o nitrato de amônio com 1,2 e 0,3% respectivamente (Figura 15a). No 2º parcelamento em um período de 42 dias, a precipitação acumulada foi de 34mm nos primeiros 7 dias e 273 mm no período todo (Figura 12c).

Figura 12 - Perdas acumuladas de N-NH₃ (a), perdas diárias de N-NH₃ (b) e dados climáticos (c), após 42 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados no 2º parcelamento de N no cafeeiro da safra 18/19.



As barras verticais representam o erro padrão das médias (n = 4).

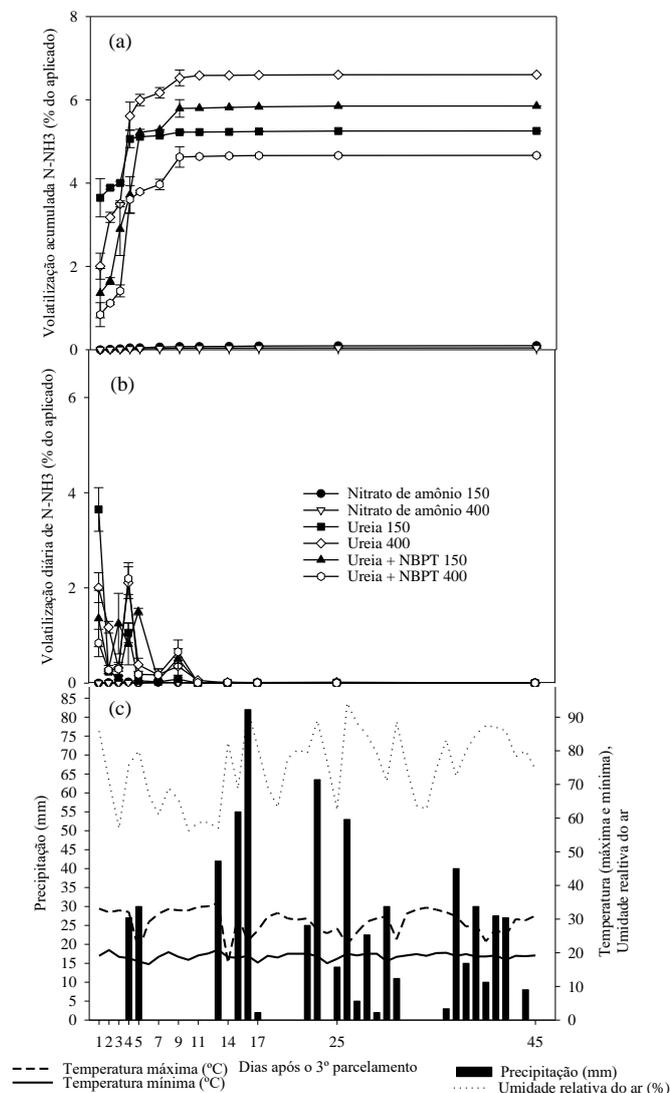
Fonte: Do autor (2019).

A volatilização acumulada do 3º parcelamento foi bem baixa comparado com os dois parcelamentos anteriores, isso pode ser atribuído ao fato de que, após aplicado os fertilizantes,

no dia 29 de outubro de 2018, ocorreu precipitação de 52 mm, e pode ter incorporado ao solo grande parte dos fertilizantes aplicados.

As perdas acumuladas do 3º e último parcelamento após 45 dias, nas doses de 150 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, foram 5,3 e 6,6% para ureia comum, 5,69 e 4,7 % para a ureia + NBPT e por fim, o nitrato de amônio com 0,1 e 0% respectivamente (Figura 13a). No 3º e último parcelamento no período de 45 dias, a precipitação acumulada nos 7 primeiros dias foi de 57mm e 625mm no período todo (Figura 13c). No final dos três parcelamentos na safra de 18/19 a precipitação total foi de 1380mm (Figura 1d).

Figura 13 - Perdas acumuladas de N-NH₃ (a), perdas diárias de N-NH₃ (b) e dados climáticos (c), após 45 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados no 3º parcelamento de N no cafeeiro da safra 18/19.



As barras verticais representam o erro padrão das médias (n = 4).

Fonte: Do autor (2019).

As maiores perdas de N-NH₃ em (kg ha⁻¹) após os três parcelamentos no ano agrícola 2017/2018 ocorreram na seguinte sequência decrescente: ureia (400 kg ha⁻¹) > ureia + NBPT (400 kg ha⁻¹) > Ureia (150 kg ha⁻¹) > ureia + NBPT (150 kg ha⁻¹) > nitrato de amônio (400 kg ha⁻¹) = nitrato de amônio (150 kg ha⁻¹), (Tabela 4).

Tabela 4 - Perdas por parcelamento e total de N-NH₃ após a aplicação de doses e fontes de nitrogênio no cafeeiro nas safras 18/19.

Tratamentos	Doses de N	Volatilização total de N-NH ₃			
	(kg ha ⁻¹)	1° Parc.	2° Parc.	3° Parc.	Total
kg ha ⁻¹					
Nitrato de amônio	150	0,4e	0,6c	0,0d	1,1e
Nitrato de amônio	400	0,3e	0,4c	0,1d	0,7e
Ureia	150	8,6c	8,5b	2,6c	19,7c
Ureia	400	19,5a	23,9a	8,8a	52,2a
Ureia + NBPT	150	4,9d	8,0b	2,9c	15,8d
Ureia + NBPT	400	13,3b	23,2a	6,2b	42,8b
Média		7,8	10,8	3,4	22,1
CV (%)		15,88	7,62	20,71	6,6
Precipitação 7º dias (mm)		96	34	57	-
Precipitação total período (mm)		483	273	625	-

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$).

Fonte: Do autor (2019).

Após os quatro anos de avaliações as menores perdas de N-NH₃ ocorreram com o uso do nitrato de amônio nas doses de 150 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹. Apresentaram média de 0,45% de perdas, e redução de 98% em relação ao uso da ureia comum na dose de 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹. Em comparação com a ureia + NBPT a redução foi de 97% na mesma dose.

Quando é comparado a ureia + NBPT com a ureia comum a redução das perdas de N-NH₃ foi de 31% na dose de 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ e de 55% na dose de 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹. Trabalhos relataram que a ureia + NBPT pode reduzir em até 65% das perdas de NH₃, quando comparada a ureia comum (SOUZA, 2012). As tecnologias dos fertilizantes de eficiência aumentada, como a ureia + NBPT, fertilizante estabilizado, são importantes para diminuir as perdas de N por volatilização. Entretanto segundo Cantarella (2007) dependendo das condições climáticas a que são submetidas, sua eficiência pode ser reduzida.

A ureia + NBPT apresentou-se com atraso e menores picos de perdas com relação a ureia comum em alguns parcelamentos. Segundo Cantarella (2007) este atraso é devido inibição por NBPT da atividade da urease e, conseqüentemente, a hidrólise da ureia, que pode atrasar por período de 3 a 14 dias, dependendo das condições ambientais no local de aplicação.

Entretanto, o tratamento com ureia + NBPT apresentou dinâmica muito variável nos quatro anos de avaliação. Mostrou-se mais eficaz em diminuir as perdas de N por volatilização da amônia em alguns parcelamentos, mais também em alguns parcelamentos (3º parcelamento 16/17 e 2º parcelamento 18/19), as perdas foram iguais as provenientes da ureia comum. Souza et al. (2017) avaliando a ureia + NBPT na cultura do milho, com arquitetura diferente da cultura do cafeeiro observaram atraso da emissão de NH_3 em cinco dias, correspondendo maiores perdas nesse período para a ureia comum e com pico de emissão entre o 5º e o 10º dia,

A aplicação de ureia estabilizada com inibidores de urease, como por exemplo o NBPT, reduz perdas de NH_3 em diferentes intensidades, dependendo do sistema de cultivo, da cultura, das condições edafoclimáticas. Diversos trabalhos descrevem sua dinâmica em várias situações diferentes como tipo de cultura e regiões, (RAWLUK et al., 2001; CANTARELLA et al., 2008; WATSON et al., 2008; PEREIRA et al., 2009; GROHS et al., 2011). O NBPT é uma cera viscosa, sensível a elevação de temperatura e umidade e normalmente é misturado a solventes como os glicóis ou os seus derivados e após isso são distribuídos nos grânulos de ureia (SUTTON & THORNSBERRY et al., 2013; WHITEHURST & WHITEHURST, 2014). A estabilização da ureia com NBPT tem como principais benefícios: o atraso no pico de volatilização, proporciona maior período de tempo para incorporação da ureia pela água da chuva e podem reduzir as perdas por volatilização devido à excessiva hidrólise da ureia na superfície do solo; aumento da absorção de nitrogênio e na produtividade das culturas (WATSON et al., 2008). Como o NBPT reduz a conversão de ureia a amônio, pode influenciar, indiretamente, a nitrificação devido à redução da concentração íons NH_4^+ no solo para conversão a nitrato (NO_3^-) (SOUZA et al. 2017).

A molécula de NBPT é convertida em NBPTO, com capacidade de reduzir a atividade da urease, e reduzir a intensidade das perdas (CREASON et al., 1990; BYRNES & FRENEY, 1995; PHONGPAN et al., 1995; WATSON, 2008). Entretanto o uso do NBPT apresenta também desvantagens de ser instável em condições de solos ácidos, temperaturas elevadas e umidade alta no solo. Essa instabilidade é ocasionada pelo solvente utilizado para sua dissolução antes de ser misturada aos grânulos de ureia nas indústrias de fertilizantes (OMILINSKY et al., 1997; GABRIELSON et al., 2014; SUTTON et al., 2013; WHITEHURST & WHITEHURST, 2014).

Portanto, precipitações próximas de 10 mm dependendo da intensidade, muitas vezes não são capazes de incorporar os fertilizantes no solo e promovem perdas de NH_3 por deixar o solo úmido. As baixas precipitações próximas de 10 mm podem minimizar essas perdas e depois de alguns dias voltarem a emitir NH_3 .

As maiores perdas médias de N-NH₃ em (kg ha⁻¹) nos quatro anos de safra (2015/2016, 2016/2017, 2017/2018 e 2018/2019), ocorreram na seguinte sequência decrescente: ureia (400 kg ha⁻¹ de N) > ureia + NBPT (400 kg ha⁻¹) > Ureia (150 kg ha⁻¹) > ureia + NBPT (150 kg ha⁻¹) > nitrato de amônio (400 kg ha⁻¹) = nitrato de amônio (150 kg ha⁻¹) (Tabela 5).

Tabela 5 – Perdas totais (acumuladas) de N-NH₃ em quatro de avaliações, após a aplicação de doses e fontes de nitrogênio no cafeeiro safras 15/16, 16/17, 17/18 e 18/19 e total de quatro anos.

Tratamentos	Doses de N (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Perdas de N-NH ₃ por volatilização (kg ha ⁻¹)					
		Ano agrícola				Quatro anos	Total de N-NH ₃
		2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019	Total	(% aplicado)
Nitrato de amônio	150	1,0e	0,8e	1,0e	1,1e	3,8e	0,6d
Nitrato de amônio	400	1,8e	1,9e	1,1e	0,7e	5,4e	0,3d
Ureia	150	31,0c	16,0c	17,3c	19,7c	83,9c	14,0a
Ureia	400	78,4a	45,1a	49,7a	52,2a	225,3a	14,1a
Ureia + NBPT	150	7,3d	4,7d	10,0d	15,8d	37,9d	6,3c
Ureia + NBPT	400	39,0b	36,5b	38,9b	42,8b	157,2b	9,8b
Média		26,4	17,5	19,7	22,1	85,6	7,5
CV (%)		18,8	16,9	10,6	6,6	7,7	5,8
Precipitação total (mm)		834,4	1060,0	1338,0	1380	-	-

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$).

Fonte: Do autor (2019).

As perdas de N provindas do nitrato de amônio ao final dos quatro anos de avaliação foram muito baixas, de 3,8 e 5,4 kg de N ha⁻¹ de 600 e 1600 kg de N aplicados no total. Essas baixas perdas representam bem os resultados encontrados de produtividade ao final de quatro safras (Tabela 9), em que a produtividade foi igual ($p \leq 0,05$) ao tratamento ureia + NBPT, porém com 2,8 sacas a mais por hectare. A ureia comum foi a fonte que apresentou maiores perdas de N proporcionais as doses aplicadas, com perdas de 225,3 kg de N ha⁻¹ 1600 kg de N aplicados no total (14%), o que foi expressa em menor produtividade no quarto ano de colheita da safra 18/19 (Tabela 9). Quando é realizada a média de produtividade dos quatro anos, o nitrato de amônio, a ureia comum e a ureia + NBPT não apresentaram diferenças significativas entre si, mas se considerar a produtividade final (Tabela 9) aliada ao retorno econômico (Tabela 1 ANEXO A), o nitrato de amônio apresenta 3 sacas a mais por hectare em relação a ureia comum e 3,7 sacas a mais em relação a ureia + NBPT.

O pH em água das camadas de 0-10 cm em cada tratamento no ano de 2017 e 2018 (Quadro 1 a 6 ANEXO A) ficou na média de 4,7 e 4,9 respectivamente. Esses resultados de pH considerados baixos, podem ter influenciado as menores perdas de N provindos das fontes de N amídicas. Essas perdas acumuladas ao final de cada ano safra são consideradas baixas quando comparado com outros trabalhos em áreas cultivadas com cafeeiro.

Podem ser observados nas safras 15/16, 16/17, 17/18, 18/19, muitas vezes as precipitações ocorridas acima de 10 mm não foram suficientes para incorporar os fertilizantes amídicos nos quais apresentaram altas perdas de N comparadas com o nitrato de amônio. A intensidade das precipitações nas áreas de cafeeiro podem ser diferentes com o mesmo volume de água e isso pode contribuir mais ou menos com a incorporação dos grânulos de ureia. Os ramos plagiotrópicos do cafeeiro quando apresentam nutrição mineral equilibrada, formam proteção física natural, que impede as chuvas de caírem diretamente no solo, formando uma espécie de proteção “guarda chuva”.

Quando são comparados os resultados encontrados neste trabalho com outros na cultura do cafeeiro relacionado com perdas de NH₃, podem ser encontrados as seguintes condições:

Com as mesmas fontes do presente trabalho, na dose de 300 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ parcelados em três vezes, Bartelega (2018) encontrou ao final de três parcelamentos perdas de 0,7; 0,2 e 0,5% para o nitrato de amônio, 36,2; 10,4 e 22,1% para a ureia e por fim 21,0; 11,9 e 17,2 para a ureia + NBPT. A redução das perdas médias após os três

parcelamentos em relação ao uso do nitrato de amônio para a ureia comum e ureia + NBPT foi de 98 e 97% respectivamente. Freitas (2017), em trabalho anterior de Bartelega (2018), encontrou perdas NH_3 com fornecimento de N na dose de $300 \text{ kg de N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ao final de três parcelamentos de 0,2; 0,1 e 0,2% para o nitrato de amônio, 24,0; 13,8 e 31,2 para a ureia Comum e de 9,6; 6,2 e 20,5% para a ureia + NBPT. Neste trabalho a redução das perdas do nitrato de amônio em relação a ureia comum e ureia + NBPT ao final dos três parcelamentos foi de 99 e 98% respectivamente.

Com maior dose de N, trabalhando com adubação de ureia e nitrato de amônio nas doses de $450 \text{ kg de N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no cafeeiro, Chagas et al, (2016) encontram perdas de N por volatilização de 23, 33 e 27% do aplicado no 1, 2 e 3º parcelamento para a ureia e de 0,9, 0,6 e 0,7% no 1, 2 e 3º parcelamento para o nitrato de amônio, após o final dos três parcelamentos a perdas com uso da ureia chegaram a $84,3 \text{ kg de N ha}^{-1}$ (18%) e $2,2 \text{ kg de N ha}^{-1}$ (0,5%) para o nitrato de amônio.

Também trabalhando com adubação nitrogenada no cafeeiro, fornecendo o N na dose de $450 \text{ kg de N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, Domingueti et al. (2016) encontraram perdas bem variadas de N- NH_3 , de 28, 22 e 43% do aplicado no 1, 2 e 3º parcelamentos para a ureia, e 0,7, 0,1 e 0,2% de perdas para o nitrato de amônio e após o final dos três parcelamentos de $140 \text{ kg de N ha}^{-1}$ para a ureia e $1,35 \text{ kg de N ha}^{-1}$ para o nitrato de amônio.

3.2 Teores de nutrientes nas folhas e grãos de café e leitura com o aparelho N-Tester®

Os teores foliares de nitrogênio nas safras de 15/16, 16/17, 17/18 e 18/19 foram influenciados ($p \leq 0,05$) pelo efeito isolado de fontes (Tabela 6) e doses (Figura 14) de N e não houve significância ($p \leq 0,05$) para a interação entre esses fatores.

O objetivo de realizar a análises para determinação dos teores de N nas folhas foi de acompanhar a absorção desses pela planta. Esta prática é realizada por muitos produtores de café e é muito importante para se ter direcionamento com relação ao planejamento inicial das doses de N recomendadas, que são feitas com base na expectativa de produtividade.

Para a safra 15/16, os maiores teores foliares de N ocorreram com a aplicação do nitrato de amônio ($34,8 \text{ g kg}^{-1}$) e da ureia + NBPT ($34,0 \text{ g kg}^{-1}$) e os menores com a ureia Comum ($31,7 \text{ g kg}^{-1}$) seguida pelo controle (29 g kg^{-1}), sem aplicação de N (Tabela 6). Os teores encontrados estão na faixa considerada adequada ($26-30 \text{ g kg}^{-1}$) e alta ($31-35$),

segundo a Guimarães et al., 1999. O nitrato de amônio e ureia + NBPT apresentaram teores considerados altos, assim pode ser tomada a decisão de diminuir a dose de N para o próximo parcelamento. Mesmo a ureia e o controle apresentando teores significativamente ($p \leq 0,05$) menores do que a ureia comum e o nitrato de amônio ainda sim encontram-se dentro da faixa considerada adequada.

Na safra 16/17, os maiores teores foliares de N ocorreram com a aplicação do nitrato de amônio ($29,9 \text{ g kg}^{-1}$), ureia ($29,6 \text{ g kg}^{-1}$) e ureia + NBPT ($30,1 \text{ g kg}^{-1}$) e o menor teor para o controle ($21,6 \text{ g kg}^{-1}$), sem aplicação de N (Tabela 6). Para esta safra os teores foliares em função das fontes de N encontram-se dentro da faixa considerada ideal, já o controle apresentou baixo teor foliar (< 25) segundo GUIMARÃES et al., 1999. Para teores baixos de N foliares recomenda-se a aplicação máxima com base na expectativa de produtividade.

Após três anos, na safra 17/18, os maiores teores foliares de N ocorreram com a aplicação do nitrato de amônio ($30,9 \text{ g kg}^{-1}$), ureia ($31,2 \text{ g kg}^{-1}$) e ureia + NBPT ($30,5 \text{ g kg}^{-1}$) e o menor teor para controle ($19,2 \text{ g kg}^{-1}$), sem aplicação de N (Tabela 6). Nesta safra segundo Guimarães et al., 1999, todas as fontes apresentaram altos teores de N, e apenas controle se apresentou baixo.

Por fim após quatro anos de adubação com os tratamentos, os maiores teores foliares de N ocorreram com a aplicação do nitrato de amônio ($44,2 \text{ g kg}^{-1}$), ureia ($43,2 \text{ g kg}^{-1}$) e ureia + NBPT ($45,4 \text{ g kg}^{-1}$) e o menor teor para controle ($34,2 \text{ g kg}^{-1}$), sem aplicação de N (Tabela 6). Mesmo ocorrendo diferenças significativas ($p \leq 0,05$) com o uso das fontes de N e com o controle, todos se enquadraram na faixa alto.

Tabela 6 – Teores de N foliar em função das fontes de N, aplicados no cafeeiro nas safras 15/16, 16/17, 17/18 e 18/19.

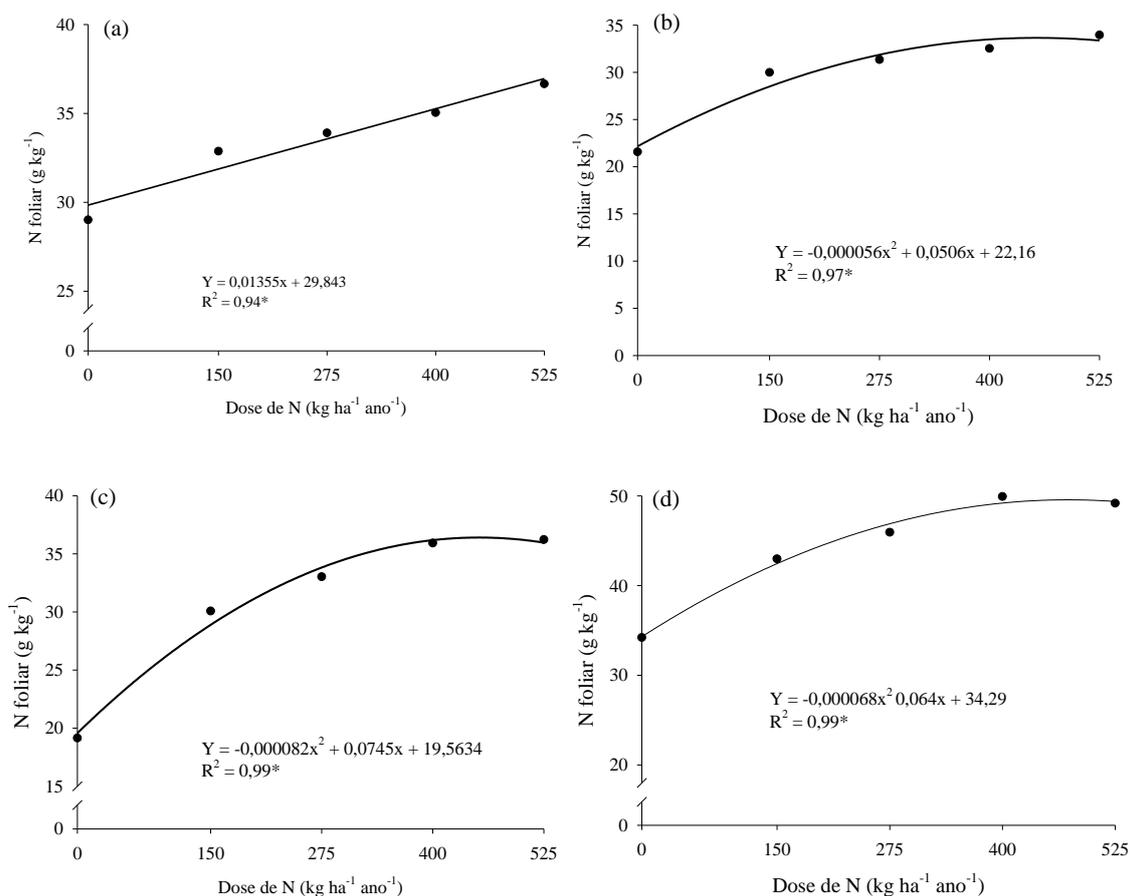
Tratamentos	Safra 15/16	Safra 16/17	Safra 17/18	Safra 18/19
	N (g kg^{-1})			
Nitrato de amônio	34,8a	29,9a	30,9a	44,7a
Ureia	31,7b	29,6a	31,2a	43,2a
Ureia + NBPT	34,0a	30,1a	30,5a	45,4a
Controle	29,0c	21,6b	19,2b	34,2b
Média	32,4	27,8	28,0	41,9
CV (%)	5,78	5,08	2,09	6,09

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).
Fonte: Do autor (2019).

Com relação aos efeitos isolados das doses de N, para a safra 15/16, a dose de 525 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ de N promoveu o maior teor foliar de N. Houve ajuste linear, ou seja, para cada 100 kg de N aplicado houve aumento no teor de N nas folhas de 1,355 g kg⁻¹ de N (Figura 14a).

Para a safra 16/17 o ajuste se apresentou quadrático, a dose de 452 kg ha⁻¹ de N foi a que promoveu o maior teor foliar de N, com 33,6 g kg⁻¹ (Figura 14b). Em 17/18, o ajuste foi quadrático também e a dose que promoveu o maior teor foliar de N foi bem próxima da safra passada (16/17), de 454 kg ha⁻¹ com 36,5 g kg⁻¹ (Figura 14c). Por fim, na safra de 18/19, a dose de 471 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N foi a que promoveu o maior teor foliar de N, 49,3 g kg⁻¹ (Figura 14d).

Figura 14 - Teores foliares de nitrogênio em função das doses de N, aplicados no cafeeiro nas safras 15/16 (a), 16/17 (b), 17/18 (c) e 18/19(d).



Fonte: Do autor (2019).

As análises foliares não podem ser avaliadas isoladamente sem o acompanhamento técnico e visita a áreas de produção, pois nas safras de 15/16 e 18/19 onde as faixas foram consideradas adequadas e altas no controle, estas plantas se apresentaram depauperadas,

com pouco ramos plagiotrópicos, baixa altura em relação as demais e folhas amarelas com diagnose visual bem definida de deficiência de N.

As leituras do N-Tester® foram influenciadas ($p \leq 0,05$) pelo efeito isolado de doses e fontes de N e não houve significância ($p \leq 0,05$) para a interação entre esses fatores. Nas quatro safras, nitrato de amônio, a ureia + NBPT e a ureia promoveram os maiores valores de leitura do N-Tester® em relação ao controle (Tabela 7).

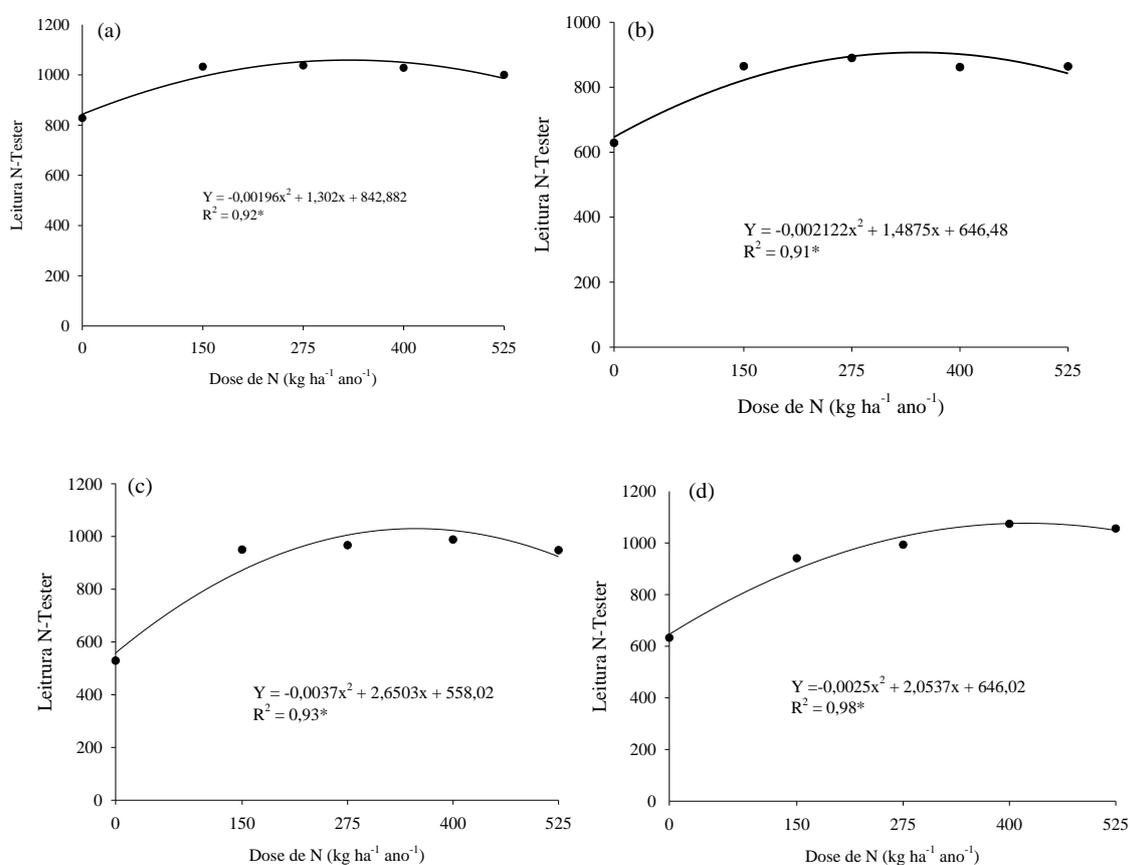
Tabela 7 - Leituras com o aparelho N-Tester® em função das fontes de N, aplicados no cafeeiro nas safras 15/16/, 16/17, 17/18 e 18/19.

Tratamentos	Safra 15/16	Safra 16/17	Safra 17/18	Safra 18/19
	Leituras			
Nitrato de amônio	1002a	823a	871a	957a
Ureia	966a	815a	881a	916a
Ureia + NBPT	987a	826a	877a	944a
Controle	828b	628b	529b	632b
Média	946	773	789	862
CV (%)	6,9	4,4	3,2	5,6

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).
Fonte: Do autor (2019).

Para todas as safras a ajuste foi quadrático. Em 15/16, 16/17, 17/18, 18/19 as doses que apresentaram maiores valores de leitura N-Tester® foram 332, 351, 358 e 411 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ com leitura de 1060; 907; 1033 e 1068 respectivamente (Figura 15).

