



CRISTHIAN JOSÉ HERNÁNDEZ LÓPEZ

**TECNOLOGIAS DE FERTILIZANTES NITROGENADOS
PARA LAVOURAS CAFEEIRAS: FERTILIZANTES
CONVENCIONAIS BLEND E ORGANOMINERAL**

**LAVRAS - MG
2024**

CRISTHIAN JOSÉ HERNÁNDEZ LÓPEZ

**TECNOLOGIAS DE FERTILIZANTES NITROGENADOS PARA LAVOURAS
CAFEIIRAS: FERTILIZANTES CONVENCIONAIS BLEND E ORGANOMINERAL**

Dissertação 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 Mestre.

Prof. Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva
Orientador

LAVRAS - MG

2024

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

López, Cristhian José.

Tecnologias de fertilizantes nitrogenados para lavouras
cafeeiras: fertilizantes convencionais blend e organomineral /
Cristhian José López. - 2024.

56 p. : il.

Orientador(a): Douglas Ramos Guelfi.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2024.

Bibliografia.

1. Café arábica. 2. Perdas de amônia (NH₃). 3. Tecnologias de
fertilizantes nitrogenados. I. Guelfi, Douglas Ramos. II. Título.

CRISTHIAN JOSÉ HERNÁNDEZ LÓPEZ

**TECNOLOGIAS DE FERTILIZANTES NITROGENADOS PARA LAVOURAS
CAFEIIRAS: FERTILIZANTES CONVENCIONAIS BLEND E ORGANOMINERAL**

**NITROGEN FERTILIZER TECHNOLOGIES FOR COFFEE CROP:
CONVENTIONAL BLEND AND ORGANOMINERAL FERTILIZERS**

Dissertação 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 Mestre.

Aprovada em 8 de abril de 2024.

Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva UFLA

Dra. Adelia Aziz Alexandre Pozza UFLA

Dr. José Laércio Favarin USP

Prof. Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva
Orientador

**LAVRAS - MG
2024**

AGRADECIMENTOS

A Deus pela bênção de alcançar meu objetivo com a conclusão do mestrado.

A Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade e a todo o corpo docente do Departamento de Ciência do Solo (DCS) e demais departamentos, por ter me concedido um ensino de qualidade do qual vou carregar por toda a minha vida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos, a Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Aos meus pais Irma Yolanda López e José Bernardo Hernández, a minha irmã, Karen Danelia Hernández López e a toda a minha família, por acreditarem em mim e conceder todo o apoio.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Douglas Guelfi, pela confiança e oportunidade de trabalhar no laboratório de fertilizantes e corretivos, e pelos conselhos e ensinamentos que irie carregar por toda a minha carreira profissional.

Aos amigos do grupo de fertilizantes e corretivos, Adrianne, Ana Paula, Maria Elisa, Euler, Mateus, Gustavo e Damiany, pela ajuda, conselhos, apoio para condução dos experimentos e a amizade construída.

Ao técnico Humberto por todo apoio durante a realização de análises em laboratório e pela amizade construída.

Aos funcionários da Universidade Federal de Lavras, Livia, Mariene, Denise, Alessandra, “Pezão”, que auxiliaram na realização de análises e na organização da nossa Universidade.

A Fazenda Samambaia, em especial para Daniela, por conceder área experimental e todo o apoio para condução dos experimentos.

Aos membros da banca de defesa, Prof. Dr. José Laércio Favarin, Prof. Dra. Adelia Aziz Alexandre Pozza, pela disponibilidade e contribuições que enriqueceram a escrita deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da empresa AgroCP.

A todos que de forma direta ou indiretamente ajudaram na realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

Uma forma importante de aumentar a produtividade na cafeicultura é melhorar a eficiência dos fertilizantes por meio da adoção de inovações e tecnologias. Neste sentido, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a eficiência de uso de tecnologias de fertilizantes nitrogenados para o cafeeiro em produção. O experimento foi realizado em lavouras de *Coffea arabica* L., localizado no município de Santo Antônio do Amparo - MG, Brasil. Seguiu-se o delineamento em blocos casualizados, com três repetições com os seguintes fertilizantes: 1) ureia convencional; 2) nitrato de amônio e 3) organomineral, parcelado em três aplicações (3x); 4) mistura física de ureia de liberação controlada + ureia com NBPT (1x) e 5) organomineral em um parcelamento (1x) nas doses de N: 0, 200, 280 e 400 kg ha⁻¹ano⁻¹. As seguintes avaliações foram realizadas: curvas de liberação de N dos fertilizantes em campo e laboratório; teores foliares de N; dinâmica de N-mineral no solo; perdas de amônia (NH₃); produtividade, renda e rendimento. No teste de liberação de nutrientes no campo a mistura física entre ureia de liberação controlada + ureia com NBPT promoveu liberação de 86% do N aos 252 dias. O organomineral liberou 100% do N na 1ª semana. Aumentos nos teores foliares de N ocorreram até a dose de 240 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na 1ª amostragem de folhas realizada no mês de dezembro e na dose de 216 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na 2ª coleta no mês de março com valores de 3,32 dag kg⁻¹ e 3,01 dag kg⁻¹. As perdas acumuladas de N-NH₃ seguiram a ordem decrescente: organomineral (3x) (87,45 kg N ha⁻¹) > ureia (76,97 kg N ha⁻¹) > organomineral (1x) (64,10 kg N ha⁻¹) > blend (47,37 kg N ha⁻¹) > nitrato de amônio (6,95 kg N ha⁻¹). A produtividade do cafeeiro aumentou em função das doses de N, atingindo valor máximo de 3.360 kg ha⁻¹ na dose 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ valor 31% maior em comparação ao controle. As tecnologias para fertilizantes nitrogenados são uma opção importante para mitigar as perdas de N-NH₃, em comparação a ureia convencional e promover melhor aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados na cafeicultura.

Palavras-chave: Café arábica; Perdas de amônia (NH₃); Tecnologias de fertilizantes nitrogenados.

ABSTRACT

An important way to increase productivity in coffee farming is to improve fertilizer efficiency through the adoption of innovations and technologies. In this sense, the objective of this work was to evaluate the efficiency of using nitrogen fertilizer technologies for coffee plants in production. The experiment was carried out in *Coffea arabica* L. crops, located in the municipality of Santo Antônio do Amparo - MG, Brazil. A randomized block design was followed, with three replications with the following fertilizers: 1) conventional urea; 2) ammonium nitrate and 3) organomineral, divided into three applications (3x); 4) physical mixture of controlled-release urea + urea with NBPT (1x) and 5) organomineral in installments (1x) at N doses: 0, 200, 280 and 400 kg ha⁻¹year⁻¹. The following evaluations were carried out: N release curves from fertilizers in the field and laboratory; leaf N levels; N-mineral dynamics in the soil; ammonia (NH₃) losses; productivity, income and yield. In the nutrient release test in the field, the physical mixture of controlled-release urea + urea with NBPT promoted the release of 86% of N after 252 days. The organomineral released 100% of the N in the 1st week. Increases in leaf N levels occurred up to a dose of 240 kg ha⁻¹ year⁻¹ in the 1st leaf sampling carried out in December and at a dose of 216 kg ha⁻¹ year⁻¹ in the 2nd collection in March with values of 3.32 dag kg⁻¹ and 3.01 dag kg⁻¹. The accumulated losses of N-NH₃ followed the decreasing order: organomineral (3x) (87.45 kg N ha⁻¹) > urea (76.97 kg N ha⁻¹) > organomineral (1x) (64.10 kg N ha⁻¹) > blend (47.37 kg N ha⁻¹) > ammonium nitrate (6.95 kg N ha⁻¹). Coffee productivity increased depending on the N doses, reaching a maximum value of 3,360 kg ha⁻¹ at a dose of 400 kg N ha⁻¹ year⁻¹, a value 31% higher compared to the control. Nitrogen fertilizer technologies are an important option to mitigate N-NH₃ losses, compared to conventional urea, and promote better use of nitrogen fertilizers in coffee farming.

Keywords: Arabica coffee; Ammonia (NH₃) losses; Nitrogen fertilizer technologies.

INDICADORES DE IMPACTO

O objetivo do trabalho de dissertação baseou-se em avaliar a eficiência do uso de tecnologias de fertilizantes nitrogenados para cafeeiros em produção. Ao final do experimento, foram alcançados impactos tecnológicos diretos na área de tecnologias de fertilizantes nitrogenados, ao constatar redução nas emissões de amônia de dois fertilizantes utilizados: Blend 38% e organomineral (1x) 16% em comparação à uréia convencional em parcelas de cultivo de café em produção. Para a execução do experimento foi estabelecida uma parceria com a fazenda de café Samanbaia localizada no município de Santo Antonio de Amparo onde estiveram envolvidos na execução um professor, um técnico e 8 alunos da universidade federal de lavras. O impacto do trabalho pode enquadrar-se na área do ambiente e da tecnologia e produção, dentro dos temas da política nacional de extensão. Os resultados indicam potenciais opções para reduzir as emissões de amônia no ambiente e melhorar a eficiência na cafeicultura, alinhando-se aos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) da ONU para consumo e produção responsáveis. Esta pesquisa contribui para fornecer informações valiosas aos produtores, promovendo a redução da poluição ambiental e o uso responsável dos insumos na produção agrícola.

IMPACT INDICATORS

The objective of the dissertation work was based on evaluating the efficiency of using nitrogen fertilizer technologies for coffee trees in production. At the end of the experiment, direct technological impacts were achieved in the area of nitrogen fertilizer technologies, by observing a reduction in ammonia emissions from two fertilizers used: Blend 38% and organomineral (1x) 16% compared to conventional urea in crop cultivation plots. coffee in production. To carry out the experiment, a partnership was established with the Samanbaia coffee farm located in the municipality of Santo Antonio de Amparo, where a professor, a technician and 8 students from the federal university of lavras were involved in the execution. The impact of the work may fall within the area of environment and technology and production, within the themes of national extension policy. The results indicate potential options to reduce ammonia emissions into the environment and improve efficiency in coffee farming, aligning with the UN sustainable development goals (SDGs) for responsible consumption and production. This research contributes to providing valuable information to producers, promoting the reduction of environmental pollution and the responsible use of inputs in agricultural production.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estoque inicial de nitrogênio e carbono no solo ($T\ ha^{-1}$) antes da implantação do experimento.....	20
Figura 2. Imagens dos grânulos do fertilizante organomineral (A), ureia + S^o + polímero (B), nitrato de amônio (C) e ureia convencional (D) capturadas em estereoscópio.....	22
Figura 3. Local de inserção dos sacos de Nylon com os fertilizantes para realização do teste de liberação em campo (projeção da copa).....	26
Figura 4. Ilustração das bases fixadas no solo e da câmara coletora do $N-NH_3$ utilizadas nas parcelas experimentais.....	27
Figura 5. Curva de liberação de N (%) pelo organomineral e blend em água destilada a 21^oC	29
Figura 6. Liberação de N dos fertilizantes (%) organomineral e do blend em condições de campo.....	31
Figura 7. Disponibilidade de $N_{Mineral}$ ($mg\ kg^{-1}$) na camada de 0-5cm do solo adubado com tecnologias para fertilizantes nitrogenados.....	33
Figura 8. Disponibilidade de amônio (NH_4^+) ($mg\ kg^{-1}$) na camada de 0-5cm do solo adubado com tecnologias para fertilizantes nitrogenados.....	36
Figura 9. Dinâmica de Nitrato (NO_3^-) ($mg\ kg^{-1}$) na camada de 0-5cm do solo adubado com tecnologias para fertilizantes nitrogenados.....	37
Figura 10. Teores foliares de nitrogênio durante a 1ª (A) e 2ª (B) coleta em lavoura cafeeira adubada com tecnologias para fertilizantes nitrogenados.....	38
Figura 11. Perdas diárias e acumuladas de volatilização de $N-NH_3$ em $kg\ ha^{-1}$ e condições meteorológicas durante o 1º parcelamento.....	40
Figura 12. Perdas diárias e acumuladas de volatilização de $N-NH_3$ em $kg\ ha^{-1}$ e condições meteorológicas durante o 2º parcelamento.....	43
Figura 13. Perdas diárias e acumuladas de volatilização de $N-NH_3$ em $kg\ ha^{-1}$ e condições meteorológicas durante o 3º parcelamento.....	45
Figura 14. Produtividade de grãos de café beneficiado em resposta às diferentes doses de N aplicadas na safra 22/23.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo da área experimental anteriormente a instalação do experimento.....	20
Tabela 3. Liberação acumulada e diária de N pelos fertilizantes em campo.....	32
Tabela 4. Proporção de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) no solo adubado com tecnologias para fertilizantes nitrogenados para o cafeeiro.....	35
Tabela 5. Perdas por volatilização de amônia (N-NH_3) das diferentes fontes nitrogenadas aplicadas no cafeeiro durante a safra (22/23).....	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REFERÊNCIAL TEÓRICO	15
2.1 Fertilizantes nitrogenados estabilizados e de liberação controlada.....	15
2.2 Blends de fertilizantes nitrogenados	16
2.3 Fertilizante organomineral	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 Características da área de estudo	19
3.2 Delineamento experimental e caracterização dos fertilizantes.....	21
3.3 Condução do experimento	22
3.4 Análise foliar	23
3.5 Produtividade, renda e rendimento	23
3.6 Curvas de liberação de Nitrogênio.....	25
3.6.1 Teste de liberação de N em laboratório	25
3.6.2 Teste de liberação de N campo	25
3.7 Perdas de nitrogênio por volatilização.....	26
4. ANÁLISE ESTATÍSTICA	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1 Curvas de liberação no laboratório	29
5.2 Curvas de liberação no campo	30
5.3 Dinâmica do N-mineral no solo (amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-)	32
5.4 Análise Foliar	37
5.5 Perdas de N-NH_3 por volatilização	39
5.6 Produtividade, Renda e Rendimento de grãos.....	49
6. CONCLUSÃO.....	52
7. REFERÊNCIAS	53