Figura 15 - Leituras do N-Tester® determinadas em janeiro de cada safra, em função das doses de N, aplicados no cafeeiro nas safras 15/16 (a), 16/17 (b), 17/18 (c) e 18/19(d).



Fonte: Do autor (2019).

Os valores de leitura encontrados com o aparelho N-Tester® variaram muito entre as safras. No ano em que as leituras foram baixas com diferenças significativas, como no caso do controle na safra 15/16, para o próximo ano 16/17, mesmo os demais tratamentos apresentarem leituras próximas ao controle da safra passada, as plantas apresentavam folhas verdes, bem desenvolvidas, sem deficiências de N visual.

Os resultados encontrados nas leituras com o aparelho N-Tester® apresentaram boa correlação com os resultados de da análise de N foliar, apenas o controle apresentou teores e leituras menores comparado aos tratamentos que receberam fornecimento de N.

Para os teores de N nos grãos de café provindos da colheita, na safra 15/16, os maiores teores ocorreram com a aplicação do nitrato de amônio (25,3 g kg⁻¹), ureia (24,9 g kg⁻¹) e ureia + NBPT (25,0 g kg⁻¹) e o menor teor para controle (22,0 g kg⁻¹), sem aplicação de N (Tabela 8). Em 16/17 os maiores teores de N nos grãos da colheita total ocorreram com a aplicação o nitrato de amônio (24,5 g kg⁻¹), ureia (25,1 g kg⁻¹) e ureia +

NBPT ($24,9 \text{ g kg}^{-1}$) e o menor teor para controle ($18,9 \text{ g kg}^{-1}$), sem aplicação de N (Tabela 8). Em 17/18 os maiores teores de N nos grãos da colheita total ocorreram com a aplicação o nitrato de amônio ($22,8 \text{ g kg}^{-1}$), ureia ($23,1 \text{ g kg}^{-1}$) e ureia + NBPT ($22,8 \text{ g kg}^{-1}$) e o menor teor para controle ($14,4 \text{ g kg}^{-1}$), sem aplicação de N (Tabela 8).

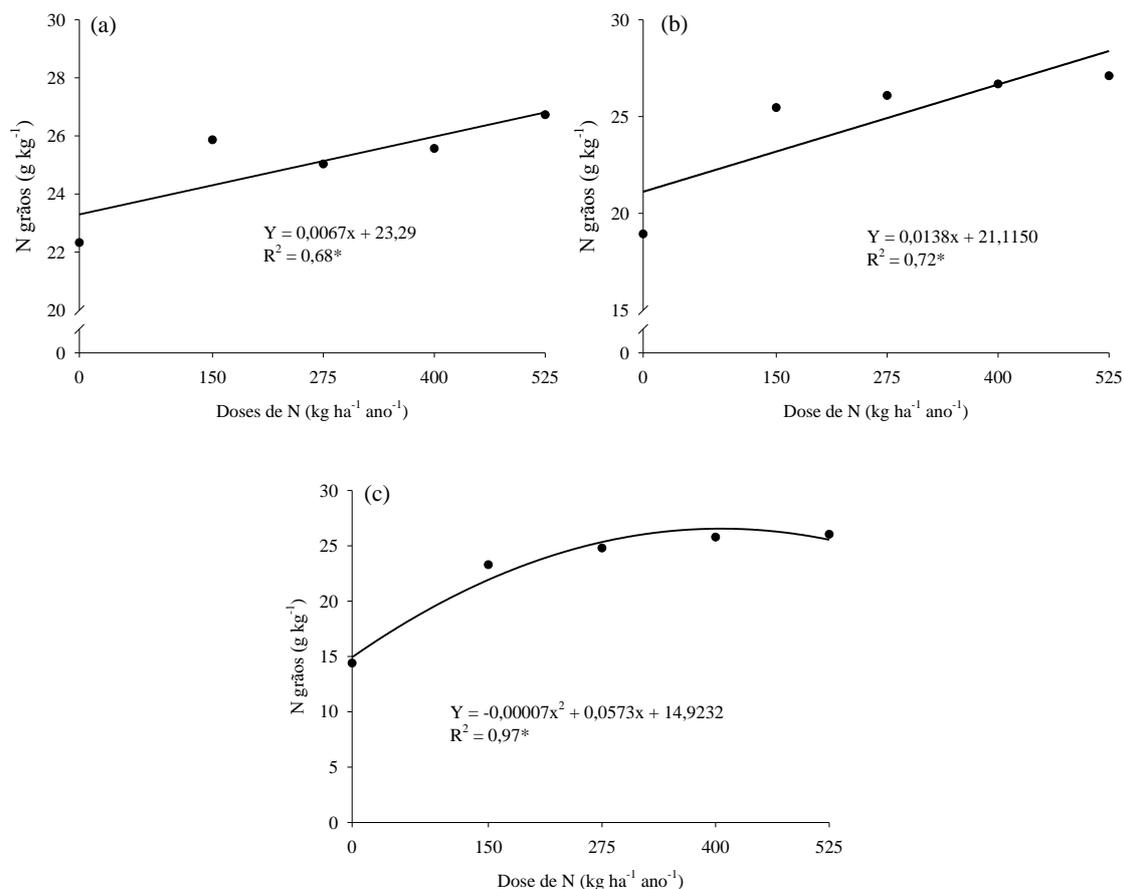
Tabela 8 – Teores de N nos grãos de cafés em função das fontes de N, aplicados no cafeeiro nas safras 15/16/, 16/17, 17/18.

Tratamentos	Safra 15/16	Safra 16/17	Safra 17/18
	N (g kg^{-1})		
Nitrato de amônio	25a	25a	23a
Ureia	25a	25a	22a
Ureia + NBPT	25a	25a	23a
Controle	22b	19b	17b
Média	24	23	21
CV (%)	5,7	5,9	3,4

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).
Fonte: Do autor (2019).

Para o efeito das doses isoladamente, nas safras de 15/16 e 16/17, os teores de N nos grãos aumentaram linearmente com o aumento das doses de N, chegando a atingir $26,7$ e $28,4 \text{ g kg}^{-1}$ na dose de $525 \text{ kg de N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ respectivamente. Já para 17/18, o aumento do teor de N nos grãos da colheita total apresentou aumento quadrático com o aumento das doses de N, chegando a atingir $26,6 \text{ g kg}^{-1}$ na dose de $409 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Figura 16).

Figura 16 - Teores de N nos grãos de café em função das doses de N, aplicados no cafeeiro nas safras 15/16 (a), 16/17 (b) e 17/18 (c).



Fonte: Do autor (2019).

3.3 Produtividade, rendimento, renda e eficiência agrônômica (EA)

A produtividade de grãos do cafeeiro foi influenciada ($p \leq 0,05$) pelo efeito isolado de doses e fontes para as safras 16/17, 17/18 e 18/19 e pela interação entre esses fatores para a safra 15/16. As doses que proporcionaram maior produtividade no ano agrícola de 15/16 foram: nitrato de amônio (318 kg ha^{-1} de N = $49,6 \text{ sacas ha}^{-1}$), ureia (283 kg ha^{-1} de N = $50,8 \text{ sacas ha}^{-1}$) e ureia + NBPT (141 kg ha^{-1} de N = $42,4 \text{ sacas ha}^{-1}$) (Figura 17a).

A produtividade de grãos do cafeeiro na safra de 16/17 para o efeito isolado de fontes não houve diferença ($p \leq 0,05$) entre o nitrato de amônio ($61,2 \text{ sacas ha}^{-1}$), ureia ($55,9 \text{ sacas ha}^{-1}$) e ureia + NBPT ($54,9 \text{ sacas ha}^{-1}$), o controle apresentou a menor produtividade ($23,5 \text{ sacas ha}^{-1}$), (Tabela 9).

Para a produtividade no ano de 17/18, apenas o controle, sem adubação nitrogenada apresentou menor produtividade (10,2 sacas ha⁻¹) já os demais tratamentos não apresentaram diferença significativa, com média de 30,7 sacas ha⁻¹ (Tabela 9).

Após quatro anos de condução de experimento, na safra 18/19, o nitrato de amônio, juntamente com a ureia + NBPT apresentaram maiores produtividades com 37,6 e 34,8 sacas ha⁻¹ respectivamente, seguida da ureia com 34,8 sacas ha⁻¹ e por fim com menor produtividade, o controle, com 9,3 sacas ha⁻¹ (Tabela 9).

Por fim, quando é realizada a média de produtividade de quatro anos e a produtividade total após quatro anos, as fontes não diferenciaram entre si. O controle continua com menor produtividade média (20,7 sacas ha⁻¹) e menor produtividade após quatro anos (82,7 sacas ha⁻¹) (Tabela 9).

Tabela 9 – Produtividade em cada safra 15/16, 16/17, 17/18, 18/19, média de quatro anos e produtividade total após quatro anos, em função das fontes de N, aplicados no cafeeiro.

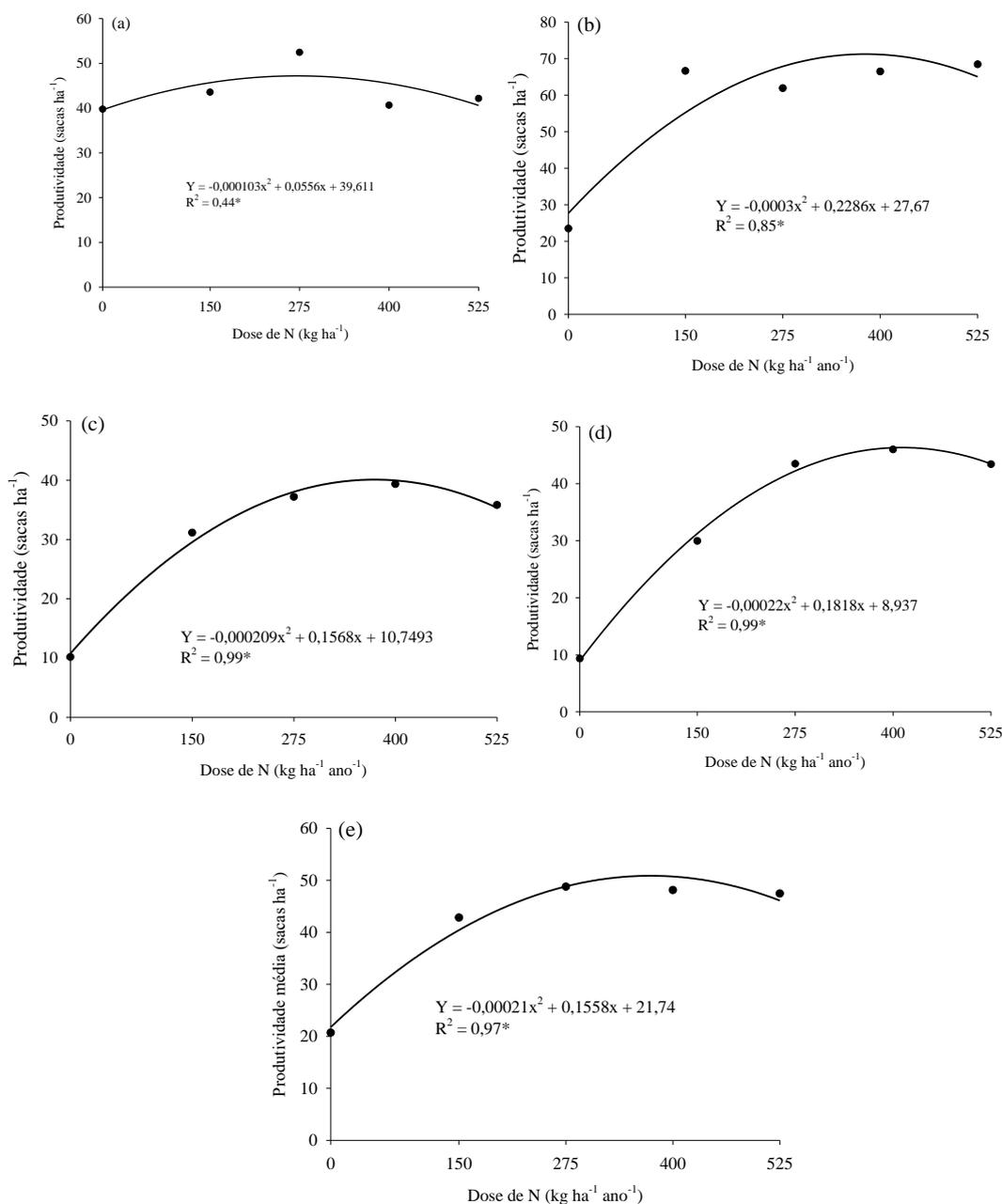
Tratamentos	Safra 15/16	Safra 16/17	Safra 17/18	Safra 18/19	Média	Total
	sacas ha ⁻¹					
Nitrato de amônio	46,0a	61,3a	30,3a	37,55a	43,8a	175,1a
Ureia	45,2a	55,9a	31,1a	30,96b	40,8a	163,2a
Ureia + NBPT	40,0b	54,9a	30,7a	34,82a	40,1a	160,5a
Controle	39,8b	23,5b	10,2b	9,32c	20,7b	82,7b
Média	43	49	26	28	36	145,38
CV (%)	14,1	19,6	28,7	15,66	11,46	11,46

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).
Fonte: Do autor (2019).

Na a safra 16/17, a dose que promoveu maior produtividade foi de 381 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ de N com produtividade média de 71,2 sacas ha⁻¹ (Figura 17b). Em 17/18, a dose que promoveu maior produtividade foi 375 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ com produtividade média de 40,2 sacas ha⁻¹ (Figura 17c). Já no ano de 18/19 a dose que proporcionou maior produtividade aumentou 413 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ com produtividade média de 46,5 sacas ha⁻¹ (Figura 17d).

Para a produtividade média dos quatro anos de safra 15/16, 16/17, 17/18 e 18/19, a dose que promoveu maior produtividade foi de 371 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ com produtividade média de 50,6 sacas ha⁻¹ (Figura 17e).

Figura 17 - Produtividade de café em função das doses de N aplicadas no cafeeiro para a safra 15/16 (a) 16/17 (b), 17/18 (c) 18/19 (d) e média de quatro anos (e).



Fonte: Do autor (2019).

A aplicação de fontes de N (nitrato e ureia comum) na dose de 450 de N kg ha⁻¹ ano⁻¹ em cafeeiro irrigado, resultou em menor produtividade no segundo ano para o controle (28,5 sacas ha⁻¹) e para a ureia (36,9 sacas ha⁻¹) em relação ao nitrato de amônio (48,5 sacas ha⁻¹) (CHAGAS, 2017). Nesse trabalho os autores relatam menores produtividades devido as maiores perdas por volatilização de NH₃ avaliadas em seu trabalho com perdas de 82,1 e 1,8 kg de N ha⁻¹ para a ureia e nitrato de amônio respectivamente. Chagas et al., (2016), relata não ter encontrado diferenças significativas

de produtividade no primeiro ano de avaliação, já na média de dois anos, o nitrato de amônio apresentaram maior produtividade (65,8 sacas ha^{-1}) comparada a ureia (58,3 sacas ha^{-1}) e ao controle (52,8 sacas ha^{-1}).

Já Freitas, (2017) aplicou 300 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, parcelados em três vezes, com o uso do nitrato de amônio, ureia comum e ureia + NBPT em área de sequeiro, encontrou menor produtividade para o nitrato de amônio (33,4 sacas ha^{-1}), em relação a ureia comum (37,3 sacas ha^{-1}) e ureia + NBPT (43,6 sacas ha^{-1}). A ureia comum e a ureia + NBPT apresentaram perdas de NH_3 ao final dos três parcelamentos de N de 69 e 36 kg de N ha^{-1} , respectivamente, enquanto para o nitrato de amônio as perdas foram apenas 0,54 kg de N ha^{-1} .

Em outro trabalho, Bartelega, (2018) realizou trabalho com nitrato de amônio, ureia comum e ureia + NBPT na dose de 300 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, parcelados em três vezes em área de sequeiro, encontrou menor produtividade para o nitrato de amônio (46,8 sacas ha^{-1}), em relação a ureia (64,3 sacas ha^{-1}) e ureia + NBPT (66,8 sacas ha^{-1}) mesmo a ureia e a ureia + NBPT apresentando ao final dos três parcelamentos de N perdas de NH_3 de 77 e 50 kg de N ha^{-1} respectivamente, enquanto o nitrato de amônio apenas 1,8 kg de N ha^{-1} .

É importante realizar os cálculos dos custos de produção referente ao fertilizante a ser adquirido, pois as perdas de N provindas da volatilização de NH_3 podem ser expressivas e apresentarem menores produtividades já no primeiro ano de avaliação ou nos demais. Isso dependerá das condições de manejo, das condições edafoclimáticas e da fonte de N a ser adquirida. Essas perdas de N nem sempre estão diretamente ligadas ao maior custo de produção e menor retorno econômico, isso dependerá do quanto foi perdido por volatilização, o quanto a cultura produziu menos devido essas perdas e o quanto está sendo pago pelo kg de N referente uma determinada fonte. Ao final deste trabalho foi realizado o custo de produção simples baseado apenas na produtividade média de quatro anos e nos preços da tonelada do nitrato de amônio, ureia comum e ureia + NBPT na data descrita (APENDICE A),

No primeiro ano de colheita, da safra 15/16, os valores acumulados de N nos grãos não apresentaram diferenças significativas entre si, inclusive o controle, com média de 63,3 kg de N ha^{-1} . Para as demais safras, 16/17 e 17/18, somente o controle acumulou menos N, com 27 e 4 de kg de N ha^{-1} apenas. Estes valores são considerados baixos quando se deseja produzir mais de 40 sacas ha^{-1} . Na safra 16/17 os acúmulos de N foram os maiores nos três anos de avaliação, devido a carga mais alta na produtividade nesse

ano agrícola, com média de 88 kg de N ha⁻¹ quando analisado apenas as fontes. Já em 17/18, os valores acumulados foram os menores desde o início das avaliações, devido ao fato de ser o ano de baixa produtividade. Nesta safra de 17/18 o valor médio encontrado foi de 44 kg de N ha⁻¹, exatamente metade do encontrado na safra anterior (Tabela 10).

Para obtenção da produtividade de 1 saca de 60 kg de grãos, na safra 15/16 foram extraídos, 1,1; 1,0; 1,3 e 0,9 kg de N, na safra 16/17, em que produtividade foi maior, foram extraídos 1,5; 1,6; 1,6 e 1,1 kg de N e por fim na safra 17/18 foram extraídos 1,4; 1,4; 1,5 e 0,4 kg de N provindos do nitrato de amônio, ureia, ureia + NBPT e o controle respectivamente.

Tabela 10 – Acúmulo de N (kg ha⁻¹), nos grãos de café nas safras 15/16, 16/17 e 17/18.

Tratamentos	Safra 15/16	Safra 16/17	Safra 17/18
	N (kg ha ⁻¹)		
Nitrato de amônio	65a	93a	43a
Ureia	58a	87a	42a
Ureia + NBPT	74a	85a	47a
Controle	56a	27b	4b
Média	63	73	34
CV (%)	25,1	21,5	25,1

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).
Fonte: Do autor (2019).

O rendimento do café nas três safras de 15/16, 16/17 e 17/18 foi maior apenas no controle, enquanto que para as fontes não houve diferença significativa ($p \leq 0,05$). Na safra 18/19, entretanto o controle apresentou menor rendimento (Tabela 11).

Tabela 11 – Rendimento do café em função das fontes de N aplicados no cafeeiro.

Tratamentos	Safra 15/16	Safra 16/17	Safra 17/18	Safra 18/19
	Litros café colhidos saca 60 kg ⁻¹			
Nitrato de amônio	361a	400a	373a	451,9b
Ureia	358a	398a	378a	458,9b
Ureia + NBPT	368a	401a	369a	453,0b
Controle	341b	339b	327b	502,5a
Média	357	384	362	467
CV (%)	4,6	5,3	6,7	10,53

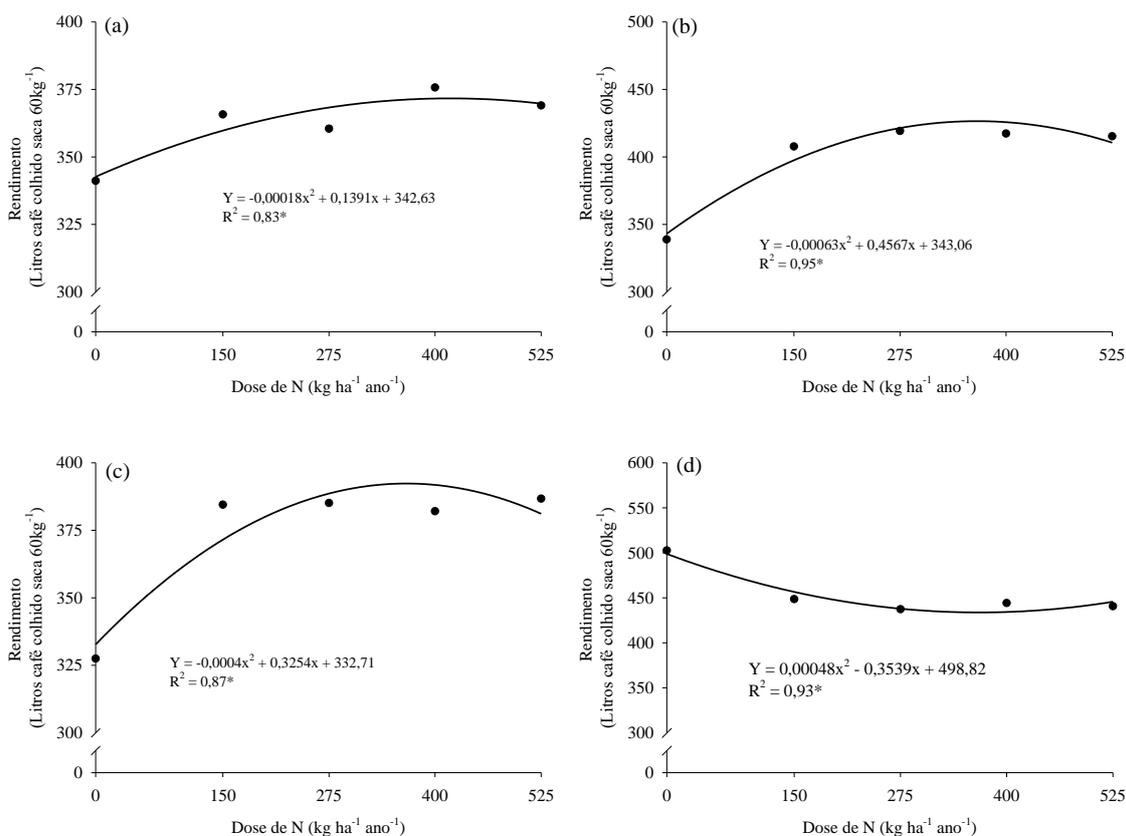
Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).
Fonte: Do autor (2019).

Para o efeito isolado das doses de N nas safras 15/16, 16/17, 17/18, as doses que obtiveram menores rendimentos foram de 386; 362; 406 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, com 370; 362

e 406 litros de café colhido para produção de uma saca de 60kg (Figura 18a, b, c, respectivamente). Já para a safra 18/19, a dose de 369 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ obteve o maior rendimento (Figura 18d).

Nos três primeiros anos, o café foi colhido no estágio de maturação mais maduro, e com média de 53% de grãos cereja. Entretanto na última safra de 18/19, a média caiu para 7%, pois o café foi colhido mais seco e se apresentou com mais de 40% de grãos secos. O fato do café do tratamento controle se apresentar bem mais seco em relação aos demais, ajudar a explicar o fato de nos três primeiros anos ter se gastado menos litros de café colhidos em diferentes estágios de maturação pra produzir uma saca de 60kg. Na safra 18/19 no momento da colheita, o café apresentou em torno de 7% de cafés cereja, 20% de cafés verdes e os demais em estágio passa e seco. O fato do café estar com alta porcentagem de grãos verdes apenas com o uso das fontes de N e baixo para o controle pode explicar a maior quantidade de litros de café para produzir uma saca de 60 kg (Tabela 11).

Figura 18 – Rendimento do café em função das doses de N para as safras 15/16 (a) 16/17 (b), 17/18 (c) e 18/19 (d).



Fonte: Do autor (2019).

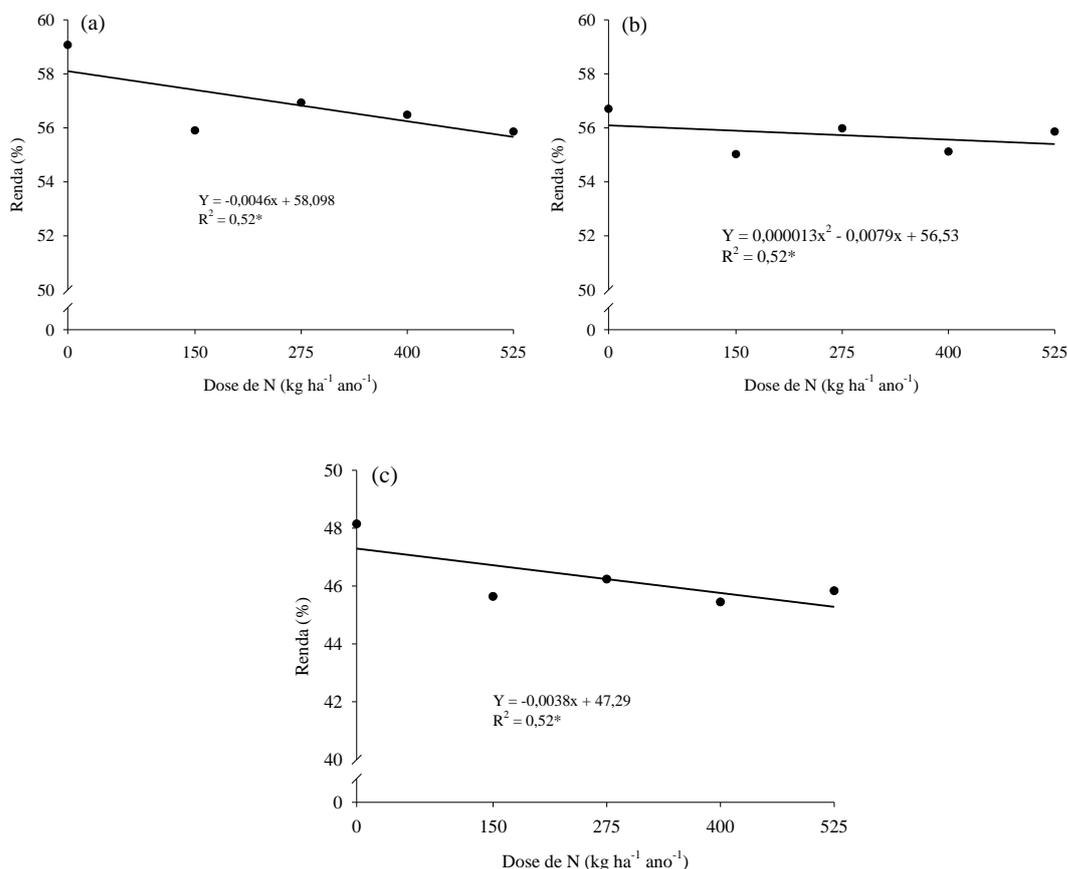
A renda diz respeito a porcentagem de massa do grão em relação ao pericarpo (casca). Apenas as doses isoladamente influenciaram ($p \leq 0,05$) a renda, sendo que com o aumento das doses, a renda apresentou leve decréscimo linear nas safras 15/16 e 17/18 e efeito quadrático para a safra 16/17 (Figura 19). Para a safra 18/19 não houve efeito significativo da fonte e dose isoladamente nem interação entre esses fatores.

Os maiores valores de renda nas safras 15/16, 16/17/ e 17/18, foram encontrados nas doses de 0 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ com 58,1; 56,5 e 47,3% e os menores valores para a dose de 525 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ com 56,0, 55,9 e 45,2% respectivamente.

Esta baixa variação nos valores encontrados de renda entre a dose mínima e máxima nesses três anos de safras não influenciaram de maneira significativa a produtividade, pois com o aumento das doses de N até entre 375 e 413 nos quatro anos de safras a produtividade se apresentou maior.

Segundo Matiello et al. (2010), para a variedade de cafés arábica a renda normal, em peso é de 2:1 (coco seco: grãos beneficiados). Em todas as safras a renda apresentou relação bem próxima, de 1,7; 2,0 e 2,1 respectivamente em 15/16, 16/17 e 17/18.

Figura 19 - Renda do café em função das doses de N para as safras 15/16 (a), 16/17 (b) e 17/18 (c).



Fonte: Do autor (2019).

A eficiência agrônômica (EA) foi significativa ($p \leq 0,05$) pelo efeito isolado de doses e fontes para as safras 15/16 e 16/17 e pela interação entre esses fatores para a safra 17/18 e 18/19 (Figura 20).

Para a safra 15/16 e 16/17 a dose que promoveu a maior produtividade de grãos por kg de N aplicado foi 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ com 17,3 e 26,1 (kg grãos kg N⁻¹) respectivamente. Com o aumento das doses a EA decresceu chegando a 4,6 (kg grãos kg N⁻¹) na dose de 525 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ e de 8,8 (kg grãos kg N⁻¹) na dose de 461 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 23a e Figura 20b).