1. INTRODUÇÃO

O café destaca-se como uma das culturas mais relevantes globalmente, especialmente no Brasil, que se consolida como líder mundial na sua produção e exportação. Em 2023, foi alcançada uma produção de 55,1 milhões de sacas de 60 quilos de café beneficiado, totalizando 39,2 milhões de sacas exportadas. A área dedicada à cafeicultura no país, abrangendo as variedades arábica e conilon, alcança 2,24 milhões de hectares (CONAB, 2023).

O cafeeiro em produção apresenta uma demanda variável de N, P e K, em função da fertilidade do solo e a carga pendente da lavoura, sendo estas doses variáveis a níveis de 160 kg ha⁻¹ de N, 20 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 160 kg ha⁻¹ de K₂O ano para safras abaixo de 20 sacas de 60 kg de café beneficiado a 450 kg ha⁻¹ de N, 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 450 kg ha⁻¹ de K₂O para safras acima de 85 sacas (Cantarella et al., 2022; Sakiyama et al., 2015).

A partir do início da produção, as plantas intensificam suas exigências nutricionais, sendo os frutos os principais drenos, e a adubação precisa ser cuidadosamente planejada para atender à demanda dos frutos, somada ao crescimento vegetativo e à formação de novos nós em ramos produtivos (Martinez et al., 2003). A demanda por nitrogênio (N) no cafeeiro precisa atenção especial, pois é o nutriente requerido em maior quantidade e o segundo mais exportado no grão (Fenilli et al., 2007; Martinez et al., 2014; Cantarella et al., 2022).

Em 2021, o consumo nacional de fertilizantes nitrogenados atingiu a marca de 6,15 milhões de toneladas de nitrogênio (N), dos quais 54% foram aplicados na forma de ureia. Este dado suscita preocupações devido à elevada suscetibilidade desse fertilizante à volatilização, identificada como a principal causa das perdas de nitrogênio na agricultura (International Fertilizer Association - IFA, 2024).

Os fertilizantes nitrogenados destacam-se como um dos insumos mais consumidos na agricultura global, no entanto, é importante notar que apresentam baixa eficiência de aproveitamento pelas plantas (Ke et al., 2017). Estima-se que do total de N aplicado no cafeeiro, 25-50% é aproveitado pelas plantas e exportado via colheita (Cantarella et al., 2022; Cannavo et al., 2013; Fenilli et al., 2007). Essa baixa eficiência se deve ao fato do N ter uma dinâmica complexa no solo, que pode resultar em perdas por volatilização (NH₃), desnitrificação (N₂ e NO₂) e lixiviação (NO₃) (Sarkis et al. 2023; Byrne et al., 2020; Gregorich et al., 2015).

No contexto da cafeicultura brasileira, a volatilização de NH₃ apresenta-se como uma preocupação constante quanto à eficiência da adubação nitrogenada, devido à aplicação de uréia convencional na superfície do solo sobre resíduos vegetais, microrganismos como a enzima urease e condições de menor precipitação sobre a projeção da copa do cafeeiro, onde é aplicado

o fertilizante (de Souza et al., 2023). Quando a ureia é aplicada na superfície do solo sem incorporação, podem ocorrer perdas significativas por volatilização, alcançando em média valores de 31,2% do total de nitrogênio aplicado, o que afeta a disponibilidade de nitrogênio para as plantas de café (Dominguetti et al., 2016; Fenilli et al.; 2007)

Para reduzir as emissões de NH_3 da ureia convencional e fornecer disponibilidade adequada de N no solo, podem ser utilizadas tecnologias como: fertilizantes de liberação controlada, fertilizantes estabilizados com inibidores de urease e suas misturas (Sarkis et al., 2023; Freitas et al., 2023). No entanto, um fator limitante para a utilização dessas tecnologias é o preço. Os fertilizantes estabilizados (inibidores de ureia e nitrificação) e de liberação controlada apresentam valores no mercado superiores aos de ureia convencionais (Trenkel, 2010; Chen et al., 2011).

Os fertilizantes de liberação controlada se distinguem pela adição de compostos que recobrem os grânulos, formando uma barreira física. Essa barreira regula a liberação gradual de nutrientes por meio de difusão, garantindo um suprimento contínuo ao longo de todo o ciclo produtivo (Fu et al., 2018; Guelfi, 2017; Trenkel, 2010). Outra tecnologia importante são os fertilizantes estabilizados com inibidores de urease, que retardam a taxa de conversão do nitrogênio na forma amídica (presente na ureia) para a forma amoniacal, resultando da redução da atividade da enzima urease no solo (Timilsena et al., 2015).

Uma alternativa para minimizar os preços elevados dessas tecnologias pode ser a utilização de blends (misturas físicas) de tecnologias de fertilizantes nitrogenados (Guelfi, 2017), que se apresentam como uma categoria de fertilizantes com maior eficiência que visa agregar benefícios de dois ou mais tipos de tecnologias. A utilização de blends de fertilizantes nitrogenados tem como objetivo: a) reduzir perdas de N por volatilização, lixiviação e desnitrificação; b) possibilitar a redução no número de parcelamentos da fertilização nitrogenada; c) reduzir custos operativos e d) buscar a liberação do nutriente contido no fertilizante, em sincronia com a curva de absorção da cultura durante todo o ciclo (Freitas et al., 2023; Chagas, 2018; Funjinuma et al., 2009).

Outra tecnologia são os fertilizantes organominerais, produtos resultantes da combinação física ou mistura de fertilizantes orgânicos e minerais (Portugal et al., 2016). Os resíduos orgânicos fundamentais para a produção de fertilizantes organominerais são caracterizados por seu elevado teor de carbono orgânico, capacidade de retenção de água, capacidade de troca catiônica e baixa relação C/N. Essas características promovem a atividade microbiana do solo, aumentam a disponibilidade de nutrientes, melhoram a retenção de água e

minimizam as perdas por lixiviação ou volatilização (Chia et al., 2020; Hettiarachchi et al., 2019; Cardoso et al., 2017)

Estudos realizados na cultura do café, demonstram uma redução de 31% nas perdas por volatilização de NH_3 ao utilizar uma fonte organomineral em comparação com a ureia convencional (Machado, 2015). Entretanto, são limitados os estudos de campo realizados no cafeeiro, avaliando a eficiência de fontes organominerais nitrogenadas.

Com o intuito de abordar essas tecnologias de forma a proporcionar resultados relevantes no contexto do uso eficiente de insumos agrícolas, o presente estudo concentra-se na avaliação da eficiência dos fertilizantes organominerais e blend (Ureia NBPT + Ureia revestida com S° + polímero). O trabalho foi realizado com o objetivo de quantificar as perdas por volatilização de N-NH_3 e suas alterações nos parâmetros nutricionais como o teor de N nas folhas e a produtividade de grãos, na cultura de café da espécie *Coffea arabica* L. Além disso, buscou-se estimar as curvas de liberação de N provenientes das tecnologias nitrogenadas, tanto em condições de campo quanto em laboratório.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Fertilizantes nitrogenados estabilizados e de liberação controlada

Os fertilizantes nitrogenados estabilizados são aqueles nos quais a ureia é tratada com algum tipo de aditivo para estabilizar o nitrogênio (N) e evitar sua transformação em formas mais suscetíveis a perdas no solo (Guelfi, 2017; Domingueti et al., 2016). Este grupo pode ser subdividido em dois tipos principais de aditivos: aqueles projetados para inibir a atividade da enzima urease e aqueles destinados a inibir o processo de nitrificação (Guelfi, 2017).

Os inibidores de urease reduzem a taxa de transformação do nitrogênio (N) na forma amídica (presente na ureia) para a forma amoniacal, devido à redução da atividade da urease no solo (Timilsena et al., 2015). De acordo com Cancellier et al., (2016), esse retardo na conversão das formas de N no solo (da molécula da ureia $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ para N amoniacal NH_4^+) reduz a formação de amônia no sistema e, conseqüentemente, minimiza as perdas por volatilização.

Os fertilizantes de liberação controlada, são fertilizantes convencionais, como a ureia, que se distinguem pelo revestimento com uma barreira física. Esse revestimento é projetado para regular a penetração de água no grânulo, a taxa de dissolução do fertilizante e controlar o tempo de liberação dos nutrientes (Guelfi, 2017; Trenkel, 2010). Os tipos de revestimentos utilizados no recobrimento dos grânulos são diversos, sendo eles: naturais como algas, borracha e látex, polímeros naturais de amido, glúten de trigo ou compostos sintéticos como poliolefinas, poliestireno, poliuretano, policloreto de vinila e poliacrilamida (Guelfi, 2017).

Os seguintes critérios têm que ser atendidos para o fertilizante ser classificado como de liberação controlada: liberação menor a 15% do N total do fertilizante em um período de 24 horas; liberar menos do que 75% do N do fertilizante em 28 dias; e apresentar como garantia fornecida pelo fabricante, o tempo em dias necessário para liberar 75% do N total (Guelfi, 2017; Naz; Sulaiman; 2016; Trenkel, 2010). Os fatores que influenciam a liberação de nutrientes dos fertilizantes revestidos com polímeros são os seguintes: natureza do polímero, espessura ou quantidade, precipitação pluviométrica, temperatura e umidade do solo (Liu et al., 2019; Chagas, 2018).

O principal obstáculo no uso dos fertilizantes de liberação controlada é o custo, que tende a ser mais elevado em comparação com as demais tecnologias de fertilizantes. De acordo com Guelfi (2017), esses fertilizantes podem ter um preço de 1,5 a 10 vezes maior do que o da ureia convencional.