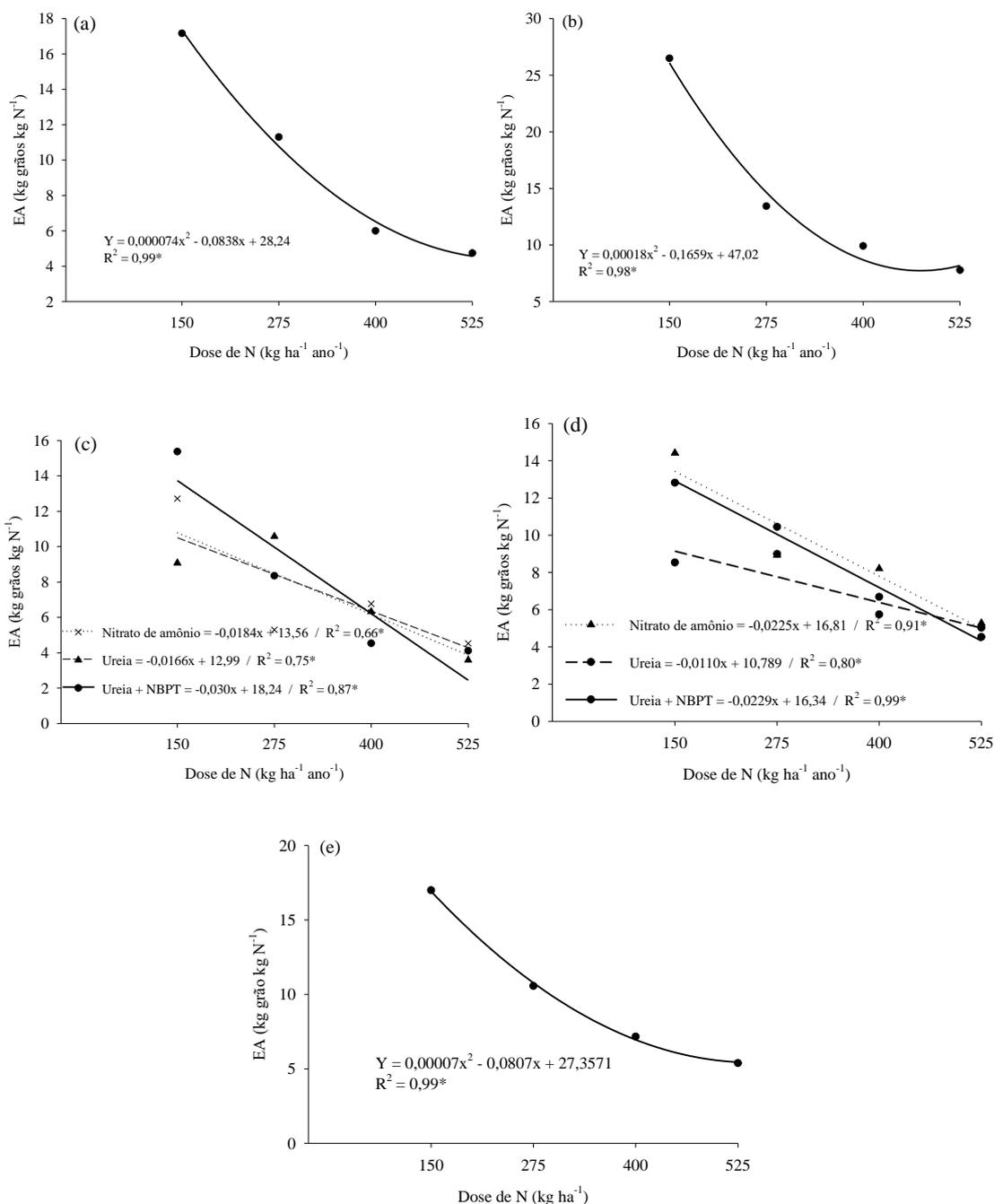
Em 17/18 houve interação entre os fatores fontes e doses com comportamento linear negativo em relação ao aumento das doses de N. O nitrato de amônio e a ureia

comum apresentaram menores valores de kg de grãos produzidos por kg de N aplicado em relação a ureia + NBPT na dose de 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, com 10,8 e 10,5 (kg grãos kg N⁻¹) para a nitrato de amônio e ureia comum e de 13,7 (kg grãos kg N⁻¹) para a ureia + NBPT. Entretanto na dose de 525 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ o inverso acontece, onde os maiores valores em kg de grãos produzidos por kg de N aplicado foram para o nitrato de amônio e ureia comum, de 3,9 e 4,3 kg grãos por kg N e de 2,5 kg de grãos por kg de N para a ureia + NBPT (Figura 20c).

Na safra de 18/19, as plantas tratadas com nitrato de amônio apresentaram os maiores valores renda em relação as demais fontes de N de forma linear e decrescente, com 13,4 e 4,9 kg de grãos por kg de N respectivamente. Logo abaixo a linha do nitrato de amônio praticamente paralela a ureia + NBPT, também de forma linear e decrescente da dose 150 até a dose 525 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, com 12,9 e 4,21 kg de grãos por kg de N respectivamente. Por fim a ureia comum que se apresentou com valores de EA mais baixos na dose de 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (9,1 kg grãos kg N⁻¹) e decresceu linearmente até a dose de 525 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ com 5,0 kg grãos por kg de N (Figura 20d).

Por fim, quando se analisa a média no final dos quatro anos a dose 525 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ apresentou menor produtividade de grãos por kg de N aplicado (4,3), independente da fonte utilizada (Figura 20e).

Figura 20 – Eficiência Agronômica (EA) do café em função das doses de N para as safras 15/16 (a); 16/17 (b); 17/18 (c); 18/19 (d) e média dos quatro anos (e).



Fonte: Do autor (2019).

Valores menores foram encontrados por Chagas, (2017) trabalhando com nitrato de amônio e ureia em dose única de 300 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ encontrou EA de 1,7 kg de grãos por kg N para o nitrato de amônio e de 0,7 para a ureia comum.

O uso de menores doses de N pode possibilitar maior eficiência agrônômica (EA), quando comparado a aplicações de maiores doses (DOBERMANN, 2007).

4 CONCLUSÕES

As perdas por volatilização de N foram maiores com o uso da ureia, proporcionais as doses de N aplicadas, em todos os anos de avaliação. As menores perdas por volatilização de N foi com o uso do nitrato de amônio.

No quarto ano, a produtividade seguiu a seguinte ordem decrescente nitrato de amônio = ureia + NBPT > ureia comum > controle.

Após quatro anos de adubação, o nitrato de amônio, ureia e ureia + NBPT não apresentaram diferenças significativas na produtividade média e na produtividade total acumulada, já o controle apresentou-se menor.

Com o aumento das doses de N, houve menor eficiência agronômica, independente da fonte de N aplicada.

REFERÊNCIAS

- BARTELEGA, L. **Fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação lenta, controlada e blends para o cafeeiro**. 2018. 68 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.
- BYRNES, B.H & FRENEY, J. R. Recent developments on the use of urease inhibitors in the tropics. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 42, p. 251-259, 1995.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.
- CANTARELLA, H. et al . Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugar cane trash blankets. **Scientia Agricola**, v. 65, p. 397-401, 2008.
- CHAGAS, W. F. T. et al. Ammonia volatilization from blends with stabilized and controlled-released urea in the coffee system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 5, p. 497-509, 2016.
- CHAGAS, W. F. T. **Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta, controlada e Blends aplicados no cafeeiro**. 2017. 139p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, 2017
- GUIMARÃES P. T. G. et al. Cafeeiro. P. 289-302. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para o uso de fertilizantes e corretivos**. Viçosa, MG, 1999. 359p.
- CREASON, G.L. SCHMITT M. R.; HENDRICKSON, L. L. Urease inhibitory associated with N-(nbutyl) thiophosphoric triamide is due to formation of its oxon analog. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.22, n.2, p.209-211, 1990.
- DOBERMANN, A. Nutrient use efficiency: measurement and management. **Fertilizer best management practices**. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2007. p. 1-28.
- DOMINGHETTI, A. W. et al. Nitrogen loss by volatilization of nitrogen fertilizers applied to coffee orchard. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 2, p. 173-183, 2016.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.
- FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.2, p.6-16, 1998.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.
- FREITAS, T. **Fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação lenta ou controlada na cultura do cafeeiro: eficiência e custos**. 2017. 96 p.

Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

GABRIELSON, K. D.; LILBURN, WERTZ, S. L.; DOPICO, C., P. G.; BOBECK, C. D. Liquid compositions containing urease inhibitors and glycol alkyl ethers and methods of making a use thereof. **US Pat.** 2014/0047883 A1, 2014.

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

LARA CABEZAS et al. Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 30, p. 389- 406, 1999.

MATIELLO, J. B. **Cultura de café no Brasil**: Manual de recomendações. Varginha: Fundação Procafé, 2010. p. 556.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Café no Brasil**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>>. Acesso em 22 maio 2019.

OMILINSKY, B. A.; LINDSAY, A. D.; SUTTON, A. R.; THORNSBERRY, Jr. W. L. Formulation for fertilizer additive concentrate. **US Pat** 5,698,003, 1997.

PHONGPAN, S. et al. Use of phenyl phosphoro diamidate and N-(n-butyl) thiophosphoric triamide to reduce ammonia loss and increase grain yield following application of urea to flooded rice. **Fertilizer Research**, The Hague, v.41, p.59-66, 1995.

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

SOUZA, T. L. de et al. Ammonia and carbon dioxide emissions by stabilized conventional nitrogen fertilizers and controlled release in corn crop. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 41, n. 5, p. 494-510, set./out. 2017.

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

SUTTON, A. R & THORNSBERRY. Additive containing N-(N-Butyl) thiophosphoric triamide for urea-based fertilizer. **US Pat** 8,425,649 B2, 2013.

WATSON, C. J.; AKHONZADA, N. A.; HAMILTON, J. T. G.; MATTHEWS, D. I. Rate and mode of application of the urease inhibitor N-(N-Butyl) thiophosphoric triamide on ammonia volatilization from surface-applied urea. **Soil Use and Management**, v.24, p.246-253, 2008.

WHITEHURST, G. B. & WHITEHURST, B. M.. NBPT solution for preparing urease inhibited urea fertilizers prepared from n-alkyl; n, n-alkyl; and N-alkyl-N-alkoxy amino alcohol. US **Pat.** 2014/0037570 A1, 2014.

ARTIGO 2 - MOBILIDADE E ESTOQUES DE NITROGÊNIO NO PERFIL DO SOLO EM LAVOURA CAFEIEIRA

Artigo redigido conforme a NBR 6022 (ABNT, 2003) e formatado de acordo com o Manual da UFLA de apresentação de teses e dissertações.

RESUMO

A alta demanda de nitrogênio (N) pela cultura do cafeeiro faz com que se busque melhorar a recomendação e fornecimento do N, buscar a melhor fonte para que as perdas para o sistema sejam menores e o aproveitamento pela cultura aumente e responda em melhor produtividade e qualidade do produto final colhido. Objetivou-se com esse trabalho determinar a distribuição em profundidade no solo, do N-mineral (NH_4^+ e NO_3^-), N-total (mineral + orgânico), estoques de N e teor de N foliar e nos grãos, após o segundo parcelamento de N e avaliar o efeito na produtividade do cafeeiro em dois anos de safra. O experimento foi conduzido em Santo Antônio do Amparo, MG. Foram utilizadas três fontes de N (ureia convencional, ureia + NBPT e nitrato de amônio), 4 doses de nitrogênio: 150; 275; 400 e 525 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, e o tratamento controle, sem adubação nitrogenada. Independente da fonte utilizada, quando se tem o aumento nas doses de nitrogênio, maiores são os teores de amônio e nitrato encontrados. As concentrações de nitrato no solo são maiores que de amônio a partir da profundidade de 40 cm, onde já não se tem tantas raízes efetivas em absorver nutrientes. Os estoques de N-total diminuíram com o passar dos anos em todas as camadas avaliadas. A produtividade está altamente correlacionada com os estoques de N-total na dose de 400 kg ha^{-1} nitrogênio nas análises multivariadas.

Palavras-chave: Amônio. Nitrato. Lixiviação. N-total

NITROGEN MOBILITY AND STOCK IN THE SOIL PROFILE IN COFFEE MILL

SUMMARY

The high demand for nitrogen (N) from the coffee crop makes it necessary to improve the recommendation and supply of N, to look for the best source so that the losses to the system are lower and the crop yield increases and responds in better yield and yield. quality of the final product harvested. The objective of this work was to determine the depth distribution in soil of N-mineral (NH_4^+ and NO_3^-), total N (mineral + organic), N stocks and leaf and grain N content after the second installment. N and evaluate the effect on coffee yield for two years of harvest. The experiment was conducted in Santo Antônio do Amparo, MG. Three sources of N were used (conventional urea, urea + NBPT and ammonium nitrate), 4 nitrogen doses: 150; 275; 400 and 525 kg of N ha^{-1} year $^{-1}$, and the control treatment without nitrogen fertilization. Regardless of the source used, when there is an increase in nitrogen doses, the higher the ammonium and nitrate levels found. Nitrate concentrations in soil are higher than ammonium from 40 cm depth, where there are not so many effective roots to absorb nutrients. N-total stocks have decreased over the years in all tiers evaluated. Yield is highly correlated with N-total stocks at 400 kg ha^{-1} nitrogen in multivariate analyzes.

Keywords: Ammonium. Nitrate. Leaching. N-total.

1 INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é aplicado na cultura do cafeeiro em altas doses para obtenção de altas produtividades, entretanto suas perdas por volatilização e lixiviação podem ser altas, quando aplicadas na superfície do solo. As perdas de N para o sistema podem variar em função de muitos fatores, entre alguns, o manejo, tipo de solo, condições climáticas, a fonte e a dose de N utilizada.

O tipo de solo pode ter grande influência na magnitude do processo de lixiviação de N, principalmente de nitrato (NO_3^-), forma mineral de nitrogênio predominante nos solos sem restrição de oxigênio (SANGOE, et al. 2003). Devido ao predomínio de cargas negativas na camada arável, a sua adsorção eletrostática é insignificante. Desta forma, o nitrato permanece na solução do solo, que pode favorecer sua lixiviação no perfil para profundidades inexploradas pelas raízes (CERETTA & FRIES, 1997). Quando o NO_3^- presente na solução do solo não é absorvido pelas plantas ou imobilizado pelos microrganismos do solo, pode ser facilmente lixiviado, pois apresenta carga negativa e não é adsorvido aos colóides do solo que apresentam predominantemente cargas negativas (Primavesi, et al. 2006).

Solos argilosos possuem maior capacidade de retenção de nitrogênio, principalmente na forma de amônio (NH_4^+), comparado aos solos arenosos (SANGOE, et al. 2003). Os solos das regiões cafeeiras do Sul de Minas Gerais, são na sua maioria 70% constituídos de Latossolos (BERNARDES, et al. 2012) e apresentam textura variando de média à argilosa. Entretanto o manejo (número de parcelamentos e formas de aplicação) e as fonte de N (ureia, sulfato de amônio, nitrato de amônio e fórmulas), utilizadas pelos agricultores são muito variadas.

Com a estratégia de minimizar as perdas de N por volatilização da amônia (NH_3) e lixiviação do N-NO_3^- foram adicionadas tecnologias na ureia a fim de se obter um fertilizante de eficiência aumentada com classes de tecnologias diferentes. Uma delas é a dos fertilizantes estabilizados que consiste em adicionar aditivos para aumentar o tempo de disponibilidade no solo como os inibidores de urease e inibidores de nitrificação (CANTARELLA, 2007). Com o uso do inibidor de urease NBPT (N-butiltiofosfóricotriamida), as perdas de N-NH_3 podem ser reduzidas em relação ao uso da ureia convencional (SOUZA et al. 2017; CANTARELLA 2008). As menores perdas de N-NH_3 com o uso do inibidor de urease poderão adicionar mais N ao solo e este N poderá

ser absorvido pela planta de cafeeiro ou ser perdido por lixiviação devido as formas do N no solo.

Diante o exposto, objetivou-se com esse trabalho determinar a distribuição em profundidade no solo, do N-mineral (NH_4^+ e NO_3^-), N-total (mineral + orgânico), estoques de N e teor de N foliar e nos grãos, após o segundo parcelamento de N e avaliar o efeito na produtividade do cafeeiro em dois anos de safra.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na fazenda de café comercial (Lagoa Coffee Plantation - grupo NKG - fazendas brasileiras), no município de Santo Antônio do Amparo, MG, Brasil. A área central do experimento se situa nas coordenadas geográficas: 20°53'26,04"S e 44°52'04,14"W e altitude média de 1,100 m. O clima da região é do tipo Cwa, clima tropical úmido com inverno seco e verão temperado, segundo classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 19,6 °C com precipitação média de 1.493mm. A lavoura de cafeeiro pertence à espécie *Coffea arabica* L., cultivar Catuaí-IAC99 e foi plantada no ano de 2012 no espaçamento de 3,40 x 0,60 m, em Latossolo Vermelho, relevo plano (EMBRAPA, 2013). O delineado foi em blocos casualizados com esquema fatorial 3 x 4 + 1, com 4 repetições: 3 fontes de N (ureia comum (granulada), ureia + NBPT (n-butil tiosfosfórico triamida) e nitrato de amônio) e 4 doses de nitrogênio: 150; 275; 400 e 525 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, e o tratamento controle, sem adubação nitrogenada. As parcelas experimentais constituintes de cada bloco foram compostas por 16 plantas, sendo úteis as 10 plantas centrais. Os blocos foram dispostos em uma linha. Foi deixada uma linha de bordadura entre blocos.

As doses de nitrogênio foram aplicadas em três parcelamentos em cada de safra. O primeiro parcelamento foi realizado no início do mês de novembro, as outras duas restantes foram aplicadas em intervalos de 40 a 50 dias após a última adubação. Os fertilizantes utilizados nos tratamentos no fornecimento de N e os demais superfosfato triplo (ST) e cloreto de potássio (KCl)), foram aplicados sobre o solo na projeção dos ramos plagiotrópicos da planta de cafeeiro. O fornecimento KCl, ST e micronutrientes foram fornecidos na mesma dose para todos os tratamentos. O ST não foi parcelado, o KCl parcelado em três vezes e os micronutrientes foram aplicados separadamente no solo quando necessário, segundo análise de solo.

Foi realizada uma coleta de solo para caracterização geral na área do experimento e determinação dos teores de N-total, antes do início das adubações com N e as demais fontes de nutrientes, em outubro de 2015. Em agosto 2016 foi determinado os teores NH₄⁺ e NO₃⁻ na área do experimento sem distinção dos tratamentos. Após 24 e 30 dias do segundo parcelamento, no ano de 2017 e 2018 respectivamente foi realizada a coleta de solo em todas as parcelas para determinação de NH₄⁺ e NO₃⁻.

Os teores de NH₄⁺ e NO₃⁻ foram determinados segundo a metodologia proposta pela EMBRAPA, (2017). Para a determinação foram coletadas 10g de solo nas

profundidades de 0-5; 6-10; 11-20; 21-40; 41-60 cm. A amostragem do solo foi feita com utilização do trado holandês na da projeção de copa do cafeeiro, coletando-se dos dois lados da planta. Para cada lado da planta foi amostrado em triplicata nas profundidades 0-5, 6-10 e 11-20 cm e apenas uma amostra nas profundidades de 21-40 e 41-60 cm. Em janeiro 2017, após coletados os dois lados, juntaram-se as amostras simples de cada lado nas devidas repetições e foram formadas três amostras compostas nas nas três primeiras profundidades e apenas uma amostra nas profundidades de 21-40 e 41-60 cm. Em janeiro 2018 repetiu-se essa amostragem. Após coletadas as amostras compostas, estas foram condicionadas em frascos de polietileno contendo 100 mL de solução de cloreto de potássio (KCl) a 1 mol L^{-1} . As amostras foram levadas para o laboratório e determinados os teores de NH_4^+ e NO_3^- pelo método volumétrico, com utilização da solução de HCl à 0,07143N para titulação.

Para a determinação do N-total, foram utilizadas a amostras da mesma coleta de solo retiradas para determinação de NH_4^+ e NO_3^- . Após coletadas as amostras foram secas em estufa à 105°C até peso constante, passadas na peneira de 100 mesh. Após peneirado foi pesado 1g de solo e colocado no tubo para digestão, destilação e titulação segundo o método Kjeldahl.

Em abril de 2018 foram coletadas amostras indeformadas de solo com anel volumétrico de volume determinado, para calcular a densidade do solo na respectiva camada amostrada descritos anteriormente para determinação do estoque de N- total e N-mineral (NH_4^+ e NO_3^-). O estoque de N-mineral foi calculado, somando-se $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$ a partir dos seus respectivos teores no solo, a considerar a densidade do solo e a espessura da camada do solo amostrada.

Para a determinação da produtividade em 2017 e 2018, foi medido a quantidade em litros de café (cereja, verde, passa e seco) total da área útil, composta por 10 plantas. Após a realização da colheita foi amostrado 4 litros da produção total provinda da parcela, colocada em recipiente de poliéster perfurado e posteriormente levados para serem secas em terreiro apropriado. Quando as amostras apresentaram valores de umidade de grãos próximos a 12% estas foram levadas para pesagem. Após serem pesadas as amostras foram descascadas e foi determinada a umidade de cada amostra. Posteriormente, foi realizada a correção de todas as amostras para a umidade de 12%. Com o peso da amostra corrigido para 12%, provindos de 4 litros de café, foi determinada a produtividade de 10 planta de. Com isso a produtividade foi extrapolada por hectare, com 4,525 plantas de café. A produtividade foi calculada com base na saca de 60 kg de café beneficiado.

No mesmo dia em que foram coletados o solo para determinação de NH_4^+ e NO_3^- , foi realizada a coleta de 40 folhas das 10 plantas centrais, no terço médio das plantas, no terceiro ou quarto par de folhas, sendo coletadas apenas folhas saudias, sem lesões causadas, por doenças, pragas ou agentes climáticos, para determinação do N foliar. Depois de amostradas, as folhas foram devidamente preparadas e levadas ao laboratório de análises químicas de tecidos do departamento de ciência do solo da Universidade Federal de Lavras, MG, para obtenção dos teores foliares de N.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5%. Para o efeito de doses, foi feita a regressão. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa de análise estatística SISVAR 5.3® (Ferreira, 2011). Os gráficos plotados pelo programa Sigma Plot 11.0. A análise multivariada foi realizada utilizando o método de análise de componentes principais, gerando um gráfico biplot com as funções *prcomp* do pacote *stats* (R Core Team, 2018) e *ggbiplot* do pacote *ggbiplot* (Vu, 2011), juntamente com os pacotes *vegan* (Oksanen et al., 2018), *tidyverse* (WICKHAM, 2017) e *devtools* (WICKHAM E CHANG, 2018).

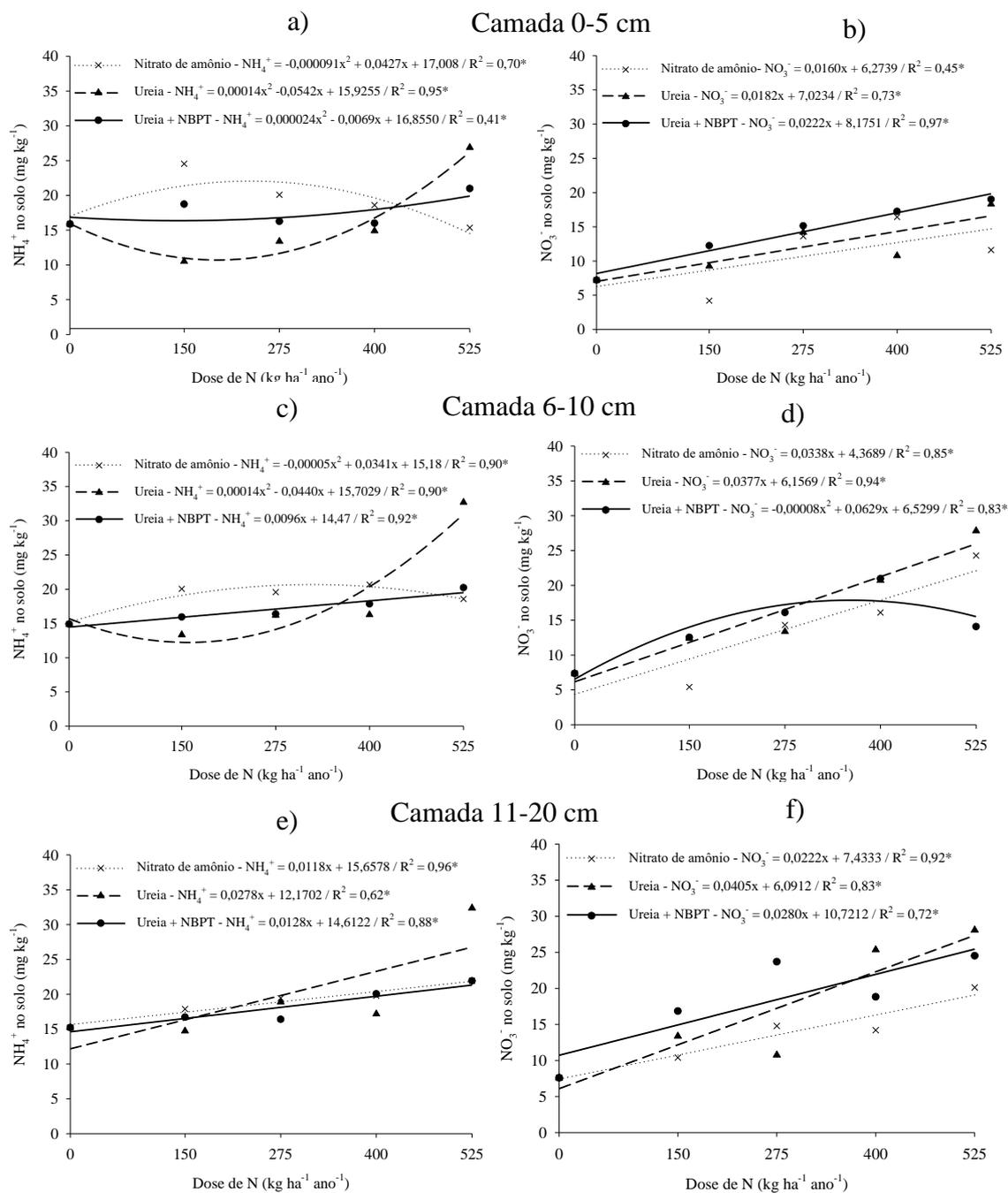
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em agosto de 2016 foram determinados os teores de NH_4^+ , NO_3^- e N mineral total ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) na área total do experimento. Os teores de NH_4^+ e NO_3^- no solo foi de 0,83 e 1,16 mg kg^{-1} na camada de 0-60 cm.

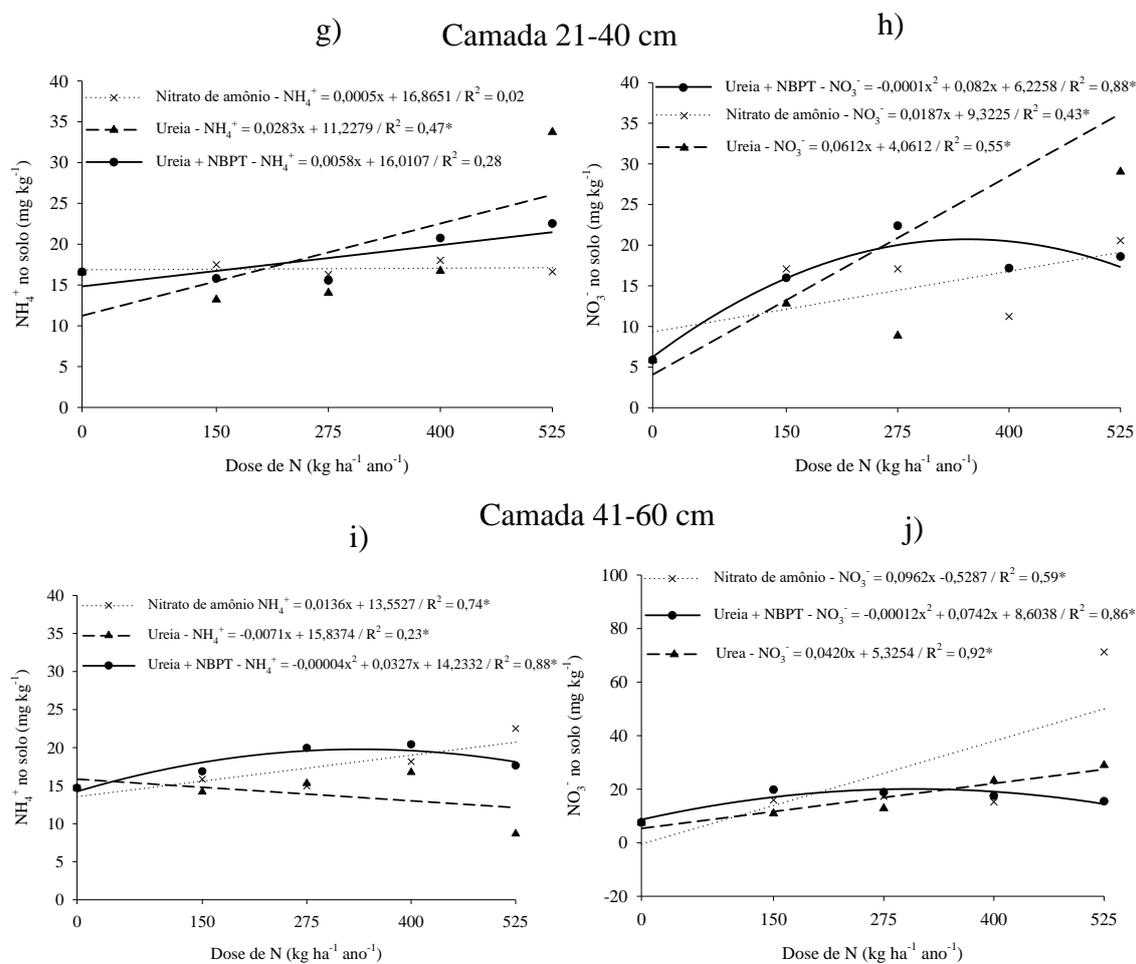
Os teores de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) no solo em janeiro de 2017, foram significativamente ($p \leq 0,05$) influenciadas pela interação entre fontes e doses de N aplicadas. Os teores de NH_4^+ e NO_3^- nas camadas de 0 a 40 cm foram bem próximos variando na média das três fontes entre 6 a 24 mg kg^{-1} com o aumento das doses de N. A partir da camada de 41 cm os teores de NH_4^+ apresentaram menor variação em relação ao NO_3^- , de 15 a 16 mg kg^{-1} para NH_4^+ de 8-39 mg kg^{-1} para NO_3^- (Figura 1).

Com o uso de nitrato de amônio, ureia e ureia + NBPT e com o aumento das doses de N, na camada entre 0 e 20 cm o aumento foi em média de 35% no teor de NH_4^+ (Figura 1 a; 1c; 1e) e 65% no teor de NO_3^- (Figura 1b, d, f). Para a camada de 21-40 cm o aumento foi de 32% e 74% para NH_4^+ e NO_3^- respectivamente (Figura 1g ; 1h). E para a camada de 41-60 cm foi de 6 e 80% para NH_4^+ e NO_3^- respectivamente (Figura 1i; 1h). Quando se considera as equações na camada de 21-40 cm a ureia convencional na dose de 525 $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N apresenta em média 1.7 vezes maior teor de NO_3^- em relação ao nitrato de amônio na dose de 525 kg ha^{-1} de N e ureia + NBPT na dose 410 $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N. Na camada de 41-60, o nitrato de amônio apresenta maior teor de NO_3^- , 50 mg kg^{-1} na dose de 525 $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N em relação a ureia convencional 26 mg kg^{-1} e ureia + NBPT de 20 mg kg^{-1} . Ou seja o uso do nitrato de amônio da dose de 525 $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N apresenta 2 e 2.5 vezes maior teor de N- NO_3^- em relação ao uso de ureia convencional e ureia + NBPT.

Figura 1 - Teores de NH_4^+ e NO_3^- no solo em suas respectivas camadas no perfil do solo, determinados em janeiro de 2017, ($p \leq 0,05$).



(Continua)



(Conclusão).

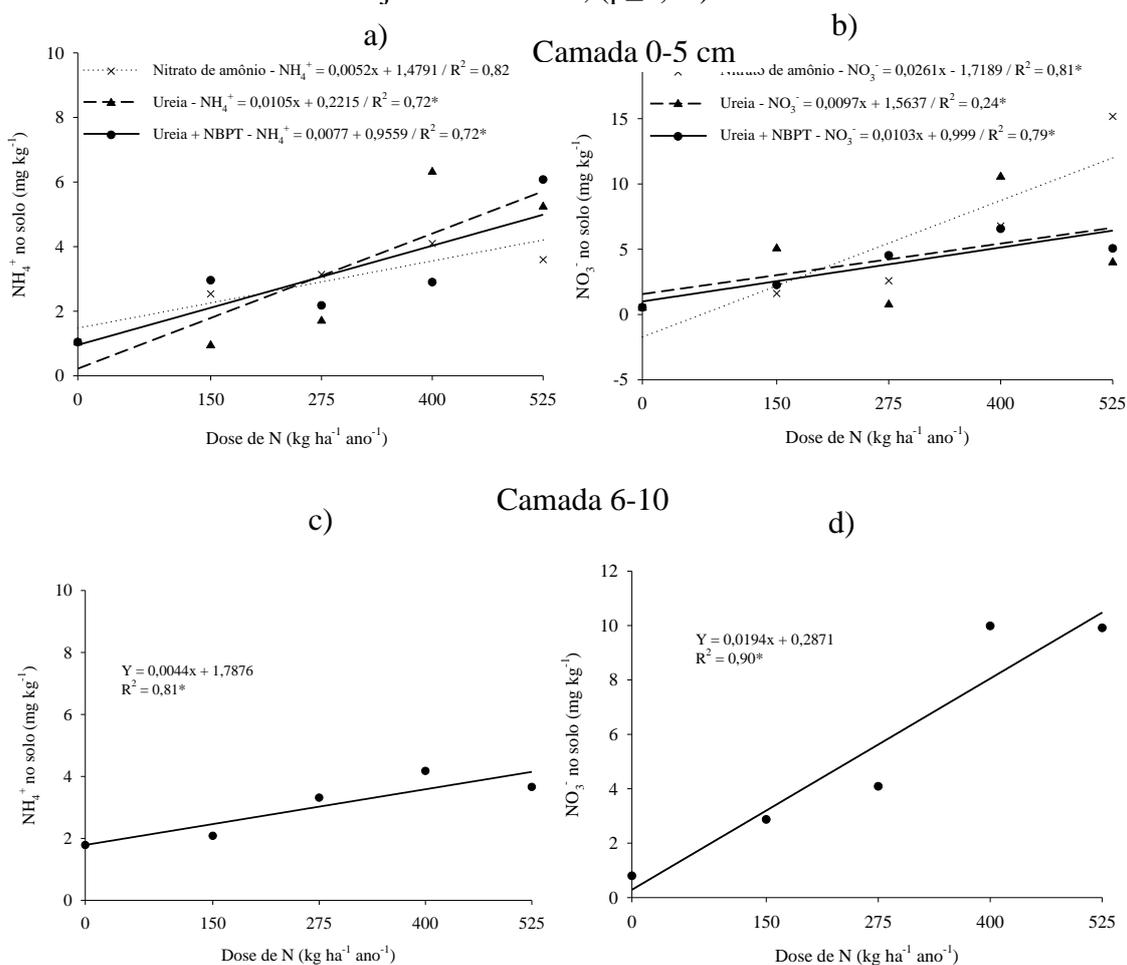
Fonte: Do autor (2019).

Em janeiro de 2018, os teores de NH_4^+ e NO_3^- no solo foram significativamente ($p \leq 0,05$) influenciados pela interação entre fontes e doses de N na camada de 0-5 cm para NH_4^+ e NO_3^- , na camada de 11-20 para NO_3^- e para a camada de 41-60 para NH_4^+ e NO_3^- . Nas demais camadas e variáveis avaliadas apenas foi significativo ($p \leq 0,05$) para doses isoladamente (Figura 2).

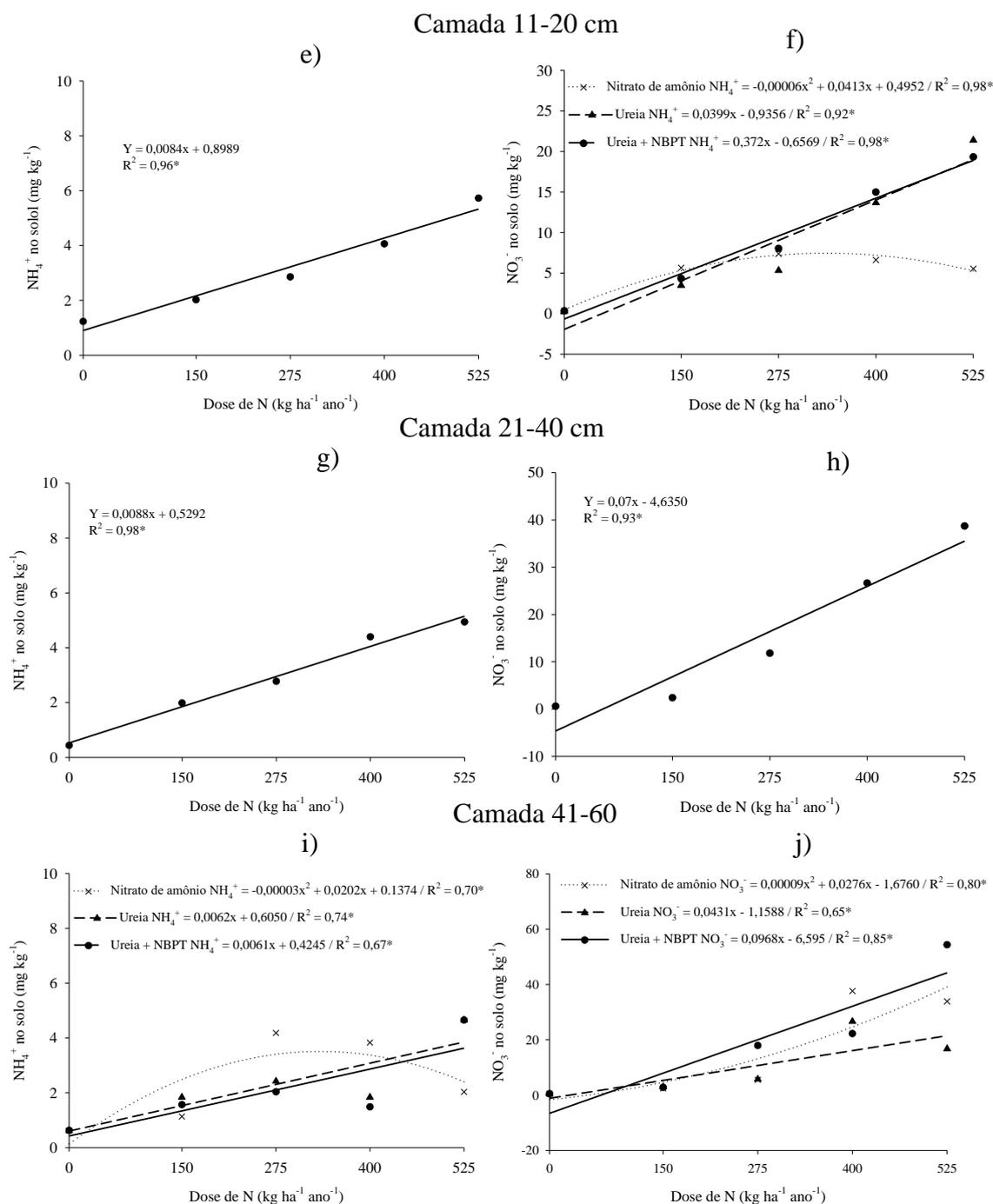
Para o NH_4^+ na camada de 0-5 cm (Figura 2a) com o uso das fontes e aumento das doses de N, os teores apresentaram variação média entre 1-5 mg kg⁻¹. Para o NO_3^- na mesma camada (Figura 2b), quando se observa o nitrato de amônio a variação é de 0,5 a 15 mg kg⁻¹ com valor médio de 45% superior no teor de NO_3^- no solo na dose de 525 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N em relação a ureia e ureia + NBPT. Na camada de 0-5 cm independentemente da fonte utilizada, os teores de NH_4^+ e NO_3^- no solo aumentaram com o aumento das doses (Figura 2c; 2d). Para NH_4^+ na camada de 6-10 cm o teor varia de 1,8-4,1 mg kg⁻¹ e para NO_3^- de 0,3-10,5 mg kg⁻¹ com o aumento das doses de N de forma linear. Na camada de 11-20 cm o teor de NH_4^+ aumentou linearmente conforme aumento

as doses, independente da fonte utilizada (Figura 2e), variando de 0,9 a 5,30 mg kg⁻¹. Nessa mesma camada para o NO₃⁻, o uso da ureia e ureia + NBPT com o aumento das doses de N o teor aumentou linearmente chegando a 21 e 22 mg kg⁻¹ na dose de 525 kg ha⁻¹ ano⁻¹, já para o nitrato de amônio apresentou modelo quadrático com teor máximo de 7,6 mg kg⁻¹ na dose de 344 kg ha⁻¹. Na camada de 21-40 cm o teor de NH₄⁺ variou de 0,5-5 mg kg⁻¹ e para NO₃⁻ de 0-32 mg kg⁻¹ com o aumento das doses de N de forma linear, independente da fonte utilizada. E por fim a camada de 41-60 cm, com o uso das fontes e aumento das doses de N, o teor de NH₄⁺ aumentou linearmente com o uso da ureia e ureia + NBPT, com teor de 3,8 e 3,6 mg kg⁻¹ respectivamente na dose máxima de 525 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Apresentou ajuste quadrático para nitrato de amônio, com maior teor (3,5 mg kg⁻¹) na dose de 337 kg ha⁻¹ (Figura 2i). Para NO₃⁻ na camada de 41-60 cm, os maiores teores foram encontrados na maior dose de N, de 44; 38 e 21 mg kg⁻¹ para ureia +NBPT, nitrato de amônio e ureia respectivamente (Figura 2j).

Figura 2 - Teores de NH₄⁺ e NO₃⁻ no solo em suas respectivas camadas no perfil do solo, determinados em janeiro de 2018, (p≤0,05).



(Continua)



(Conclusão).

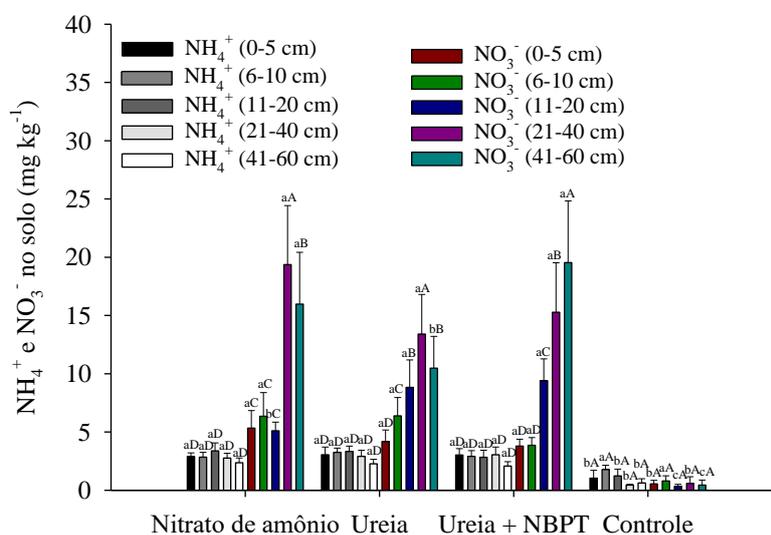
Fonte: Do autor (2019).

Uma hipótese para os teores de NH_4^+ e NO_3^- em janeiro de 2017 terem se apresentado maiores do que em janeiro de 2018 é o fato do intervalo de coleta entre o segundo parcelamento de N de 2017 ter sido menor, de 24 dias e o de 2018 de 30 dias. Outra hipótese seria o fato da precipitação ter sido maior entre o segundo parcelamento de N e a data de coleta de 2018 ter sido maior, de 276 mm que 2017, 206 mm.

Os teores de NH_4^+ e NO_3^- no solo foram significativamente influenciados ($p \leq 0,05$) pelas fontes em determinadas camadas do solo e em relação ao controle que não receberam aplicação de nitrogênio (Figura 3). Quando são comparados os teores de NH_4^+ em cada camada avaliada, o controle apresenta o menor teor em relação com o fornecimento de N, com exceção apenas da camada de 6-10 cm em que a aplicação de N provinda das fontes foram iguais a parcela sem fornecimento de N.

Para o NO_3^- , na camada de 0-5 cm apenas o controle apresentou menor teor no solo. Na camada de 6-10 cm não houve diferença entre as fontes utilizadas e o controle. Já na camada de 11-20 cm, a ureia e a ureia + NBPT apresentaram os maiores teores com média de 9 mg kg^{-1} , seguidos pelo nitrato de amônio 5 mg kg^{-1} e por fim o controle com $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$. Na camada de 20-40 cm apenas o controle apresentou menor teor de NO_3^- . Por fim na camada de 41-60 o nitrato de amônio e a ureia + NBPT apresentaram os maiores teores de NO_3^- no solo, com média de 18 mg kg^{-1} , seguidos da ureia com 11 mg kg^{-1} e por fim o controle, com $0,4 \text{ mg kg}^{-1}$ (Figura 3).

Figura 3 - NH_4^+ e NO_3^- no solo em função das fontes de N aplicadas e sem aplicação de N (controle), em janeiro de 2018.

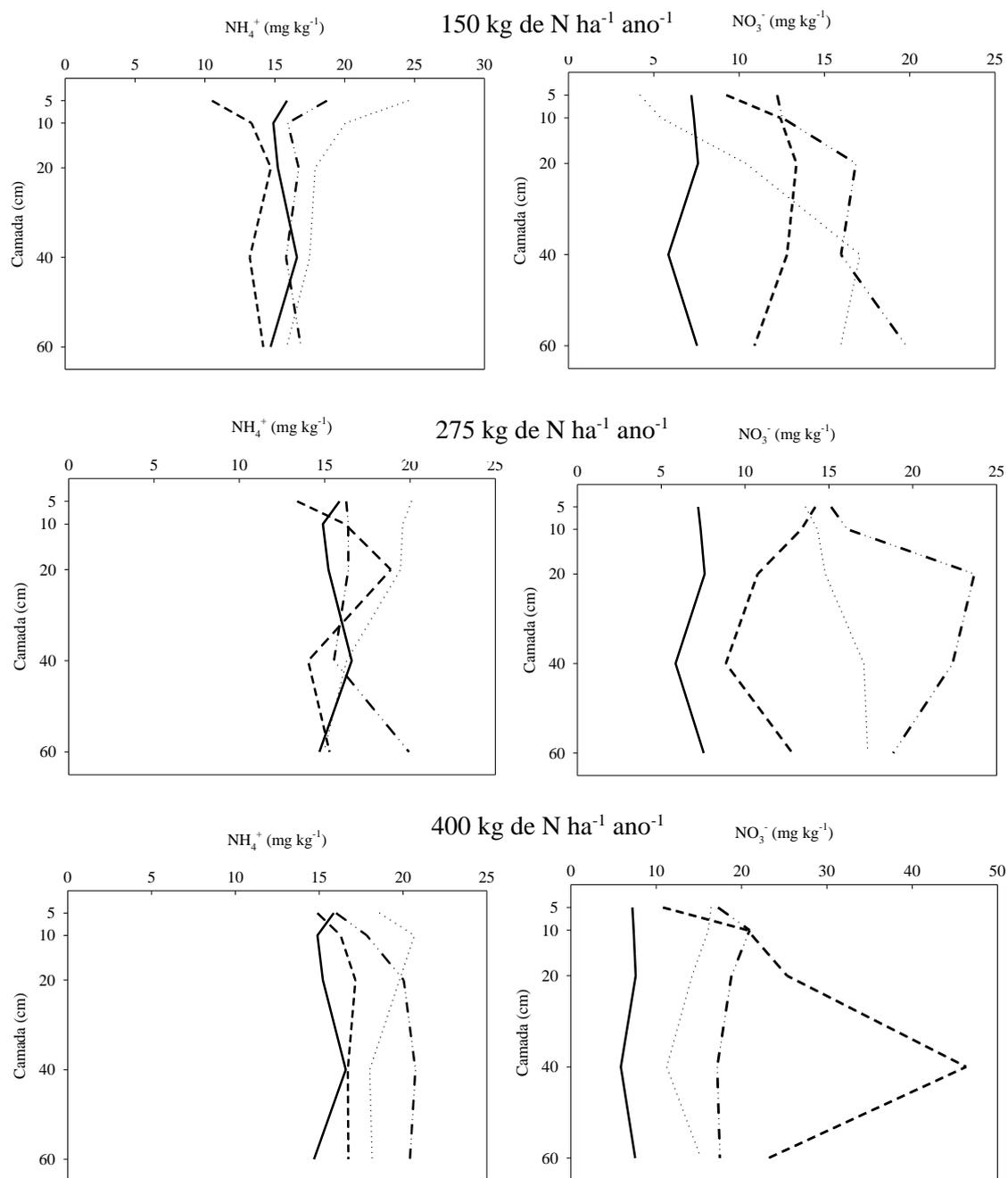


Letras minúsculas iguais, dentro de cada profundidade e para cada variável, e letras maiúsculas dentro de cada fonte de N para cada variável não diferem entre si pelo teste Skott-Knott ($p \leq 0,05$) de significância. As barras verticais representam o erro padrão das médias ($n = 3$).

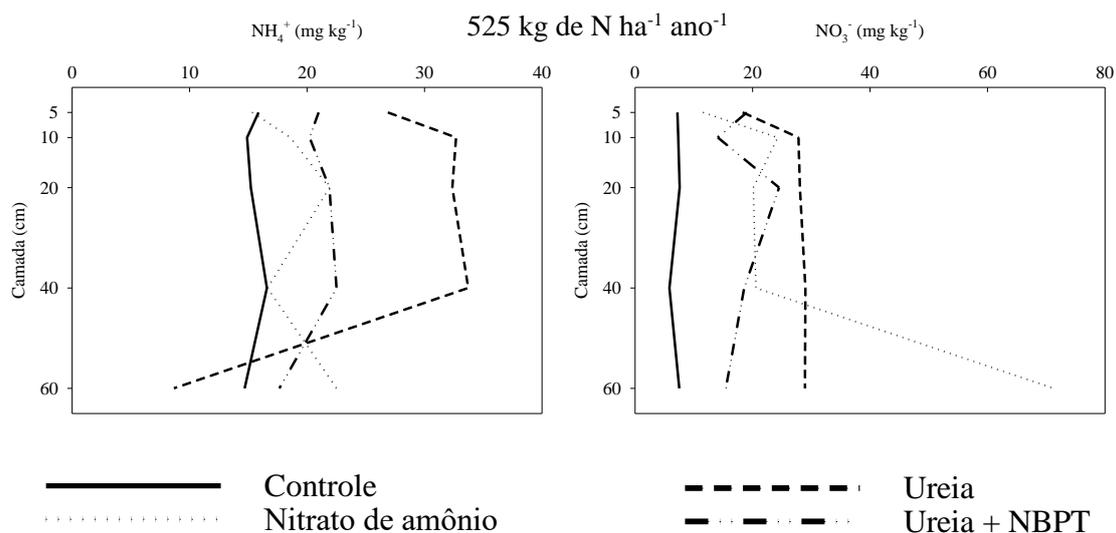
Fonte: Do autor (2019).

A movimentação do NH_4^+ e NO_3^- no perfil do solo nas diferentes camadas de 0-5; 6-10; 11-20; 21-40 e 41-60 para janeiro de 2017 e 2018 estão apresentadas na Figura 4 e 5.

Figura 4 - N-NH_4^+ e N-NO_3^- determinados em janeiro de 2017, nas diferentes camadas no perfil do solo (0-5; 6-10; 11-20; 21-40 e 41-60 cm), com o uso do nitrato de amônio, ureia e ureia + NBPT, nas doses de 150; 275; 400 e 525 kg de N ha^{-1} ano $^{-1}$.



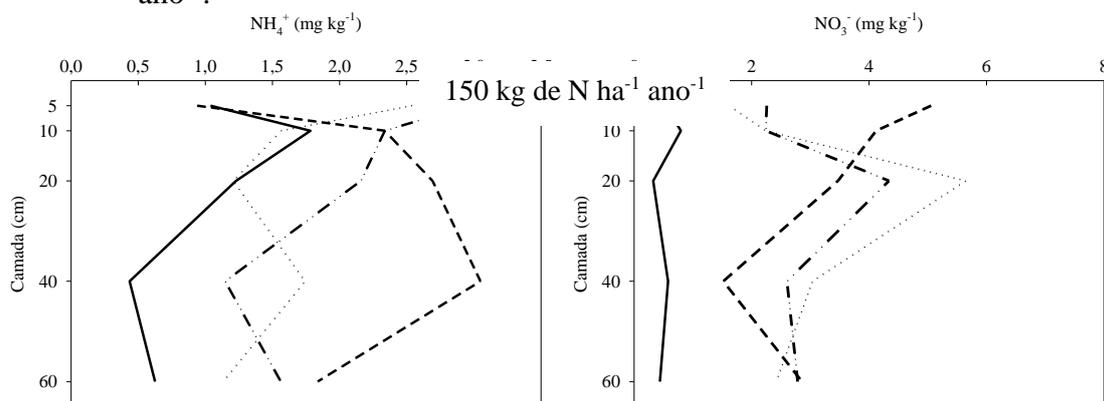
(Continua)



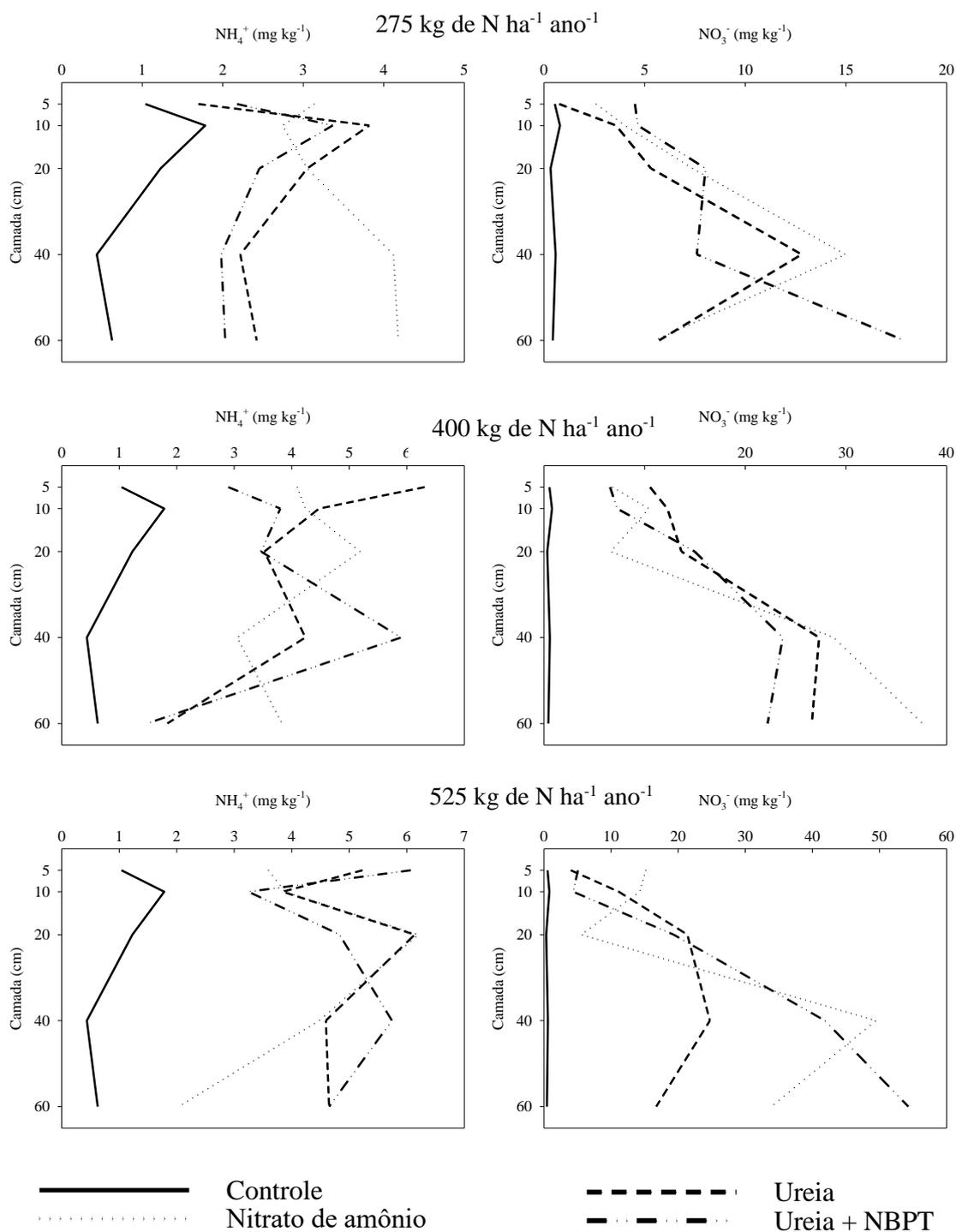
(Conclusão).

Fonte: Do autor (2019).

Figura 5 - N-NH_4^+ e N-NO_3^- determinados em janeiro de 2018, nas diferentes camadas no perfil do solo (0-5; 6-10; 11-20; 21-40 e 41-60 cm), com o uso do nitrato de amônio, ureia e ureia + NBPT, nas doses de 150; 275; 400 e 525 kg de N ha^{-1} ano^{-1} .



(Continua)



(Conclusão).

Fonte: Do autor (2019).

Com esses resultados de caracterização da mobilidade de NH_4^+ e NO_3^- no perfil do solo, de dois anos de coletas após o segundo parcelamento da adubação nitrogenada, pode-se inferir que existe maior disponibilidade de NH_4^+ na camada superficial (0-20 cm) quando comparado com NO_3^- na mesma camada. Já nas camadas subsuperficiais o inverso ocorre, os teores de NO_3^- são maiores. Isso pode ser devido a característica do

NO_3^- ser mais facilmente lixiviado ou ser mais absorvido pela planta de cafeeiro, na qual tem maior preferência por esta forma iônica.