2.2 Mistura física (Blends) de tecnologias para fertilizantes nitrogenados

Uma alternativa importante para redução de custos durante a aplicação de fertilizantes e para um melhor ajuste da curva de liberação de nitrogênio (N) para cada cultura é a utilização integrada de tecnologias na forma de blend. Um exemplo é a mistura física de grânulos de ureia tratada com NBPT e de ureia revestida com enxofre (S^0) + polímeros. Nessa combinação, a fração de ureia tratada com NBPT é menos suscetível a perdas, sendo solúvel e atendendo à demanda imediata de N pela cultura. Isso contrasta com a fração de ureia revestida com S^0 + adição de polímeros, que apresenta uma liberação gradual em médio e longo prazo (Guelfi, 2017).

Na cultura do cafeeiro, Chagas (2018) realizou uma avaliação da aplicação de um blend composto pela combinação de ureia + NBPT e ureia revestida com enxofre (S^0) + polímeros. Os resultados indicaram uma redução significativa de 43% e 53% nas perdas de nitrogênio na forma de amônia ($N-NH_3$) durante o primeiro e o segundo ano de avaliação, respectivamente, em comparação com a utilização de ureia convencional. Ambos os fertilizantes foram aplicados na dose de 450 kg/ha de nitrogênio.

Ao avaliar o desempenho de um blend contendo 40% de ureia estabilizada com NBPT e 60% de ureia de liberação controlada na cultura do café ao longo de dois anos consecutivos, Freitas et al. (2023) observaram uma redução média de 43% nas emissões de $N-NH_3$ em comparação com a ureia convencional. Os mesmos autores também relataram um aumento no rendimento, passando de 20% no primeiro ano para 75% no segundo, com a aplicação de 443 kg ha⁻¹ ano⁻¹.

Ao utilizar uma mistura na proporção 1:1 entre ureia + NBPT e ureia de liberação controlada, Noellsch et al. (2009), observaram uma produtividade de milho superior em 890 kg ha⁻¹ em comparação com a aplicação de ureia convencional, ambas aplicadas em cobertura. Além disso, os autores constataram uma maior eficiência de recuperação de nitrogênio pelas plantas com o uso do blend, sendo esta superior em 41% em comparação com a ureia convencional.

2.3 Fertilizantes organominerais

Os fertilizantes organominerais, de acordo com a Instrução Normativa nº 61 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, de 8 de julho de 2020, são compostos a partir da mistura de fertilizantes orgânicos e minerais. De acordo Antille et al., (2013), esses fertilizantes podem ser formulados a traves de processos de granulação, peletização, reação química ou dissolução em água de fertilizantes inorgânicos que tem um conteúdo declarado de uno ou mais nutrientes primários com fertilizantes orgânicos.

O uso de resíduos orgânicos provenientes de diferentes fontes, como esterco de animais, restos de plantas e extrato de algas, podem ser utilizados como matéria prima de fertilizantes organominerais transformando o que seria um passivo ambiental em recursos funcionais para a produção desses insumos na agricultura (Kominko et al., 2017). De acordo com Benites et al., (2013), os resíduos orgânicos contribuem para a sustentabilidade da agricultura, uma vez que promovem o aumento da atividade biológica, permitindo a decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes. Os resíduos orgânicos são fonte de matéria orgânica, que podem oferecer diferentes benefícios para o solo e as culturas.

A matéria orgânica oferece diversas funções no sistema solo-planta entre as quais, podem se destacar: capacidade de reter e trocar íons no solo, tamponar a acidez, bem como moderar a concentração de nutrientes na solução e no solo, sendo influenciadas pelo conteúdo, natureza e bioatividade da MOS. A interação da fração orgânica com macro e micronutrientes, metais pesados, pesticidas, minerais de argila e óxidos controla o grau de fertilidade do solo considerado como “status químico” (Silva et al., 2023). A matéria orgânica apresenta uma CTC elevada, que varia de 100 (humina) a 1.400 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, no ácido fulvico (Stevenson, 1994), citado por Silva et al., (2023).

Os parâmetros estabelecidos para que um fertilizante seja classificado como organomineral, conforme a Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020, incluem uma proporção mínima de 8% de carbono orgânico, umidade máxima de 20% para produtos sólidos, Capacidade de Troca Catiônica (CTC) não inferior a 80 $\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$, 10% para macronutrientes primários isolados (N, P, K) ou em mistura (NP, NK, PK), 5% para macronutrientes secundários, 4% para micronutrientes, além da ausência de metais pesados.

Em experimento de campo, avaliando a aplicação de fertilizantes organominerais na cultura de milho, Machado (2015), encontrou uma redução de 33% nas perdas por volatilização de NH_3 utilizando um fertilizante organomineral com 22% de N, em comparação a aplicação de ureia convencional. Os fertilizantes foram aplicados a lanço na dose de 100 kg ha^{-1} de N.

Vaz et al., (2013) avaliou a produtividade da cana de açúcar em resposta à aplicação de dois tipos de fertilizantes: mineral (18-04-24) e organomineral (12-2,7-16). Os resultados indicaram um rendimento superior quando o fertilizante organomineral foi utilizado. A aplicação de 557 kg ha⁻¹ do fertilizante organomineral foi suficiente para atingir a mesma produtividade obtida com a aplicação de 550 kg ha⁻¹ do fertilizante mineral, o que representa um 67% de NPK em relação ao fertilizante mineral.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Características da área de estudo

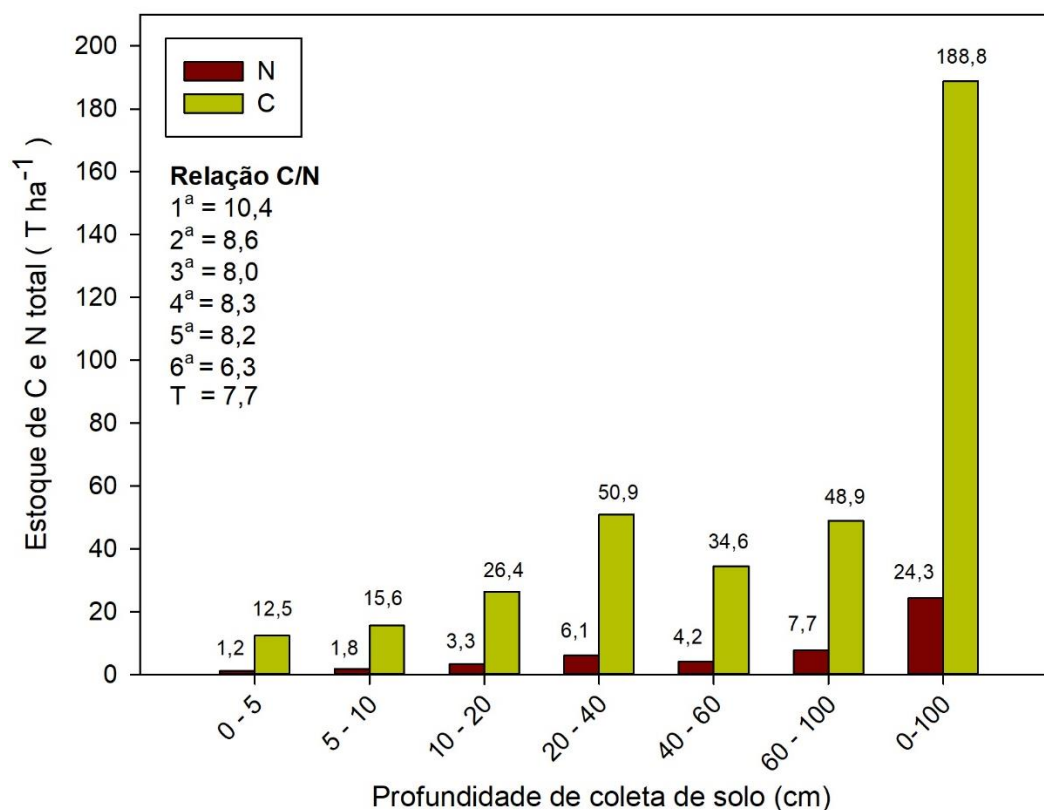
O experimento foi realizado em lavoura de café arábica situada nas coordenadas geográficas: 20°53'52,90"S e 44°52'52,30"W e altitude média de 1.100 m. O clima da região é do tipo Cwa, clima tropical úmido com inverno seco e verão temperado, segundo classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 20 °C com precipitação média de 1367,2 mm. A lavoura de café pertence à espécie *Coffea arabica* L., do grupo Catuaí, cultivar IAC-62, com 4 anos após transplântio, localizado no município de Santo Antônio do Amparo, Minas Gerais, Brasil.

Antes da instalação do experimento foi realizada análise de solo estratificada, nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20; 20-40; 40-60; 60-100 cm. A amostragem do solo foi realizada com utilização do trado holandês e sondas na projeção da copa do cafeeiro. As características químicas e físicas analisadas e as metodologias utilizadas foram: pH (H₂O); P, K, Fe, Zn, Mn e Cu (Extrator Mehlich 1); Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ (Extrator KCL (1mol L⁻¹); S (Extrator fosfato de cálcio); H+Al (Extrator SMP); Matéria Orgânica (Walkley e Black); B (Extrator cloreto de cálcio); N-total (Kjedahl); análise granulométrica (Embrapa, 2017) (Tabela 1). Os estoques iniciais de nitrogênio e carbono no solo na camada 0-100 cm foram de 24,3 e 188,8 T ha⁻¹ (Figura 1).

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo da área experimental anteriormente a instalação do experimento.

Profundidade	pH	K	P	P-rem	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H+Al)	T	t	SB	V
		mg dm ³		mg L ⁻¹	cmolc dm ³							%
(0-5)	4,8	114,3	3,5	20,5	2,2	0,9	0,3	7,8	11,2	3,8	3,4	30,7
(5-10)	4,7	71,9	1,9	18,8	1,9	0,7	0,4	8,6	11,4	3,2	2,8	24,4
(10-20)	4,9	71,5	1,4	17,8	2,3	0,7	0,2	6,9	10,1	3,4	3,2	31,6
(0-20)	4,8	82,3	2,0	18,7	2,2	0,8	0,3	7,6	10,7	3,5	3,2	29,6
(20-40)	5	90,8	3,2	16,3	2,1	0,7	0,2	4,9	7,9	3,2	3,0	38,3
(40-60)	5	114,7	3,3	14,7	1,7	0,6	0,2	4,9	7,6	2,8	2,6	34,1
(60-100)	4,9	96,6	3,1	11,6	1,0	0,4	0,2	5,3	6,9	1,8	1,6	23,3
Profundidade	M	M.O.	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S	N total	Argila	Silte	Areia
	%	dag kg ⁻¹	mg dm ³						g kg ⁻¹	dag kg ⁻¹		
(0-5)	9	3,7	2,8	47,1	6,4	4,7	0,9	31,3	2,1	72	9	19
(5-10)	14	3,9	2,6	40,5	7,8	4,6	0,9	37,2	2,5	72	12	16
(10-20)	7	3,2	2,3	43,2	8,7	4,4	0,8	30,5	2,3	76	12	12
(0-20)	9,1	3,5	2,5	43,5	7,9	4,5	0,9	32,4	2,3	74	11	15
(20-40)	5,3	3,2	0,8	39,4	5,5	3,7	0,5	24,2	2,2	76	12	12
(40-60)	6,5	2,5	0,4	28,7	5,6	3,1	0,4	55,4	1,7	76	12	12
(60-100)	12	1,7	0,5	24,9	4,5	2,9	0,3	65,2	1,5	79	12	9

Figura 1. Estoque inicial de nitrogênio e carbono no solo (T ha⁻¹) antes da implantação do experimento.