Nos dois anos de avaliações, 2017 e 2018, os teores de NH_4^+ e NO_3^- no solo aumentaram conforme se aumentou a dose de N. No ano de 2017 os teores de NH_4^+ foram maiores na camada superficial de 0-20 cm. A partir desta camada a variação no aumento dos teores com o aumento das doses de N são menores. Para o ano de 2018 os teores de NH_4^+ não apresentaram diferença no solo na camada superficial de 0-20 para as demais. Entretanto para o NO_3^- em 2017 e 2018, o inverso acontece, a partir da camada de 40 cm são encontrados os maiores teores no solo e conforme se aumenta a dose de N, os teores aumentam. A planta de cafeeiro apresenta maior efetividade de absorção dos nutrientes na camada de 0-30 cm, onde estão concentradas as raízes mais finas. Além disso a planta de cafeeiro tem preferência na absorção do N na forma nítrica (NO_3^-). Como foi descrito, as maiores concentrações de NO_3^- foram encontradas nas camadas mais profundas, a partir de 40 cm. No entanto pode-se dizer que grande parte do NO_3^- na camada mais superficial pode ser absorvida pelas plantas, e também boa parte lixiviada para as camadas mais profundas. Com relação a lixiviação do NO_3^- no perfil do solo avaliadas neste trabalho, não foram encontradas diferenças tão expressivas quanto ao uso das fontes. Apenas no ano de 2017 na camada de 0-5 cm, o nitrato de amônio apresentou em média 2,2 vezes maior teor de NO_3^- no solo em relação a ureia e ureia + NBPT. No ano de 2018. Entretanto a diferença foi na camada de 41-60, em torno de 1,8 vezes. Isso fica evidente, para este trabalho, que o uso do nitrato de amônio como fonte de N não é a fonte que mais se movimenta no perfil do solo para esta classificação de tipo de solo e nessas condições, mesmo apresentando 50% da forma de N- NH_4^+ e 50% na forma de N- NO_3^- .

Os resultados encontrados neste trabalho corroboram com os encontrados por outros autores. Lorensini et al., (2012), determinou os teores de NH_4^+ e NO_3^- no perfil do solo até 20 cm em um Argissolo e observou o aumento nos teores com o aumento das doses de N providas da fonte ureia. Ferreira et al., (2003), trabalhando com cultivo de tomate em Argissolo Vermelho, com doses de N variando de 0 a 880 kg ha⁻¹ e utilizando como fonte de N o nitrocálcio encontrou aumento dos teores NH_4^+ e NO_3^- de com o aumento das doses de N. Primavesi et al., (2006), trabalhando com adubação nitrogenada em pastagem de coastcross em Latossolo Vermelho distroférico, como fontes de N a ureia e o nitrato de amônio e doses de 125 a 1000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, encontrou maiores teores de N- NO_3^- na dose de 1000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, provindo do nitrato de amônio. Di & Cameron (2002), também com pastagem relataram perdas de N- NO_3^- no solo variando

de 56 a 81 mg kg⁻¹, dependendo da quantidade e das formas de N aplicado e das condições da pastagem, de modo que a aplicação de ureia (200 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N) contribuiu em pequena proporção no total das perdas de N-NO₃⁻ por lixiviação.

Em agosto de 2016 os estoques de NH₄⁺, NO₃⁻ e N mineral total (NH₄⁺ + NO₃⁻) na camada de 0-20 cm foram de 8; 11 e 19 kg ha⁻¹, já para a camada de 0-60 cm foi de 21; 34 e 55 kg ha⁻¹ respectivamente. Os estoques de NH₄⁺, NO₃⁻ e N mineral total (NH₄⁺ + NO₃⁻) para janeiro de 2017 foram significativamente influenciados (p≤0,05) pelas fontes em determinadas camadas do solo e em relação ao controle sem aplicação de nitrogênio (Tabela 1). Os estoques de NH₄⁺ nas camadas de 0 até 40 cm foram iguais independente da fonte utilizada, apenas o controle teve menor teor na camada de 6-10 e de 11-20 cm. Para a camada de 41-60 cm o nitrato de amônio e a ureia + NBPT apresentaram os maiores estoques, com média de 39 kg ha⁻¹ e a ureia e controle os menores estoques com média de 32 kg ha⁻¹. Para o NO₃⁻ a variação com o uso das fontes em relação ao controle e nas camadas avaliadas foi maior que o NH₄⁺. Os estoques de NO₃⁻ foram menores para nitrato de amônio e ureia na camada de 0-5 cm em relação a ureia + NBPT, na camada de 11-20 cm o nitrato de amônio foi menor em relação as demais fontes. Já na camada de 21-40 cm o nitrato de amônio e a ureia + NBPT apresentaram maiores valores em relação a ureia convencional. O controle apresentou menores estoques em todas as camadas em relação as fontes para NO₃⁻. E por fim quando se analisa a camada de 41-60 cm, apenas o nitrato de amônio apresentou o maior estoque de NO₃⁻ no solo. Quando observado o estoque total de N-mineral, não se tem diferença no uso entre as fontes até a profundidade de 20 cm. Na camada de 21-40 cm apenas a ureia apresenta o maior estoque de N-mineral, na camada de 41-60, o nitrato de amônio tem o maior estoque. O controle apresentou menores estoques de N-mineral total em todas as camadas. Se somado os estoques de N-mineral total nas camadas de 0-20 e de 0-60 cm, as fontes são iguais e apenas o controle é menor.

Tabela 1 - Estoques de NH_4^+ , NO_3^- e N mineral total ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) em (kg ha^{-1}) em janeiro de 2017 determinados nas camadas de 0-5; 6-10; 11-20; 21-40 e 41-60 cm no perfil do solo.

Fertilizante/tratamento	Camada (cm)						
	0-5	6-10	11-20	21-40	41-60		
	NH_4^+ (kg ha^{-1})						
Nitrato de amônio	10,3a	10,7a	22,6a	39,5a	38,0a		
Ureia	8,9a	10,6a	23,6a	43,8a	30,7b		
Ureia + NBPT	9,6a	9,7a	21,7a	42,4a	39,5a		
Controle	8,7a	8,5b	18,3b	38,6a	32,4b		
Média	9,4	9,9	21,6	41,1	35,1		
Coeficiente de variação (%)	14,9	8,0	9,3	12,6	8,9		
Fertilizante/tratamento	Camada (cm)						
	0-5	6-10	11-20	21-40	41-60		
	NO_3^- (kg ha^{-1})						
Nitrato de amônio	5,8b	7,7a	16,1b	33,4b	56,1a		
Ureia	6,5b	9,3a	20,4a	47,8a	36,8b		
Ureia + NBPT	7,8a	8,1a	22,0a	37,2b	34,9b		
Controle	3,9c	4,2b	9,1c	13,6c	16,6c		
Média	6,0	7,3	16,9	33,0	36,1		
Coeficiente de variação (%)	19,2	18,0	24,3	29,9	23,0		
Fertilizante/tratamento	Camada (cm)						
	0-5	6-10	11-20	21-40	41-60	0-20	0-60
	$\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ (kg ha^{-1})						
Nitrato de amônio	16,2a	18,3a	38,7a	72,9b	94,1a	73,2a	240,3a
Ureia	15,5a	19,9a	44,1a	91,7a	67,4b	79,5a	238,6a
Ureia + NBPT	17,4a	17,8a	43,6a	79,6b	74,4b	78,8a	232,8a
Controle	12,6b	12,7b	27,4b	52,2c	49,0c	52,7b	153,8b
Média	15,4	17,2	38,5	74,1	71,2	71,0	216,4
Coeficiente de variação (%)	12,7	9,7	13,2	16,2	13,6	10,1	8,9

Para todos tratamentos, dentro de cada profundidade, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Fonte: Do autor (2019).

Em janeiro de 2018, os estoques de NH_4^+ , NO_3^- e N mineral total ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) também foram significativamente influenciados ($p \leq 0,05$) pelas fontes em determinadas camadas do solo e em relação ao controle (Tabela 2). Os estoques de NH_4^+ não

apresentaram diferenças significativas com o uso das fontes nas camadas de 0 até 60 cm, apenas o controle se apresentou menor. Para os estoques de NO_3^- , independente da fonte, na camada de 0 até 40 cm foram iguais. Já para a camada de 41-60 o nitrato de amônio e a ureia + NBPT apresentaram maiores estoques. Os estoques de N-mineral total diferiram entre as fontes apenas na camada de 41-60 cm, com maiores teores para nitrato de amônio e a ureia + NBPT, com média de 44 kg ha^{-1} em relação a ureia convencional e o controle com média de 15 kg ha^{-1} .

Tabela 2 - Estoques de NH_4^+ , NO_3^- e N mineral total ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) em (kg ha^{-1}) em janeiro de 2018 determinados nas camadas de 0-5; 6-10; 11-20; 21-40 e 41-60 cm no perfil do solo.

Fertilizante/tratamento	Camada (cm)						
	0-5	6-10	11-20	21-40	41-60		
	NH_4^+ (kg ha^{-1})						
Nitrato de amônio	16a	1,6a	4,1a	6,4a	5,3a		
Ureia	1,7a	1,9a	4,0a	6,8a	5,2a		
Ureia + NBPT	1,7a	1,7a	3,4a	7,1a	4,7a		
Controle	0,6b	1,0a	1,5b	1,0b	2,1b		
Média	1,4	1,5	3,2	5,3	4,3		
Coeficiente de variação (%)	36,6	51,6	51,7	39,5	24,6		
Fertilizante/tratamento	Camada (cm)						
	0-5	6-10	11-20	21-40	41-60		
	NO_3^- (kg ha^{-1})						
Nitrato de amônio	3,0a	3,7a	13,1a	42,3a	42,4a		
Ureia	2,3a	3,7a	9,4a	28,1a	20,5b		
Ureia + NBPT	2,1a	2,2a	13,8a	35,0a	35,8a		
Controle	0,4b	0,7a	1,8a	4,0b	2,9b		
Média	2,0	2,6	9,5	27,4	25,4		
Coeficiente de variação (%)	32,4	89,5	108,8	62,4	76,4		
Fertilizante/tratamento	Camada (cm)						
	0-5	6-10	11-20	21-40	41-60	0-20	0-60
	$\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ (kg ha^{-1})						
Nitrato de amônio	4,5a	5,3a	17,1a	48,8a	47,7a	26,9a	123,4a
Ureia	4,0a	5,5a	13,4a	34,9a	25,6b	22,9a	83,4a
Ureia + NBPT	3,8a	3,9a	17,2a	42,1a	40,5a	24,9a	107,5a
Controle	1,0b	1,7a	3,3a	5,0b	5,0b	6,0b	16,0a
Média	3,3	4,1	12,8	32,7	29,7	20,2	82,6
Coeficiente de variação (%)	25,7	64,7	87,5	51,9	66,0	69,5	41,2

Para todos tratamentos, dentro de cada profundidade, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Fonte: Do autor (2019).

Em trabalho realizado por Gollany et al. (2004) com doses de N em solo argiloso, foi encontrado valores em torno de $78 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N, quando se aplicaram doses de 20 a 200 kg ha^{-1} de N na cultura do milho. Souza, (2012) trabalhando com adubação

nitrogenada no cafeeiro afirmou que com o uso de ureia e ureia + NBPT variando de 200 a 600 kg ha⁻¹, as perdas foram maiores nas maiores doses e a mobilidade de NO₃⁻ foram significativamente superior na ureia tratada com NBPT em comparação com a ureia comum.

Em outubro de 2015 os estoques de N-total na camada de 0-20 cm foram de 4,7 Mg ha⁻¹ de N e já para a camada de 0-60 cm de 12,7 Mg ha⁻¹. Os estoques de N total determinados em janeiro de 2017 foram influenciados ($p \leq 0,05$) pelas fontes em determinadas camadas do solo e em relação ao controle que não receberam aplicação de nitrogênio (Tabela 3). Nas camadas de 0-5; 6-10 e 11-20 os estoques de N-total foram iguais, inclusive no controle. Já para a camada de 21-40 cm a ureia e o controle apresentou o maior estoque, com média de (3,8 Mg ha⁻¹), seguido pelo nitrato de amônio com 3,6 Mg ha⁻¹, ureia + NBPT com 3,5 Mg ha⁻¹. Entretanto na camada de 41-60 cm o nitrato de amônio e o controle apresentaram maiores estoques, com média de 3,5 Mg ha⁻¹, seguido pela ureia e ureia + NBPT, com média de 3,2 Mg ha⁻¹. Quando se avalia os estoques acumulados na camada de 0-20 cm, o nitrato de amônio e a ureia convencional apresentam os maiores estoques, com média de 4,4 Mg ha⁻¹, seguidos pela ureia + NBPT e controle com 4,1 Mg ha⁻¹. Nesta mesma camada de 0-20 cm o estoque de N-total com o uso de nitrato de amônio e ureia convencional foi de 8% maior em relação ao uso da ureia + NBPT e sem aplicação de N. Por fim quando são acumulados os estoques de N-total no perfil inteiro de 0-60 cm, o nitrato de amônio, ureia convencional e o controle apresentaram os maiores estoques, cerca de 7% superior em relação a ureia + NBPT, com o menor estoque.

Tabela 3 - Estoques de N total em (kg ha^{-1}) em janeiro de 2017 determinados nas camadas de 0-5; 6-10; 11-20; 21-40 e 41-60 cm no perfil do solo.

Fertilizante/tratamento	N total (Mg ha^{-1})						
	Camada (cm)						
	0-5	6-10	11-20	21-40	41-60	0-20	0-60
Nitrato de amônio	1,0a	1,1a	2,2a	3,6b	3,5a	4,4a	11,5a
Ureia	1,1a	1,1a	2,3a	3,8a	3,3b	4,5a	11,6a
Ureia + NBPT	1,0a	1,0a	1,9a	3,5c	3,2b	4,0b	10,7b
Controle	1,0a	1,1a	2,0a	3,8a	3,5a	4,1b	11,4a
Média	1,0	1,1	2,1	3,7	3,4	4,3	11,3
Coeficiente de variação (%)	6,8	7,3	14,3	3,9	5,8	8,9	5,1

Para todos tratamentos, dentro de cada profundidade, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Fonte: Do autor (2019).

Em janeiro de 2018, os estoques de N total foram influenciados ($p \leq 0,05$) pelas fontes em determinadas camadas do solo e em relação ao controle que não receberam aplicação de nitrogênio (Tabela 4). Apenas na camada de 6-10 cm a ureia + NBPT apresentou menor estoque de N-total quando comparado entre as fontes. Nas demais camadas todas fontes de N foram iguais, até mesmo quando foi acumulado os estoques na camada de 0-20 cm e de 0-60 cm. O controle não apresentou menor estoque apenas na camada de 11-20, já nas demais camadas o estoque de N-total foi menor.

Tabela 4 - Estoques de N total em (kg ha^{-1}) em janeiro de 2018 determinados nas camadas de 0-5; 6-10; 11-20; 21-40 e 41-60 cm no perfil do solo.

Fertilizante/tratamento	N total (Mg ha^{-1})						
	Camada (cm)						
	0-5	6-10	11-20	21-40	41-60	0-20	0-60
Nitrato de amônio	1,0a	1,0a	1,9a	3,5a	2,8a	3,9a	10,2a
Ureia	1,0a	1,0a	1,9a	3,4a	2,9a	4,1a	10,4a
Ureia + NBPT	0,9a	0,9b	1,9a	3,5a	2,9a	3,9a	10,2a
Controle	0,8b	0,9b	1,8a	2,7b	1,9b	3,6b	8,2b
Média	0,9	0,9	1,9	3,2	2,7	3,9	9,8
Coefficiente de variação (%)	6,8	7,3	14,3	3,9	5,8	8,9	5,1

Para todos tratamentos, dentro de cada profundidade, as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Fonte: Do autor (2019).

Em geral pode ser observado que com o passar dos anos desde o início da avaliação em outubro de 2015, os estoques de N diminuíram, com valores de $12,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ na camada de 0-60 cm para $11,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ no ano de 2017 e de $9,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ em 2018. Uma das hipóteses para isso ter ocorrido foi que quando se teve início a aplicação dos tratamentos, a lavoura já estava implantada e sendo adubada com outras doses de N. Com o passar dos anos devido a variação de doses de N de 150 até $525 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ os estoques de N foram diminuindo. Uma outra hipótese para esta baixa nos estoques de N-total, principalmente do ano de 2017 para 2018, foi o fato de que no de 2017 a produtividade foi bem mais alta que no ano de 2018, com alta extração e exportação de N pelos grãos de café.

Quando são observados os estoques de N na camada de 0-20 cm para o ano de 2017 e 2018 os valores médios são de 4,3 e $3,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ de N respectivamente. Estes estoques de N foram maiores do que os encontrados por Cerri et al., (2017). Eles determinaram os estoques de N em várias regiões produtoras de café em no Estado de Minas Gerais, e encontraram estoques de N em lavouras do Sul de Minas Gerais, cultivadas sobre pastagem em torno de $1,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ de N na camada de 0-10 cm e de $4,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ de N na camada de 0-30 cm.

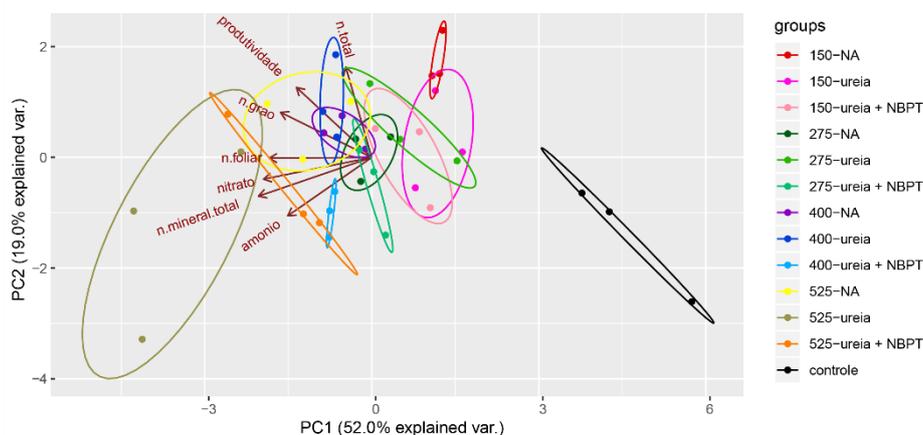
Os teores de N foliares médios determinados em janeiro de 2017 foi de 30 g kg^{-1} e em 2018 de 28 g kg^{-1} . Para os teores médios de N nos grãos foi de 23 g kg^{-1} para 2017

e 21 g kg⁻¹. A produtividade média para o ano de 2017 foi de 54 sc ha⁻¹ e de 29 sc ha⁻¹ para o ano de 2018, conforme apresentado no capítulo 1.

Na figura 6, são apresentados a análise de componentes principais (PCA), do ano de 2017 na camada de solo de 0-20 cm. Mesmo parte do NH₄⁺ transformando para N na forma orgânica e fazendo parte do N-total, na PCA estas duas variáveis não apresentaram correlação. O N-mineral total tem alta correlação positiva com o NH₄⁺ e NO₃⁻ do solo e N-foliar. Já produtividade tem alta correlação positiva com a com N-grão (capítulo 1) e o N-total, e não teve muita correlação com os teores de NH₄⁺ e NO₃⁻ do solo.

Conforme se tem o aumento das doses de N, maior é a correlação positiva com NH₄⁺ e NO₃⁻, estoques de N-mineral e N-foliar. Entretanto quando são observados a correlação das doses de N em relação a fontes utilizadas existe distinção entre elas. Na dose de 150 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, a ureia + NBPT apresentou maior correlação positiva em relação a ureia e nitrato de amônio, sendo que o nitrato de amônio foi a fonte de N que apresentou a menor correlação com as variáveis citadas anteriormente. Na dose de 275 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N a ureia + NBPT e o nitrato de amônio apresentam maior correlação positiva em relação a ureia. Para a dose de 400 kg ha⁻¹ ano⁻¹ o nitrato e amônio e ureia apresentaram maior correlação positiva com a produtividade e a ureia + NBPT com NH₄⁺ no solo. Por fim a dose de 525 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N que apresentou altíssima correlação positiva com N-foliar, NH₄⁺ e NO₃⁻ e estoques de N-mineral no solo, principalmente com ureia e ureia + NBPT em relação ao nitrato de amônio, que apresentou maior correlação positiva com o N-grão e produtividade. Já o controle apresenta alta correlação negativa em relação a todas variáveis estudadas.

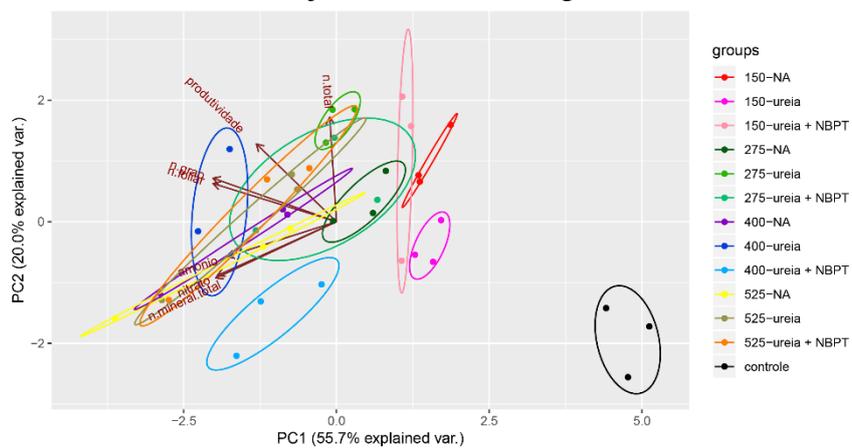
Figura 6 - Análise de componente principal para as fontes e doses de N em resposta de produtividade, N-foliar, N-grãos, nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+) e estoques de N-mineral e N-total em janeiro de 2017. Legenda: NA: nitrato de amônio.



Fonte: Do autor (2019)

Em janeiro de 2018 as variáveis avaliadas se agruparam ainda mais que em janeiro de 2017, em que NH_4^+ e NO_3^- e estoques de N-mineral no solo apresentaram alta correlação positiva entre si. O N-foliar com o N-grão, a produtividade ficou mais isolada, mas apresentando alta correlação positiva com N-total, N-foliar e N-grão (Figura 7). Quando se observa o efeito das fontes nitrato e amônio, ureia e ureia + NBPT na dose de $150 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N, nas variáveis NH_4^+ e NO_3^- e estoques de N-mineral no solo, a correlação é a mais baixa com relação as demais doses de N, independente da fonte utilizada. Já na dose de $275 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N a correlação aumenta em relação a dose de $150 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N para as variáveis descritas anteriormente, mas pode ser observado que a ureia tem alta contribuição com os estoques de N-total e em menor escala a ureia + NBPT e o nitrato de amônio. Na dose de $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N, a ureia tem alta contribuição nos teores de N-foliar, N-grão, NH_4^+ e NO_3^- e estoques de N-mineral no solo, seguido pelo nitrato de amônio e por fim, com correlação bem baixa a ureia + NBPT. Já na dose de $525 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N não se tem uma distinção muito definida entre as fontes, onde todas apresentam alta correlação com N-total, produtividade, N-grão, N-foliar, NH_4^+ e NO_3^- e estoques de N-mineral no solo. E por fim como aconteceu para janeiro de 2017, em janeiro de 2018 o controle apresentou alta correlação negativa em relação a todas variáveis estudadas.

Figura 7- Análise de componente principal para as fontes e doses de N em resposta de produtividade, N-foliar, N-grãos, nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+) e estoques de N-mineral e N-total em janeiro de 2018. Legenda: NA: nitrato de amônio.



Fonte: Do autor (2019)

4 CONCLUSÕES

As concentrações de nitrato no solo são maiores que de amônio a partir da profundidade de 40 cm, onde já não se tem tantas raízes efetivas em absorver nutrientes. Isso implica no manejo da adubação nitrogenada no cafeeiro, para melhorar a eficiência de aproveitamento pelas plantas, melhorar a produtividade, obter maior retorno econômico e menor impacto ao ambiente.

Os estoques de N-total diminuíram com o passar dos anos em todas as camadas avaliadas.

A produtividade está altamente correlacionada com os estoques de N-total na dose de 400 kg ha⁻¹ nitrogênio nas análises multivariadas.

REFÊRENCIAS

- BERNARDES, T.; MOREIRA, M. A.; ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. T. Diagnóstico físico-ambiental da cafeicultura no estado de Minas Gerais – Brasil. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 139-151, maio/ago. 2012.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. p. 375-470. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V. V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2007. 1017p.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIM, P.C.O.; CONTIN, T.L.M.; DIAS, F.L.F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R.B. & QUAGGIO, J.A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugar cane trash blankets. **Scientia Agricola**, v. 65, p. 397-401, 2008.
- CERETTA, C.A. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia-milho, no sistema de plantio direto. In: FRIES, M.R; DALMOLIN, R.S.D. **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto**. Santa Maria: Pallotti, 1997. Cap.5. p.112-124.
- CERRI, C. C. et al. Estoques de carbono e nitrogênio no solo devido a mudanças no uso da terra em áreas de cultivo de café em minas gerais. **Coffee Science, Lavras**, v. 12, n. 1, p. 30 - 41, jan./mar. 2017.
- DI, H.J.; CAMERON, K.C. Nitrate leaching and pasture production from different nitrogen sources on a shallow stoney soil under flood-irrigated dairy pastue. **Australian Journal of Soil Research**, v.40, p.317-334, 2002.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo** / TEIXEIRA P. C. et al., editores técnicos. – 3. edição. revisada. e ampliada. – Brasília, DF : Embrapa, 2017. ISBN 978-85-7035-771-7.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.
- ERREBHI, M.; ROSEN, C. J.; GUPTA, S. C. et al. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. **Agronomy Journal**, v.90, n.1, p.10-15, 1998.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.
- FERREIRA, M. M. M; FERREIRA, G. B; FONTES, P. C. R; DANTAS, J. P. Influência das adubações nitrogenada e orgânica no tomateiro sobre os teores de N-NO₃ e N-NH₄ no perfil do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.233-239, 2003.
- GOLLANY, H. T; MOLINA, J. E; CLAPP, C. E; ALLMARAS, R. R; LAYESE, M. F; BAKER, J. M. Nitrogen leaching and denitrification in continuous corn as related to

residue management and nitrogen fertilization. **Environ Manage.** v.33 p.289-298, 2004.

LORENSINI, F. et al. Lixiviação e volatilização de nitrogênio em um Argissolo cultivado com videira submetida à adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, vol.42, no.7, p.1173-1179, 2012. ISSN 0103-8478.

OKSANEN, J., BLANCHET, F. G., FRIENDLY, M., KINDT, R., LEGENDRE, P., MCGLINN, D., MINCHIN, P. R., O'HARA, R. B., SIMPSON, G. L., SOLYMOS, P., STEVENS, M. H. H., EDUARD, S. E., WAGNER, H. 2018. Vegan: Community Ecology Package R package version 2.5-2. Retrieved from: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.

PRIMAVESI, O.; FREITAS, A. R.; PRIMAVESI, A. C. et al. Water quality of the Canchim's creek watershed, in São Carlos, SP, Brazil, occupied by beef and dairy cattle activities. **Brazilian Archives of Biology and Technology** , v.45, n.2, p.209-217, 2002.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C.; CORRÊA, L. A.; SILVA, A. G.; CANTARELLA, H. Lixiviação de nitrato em pastagem de coastcross adubada com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.3, p.683-690, 2006.

R CORE TEAM. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from: <https://www.R-project.org/>.

SANGOI, L., ERNANI, P. R., LECH, V. A., RAMPAZZO, C. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da ureia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.1, p.65-70, jan/fev 2003.

SOUZA, J. A. Lixiviação de nitrato e volatilização de amônia em um Latossolo cultivado com café sob diferentes fontes de nitrogênio. **Dissertação**. Viçosa, MG, 2012.

VU, V. (2011). Ggbiplot: A ggplot2 based biplot. R pack-age version 0.55. Retrieved from: <http://www.vince.vu/software/>.

WICKHAM, H., CHANG, W. 2018. Devtools: Tools to Make Developing R Packages Easier. R package version 1.12.0. Retrieved from: <https://CRAN.R-project.org/package=devtools>.

WICKHAM, H. 2017. Tidyverse: Easily Install and Load the 'Tidyverse'. R package version 1.2.1. Retrieved from: <https://CRAN.R-project.org/package=tidyverse>.

**ARTIGO 3- CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE DA PÓS COLHEITA DO
CAFÉ NO SUL DE MINAS**

**Artigo redigido conforme a NBR 6022 (ABNT, 2003) e formatado de acordo com o
Manual da UFLA de apresentação de teses e dissertações.**

RESUMO

A eficiência agronômica de um fertilizante está em aumentar a produtividade, mas também obter um produto final de boa qualidade. Os produtores de café têm procurado melhorar a qualidade final do produto colhido, a fim de agregar mais valor por saca de café. A qualidade do produto colhido é influenciada por diversos fatores edafoclimáticos e nutrição mineral equilibrada. Entretanto, a alta demanda da planta por nitrogênio (N) é muito conhecida, mas poucos trabalhos descrevem sua influência na qualidade de bebida. Portanto objetivou-se com esse trabalho avaliar as características de pós colheita do café com relação à sensorial, química e física do café em três anos de manejo com diferentes fontes e doses de nitrogênio. O experimento foi conduzido em Santo Antônio do Amparo, MG. Foram utilizadas três fontes de N (ureia convencional, ureia + NBPT e nitrato de amônio) e 4 doses de nitrogênio: 150; 275; 400 e 525 kg ha⁻¹ de N ano⁻¹, e um tratamento controle, sem adubação nitrogenada. A falta de N promoveu a maturação mais precoce dos grãos de café. A análise sensorial apresentou ótimas notas nos três anos de avaliação, com descrição especial (muito bom e excelente) e classificação especial e especialidade. O número de defeitos dos grãos de café apresentou valores bem próximos com doses de N acima de 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹. Após três anos de avaliações, o tratamento controle apresentou a maior retenção dos grãos nas menores peneiras, enquanto os outros tratamentos obtiveram a maior porcentagem de retenção nas peneiras de maior dimensão.

Palavras-chave: Nitrogênio. NBPT. Análise sensorial.

QUALITY CHARACTERISTICS OF THE COFFEE POST HARVEST IN SOUTH MINE

SUMMARY

The agronomic efficiency of a fertilizer lies in increasing productivity but also obtaining a good quality end product. Coffee producers have been seeking to improve the final quality of the harvested product in order to add more value per bag of coffee. The quality of the harvested product is influenced by several edaphoclimatic factors and balanced mineral nutrition. However, the high demand of the plant for nitrogen (N) is well known, but few studies describe its influence on the drink quality. Therefore, the objective of this study was to evaluate the postharvest characteristics of coffee in relation to coffee sensory, chemical and physical characteristics in three years of management with different nitrogen sources and doses. The experiment was conducted in Santo Antônio do Amparo, MG. Three sources of N (conventional urea, urea + NBPT and ammonium nitrate) and 4 nitrogen doses were used: 150; 275; 400 and 525 kg ha⁻¹ of N year⁻¹, and a control treatment without nitrogen fertilization. The lack of N promoted earlier maturation of coffee beans. Sensory analysis showed excellent grades in the three years of evaluation, with special description (very good and excellent) and special classification and specialty. The number of coffee bean defects was very close with N rates above 150 kg N ha⁻¹ year⁻¹. After three years of evaluation, the control treatment presented the highest grain retention in the smallest sieves, while the other treatments obtained the highest retention percentage in the larger sieves.

Keywords: Nitrogen. NBPT. Sensory analysis.

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, ao cultivo do café incorporou-se maiores tecnologias e a busca para conseguir bebidas de melhor qualidade se mostra como forma de agregar valor ao produto e proporcionar maiores lucros para o produtor. A busca pela qualidade se alinha a adubação realizada de forma correta e com o uso de fontes, principalmente nitrogenadas, mais eficientes. Muitas fontes de N já estão presentes no mercado e muitas estão surgindo com objetivo de melhorar ainda mais eficiência quanto as perdas de N para o sistema, além de proporcionar maior produtividade a lavoura.

Com a grande oferta de produtos brasileiros, o mercado está mais exigente ano após ano. Deste modo, existe a conscientização dos produtores rurais em melhorar a qualidade de seus cafés visando atender a clientela crescente no mercado para garantir retorno financeiro ampliado devido ao aumento na produtividade por conta do manejo da fertilidade do solo, dentre outros fatores. Tendo em vista que o agricultor está preocupado em aumentar a produtividade e a sua renda, a adoção de práticas agronômicas mais eficientes, dentro das práticas de manejo 4C com uso de corretivos e fertilizantes baseados, não só na análise de solo, mas também na análise foliar, se faz de extrema importância.

A melhor qualidade final do café beneficiado, poderá retornar ao cafeicultor maior rentabilidade. Essa qualidade, contudo, é dependente de diversos fatores relacionados em todas as etapas do processo de produção do café, desde a escolha da variedade a ser plantada até o preparo da bebida. A averiguação da qualidade quanto à bebida, é determinada segundo o sabor e o aroma apresentado na análise sensorial, e estes atributos são dependentes da composição original dos grãos, daí os estudos a respeito das características químicas dos grãos de café atrelada a análise sensorial na busca por cafés de qualidade agregando valor ao produto final, além do fato da bebida de qualidade ser apreciada por boa parte da população mundial.

O nitrogênio (N) está presente na formação de diversos compostos minerais e orgânicos no grão de café que, estando em equilíbrio, são fundamentais para se obter bebida de boa qualidade (CARVALHO, 1997). Entretanto, o excesso de N na planta também pode acarretar problemas nas lavouras. Atribuído a esses problemas se dá a queda de produção, devido ao alto crescimento vegetativo, aumento da suscetibilidade a doenças como mancha de Phoma (*Phoma costaricensis*) e Pseudomonas (*Pseudomonas garcae*)

causando diminuição da produção, atraso na maturação dos frutos e a menor qualidade da bebida (MESQUITA, 2016; FAGAN, 2011).

Apesar da grande importância do N para a cultura do café, pouco se sabe sobre sua influência na qualidade da bebida. Entretanto, com o aumento da população mundial e com o crescimento da produção mundial de café, se tem o aumento no consumo de café. Além da procura por cafés de melhor qualidade de bebida, aumento do interesse das formas de produção e manejo da lavoura, na pós colheita do café e nos cuidados com o meio ambiente no sistema de produção. Assim, é importante o produtor se atentar à necessidade e a oportunidade de suprir esse mercado de cafés selecionados, pois são capazes de retornar valores mais atrativos quando comparados aos demais cafés comuns existentes no mercado.

O manejo da lavoura, o estado nutricional da planta e as adubações podem afetar a composição do grão cru e, conseqüentemente, a qualidade do café na bebida SILVA, 1995). Segundo Clemente (2010) a aplicação desequilibrada de N e potássio (K) pode acarretar em desequilíbrios na concentração de compostos relacionados às características do sabor e aroma dos cafés. Atribuído a isso, Amorim (1973) e Clemente (2010) relatam que a adubação nitrogenada aumenta o teor de N no grão, e pode restringir a qualidade final da bebida do café. Além disso, o N pode retardar a maturação dos grãos de café devido ao alto enfolhamento se aplicado em altas doses. Pode também influenciar na uniformidade de maturação dos grãos de café no momento da colheita. Como consequência, colheita com maturação desuniforme, podendo ter muitos grãos verdes, destacam-se a perda de peso dos grãos e a produção de bebida inferior, pois os grãos verdes refletem em uma bebida adstringente (REZENDE, 2013).

Devido aos inúmeros fatores sobre a qualidade final do café, realizar análise da composição química dos grãos de café se mostra um passo importante. Visto que, a mesma é influenciada por fatores genéticos, ambientais e culturais, pelos métodos de colheita, processamento, armazenamento, torração e moagem, que podem afetar diretamente a qualidade da bebida do café (MENDONÇA, et al., 2007). Além da análise sensorial e química, se tem as classificações quanto ao número de defeitos e tamanho dos grãos. O café se torna visualmente mais valorizado quando se apresenta com grãos grandes, mais desenvolvidos e com melhor qualidade de bebida com menos defeitos intrínsecos ao grão.

A qualidade do café impacta também no retorno econômico, sendo que em fevereiro deste ano de 2019, o preço médio da saca de café diferenciado atingiu

US\$131,24/saca (CECAFÉ, 2019). Enquanto no mesmo período o café arábica tipo 6 estava sendo negociado a R\$407,70 (CEPEA, 2019) no Brasil, totalizando uma diferença de aproximadamente R\$70,00 por saca negociada.

Por isso, o N se destaca como nutriente complexo. Além da necessidade de estudar seus impactos no sistema de produção, sanidade da lavoura, perdas por volatilização, lixiviação e outras formas, é fundamental manejá-lo visando uma maior qualidade do produto final, principalmente devido ao retorno econômico mais atrativo.

Portanto objetivou-se com esse trabalho avaliar as características de pós colheita do café com relação à qualidade do café (análise sensorial e químicas dos grãos de café cereja, números de defeitos e peneira) após três anos de manejo com diferentes fontes e doses de nitrogênio.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área

O experimento foi realizado na fazenda de café comercial (Lagoa Coffee Plantation - grupo NKG - fazendas brasileiras) no município de Santo Antônio do Amparo, MG, Brasil. A área central do experimento se situa nas coordenadas geográficas: 20°53'26,04''S e 44°52'04,14''W e altitude média de 1.100 m. O clima da região é do tipo Cwa, clima tropical úmido com inverno seco e verão temperado, segundo classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 19,6 °C com precipitação média de 1.493mm. A lavoura de cafeeiro pertence à espécie *Coffea arabica* L., cultivar Catuaí-IAC99 e foi plantada em 2012 no espaçamento de 3,40 x 0,60 m, em um Latossolo vermelho, relevo plano (EMBRAPA, 2013). O delineado foi em blocos casualizados com esquema fatorial 3 x 4 + 1, com 4 repetições: 3 fontes de N (ureia comum (granulada), ureia + NBPT (n-butil tiofosfórico triamida) e nitrato de amônio) e 4 doses de nitrogênio: 150; 275; 400 e 525 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, e um tratamento controle, sem adubação nitrogenada. As parcelas experimentais foram compostas por 16 plantas, sendo consideradas apenas as 10 plantas centrais. Os blocos foram dispostos em uma linha. Foi deixada uma linha de bordadura entre blocos.

As doses de nitrogênio foram aplicadas em três parcelamentos em cada ano de safra, 2015/2016 (15/16), 2016/2017 (16/17) e 2017/2018 (17/18). O primeiro parcelamento foi realizado no início do mês de novembro, os dois restantes foram aplicados em intervalos de 40 a 50 dias após a última adubação. Os fertilizantes utilizados nos tratamentos no fornecimento de N e os demais, superfosfato triplo (ST) e cloreto de potássio (KCl), foram aplicados sobre o solo na projeção dos ramos plagiotrópicos da planta de cafeeiro, sobre toda a superfície. O fornecimento KCl, ST e quando necessário os micronutrientes, foram fornecidos segundo a análise de solo, realizada para planejamento da adubação em cada safra, de acordo com as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (GUIMARÃES et al., 1999), (APÊNDICE A), na mesma dose para todos os tratamentos. O ST não foi parcelado, o KCl parcelado em três vezes e os micronutrientes foram aplicados separadamente no solo e quando necessário via foliar.

2.2 Análise sensorial

Para a avaliação da qualidade da bebida foi realizada a coleta seletiva de 4 litros de café cereja de cada parcela em 25/05/16, 26/05/2017 e 19/05/2019. Após a coleta, os grãos foram descascados em descascador elétrico, modelo Pinhalense®. Após descascadas as amostras foram inseridas individualmente em recipientes de polietileno com capacidade de 6 litros, contendo água até o recobrimento total dos grãos por período de 24 horas para a retirada da mucilagem. Após 24 horas os grãos foram lavados em água limpa e corrente para retirada da mucilagem e colocados em recipientes telados para secagem em casa de vegetação. Logo em seguida foi realizada a catação manual de cascas de café e grãos chochos que sobraram após as amostras terem sido descascadas. As amostras ficaram em casa de vegetação e em recipientes telados até atingirem umidade na faixa entre 10,8 e 11,2%. Após atingirem essa umidade as amostras foram descascadas para retirada do endocarpo (pergaminho) em moinho elétrico. As amostras de café foram armazenadas em sacos de papel e guardados em câmara fria até o momento de serem preparadas e realizadas as análises sensoriais segundo metodologia da Specialty Coffee Association of America (SCAA).

A avaliação da análise sensorial do café foi realizada por três profissionais com habilidade para diferenciar aromas, gostos e características específicas na prova de xícara com realização da análise sensorial. Para isso os provadores de café utilizaram de notas de acordo com o protocolo estabelecido pela SCAA.

Para a avaliação atribuíram-se notas para onze atributos do café: Fragrância/Aroma, Uniformidade, Ausência de Defeitos (Xícara Limpa), Doçura, Sabor, Acidez, Corpo, Finalização, Equilíbrio, Defeitos e Avaliação Global.

Aos resultados obtidos pela análise sensorial foram estabelecidas e atribuídas notas segundo a SCAA (2009), (Tabela 1).

Tabela 1 - Escala de qualidade para a qualidade de bebida café cereja.

Pontuação total	Descrição especial	Classificação
95-100	Exemplar	Especialidade Super Premium
94-90	Excepcional	Especialidade Premium
85-89	Excelente	Especialidade
84-80	Muito bom	Especial
75-79	Bom	Qualidade Boa-Normal
74-70	Fraco	Qualidade Média

Fonte: SCAA, (2008).

2.3 Análises químicas dos grãos de café cereja

O mesmo procedimento realizado com as amostras para realização da análise sensorial foi feito para as análises químicas até no momento da retirada do endocarpo. A partir daí as amostras foram moídas em moinho elétrico e então armazenadas em câmara fria até a realização das análises. As análises químicas foram realizadas na estação experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gérias (EPAMIG), Lavras-MG. Avaliou-se os seguintes parâmetros: condutividade elétrica (CE), lixiviação de potássio (LK), acidez titulável total (ATT), açucares totais (AT), atividade da polifenoxidase (PFO), compostos fenólicos totais (Polifenóis), sólidos solúveis (SS) e cafeína.

Para a determinação da CE foi utilizado o método adaptado de Loeffler et al. (1988). A LK, obtida com a embebição das amostras por 5 horas, (Prete, 1992). Já a ATT foi obtida pelo método adaptado da AOAC (1990), adaptada para o café por Carvalho et al. (1994). Os AT foram determinados pelo método da antrona (DISHE, 1962). A PFO pelo método adaptado por Carvalho et al. (1994).

Os polifenóis foram extraídos pelo método de Goldstein & Swain (1963) e determinados pelo método de Folin Denis, descrito pela AOAC (1990). Os SS foram determinados em refratômetro de bancada, conforme normas da AOAC (1990). A determinação da cafeína foi realizada utilizando espectrofotometria com comprimento de onda a 273nm, conforme metodologia descrita por Li et al. (1990).

2.4 Teor de N nos grãos provindo dos frutos cereja

Para a determinação do teor de N nos grãos, realizou-se a coleta de aproximadamente 7 litros de café cereja de cada parcela e procedeu-se como foi feito para a análise sensorial até a secagem. Logo após foram beneficiadas e levadas para secar em estufa a 65°C até atingir peso constante. Após serem secas foram moídas e levadas ao laboratório de nutrição de plantas do Departamento de Ciência do Solo, onde foi determinado o teor de N nos grãos pelo método de Kjeldahl.

2.5 Porcentagem de maturação do café

No momento da colheita, foram coletadas amostras aleatórias de cada parcela sem um número determinado de grãos. Desta amostra composta foram separados grão a grão, e contabilizado a quantidade de cada estágio em cada amostra. A partir desta contagem foi determinada a porcentagem de maturação dos grãos de café verde, cereja, passa e seco.

2.6 Números de defeitos

A classificação do número de defeitos “tipo”, dos grãos crus, de acordo com o percentual de defeitos, matérias estranhas e impurezas foi realizada após o beneficiamento do café. Foram pesados 300 gramas da amostra e levados para classificação em bancada com a tabela oficial de classificação (Tabela 2), segundo o MAPA, 2003.

Tabela 2 - Equivalência de grãos imperfeitos e impurezas.

Quantidade	Defeitos	Equivalente
1	Grão Preto	1
1	Pedra/pau/torrão grande	5
1	Pedra/pau/torrão regular	2
1	Pedra/pau/torrão pequeno	1
1	Coco	1
1	Casca Grande	1
2	Ardidos	1
2	Marinheiros	1
2 a 3	Casca pequena	1
2 a 5	Brocados	1
3	Conchas	1
5	Verdes	1
5	Quebrados	1
5	Chochos ou mal granados	1

Fonte: MAPA – Instrução normativa (2003).

Quando somados os equivalentes do número de defeitos, se tem a classificação quanto o tipo de café, que se dá: Tipo 2: até 12 defeitos; Tipo 3: até 26 defeitos; Tipo 4: até 46 defeitos; Tipo 5: até 86 defeitos; Tipo 6: até 160 defeitos; Tipo 7: até 360 defeitos e por último Tipo 8: acima de 360 defeitos (MAPA, 2003).

2.7 Tamanho dos grãos

Para a determinação do desenvolvimento do fruto, foi adotada a metodologia proposta pelo MAPA, 2003. Foram pesados 100 gramas dos grãos crus sem defeitos, matérias estranhas e impurezas, com umidade próxima de 12%. As amostras foram passadas em série de peneiras que segue a seguinte ordem: peneira 19 chato, 13 moca, 18 chato, 12 moca, 17 chato, 11 moca, 16 chato, 10 moca, 15 chato, 9 moca, 14 chato, 13 chato, 8 moca e fundo. Após passados, foram anotados o peso retido em cada peneira. O peso anotado em cada peneira se refere a porcentagem.

2.8 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5%. Para o efeito de doses, foi feita a regressão. As

análises estatísticas serão realizadas utilizando-se o programa de análise estatística SISVAR 5.3®(Ferreira, 2011). Os gráficos plotados pelo programa Sigma Plot 11.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise sensorial

Na Tabela 3 é possível observar que nas três safras avaliadas 15/16/, 16/17 e 17/18, as notas atribuídas para cada tratamento pelos profissionais especializados foram de 81 pontos a cima. Segundo a classificação da SCAA (2009), tabela utilizada como referência, os cafés se enquadram dentro da classificação de café especial.

No três anos de avaliações, na safras 15/16, 16/17 e 17/18, todos os tratamentos se classificam como especial e descrição especial muito bom, apenas o controle obteve classificação de café especialidade, que no presente trabalho em três anos de avaliação foi o café de melhor resultado na análise sensorial, sendo o café com descrição excelente.

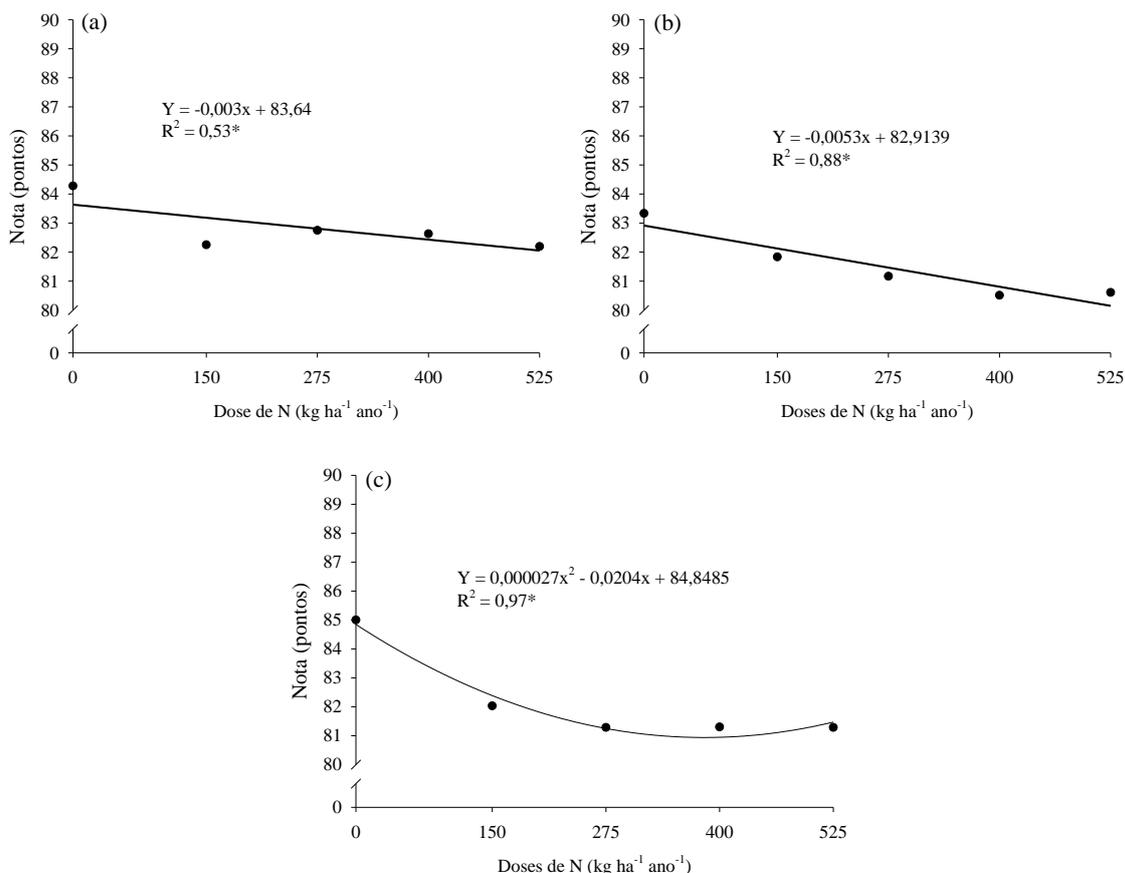
Tabela 3 - Notas atribuídas a classificação do café quanto a análise sensorial.

Tratamentos	Safra (2015/2016)	Safra (2016/2017)	Safra (2017/2018)
	Notas (pontos)		
Nitrato de amônio	82,7	81,1	82,1
Ureia	83,3	82,0	82,2
Ureia + NBPT	82,4	81,4	82,3
Controle	84,3	83,3	85,0

Fonte: Do autor (2019).

Nas safras 15/16 e 16/17, com o aumento das doses de N, a nota atribuída na análise sensorial decresceu linearmente, chegando nas notas 82,2 e 80,1 na dose de 525 kg ha⁻¹ respectivamente (Figura 1a e 1b). Na safra 17/18 houve um decréscimo quadrático na nota da bebida do café, ou seja, quanto maior a dose menor foi nota. Ressaltando que a dose 0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (controle) apresentou a maior pontuação 85,0 (Figura 1c).

Figura 1 - Notas de qualidade de bebida em função de diferentes doses de N aplicadas no cafeeiro.



Fonte: Do autor (2019).

Os resultados encontrados nas análises sensoriais mostraram quando não se realiza o fornecimento de N, as notas atribuídas são maiores e independente da fonte utilizada, não se tem uma diferenciação significativa ($p \leq 5$) entre essas. Entretanto com o aumento das doses de N, as notas apresentaram baixa queda entre a dose 0 e 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ de N. A partir da dose 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ poucas são as diferenças encontradas.

As parcelas sem adubação com N apresentaram maior nota final na análise sensorial, provavelmente devido ao amadurecimento precoce dos frutos. Com o amadurecimento precoce devido à deficiência do nutriente, os grãos se apresentaram em estágio mais avançado de maturação no momento da colheita, por isso foi a maior nota na análise sensorial. O amadurecimento nestas parcelas sem aplicação de N é muito desuniforme, a dificuldade de se conseguir a quantidade ideal de café cereja foi devido esta desuniformidade e também a pequena quantidade de café produzida por planta. A colheita não foi padronizada com base no amadurecimento pois a maturação das parcelas do controle apresentou maturação diferenciada em relação as demais parcelas que

receberem fornecimento de N. Quando são observados os dados de porcentagem de maturação de grãos (Tabela 6), o controle apresentou maior porcentagem de frutos secos no momento da colheita total, uma semana após a colheita dos frutos cereja para a análise sensorial nos três anos de safra. Esta maturação diferenciada em relação as demais se dá pelo padrão de maturação, em que as parcelas adubadas não apresentaram o mesmo aspecto visual do exocarpo (casca), com relação a coloração, estádios de maturação com pouca definição do estágio verde e por fim a textura do exocarpo que se apresentou mais grossa.

Nestas parcelas sem adubação com N as plantas se apresentaram com muito ramos produtivos e poucas folhas, o que possibilitou maior entrada de luz nos frutos de café. Ainda atrelado as parcelas do controle, com relação as análises químicas, o N foliar (capítulo 1) o N nos frutos cereja (Tabela 5) se apresentaram com os menores teores na dose $0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

As plantas tratadas com doses maiores de N, apresentaram visualmente maior enfolhamento e segundo análises químicas, maiores teores de N foliar e N nos grãos cereja. Possivelmente a maturação dos grãos nas maiores doses de N pode ter sido retardada por conta do maior crescimento vegetativo do cafeeiro, com isso os frutos tiveram menores incidência da luz, apresentando no final na análise sensorial menores notas.

Em trabalho realizado por Malta et al. (2003) foram observadas diferenças sensoriais entre fontes de N. As plantas tratadas com nitrato de amônio tiveram bebida de menor qualidade enquanto as tratadas com ureia apresentaram melhor classificação juntamente com as outras fontes analisadas. Clemente (2010), relata que plantas em situação de deficiência nutricional tornam-se susceptíveis aos danos mecânicos afetando a membrana promovendo maior contato entre as enzimas e os compostos químicos presentes no meio intra e extracelular dentro do grão, isso pode provocar reações químicas que modificam a composição química inicial do café, e como consequência ocorre alterações na qualidade da bebida. Essa alteração pode ser positiva ou negativa, nesse trabalho plantas as com deficiência de N (controle) obtiveram melhores pontuações na análise sensorial.

Segundo Clemente (2010), o N restringe a qualidade de bebida, podendo-se dizer que não são necessárias altas doses do nutriente para se obter produção de café com qualidade superior. Amorim (1967) também comprovou que a adubação

nitrogenada contribui negativamente para a qualidade de bebida do cafeeiro, mesmo com essa diferença sendo sutil.

Com o resultado deste trabalho é possível afirmar que doses muito altas de N possibilitou maior desenvolvimento do café no momento da colheita, devido ao efeito causado por essas altas doses, se obtém maior desuniformidade na maturação dos grãos.

É importante ressaltar que a adubação nitrogenada é essencial para a manutenção da lavoura e a obtenção de altas produtividades. O fato da análise sensorial ter recebido maiores notas nas plantas sem adubação não representam uma análise conclusiva de que não adubar a lavoura se produzirá frutos de melhor qualidade. Nos próximos dois tópicos são apresentados outras análises que descrevem o comportamento das parcelas que não receberam adubação nitrogenada.

Outro ponto muito importante é com relação a produtividade apresentados no capítulo 1, que foram muito baixas nas parcelas sem controle, com média de 25 sacas ha^{-1} , enquanto que com o uso do nitrato de amônio, ureia e ureia + NBPT foi de 46, 44, 42 respectivamente. Com essa média de produtividade de 25 sacas ha^{-1} não se pagam nem os custos de produção por hectare.

Portanto, pode-se afirmar que, mesmo com a qualidade maior da bebida a adubação nitrogenada do cafeeiro é necessária, para se alcançar a viabilidade econômica da produção. Entretanto, é importante atentar para o fornecimento do nutriente na dose em que a produtividade não seja afetada economicamente, pois a qualidade de bebida apresentou decréscimo com o aumento progressivo das doses. E mesmo assim as notas atribuídas a qualidade da bebida nas três safras nas plantas tratadas com N foram descritas como muito bom e classificação especial.

3.2 Análises químicas dos grãos de café cereja

Os resultados das análises químicas qualitativas dos grãos de café foram obtidos apenas para as safras 16/17 e 17/18 (Tabela 4). As fontes apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) isoladamente.

Os resultados da análises dos parâmetros químicos do grão de café cru: condutividade elétrica (CE), lixiviação de potássio (LK), sólidos solúveis (SS), acidez titulável total (ATT), açúcares totais (AT), polifenóis, proteínas, cafeína e polifenoxidase (PFO) encontram-se na Tabela 4.

Na safra 16/17 o controle diferiu significativamente das fontes nos parâmetros CE, LK e ATT, sendo superior, e os outros componentes químicos não diferiram estatisticamente independente da fonte. Somente na análise de PFO o controle apresentou menor valor do que as demais fontes, apresentando menor resultado.

Em relação à safra 17/18 não houve diferenças significativas entre as doses em relação a SS, polifenóis e cafeína. Notório também que o controle em todas as análises químicas se apresentou superior estatisticamente. A ureia obteve menor resultado em relação a LK e irregular também pela CE, assim como o nitrato de amônio. Em relação a PFO a ureia + NBPT obteve o menor valor.

Tabela 4 - Resultado das análises químicas dos grãos de café em função das fontes de nitrogênio nas duas safras 2016/17 e 2017/18.

2016/2017								
Tratamentos	CE (S cm ⁻¹ g ⁻¹)	LK(ppm g ⁻¹)	SS (%)	ATT (N g ⁻¹)	AT (%)	Polifenóis (%)	Cafeína (%)	PFO (U min ⁻¹ g ⁻¹)
Nitrato de amônio	88,3b	42,0b	31,8a	172,3b	9,3a	5,9a	1,0a	43,7a
Ureia	87,6b	40,8b	32,7a	171,0b	9,3a	5,8a	1,0a	44,9a
Ureia + NBPT	90,3b	42,5b	31,5a	174,7b	8,5a	5,7a	1,0a	43,5a
Controle	98,9a	45,4a	29,2a	186,7a	9,1a	5,9a	1,0a	40,9b
Média	91,3	42,7	31,3	176,2	9,1	5,8	1	43,2
CV (%)	7,8	7	9,3	5,3	8,9	5,8	3,5	6,2
2017/2018								
Tratamentos	CE (S cm ⁻¹ g ⁻¹)	LK (ppm g ⁻¹)	SS (%)	ATT (N g ⁻¹)	AT (%)	Polifenóis (%)	Cafeína (%)	PFO (U min ⁻¹ g ⁻¹)
Nitrato de amônio	93,8b	35,3a	29,4a	196,6b	10,1a	6,3a	1,0a	49,1a
Ureia	90,4b	32,0b	29,9a	200,3b	10,1a	6,3a	1,0a	48,9a
Ureia + NBPT	97,6a	35,5a	31,2a	201,1b	9,9a	6,3a	1,0a	46,1b
Controle	97,3a	34,4a	27,8a	207,1a	10,2a	6,3a	1,0a	47,8a
Média	94,8	34,3	29,6	201,3	10,1	6,3	1	48
CV (%)	4,8	6,8	7,5	3,4	4,5	2,1	4,5	2,7

Legenda: Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade).