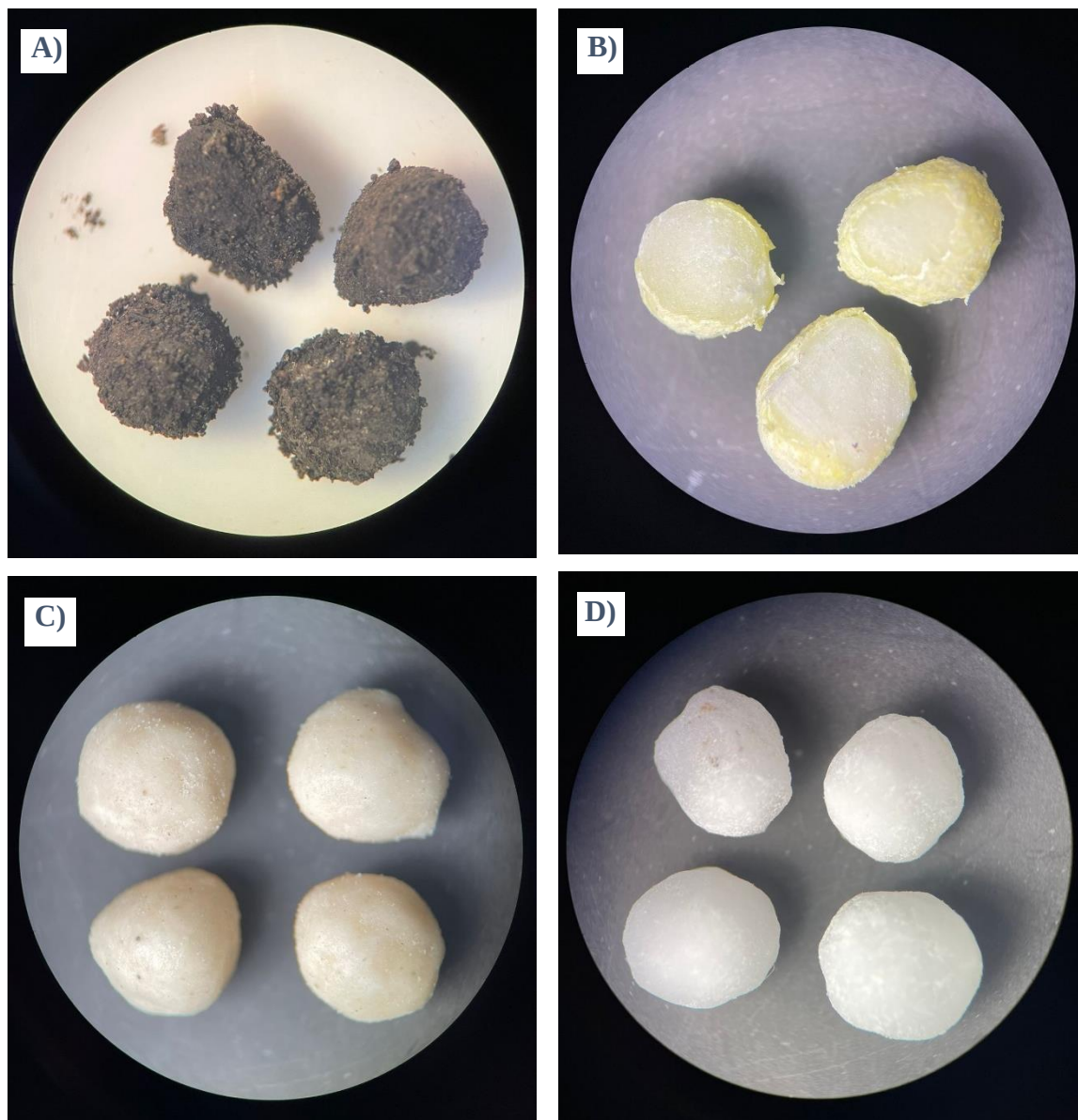
3.2 Delineamento experimental e caracterização dos fertilizantes

O experimento foi instalado em blocos casualizados, em esquema fatorial 5x3+1 com três repetições. As parcelas experimentais foram compostas por 20 plantas, avaliando-se as 14 plantas centrais e deixando três plantas de bordadura de cada lado. Cada bloco foi disposto em uma única linha, deixando-se uma linha de bordadura entre os blocos.

As características básicas dos fertilizantes nitrogenados utilizados são as seguintes:

- 1) Ureia convencional - granular com 46% de N;
- 2) Nitrato de amônio - granular com 33% de N;
- 3) Blend composto pela mistura física entre ureia revestida com S° + polímero e ureia tratada com inibidor de urease (NBPT). As garantias são: 39% de N e 11% de enxofre elementar (S°);
- 4) Organomineral composto por ureia convencional (57%) + composto orgânico (43%) contendo 0,3% de substâncias húmicas com uma formulação de 25-00-00. 100% do N presente na formulação corresponde à uréia convencional.

Figura 2. Imagens dos grânulos do fertilizante organomineral (A), ureia + S° + polímero (B), nitrato de amônio (C) e ureia convencional (D) capturadas em estereoscópio.



Fonte: Do autor (2023)

3.3 Condução do experimento

Para o ano agrícola de 2022/2023, a ureia convencional, nitrato de amônio e organomineral, foram parcelados em três aplicações (1ª, 2ª, e 3ª adubação nitrogenada), com intervalo de 47 dias entre cada adubação. Para o fertilizante composto pela mistura física de ureia de liberação controlada + ureia com NBPT e organomineral (1x), não houve parcelamento da adubação e todo o N foi aplicado no início da 1ª adubação. As adubações no ano agrícola de

condução do experimento foram realizadas nas seguintes datas: 1ª (23/10/2022), 2ª (09/12/2022) e 3ª (25/01/2023).