Fonte: Do autor (2019).

Os valores médios de PFO foram maiores nos tratamentos com N, $44 \text{ U min}^{-1} \text{ g}^{-1}$ e menores para o controle, $41 \text{ U min}^{-1} \text{ g}^{-1}$ na safra 16/17 e para a safra de 17/18 maiores valores encontrados foram para o nitrato de amônio, ureia e controle, com média de $49 \text{ U min}^{-1} \text{ g}^{-1}$ e menores para o controle, de $46 \text{ U min}^{-1} \text{ g}^{-1}$. Estes valores encontram-se abaixo do encontrado por (MALTA, 2003). A fonte nitrato de amônio aumentou teor de polifenoloxidase até a dose 120 kg ha^{-1} de N. Após essa dose observou-se queda na quantidade da enzima e conseqüentemente menor qualidade de bebida. Quanto menor a atividade da PFO menor a qualidade do café. A avaliação da ATT apresenta correlação com a PFO e conseqüentemente com a qualidade da bebida, pois cafés de melhor qualidade apresentam menor índice de acidez (CARVALHO et al., 1994). Malta (2003) encontrou maiores valores nos teores de ATT.

Os ácidos clorogênicos são os principais compostos fenólicos (polifenóis) encontrados nos grãos de café e sua relação com a qualidade da bebida é inversa, ou seja, mais polifenóis menor a qualidade da bebida (SILVA, 1999). Segundo Carvalho et al. (1989), essa relação inversamente proporcional dos compostos fenólicos com a bebida está diretamente relacionada com o ataque de microrganismos e o grau de maturação dos frutos. Teores de compostos fenólicos totais com doses maiores de 161 kg ha^{-1} de nitrato de amônio apresentaram até 6,82% de polifenóis, doses acima aumentaram o teor desses compostos (MALTA, 2003). Os cafés com menos injúria (mecânica, microbiana ou fisiológica) são considerados de melhor qualidade, pois os compostos fenólicos aumentam com aumento de injúrias nas membranas celulares dos grãos (AMORIM E SILVA, 1968).

Os valores encontrados de AT ficaram entre 9,1 e 10,2%, considerado boa faixa para o café de boa qualidade de bebida. O teor dos mesmos em maior quantidade nos grãos de café beneficiado proporciona melhor qualidade de bebida e favorecem o sabor e o aroma (CHAGAS, 1994; SILVA, 1999). Segundo Amorim et al. (1976), cafés de melhor qualidade de bebida possuem teores elevados de açúcares. Na faixa de 5 a 10%, estão enquadrados os cafés de melhor sabor e aroma (PRETE, 1992).

A cafeína é a principal purina na composição do café e é encontrada na polpa, no citoplasma do grão e ligada à parede celular. Essa substância tem papel importante como estimulante (MENEZES, 1990). Pelo trabalho é visto que os teores de cafeínas são iguais independente das fontes. Entretanto no trabalho de Malta (2003) foi observado aumento linear da cafeína em relação ao aumento das doses de N, talvez essa seja a explicação para os teores adequados da substância.

Segundo a Organização Internacional de Café - OIC (1992), para cafés cereja descascado e seco na planta, os valores encontrados se aproximam de 29,56% e 27,48%

respectivamente em relação aos sólidos solúveis. Em trabalho proposto por Pimenta (1996) foram encontrados valores de 31,25% para café cereja. Nesse caso se enquadra dentro do trabalho, em que os frutos foram colhidos no estágio de maturação cereja e passou pelo processo de desmucilação mecânica, o café desmucilado. Os teores encontrados nas duas safras são semelhantes aos encontrados por estes autores.

Em trabalho realizado por Borém (2008) é comparado a qualidade do café despulpado com café natural em diferentes formas de secagem (terreiro, secador a 40°C e secador a 60°C) e foi observado que quando o café despulpado é seco em terreiro encontra-se de 85,67 S cm⁻¹ g⁻¹ de condutividade elétrica e de 23,33 ppm g⁻¹ de lixiviação de potássio. As quantidades de íons lixiviados e também a condutividade elétrica, tem ocorrido devido ao aumento das temperaturas de secagem interferindo na integridade das membranas celulares do café (MARQUES, 2006; RIBEIRO, 2003). No trabalho é pertinente observar que os teores de CE encontram-se próximos dos valores encontrados por Borém, 2008, ressaltando também que o processamento do café cereja realizado por esse autor foi em desmucilador mecânico. Esse pode ter agredido as membranas dos frutos aumentando os valores de CE e conseqüentemente os teores de K lixiviado.

Os resultados de CE do presente trabalho encontram-se dentro dos valores encontrados por Prete (1992). Segundo ele os cafés de boa qualidade apresentam valores de condutividade elétrica entre 84 e 114 S cm⁻¹ g⁻¹, ainda considera que existe uma relação inversa ente LK e CE com a qualidade da bebida. Quanto aos valores de potássio lixiviado, os resultados estão relativamente acima dos valores mencionados por Pimenta (1995) que foram de 24,37 ppm g⁻¹ para grãos de frutos cereja, e posteriormente deu aos cafés qualidade de bebida superior.

Diante disso, a alta atividade da polifenoloxidase, baixa acidez total titulável, baixos índices de condutividade elétrica têm relação direta com a qualidade da bebida de *Coffea arabica* (CLEMENTE,2010). Foi apresentado e observado no trabalho que as análises químicas comentadas pela autora se fazem presente nos resultados podendo ser a explicação das boas notas apresentadas na análise pelos cafés nas duas safras.

3.4 Teor de N nos grãos cereja

Os teores de nitrogênio (N) nos grãos cereja foram influenciados ($p \leq 0,05$) pelo efeito isolado de doses e fontes de N e não houve significância ($p \leq 0,05$) para a interação entre esses fatores (Tabela 5 e Figura 2).

Nas safras 15/16, 16/17 e 17/18 os maiores teores de N nos grãos cereja ocorreram com a aplicação do nitrato de amônio, ureia e ureia + NBPT e o menor teor para controle, sem aplicação de N.

Tabela 5 - Teores de N nos grãos provindos dos frutos cereja nas safras 15/16, 16/17 e 17/18.

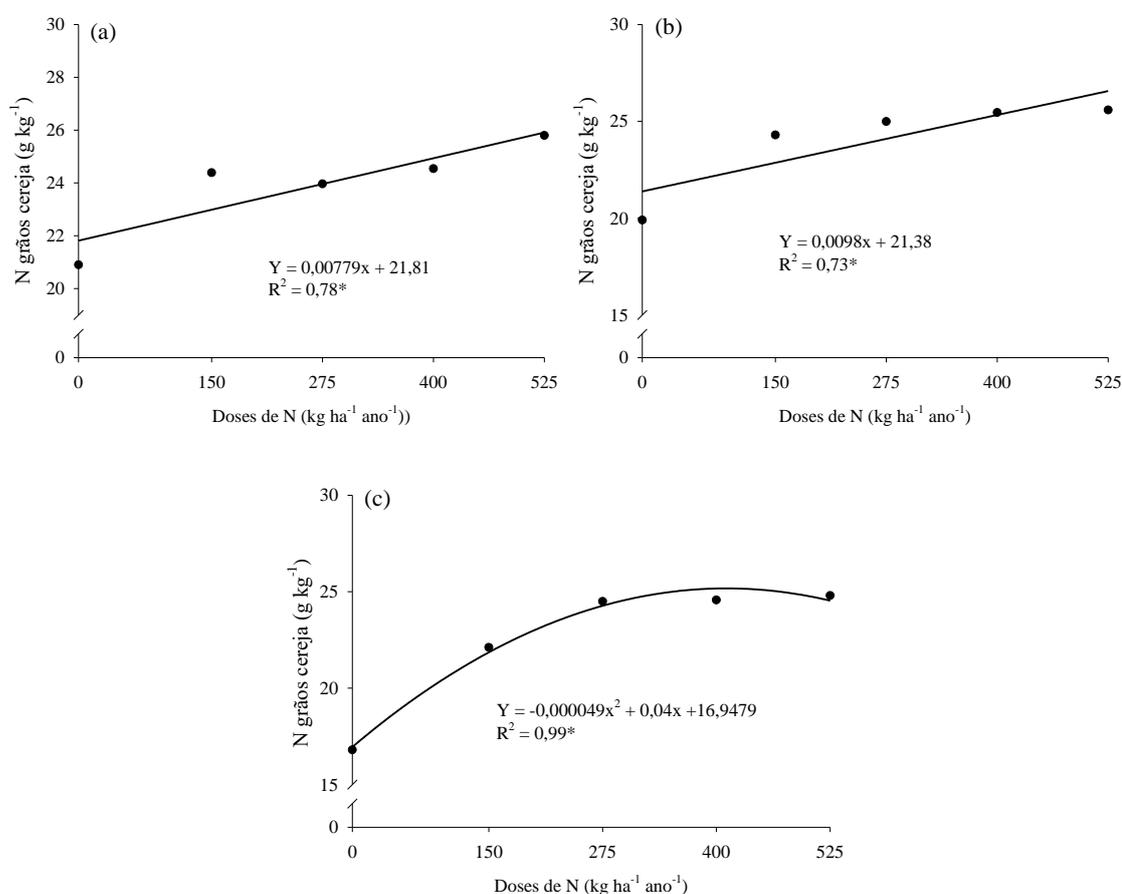
Tratamentos	Safra 15/16	Safra 16/17	Safra 17/18
	N (g kg ⁻¹)		
Nitrato de amônio	24,4a	23,9a	22,5a
Ureia	23,8a	24,0a	22,4a
Ureia + NBPT	23,5a	24,2a	22,8a
Controle	20,9b	19,9b	16,8b
Média	23,2	23,0	21,1
CV (%)	3,3	2,8	2,4

Legenda: Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade).

Fonte: Do autor (2019).

Na safra 15/16, o aumento do teor de N nos grãos cereja aumentou linearmente com o aumento das doses de N (Figura 2a), chegando a atingir 25,8 g kg⁻¹. Na safra 16/17, o aumento do teor de N nos grãos cereja apresentou aumento linear com o aumento das doses de N, chegando a atingir 26,5 g kg⁻¹ (Figura 2b). Na safra 17/18, o aumento do teor de N nos grãos cereja apresentou aumento quadrático com o aumento das doses de N, com 25,1 g kg⁻¹ na dose 408 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 2c).

Figura 2 - Teores de N em grãos de café cereja em função das doses de N aplicados no cafeeiro nas safras 15/16, 16/17, 17/18.



Fonte: Do autor (2019).

Os teores de nitrogênio nos grãos de café cereja não apresentaram diferenças significativas em relação a fonte nitrogenada nos dois anos agrícolas, entretanto observa-se redução do teor de N das duas primeiras safras 15/16 e 16/17 em relação a 17/18. Tal fato pode ser explicado pela maior carga de grãos nas plantas de café na safra 15/16 e 16/17, o que reflete em menor fornecimento de N da planta para os grãos na safra seguinte, por estar em período de crescimento vegetativo para a próxima safra 17/18.

O aumento do teor de N no grão, devido a adubação nitrogenada, não traz bons resultados havendo correlação negativa entre esse e a qualidade da bebida (AMORIM et al., 1973). Em estudo sobre o uso do salitre potássico no cafeeiro avaliando diversas características da planta, não foi observado efeito negativo desse fertilizante nitrogenado na qualidade do café (SANTINATO et al., 1996). É notável que haja contradições a respeito da relação do nitrogênio com a qualidade da bebida, todavia o uso de fertilizantes nitrogenados é uma das principais

causas do aumento de produtividade e está relacionado com várias rotas metabólicas das plantas.

3.3 Porcentagem de maturação

A porcentagem de maturação de frutos verde, cereja, passa e seco, colhidos no momento da colheita foi influenciada ($p \leq 0,05$) pelas fontes isoladamente nas safras 15/16, 16/17 e 17/18 (Tabela 6).

Na safra 15/16 a maior porcentagem de frutos no momento da colheita foi de cereja, com média de 61%. Quando se analisa o efeito das fontes na maturação, apenas os frutos secos se diferenciam das demais fontes, com 9,6% e a média do nitrato de amônio, ureia e ureia + NBPT com 3,7%. Na safra 16/17, foi obtida maior diferença dentro de cada estágio de maturação, em que os frutos cereja e passa apresentaram menores porcentagens no controle com 32,2 e 6,6 respectivamente. No estágio de seco ocorreu o contrário, o controle apresentou maior porcentagem em relação ao uso das fontes de N. Na safra 17/18 o estágio cereja foi menor no controle em relação as fontes e no estágio seco o controle foi maior. Por fim na safra 18/19 no estágio verde o controle apresentou menor porcentagem e enquanto o estágio seco foi o contrário, com maior porcentagem de maturação em relação as fontes.

Mesmo com a alta porcentagem de grãos secos na safra 16/17, 17/18 e 18/19, tomou-se o cuidado para que os frutos não caíssem no chão.

Tabela 6 - Porcentagem de maturação de grãos de café, cereja, verde, passa e seco para as safras 15/16, 16/17, 17/18 e 18/19.

Tratamentos	Safrá (2015/2016)			
	Maturação (%)			
	Verde	Cereja	Passa	Seco
Nitrato de amônio	20,7a	64,7a	11,4a	3,2b
Ureia	19,4a	63,3a	13,8a	3,4b
Ureia + NBPT	17,4a	62,7a	15,4a	4,6b
Controle	20,4a	53,3a	16,7a	9,6a
Média	19,5	61,0	14,3	5,2
CV (%)	34,2	17,8	41,5	122,1
Tratamentos	Safrá (2016/2017)			
	Maturação (%)			
	Verde	Cereja	Passa	Seco
Nitrato de amônio	13,2a	50,9a	12,0a	24,0b
Ureia	12,7a	51,2a	11,0a	25,1b
Ureia + NBPT	12,5a	50,5a	10,5a	26,5b
Controle	8,4a	32,0b	6,6b	53,0a
Média	11,7	46,1	10,0	32,1
CV (%)	46,37	24,68	34,74	47,95
Tratamentos	Safrá (2017/2018)			
	Maturação (%)			
	Verde	Cereja	Passa	Seco
Nitrato de amônio	4,5a	47,9a	17,1a	30,5b
Ureia	5,5a	47,9a	16,5a	30,2b
Ureia + NBPT	5,0a	40,3a	18,6a	36,1b
Controle	4,0a	23,0b	9,0a	64,0a
Média	4,8	39,7	15,3	40,2
CV (%)	74,7	24,0	34,0	45,0
Tratamentos	Safrá (2018/2019)			
	Maturação (%)			
	Verde	Cereja	Passa	Seco
Nitrato de amônio	23,6a	6,9a	26,2a	43,3b
Ureia	25,0a	7,9a	28,3a	38,7b
Ureia + NBPT	22,2a	8,4a	30,9a	38,5b
Controle	7,9b	6,5a	27,6a	58,0a
Média	19,7	7,4	28,3	44,6
CV (%)	33,9	27,1	22,5	17,4

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

3.4 Números de defeitos

A classificação do número de defeitos foi significativa ($p \leq 0,05$) para fontes e doses isoladamente. Quando se analisa o efeito isolado das fontes (Tabela 7) de N, na safra 15/16, apenas a ureia + NBPT apresentou o menor número de defeitos com 208 defeitos, já os demais tratamentos apresentaram média de 233 defeitos. A classificação quanto ao tipo, apresentam tipo 7, independente da fonte utilizada. Já na safra 16/17, apenas controle apresentou o maior número de defeitos com 292 defeitos. Já os demais tratamentos apresentaram média de 202 defeitos. Quanto de classifica quanto ao tipo, todos apresentam tipo 7, independente da fonte utilizada. E por fim a safra 17/18, mais uma vez apenas controle apresentou o maior número de defeitos, 383. Os demais tratamentos apresentaram média de 274 defeitos. Quanto de classifica quanto ao tipo, o tratamento controle apresenta-se fora de classificação por estar acima do tipo 8. Já os demais tratamentos apresentam classificação tipo 7.

Estes resultados de classificação dos números de defeitos são muito importantes para reafirmar que os resultados das análises sensoriais isoladamente não explicam o fato do controle ter apresentado as maiores notas, pois na análise sensorial são avaliados apenas grãos provindos da colheita de frutos cereja sem defeitos.

Tabela 7 - Classificação do número de defeitos em função da aplicação das fontes de N em três safras de café 15/16, 16/17 e 17/18.

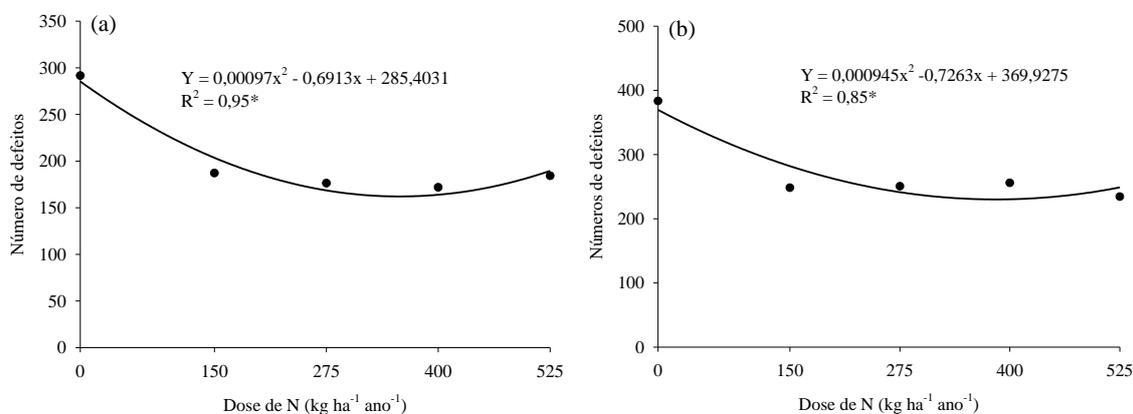
Tratamentos	Safra (2015/2016)	Safra (2016/2017)	Safra (2017/2018)
	Número de defeitos		
Nitrato de amônio	229a	201b	270b
Ureia	233a	217b	264b
Ureia + NBPT	208b	188b	289b
Controle	238a	292a	383a
Média	227	225	302
CV(%)	10,44	13,53	25,32

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

Na safra de 15/16 o efeito das doses isoladas não foram significativas. Na safra de 16/17 a dose que promoveu o menor número de defeitos foi $356 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ com 162 defeitos. E por fim, na safra 17/18 a dose de 385 kg ha^{-1} de N foi a promoveu o menor número de defeitos nos grãos na safra de 2017/2018 com 230 defeitos (Figura 3).

Figura 3 - Números de defeitos nos grãos em função das doses de N aplicados no cafeeiro, nas safras de 2016/2017 e 2017/2018.



Fonte: Do autor (2019).

3.5 Peneira

Os valores da retenção dos grãos nas diferentes peneiras foram significativamente diferentes ($p \leq 0,05$) para o efeito da fonte isoladamente nas safras de 16/17 e 17/18, e para a safra 15/16 não houve efeito das fontes nem das doses (Tabela 8). Na safra 15/16 a maior porcentagem encontrada foi para a peneira 18 e para as demais safras foi 16/17 e 17/18 foi a peneira 17.

Apenas na safra 17/18 houve diferenças significativas entre as fontes de N e o controle. Na peneira 19, 18, 17, 12m e 11m o controle apresentou menor retenção de grãos e o contrário aconteceu para as peneiras 9m, 14, 8m e fundo onde o controle apresentou os maiores valores retidos em relação ao uso das fontes de N.

Como o controle produziu muito pouco, era esperado um menor enchimento de grãos e com isso maior retenção nas peneiras de menor diâmetro. Isso aconteceu apenas na terceira safra onde os efeitos dos tratamentos são maiores com relação aos anos anteriores.

Tabela 8 - Porcentagem de retenção de grãos em diferentes formas e diâmetros de peneiras.

Safrá 2015/2016														
Tratamentos	% de retenção nas peneiras													
	19	13m	18	12m	17	11m	16	10m	15	9m	14	13	8m	Fundo
Nitrato de amônio	10,2a	0,4a	31,3a	4,1a	23,8a	9,0a	14,5a	1,9a	2,9a	0,6a	0,9a	0,2a	0,0a	0,0a
Ureia	9,2a	0,6a	31,0a	4,3a	25,5a	9,4a	12,7a	2,4a	3,1a	0,6a	0,8a	0,2a	0,0a	0,0a
Ureia + NBPT	9,2a	0,6a	30,5a	4,3a	23,8a	9,5a	14,7a	2,1a	3,4a	0,6a	0,9a	0,3a	0,0a	0,0a
Controle	8,8a	0,4a	30,9a	8,5a	20,6a	8,9a	13,7a	2,7a	3,1a	0,8a	1,1a	0,4a	0,1a	0,0a
Média	9,4	0,5	30,9	5,3	23,4	9,2	13,9	2,3	3,1	0,6	0,9	0,3	0,0	0,0
CV(%)	40,6	73,7	14,9	123,9	27,6	23,4	44,7	88,6	54,1	60,5	58,8	78,9	177,6	185,2
Safrá 2016/2017														
Tratamentos	% de retenção nas peneiras													
	19	13m	18	12m	17	11m	16	10m	15	9m	14	13	8m	Fundo
Nitrato de amônio	2,1a	0,1a	19,3a	0,4a	36,3a	4,4a	24,5a	2,7a	6,8a	0,9a	1,8a	0,5a	0,1a	0,1a
Ureia	2,5a	0,0a	19,4a	0,4a	36,2a	4,7a	23,7a	3,2a	6,7a	0,9a	1,8a	0,5a	0,1a	0,1a
Ureia + NBPT	2,2a	0,1a	19,0a	0,4a	35,0a	4,9a	25,3a	2,9a	6,9a	0,9a	1,8a	0,5a	0,1a	0,1a
Controle	2,9a	0,1a	20,4a	0,4a	37,6a	3,7a	19,4a	4,0a	6,9a	0,9a	1,9a	0,6a	0,1a	0,2a
Média	2,7	0,1	19,5	0,4	36,3	4,4	23,2	3,2	6,8	0,9	1,8	0,5	0,1	0,1
CV(%)	50,9	150,4	29,0	49,7	20,2	28,5	29,3	41,9	44,1	41,4	32,7	50,4	119,7	116,5
Tratamentos	% de retenção nas peneiras													
	19	13m	18	12m	17	11m	16	10m	15	9m	14	13	8m	Fundo
Nitrato de amônio	1,9a	0,1a	12,5a	1,1a	32,0a	4,0a	22,5a	5,7a	10,9a	2,2b	4,5b	1,7b	0,2b	0,7b
Ureia	2,0a	0,1a	12,3a	1,0a	31,0a	4,2a	22,8a	5,7a	11,1a	2,2b	4,6b	2,0b	0,3b	0,8b
Ureia + NBPT	1,2a	0,1a	10,5a	0,8a	28,1a	4,0a	23,6a	6,3a	13,5a	2,5b	5,7b	2,4b	0,4b	0,9b
Controle	0,5b	0,0a	4,6b	0,7a	22,6b	1,3b	26,9a	5,6a	12,1a	5,2a	11,2a	6,1a	0,8a	2,6a
Média	1,4	0,1	9,9	0,9	28,4	3,4	24	5,8	11,9	3	6,5	3	0,4	1,3
CV (%)	67,5	142,5	42	98,1	15,1	28,1	20,46	21,2	41,5	48,8	29,9	32,5	70,4	57,6

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Fonte: Do autor (2019).

Na safra 17/18, o tratamento controle teve apenas 29,7% de seus grãos retidos nas peneiras de 19 até 11m, enquanto a média entre os demais tratamentos foi de 49% de retenção nas mesmas peneiras. Analisando as peneiras 16, 10m e 15 todos os tratamentos obtiveram a mesma média. Porém, da peneira 9m para baixo o controle superou as médias dos demais tratamentos.

Este estudo coincide com os resultados encontrados por Laviola (2006) que avaliou a influência da adubação na formação dos grãos de diferentes cultivares cafeeiras. Segundo ele o tamanho dos grãos está ligado com os produtos formados na fotossíntese e com a nutrição mineral. Para a cultivar Catuaí-IAC99, Laviola (2006) atestou que houve influência no tamanho de grãos chatos com maior proporção de grãos graúdos (peneira acima de 17) com o nível adequado de adubação.

4 CONCLUSÕES

A análise sensorial apresentou ótimas notas nos três anos de avaliação, com descrição especial muito bom e classificação especial nas safras 15/16, 16/17 e 17/18 sendo que na safra 17/18 o controle se apresentou com descrição especial excelente e classificação especialidade

O número de defeitos dos grãos de café apresentou valores bem próximos com doses de N acima de 150 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹.

Após três anos de avaliações, o tratamento controle apresentou a maior retenção dos grãos nas menores peneiras, enquanto os outros tratamentos obtiveram a maior porcentagem de retenção nas peneiras de maior dimensão.

A falta de N promoveu a maturação mais precoce dos grãos de café em relação aos demais tratamentos.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, H. V. et al. Efeito da adubação N, P e K no teor de macro e micronutrientes do fruto e na qualidade da bebida do café. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v. 30, p. 323-333, 1973.
- AMORIM, H. V.; SILVA, D. M. Relationship between the polyphenol oxidase activity of coffee beans and the quality of the beverage. **Nature**, v. 219, n. 5152, p. 381, 1968.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 15.ed. Washington, 1990. 2v.
- BORÉM, F. M et al. Qualidade do café natural e despulpado após secagem em terreiro e com altas temperaturas. **Ciência agrotecnologia**. Lavras, v. 32, n. 5, p. 1609-1615, set./out., 2008.
- CARVALHO, V. D. et al. Relação entre a composição físico-química dos grãos de café beneficiado e a qualidade da bebida do café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 449-445, mar. 1994.
- CARVALHO, V. D.; CHAGAS, S. J. R.; SOUZA, S. M. C. **Fatores que afetam a qualidade do café**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 18, n. 187, p. 5-20, 1997.
- GUIMARÃES P. T. G. et al. Cafeeiro. P. 289-302. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para o uso de fertilizantes e corretivos**. Viçosa, MG, 1999. 359p.
- CONSELHO DOS EXPORTADORES DE CAFÉ DO BRASIL (CECAFE). **Estatísticas**: Agosto, 2019. Disponível em: <https://www.cecafe.com.br/indicadores-de-mercado/ultimo-mes/>. Acesso em 20 agosto 2019.
- CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA). **Agromensal Café**: Fevereiro, 2019. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/categoria/agromensal.aspx?mes=2&ano=2019>. Acesso em 29 maio 2019.
- CLEMENTE, J. M. **Nutrição nitrogenada e potássica afetando crescimento, produção, composição química e qualidade da bebida do Coffea arabica L.** 2010. 62 f. Dissertação (Mestre em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 2010.
- CHAGAS, S. J. de R. **Caracterização química e qualitativa de cafés de alguns municípios de três regiões produtoras de Minas Gerais**. 1994. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1994.
- CLEMENTE, J.M. **Nutrição nitrogenada e potássica afetando crescimento, produção, composição química e qualidade da bebida de Coffea arabica**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - UFV, 2010. 54p.
- DISHE, Z., 1962, **General color reaction**. In: R.L. Whistler & M.L. Wolfrom (eds.), **Methods in Carbohydrate Chemistry**, Academic Press., 1: 478-512.

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

GOLDSTEIN, J.L.; SWAIN, T. **Changes in tannins in ripening fruits. Phytochemistry**, Oxford, v.2, p.371-383, 1963.

LAVIOLA, B.G.; MAURI, A.L.; MARTINEZ, H. E. P; ARAÚJO, E. F. Influência da adubação na formação de grãos moca e no tamanho de grãos de café (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, Lavras, p. 39-42, 2006.

LI, S.; BERGUER, J.; HARTLAND, S. UV spectrophotometric determination of theobronine and caffeine in cocoa beans. **Analytica Chimica Acta, Amsterdam**, v.232, p.409-412,

LOEFFLER, T.M.; TEKRONY, D.M.; EGLI, D.B. The bulk conductivity test as an indicator of soybean quality. **Journal of Seed Technology**, Lansing, v.12, n.1, p. 37-53, 1988.

MALTA, M. R. et al. Composição química, produção e qualidade do café fertilizado com diferentes fontes e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 6, p. 1246-1252, 2003.

MARQUES, E. R. **Alterações químicas, sensoriais e microscópicas dos grãos de café cereja e descascado submetidos a diferentes taxas de remoção de água**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

MENDONÇA, L. M. V. L. et al. Composição química de grãos crus de cultivares de *coffea arabica* l. suscetíveis e resistentes à *Hemileia vastatrix* berg et br. **Ciência e agrotecnologia**. Lavras, v. 31, n. 2, p. 413-419, mar./abr., 2007.

MENEZES, H. C. **Varição dos monoisômeros e diisômeros do ácido cafeoilquínico com maturação de café**. 1990. 171 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1990.

MESQUITA, C. M. de et al. **Manual do café: colheita e preparo (*Coffea arabica* L.)**. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2016. 52 p. il.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução Normativa n. 8, de 11 de junho de 2003. **Regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru**. Brasília, p. 22-29, 2003.

ORGANIZACION INTERNACIONAL DEL CAFÉ - OIC. **El despulpado del café por medio de desmucilagadoras mecánicas sin proceso de fermentación y su efecto en la calidad de bebida de café producido en la región de Apucarana en el estado de Paraná en Brasil**. London, 1992. (Reporte de evaluación sensorial).

PRETE, C.E.C. **Condutividade elétrica do exsudato de grãos de café (*Coffea arabica* L.) e sua relação com a qualidade da bebida**. Piracicaba: ESALQ, 1992. 125p. (Tese - Doutorado em Agronomia).

PIMENTA, C. J. **Qualidade do café (Coffea arábica L.) Originado de frutos colhidos em quatro estádios de maturação.** 1995. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

RIBEIRO, D. M. **Qualidade do café cereja descascado submetido a diferentes temperaturas, fluxos de ar e períodos de pré-secagem.** 2003. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

SANTINATO, R. et al. **Fontes de Nitrogênio Solúveis, Protegidas e de Lenta Liberação na Produção do Cafeeiro irrigado – 1º biênio – Araguari – MG.** Pesquisador e Consultor Santinato & Santinato Cafés Ltda., Campinas, SP. 2013.

SILVA, E. B. **Fontes e doses de potássio na produção e qualidade do café provenientes de plantas cultivadas em duas condições edafoclimáticas.** 1999. 105 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

SILVA, E. B. **Potássio para o cafeeiro:** efeito de fontes, doses e determinação de cloreto. 1995. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

SILVEIRA, J. M. de C. et al. Produção e tamanho de grãos de café Coffea arabica L. (CV OBATÃ) sob fertirrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, n. 4, p. 204-210, 2015.

SPECIALITY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA. SCAA Protocols. **Cupping Specialty Coffee.** Long Beach: SCAA, 2009. 7 p.

APENDICE A - TABELAS

Tabela 1 – Análise do custo de produtividade média de quatro anos baseada no preço da tonelada dos fertilizantes utilizados no experimento.

Tratamentos	Dose de N (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Produtividade kg ha ⁻¹	Incremento	Rendimento bruto US\$ ha ⁻¹	Custo dos fertilizantes	Margem líquida
			Produtividade			
Nitrato de amônio	150	2717,4	1476	2509	188	2321
Nitrato de amônio	275	2830,4	1589	2700	344	2357
Nitrato de amônio	400	3221,8	1981	3366	500	2865
Nitrato de amônio	525	3121,1	1880	3194	656	2538
Ureia	150	2321,4	1080	1836	153	1683
Ureia	275	3006,4	1765	3000	280	2720
Ureia	400	2900,8	1660	2820	407	2413
Ureia	525	2770,9	1530	2599	535	2065
Ureia + NBPT	150	2669,1	1428	2426	195	2232
Ureia + NBPT	275	2940,4	1699	2887	357	2530
Ureia + NBPT	400	2537,5	1297	2203	519	1684
Ureia + NBPT	525	2648,8	1408	2392	682	1710
Controle	0	1241,0	-	-	-	-

Cotação café tipo 6 bebida dura, saca 60kg, Varginha MG (Agrolink, 26/08/2019): 420,00 R\$

Cotação dólar (R\$): 4,12

Cotação fertilizantes Cooxupé em 26/08/2019 (R\$): Nitrato de amônio: 1700; Ureia: 1930 e Ureia + NBPT: 2300

Tabela 10 - Análise química e granulométrica do solo nas profundidades de 0-5; 6-10; 0-10; 0-20 e 21-40 cm antes da implantação do experimento no ano agrícola de 2015/2016.

Profundidade (cm)	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H + Al)	SB	t	T	V	m	M.O.
	H ₂ O	—mg dm ⁻³ —		cmol _c dm ⁻³							—%—		dag kg ⁻³
0-5	4,9	10,2	148	1,0	0,3	0,3	6,6	1,7	2,0	8,3	20,3	15,2	3,8
6-10	4,7	6,5	140	1,0	0,3	0,3	6,2	1,7	2,0	7,9	21,0	15,3	3,8
0-10	4,8	6,9	156	1,0	0,4	0,2	5,6	1,8	2,0	7,4	24,2	10,0	3,6
0-20	5,1	7,6	160	1,2	0,4	0,2	5,5	2,0	2,2	7,5	26,9	9,0	3,7
21-40	5,4	6,5	150	1,5	0,6	0,1	3,7	2,4	2,5	6,2	39,4	3,9	3,4

Profundidade (cm)	M.O.	P-rem	Zn	Fe	Mn	B	S	Argila	Silte	Areia
	dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹	mg dm ⁻³				dag kg ⁻¹			
0-5	3,8	7,4	3,8	64,3	18,3	0,3	47,7	57	12	31
6-10	3,8	5,8	4,0	61,8	19,1	0,3	85,8	58	10	32
0-10	3,6	5,6	3,1	59,6	15,9	0,2	49,1	54	13	33
0-20	3,7	6,0	2,8	61,7	16,6	0,3	85,8	55	13	32
21-40	3,4	5,8	2,1	53,4	14,8	0,3	75,3	55	12	33

⁽¹⁾P, K, Fe, Zn, Mn, Cu - Extrator Mehlich 1; Ca²⁺ - Mg²⁺ - Al³⁺ - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; B - Extrator água quente; P-rem = Fósforo Remanescente

Tabela 3 - Análise química ⁽¹⁾ e granulométrica do solo amostradas na profundidade de 0-10 e 0-20 cm antes do início da adubação para o ano agrícola de 2016/2017.

Profundidade (cm)	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H + Al)	SB	t	T	V	m	M.O.
	H ₂ O	—mg dm ⁻³ —	—————cmol _c dm ⁻³ —————					—————%—————		dag kg ⁻¹			
0-10	5,4	4,41	44	0,8	1	0,1	3,46	1,9	2,0	5,4	35,8	4,9	1,9
0-20	5	3,2	48	1,4	1,4	0	3,54	2,9	2,9	6,4	44,9	0,0	2,0
Profundidade (cm)	M.O.	P-rem	Zn	Fe	Mn	B	S	Argila	Silte	Areia			
	dag kg ⁻¹	mg L ⁻³	—————mg dm ⁻³ —————				—————dag kg ¹ —————						
0-10	1,9	8,2	2	37	18	0,1	65,32	60	8	32			
0-20	2,0	9,1	3,2	48	31	0,1	78,5	58	10	32			

⁽¹⁾P, K, Fe, Zn, Mn, Cu - Extrator Mehlich 1; Ca²⁺ - Mg²⁺ - Al³⁺ - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; B - Extrator água quente; P-rem = Fósforo Remanescente

Quadro 1 - Análise química ⁽¹⁾ e granulométrica do solo por tratamento amostradas na profundidade de 0-10, 11-20 e 21-40 cm em agosto de 2017, para o tratamento nitrato de amônio.

Tratamento	Dose de N	Prof. (cm)	pH	K	P	Ca	Mg	Al ³	H + Al	SB	(t)	(T)	V	m	M.O.	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S	Argila	Silte	Areia
	(kg ha ⁻¹)		H ₂ O	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³							%		dag kg ⁻³	mg L ⁻¹	mg dm ⁻³					dag kg ⁻³			
Nitrato de amônio	150	0-10	4,8	82,6	14,0	1,0	1,1	0,1	4,0	2,3	2,4	6,2	36,7	5,4	2,4	18,6	3,0	51,0	12,0	4,3	0,1	49,7	51	15	34
Nitrato de amônio	150	11-20	4,9	78,7	14,4	1,7	0,7	0,1	4,0	2,6	2,6	6,5	39,5	2,3	2,0	19,0	5,1	39,0	11,7	4,7	0,1	53,2	55	9	36
Nitrato de amônio	150	21-40	5,4	90,4	12,9	1,9	0,8	0,0	3,0	3,0	3,0	6,0	49,6	1,3	2,1	17,0	4,2	55,4	20,8	5,3	0,1	47,7	53	13	34
Nitrato de amônio	275	0-10	4,4	93,3	7,0	1,7	0,4	0,3	6,0	2,4	2,7	8,3	28,4	12,2	2,6	16,6	3,5	68,3	13,6	4,9	0,1	61,3	56	11	33
Nitrato de amônio	275	11-20	4,9	112,8	17,8	2,5	0,7	0,1	4,6	3,4	3,5	8,1	42,7	2,6	2,5	19,2	7,5	75,9	17,8	6,6	0,1	62,3	53	13	34
Nitrato de amônio	275	21-40	4,7	90,4	11,2	2,3	0,6	0,1	4,8	3,1	3,2	7,9	39,1	3,1	2,1	16,1	4,8	62,8	13,2	4,6	0,1	63,9	56	9	35
Nitrato de amônio	400	0-10	4,3	90,4	9,8	0,9	0,4	0,6	6,7	1,5	2,1	8,2	18,5	27,1	2,3	16,2	2,6	57,3	7,5	4,4	0,1	56,7	55	13	32
Nitrato de amônio	400	11-20	4,3	95,3	16,8	1,3	0,4	0,4	6,2	2,0	2,4	8,2	24,1	17,2	2,5	16,2	4,3	67,6	10,8	6,3	0,1	56,4	52	15	33
Nitrato de amônio	400	21-40	4,6	87,5	13,6	1,5	0,6	0,2	5,4	2,3	2,5	7,7	29,9	7,6	2,4	17,1	3,3	55,2	10,0	4,9	0,1	57,0	52	16	32
Nitrato de amônio	525	0-10	4,7	55,4	5,4	1,4	0,4	0,1	4,6	2,0	2,1	6,6	30,5	5,7	1,9	10,9	1,4	55,3	22,5	4,5	0,1	62,3	43	24	33
Nitrato de amônio	525	11-20	4,9	72,9	15,4	2,1	0,5	0,1	4,0	2,8	2,9	6,8	41,5	3,4	2,1	11,8	3,9	56,2	18,8	4,5	0,2	61,6	47	18	35
Nitrato de amônio	525	21-40	4,9	63,2	17,5	1,9	0,5	0,1	3,3	2,5	2,6	5,8	43,1	2,3	1,8	13,1	3,2	46,9	15,6	3,8	0,1	59,9	52	13	35

⁽¹⁾P, K, Fe, Zn, Mn, Cu - Extrator Mehlich 1; Ca²⁺ - Mg²⁺ - Al³⁺ - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; B - Extrator água quente; P-rem = Fósforo Remanescente

Quadro 2 - Análise química ⁽¹⁾ e granulométrica do solo por tratamento amostradas na profundidade de 0-10, 11-20 e 21-40 cm em agosto de 2017, para o tratamento ureia.

Tratamento	Dose de N	Prof. (cm)	pH	K	P	Ca	Mg	Al ³	H + Al	SB	(t)	(T)	V	m	M.O.	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S	Argila	Silte	Areia
	(kg ha ⁻¹)		H ₂ O	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³						%		dag kg ⁻³	mg L ⁻¹	mg dm ⁻³						dag kg ⁻³				
Ureia	150	0-10	4,5	71,9	4,5	1,2	0,5	0,2	4,9	1,9	2,1	6,8	27,5	8,8	2,0	11,1	1,9	50,5	20,2	4,1	0,2	60,4	55	13	32
Ureia	150	11-20	5,2	67,1	9,8	2,2	0,8	0,1	3,6	3,1	3,2	6,8	46,5	1,9	2,2	12,7	3,7	53,6	24,7	4,6	0,1	56,6	55	12	33
Ureia	150	20-40	5,3	66,1	9,6	2,4	0,7	0,1	3,3	3,3	3,3	6,5	49,9	2,1	2,2	12,9	3,2	37,5	13,2	4,2	0,1	52,8	56	12	32
Ureia	275	0-10	4,8	62,2	10,9	2,1	0,4	0,1	4,3	2,7	2,8	7,0	38,5	3,9	2,2	16,0	2,7	50,1	17,7	4,6	0,0	52,6	53	12	35
Ureia	275	11-20	5,3	67,1	5,5	2,4	0,7	0,1	3,1	3,3	3,3	6,4	51,1	2,1	2,1	16,9	2,6	60,2	22,5	4,9	0,1	47,5	52	14	34
Ureia	275	20-40	5,4	60,3	6,3	2,3	0,7	0,1	2,7	3,1	3,2	5,8	53,2	1,6	1,9	15,0	1,8	57,5	19,2	4,5	0,1	45,9	52	13	35
Ureia	400	0-10	4,6	99,2	11,3	1,3	0,4	0,2	5,2	1,9	2,1	7,1	26,8	10,0	2,0	15,3	2,3	41,2	8,9	3,9	0,1	47,7	52	15	33
Ureia	400	11-20	4,7	83,6	12,9	1,6	0,4	0,1	4,9	2,3	2,4	7,2	31,9	3,8	1,9	13,3	2,2	44,8	12,1	4,1	0,1	52,9	51	15	34
Ureia	400	20-40	4,7	81,7	16,9	1,6	0,4	0,1	4,0	2,2	2,3	6,3	35,6	3,5	2,0	11,7	2,7	44,2	11,7	4,2	0,1	57,2	53	13	34
Ureia	525	0-10	4,5	120,6	28,0	1,7	0,4	0,2	5,0	2,4	2,6	7,4	32,3	7,4	2,2	18,8	3,4	34,5	14,3	4,7	0,1	51,3	53	16	31
Ureia	525	11-20	5,0	144,9	48,6	2,4	0,8	0,0	3,9	3,6	3,6	7,5	47,6	1,1	2,2	15,7	6,1	53,6	40,8	6,1	0,1	56,9	51	17	32
Ureia	525	20-40	5,0	122,5	29,5	2,1	0,7	0,0	3,5	3,1	3,1	6,6	46,6	1,3	2,1	13,7	4,8	48,6	29,2	5,4	0,1	57,4	50	19	31

⁽¹⁾P, K, Fe, Zn, Mn, Cu - Extrator Mehlich 1; Ca²⁺ - Mg²⁺ - Al³⁺ - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; B - Extrator água quente; P-rem = Fósforo Remanescente

Quadro 3 - Análise química ⁽¹⁾ e granulométrica do solo por tratamento amostradas na profundidade de 0-10, 11-20 e 21-40 cm em agosto de 2017, para o tratamento ureia.

Tratamento	Dose de N	Prof. (cm)	pH	K	P	Ca	Mg	Al ³	H + Al	SB	(t)	(T)	V	m	M.O.	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S	Argila	Silte	Areia
	(kg ha ⁻¹)		H ₂ O	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³						%	dag kg ⁻³	mg L ⁻¹	mg dm ⁻³						dag kg ⁻³					
Ureia + NBPT	150	0-10	4,8	113,8	5,9	1,2	0,4	0,2	4,0	1,9	2,1	6,0	32,2	7,3	2,0	9,8	1,5	49,5	16,1	3,6	0,1	61,8	51	16	33
Ureia + NBPT	150	11-20	5,4	120,6	12,6	2,3	0,6	0,0	3,1	3,2	3,3	6,3	51,2	1,2	2,0	14,1	3,2	54,9	28,4	4,3	0,2	59,6	51	14	35
Ureia + NBPT	150	20-40	5,5	112,8	10,7	2,4	0,7	0,0	2,8	3,3	3,4	6,1	54,4	1,2	1,8	14,4	2,6	62,2	25,9	4,2	0,2	55,9	51	15	34
Ureia + NBPT	275	0-10	5,2	72,9	13,0	2,4	0,5	0,0	3,3	3,0	3,1	6,3	48,1	1,3	2,2	15,3	1,6	42,0	10,7	4,3	0,2	59,1	51	14	35
Ureia + NBPT	275	11-20	5,4	67,1	18,7	2,8	0,6	0,0	2,9	3,5	3,6	6,4	55,0	0,8	2,1	16,0	2,3	46,8	13,6	4,4	0,2	59,9	51	15	34
Ureia + NBPT	275	20-40	5,0	44,7	11,6	2,0	0,6	0,1	3,7	2,7	2,8	6,4	41,8	2,9	2,0	14,9	2,4	47,6	13,3	4,0	0,1	59,6	52	14	34
Ureia + NBPT	400	0-10	4,9	89,5	12,4	1,6	0,5	0,1	3,7	2,3	2,4	6,0	38,4	3,4	2,1	14,9	1,3	30,2	8,0	3,5	0,1	52,9	51	16	33
Ureia + NBPT	400	11-20	4,9	73,9	12,7	1,9	0,4	0,1	3,8	2,6	2,6	6,3	40,3	2,7	1,9	14,3	1,6	33,8	9,2	3,8	0,1	56,9	55	11	34
Ureia + NBPT	400	20-40	4,6	43,7	6,9	1,3	0,4	0,1	4,2	1,8	1,9	6,0	29,9	5,3	1,8	12,1	1,3	41,0	9,3	3,5	0,1	57,0	59	8	33
Ureia + NBPT	525	0-10	4,4	92,4	8,5	0,9	0,6	0,3	5,5	1,8	2,2	7,3	24,9	15,8	2,3	19,1	2,4	53,7	11,1	3,9	0,1	53,5	52	12	36
Ureia + NBPT	525	11-20	4,7	83,6	10,0	1,5	0,7	0,1	4,6	2,4	2,5	7,0	34,3	5,6	2,3	14,7	2,4	37,1	10,0	4,0	0,0	59,5	53	12	35
Ureia + NBPT	525	20-40	4,8	72,9	9,0	1,6	0,7	0,1	4,4	2,5	2,6	6,8	35,9	3,9	2,3	13,7	2,0	46,5	12,2	4,0	0,1	56,7	53	11	36
Controle	0	0-10	5,2	134,2	23,8	2,0	0,8	0,1	3,4	3,1	3,2	6,5	47,7	1,6	2,2	18,8	3,8	52,1	27,0	4,2	0,1	38,1	52	14	34
Controle	0	11-20	5,5	136,2	22,2	2,4	0,7	0,0	2,9	3,5	3,5	6,3	54,9	1,1	2,2	19,2	5,0	49,8	26,8	4,4	0,1	40,9	52	12	36
Controle	0	20-40	5,6	126,4	13,8	2,8	0,7	0,0	2,8	3,9	3,9	6,7	58,4	1,0	2,3	16,3	3,7	28,9	15,3	3,5	0,1	46,9	47	20	33

⁽¹⁾P, K, Fe, Zn, Mn, Cu - Extrator Mehlich 1; Ca²⁺ - Mg²⁺ - Al³⁺ - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; B - Extrator água quente; P-rem = Fósforo Remanescente

Quadro 4 - Análise química do solo por tratamento amostradas na profundidade de 0-10, 11-20 e 21-40 cm em agosto de 2018, para o tratamento nitrato de amônio.

Tratamentos	Dose de N	Prof. (cm)	pH	K	P	Ca	Mg	Al ³⁺	H + Al	SB	(t)	(T)	V	m	M.O.	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	(kg ha ⁻¹)		H ₂ O	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³								%	dag kg ⁻³	mg L ⁻¹	mg dm ⁻³						
Nitrato de amônio	150	0-10	6,6	105,1	48,4	4,1	0,8	0,0	1,9	5,1	5,1	7,0	72,7	0,4	2,0	25,7	5,4	28,8	15,6	4,4	0,3	142,1
Nitrato de amônio	150	11-20	5,2	91,4	58,1	2,1	0,4	0,1	4,0	2,7	2,8	6,8	40,4	2,5	2,1	22,1	4,7	37,0	14,6	4,1	0,4	163,0
Nitrato de amônio	150	20-40	5,2	120,2	20,3	1,7	0,3	0,0	3,8	2,3	2,3	6,1	37,6	1,7	2,0	25,0	3,1	33,5	12,7	3,6	0,3	161,9
Nitrato de amônio	275	0-10	4,6	82,3	12,9	1,5	0,3	0,3	6,4	2,0	2,3	8,4	24,1	11,0	2,3	26,0	4,2	42,9	6,0	3,7	0,2	147,0
Nitrato de amônio	275	11-20	4,6	81,5	12,6	1,2	0,3	0,3	6,5	1,6	1,9	8,1	20,1	16,1	2,2	22,4	4,7	39,4	4,7	3,3	0,2	134,1
Nitrato de amônio	275	20-40	4,8	65,7	9,9	1,1	0,2	0,3	5,8	1,5	1,8	7,4	20,7	14,1	2,0	24,3	5,0	36,9	4,9	2,7	0,2	97,4
Nitrato de amônio	400	0-10	4,1	66,0	57,5	1,0	0,3	0,6	8,9	1,5	2,1	10,4	14,0	29,3	2,0	27,4	2,7	52,4	4,2	3,6	0,3	123,1
Nitrato de amônio	400	11-20	4,0	61,4	26,9	1,0	0,2	0,7	5,9	1,4	2,1	7,3	19,0	32,2	2,1	23,7	2,5	57,1	6,1	3,9	0,4	84,5
Nitrato de amônio	400	20-40	4,1	51,2	11,2	0,7	0,1	0,6	7,2	0,9	1,6	8,1	11,5	40,0	1,9	23,0	2,0	44,5	3,4	3,3	0,3	81,7
Nitrato de amônio	525	0-10	5,0	97,5	43,2	2,0	0,5	0,2	6,0	2,7	2,9	8,7	31,1	6,9	2,3	35,2	5,7	48,7	12,7	4,7	0,3	91,2
Nitrato de amônio	525	11-20	4,1	53,1	35,5	1,2	0,2	0,6	9,7	1,5	2,1	11,2	13,5	27,3	2,0	28,2	3,0	62,6	9,0	3,6	0,2	119,6
Nitrato de amônio	525	20-40	4,0	45,7	16,4	0,8	0,1	0,8	8,8	1,0	1,8	9,8	10,2	43,2	1,6	21,8	1,8	51,8	6,4	2,5	0,2	155,9

P, K, Fe, Zn, Mn, Cu - Extrator Mehlich 1; Ca²⁺ - Mg²⁺ - Al³⁺ - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; B - Extrator água quente; P-rem = Fósforo Remanescente

Quadro 5 - Análise química do solo por tratamento amostradas na profundidade de 0-10, 11-20 e 21-40 cm em agosto de 2018, para o tratamento ureia.

Tratamentos	Dose de N	Prof. (cm)	pH	K	P	Ca	Mg	Al ³	H + Al	SB	(t)	(T)	V	m	M.O.	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	(kg ha ⁻¹)		H ₂ O	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³						%		dag kg ⁻³	mg L ⁻¹	mg dm ⁻³					
Ureia	150	0-10	5,1	157,8	46,2	2,1	0,3	0,1	4,4	2,8	2,9	7,2	38,6	4,2	2,4	33,6	2,6	25,8	4,2	2,6	0,3	76,0
Ureia	150	11-20	4,6	110,9	29,7	1,5	0,2	0,2	6,0	2,0	2,2	7,9	24,9	10,9	2,2	22,6	2,1	39,6	8,5	2,6	0,2	128,6
Ureia	150	20-40	4,7	94,5	6,7	1,2	0,1	0,2	5,2	1,5	1,8	6,7	23,0	12,0	1,9	14,4	1,0	26,9	2,8	1,8	0,2	125,9
Ureia	275	0-10	5,4	204,4	15,4	2,2	0,3	0,1	4,0	3,1	3,1	7,1	43,3	2,6	1,7	24,1	2,4	38,2	5,6	3,2	0,3	109,5
Ureia	275	11-20	4,8	133,0	8,0	1,4	0,2	0,2	5,5	2,0	2,2	7,5	26,4	9,2	2,0	24,7	2,5	61,1	10,8	2,9	0,2	147,5
Ureia	275	20-40	5,0	92,0	3,5	1,7	0,4	0,1	4,1	2,4	2,5	6,5	36,5	4,1	1,8	19,1	2,1	51,2	10,2	2,6	0,3	159,4
Ureia	400	0-10	4,5	69,6	14,6	1,2	0,2	0,5	7,4	1,6	2,1	8,9	17,5	23,4	2,3	27,1	3,6	48,8	5,0	2,4	0,2	146,5
Ureia	400	11-20	4,4	52,5	19,8	0,7	0,1	0,9	9,2	1,0	1,8	10,2	9,4	47,5	2,2	26,2	2,9	62,4	7,7	2,4	0,2	154,4
Ureia	400	20-40	4,1	36,1	13,3	0,6	0,1	0,9	10,9	0,8	1,6	11,6	6,6	53,1	2,1	23,3	2,5	59,1	6,6	2,1	0,3	118,2
Ureia	525	0-10	4,0	80,0	8,3	0,5	0,1	0,3	5,8	0,8	1,2	6,7	12,3	28,7	1,4	14,4	1,4	34,0	9,7	2,9	0,2	136,0
Ureia	525	11-20	4,0	81,1	8,8	0,7	0,1	0,6	8,1	1,0	1,6	9,0	10,8	37,6	1,9	20,7	2,5	38,6	11,2	3,5	0,2	167,6
Ureia	525	20-40	3,7	46,9	4,0	0,5	0,1	0,4	6,6	0,8	1,2	7,4	10,3	35,0	1,5	15,2	1,9	32,2	15,7	2,9	0,1	170,2

P, K, Fe, Zn, Mn, Cu - Extrator Mehlich 1; Ca²⁺ - Mg²⁺ - Al³⁺ - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; B - Extrator água quente; P-rem = Fósforo Remanescente

Quadro 6 - Análise química do solo por tratamento amostradas na profundidade de 0-10, 11-20 e 21-40 cm em agosto de 2018, para o tratamento ureia.

Tratamentos	Dose de N	Prof. (cm)	pH	K	P	Ca	Mg	Al ³⁺	H + Al	SB	(t)	(T)	V	m	M.O.	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	(kg ha ⁻¹)		H ₂ O	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³							%		dag kg ⁻³	mg L ⁻¹	mg dm ⁻³					
Ureia + NBPT	150	0-10	4,9	93,0	8,7	2,2	0,3	0,1	4,5	2,8	2,9	7,3	38,2	4,8	2,5	28,5	3,2	68,0	10,8	3,9	0,1	67,9
Ureia + NBPT	150	11-20	5,1	93,4	8,3	2,0	0,3	0,3	4,8	2,5	2,8	7,3	34,6	9,0	2,6	25,2	3,2	73,8	10,2	3,8	0,1	107,5
Ureia + NBPT	150	20-40	4,6	68,8	4,1	1,4	0,2	0,4	5,6	1,7	2,2	7,4	23,4	19,5	2,1	20,8	1,9	78,8	8,8	3,5	0,1	161,8
Ureia + NBPT	275	0-10	5,5	127,3	28,1	2,2	0,4	0,2	4,2	2,9	3,1	7,1	41,2	5,8	2,4	29,7	6,2	50,0	15,3	5,1	0,2	47,7
Ureia + NBPT	275	11-20	5,0	84,0	46,5	1,7	0,4	0,2	4,4	2,3	2,5	6,7	34,3	8,7	2,4	26,1	5,4	51,9	13,1	4,4	0,2	81,2
Ureia + NBPT	275	20-40	4,3	49,4	20,4	0,7	0,1	0,7	7,4	1,0	1,7	8,3	11,4	43,1	2,2	23,0	1,6	68,6	10,1	3,5	0,1	116,1
Ureia + NBPT	400	0-10	4,6	100,8	27,9	1,6	0,3	0,3	5,4	2,2	2,5	7,6	28,7	12,5	2,3	25,5	4,0	40,4	7,6	4,6	0,0	133,5
Ureia + NBPT	400	11-20	4,8	88,5	26,7	1,5	0,3	0,3	4,4	2,1	2,3	6,4	31,9	10,9	1,7	22,5	3,2	38,3	5,6	3,6	0,2	120,7
Ureia + NBPT	400	20-40	4,0	60,5	7,0	0,8	0,1	0,5	4,9	1,1	1,5	5,9	17,6	31,4	1,6	19,4	1,3	32,3	4,1	2,6	0,2	135,9
Ureia + NBPT	525	0-10	4,2	94,5	13,6	1,0	0,2	0,5	6,6	1,4	1,9	8,0	17,9	25,9	2,1	16,2	1,8	43,3	7,2	4,3	0,1	138,9
Ureia + NBPT	525	11-20	4,7	99,9	34,8	1,9	0,5	0,2	4,9	2,7	2,9	7,6	35,2	6,6	2,2	25,6	3,6	40,6	9,8	4,9	0,2	120,7
Ureia + NBPT	525	20-40	4,6	53,7	33,1	1,6	0,3	0,3	5,2	2,0	2,3	7,2	27,8	11,5	2,1	23,6	2,3	36,9	13,5	3,7	0,1	115,2
Controle	0	0-10	7,3	306,8	16,6	3,1	0,6	0,1	1,8	4,5	4,6	6,3	70,7	2,4	2,2	25,5	4,4	75,2	32,6	4,8	0,0	12,2
Controle	0	11-20	6,6	245,8	7,7	2,0	0,5	0,1	2,1	3,1	3,2	5,2	59,8	3,1	2,0	16,0	3,9	59,0	27,3	3,9	0,2	50,6
Controle	0	20-40	6,5	174,7	3,2	2,0	0,6	0,1	1,8	3,0	3,1	4,8	62,6	4,2	1,9	17,6	2,2	75,2	33,5	3,4	0,1	52,4

P, K, Fe, Zn, Mn, Cu - Extrator Mehlich 1; Ca²⁺ - Mg²⁺ - Al³⁺ - Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; B - Extrator água quente; P-rem = Fósforo Remanescente

APENDICE B – FOTOS

Imagem 1 - Parcela controle (sem aplicação de N), fevereiro de 2018



Imagem 2 - Depauperamento da parcela controle (sem aplicação de N), março de 2018



Imagem 3 - Parcela com aplicação de N ($525 \text{ kg de N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), março de 2018