Foi realizada uma adubação de manutenção padrão para todas as parcelas experimentais com 350 kg ha⁻¹ de K₂O e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, utilizando como fonte o cloreto de potássio (60% K₂O) e superfosfato triplo (46% P₂O₅). Além disso, foi realizada uma aplicação de 200 kg ha⁻¹ de óxido de magnésio (42% Mg). Adubação com potássio foi parcelada em três aplicações nas mesmas datas da fertilização nitrogenada e adubação com fósforo e magnésio foi fornecida em aplicação única no dia da 1ª adubação nitrogenada. Foi feita a calagem da área 90 dias antes da implantação do experimento com aplicação de 1.700 kg ha⁻¹ de CaCO₃ e a gessagem 60 dias antes com aplicação de 920 kg ha⁻¹ de CaSO₄.2H₂O.

3.4 Análise foliar

A coleta inicial de amostras de folhas ocorreu após o 2º parcelamento das adubações em 18/12/2022. Três meses depois, em 25/03/2023, uma 2ª coleta foi realizada. A amostragem foi realizada com a coleta de duas folhas (localizadas no 3º par a partir da extremidade até a base dos ramos plagiotrópicos) em cada ponto cardeal de cada planta, especificamente no terço médio da copa, resultando em um total de oito folhas por planta e 112 folhas por parcela. O material foliar foi para estufa de circulação forçada de ar a uma temperatura de 65°C até atingir peso constante. Após o processo de secagem, as amostras foram moídas em moinho do tipo Wiley de aço inoxidável para quantificação dos teores foliares de N por meio da digestão ácida sulfúrica (Kjedahl).

3.5 Produtividade, renda e rendimento

Quando os frutos estavam em média, com 15% de grãos “verdes” foi iniciada a colheita do experimento para obtenção da produtividade.

Inicialmente, uma amostra de 3,2 (L) de café colhido foi retirada para avaliar a produtividade em cada parcela do experimento. Essas amostras foram submetidas ao processo de secagem em terreiro até atingir 11,5% de umidade. Após secagem, as amostras foram novamente pesadas. Em seguida, foram beneficiadas utilizando o descascador de amostras. O peso do café beneficiado de cada amostra foi então registrado, possibilitando o cálculo da produtividade por hectare.

Com esses resultados foram também calculados o rendimento em peso e volume (L.) no momento da colheita, peso (kg) e volume (L) do café seco (11,5%) antes do beneficiamento e finalmente o peso e volume do café beneficiado. Assim, foram conhecidos o volume de café (no momento da colheita) necessários para cada saca de café beneficiado, bem como o volume de café seco a 11,5% necessário para cada saca de café beneficiado. Os parâmetros de produtividade, desempenho e rendimento foram calculados da seguinte forma:

Produtividade em kg ha⁻¹:

$$\frac{(\text{Peso de grãos beneficiados (kg)} \times \text{L de café colhido por parcela})/14}{3,2} \times \frac{(\text{N}^{\circ} \text{ plantas por ha})}{60}$$

O rendimento foi realizado de acordo com relação entre a quantidade em litros de café colhido necessário para cada saca de 60 kg de café beneficiado, por meio da seguinte equação:

$$\text{Rendimento (L saca}^{-1}\text{): } \frac{(\text{Litros de café por parcela}/14) \times (\text{N}^{\circ} \text{ de plantas por ha})}{\text{N}^{\circ} \text{ de sacas produzidas}}$$

A renda foi realizada de acordo com a relação entre quilos de café em coco necessário para a produção de um quilo de café beneficiado:

$$\text{Renda (kg kg}^{-1}\text{): } \frac{\text{kg de café em coco}}{\text{kg de café beneficiado}}$$

3.6 Curvas de liberação de nitrogênio dos fertilizantes

3.6.1 Teste de liberação de N em laboratório à 21°C.

Para o experimento em laboratório, 10 g dos fertilizantes foram envolvidos em sacos de tecido “microtule”. Cada saco foi inserido em potes com 500 mL de água destilada e mantidos em câmaras do tipo BOD com controle de temperatura constante a 21°C.

O delineamento foi inteiramente casualizado com 5 repetições. Foram realizadas oito coletas aos 1, 7, 14, 28, 42, 56, 77, 98 dias após início do teste de liberação. A quantidade liberada de N dos fertilizantes na solução foi quantificada pelo método Kjeldahl, após digestão sulfúrica. Descontando o valor da quantidade inicial de N, em cada amostra, foi obtido o valor de N liberado pelo fertilizante em cada coleta.

3.6.2 Teste de liberação de N campo

As curvas de liberação para o blend e o organomineral foram realizadas em campo sob a projeção da copa do cafeeiro adaptado de Freitas, (2020).

Foram pesados 40 g dos fertilizantes, em seguida foram envolvidos em sacos de nylon de 12,5x18 cm com malha de 1,8mm. Esses sacos de nylon foram enterrados sob a projeção da copa do cafeeiro no momento da adubação nitrogenada, tomando-se o cuidado de recobrir cada unidade com folhas e solo de forma a simular as condições do solo (Figura 3). Cada parcela recebeu 13 sacos e cada um deles foi coletado para análise aos 7, 14, 28, 42, 56, 77, 98, 126, 154, 196, 252 dias após a adubação e uma última coleta realizada na ocasião da colheita.

As amostras de fertilizantes foram trituradas com o auxílio de gral e pistilo, para quebrar o polímero e liberar todo o fertilizante. Em seguida, foi adicionado 3 mL de H₂SO₄ diluído a 10%. Uma alíquota de 0,2 mL da solução foi utilizada para a digestão sulfúrica em bloco digestor, seguida pela determinação pelo método Kjeldahl para cálculo da concentração de N. Descontando o valor da quantidade inicial de N em cada amostra, foi obtido o valor do nutriente liberado pelo fertilizante em cada coleta.

Figura 3. Local de inserção dos sacos de Nylon com os fertilizantes para realização do teste de liberação em campo (projecção da copa).

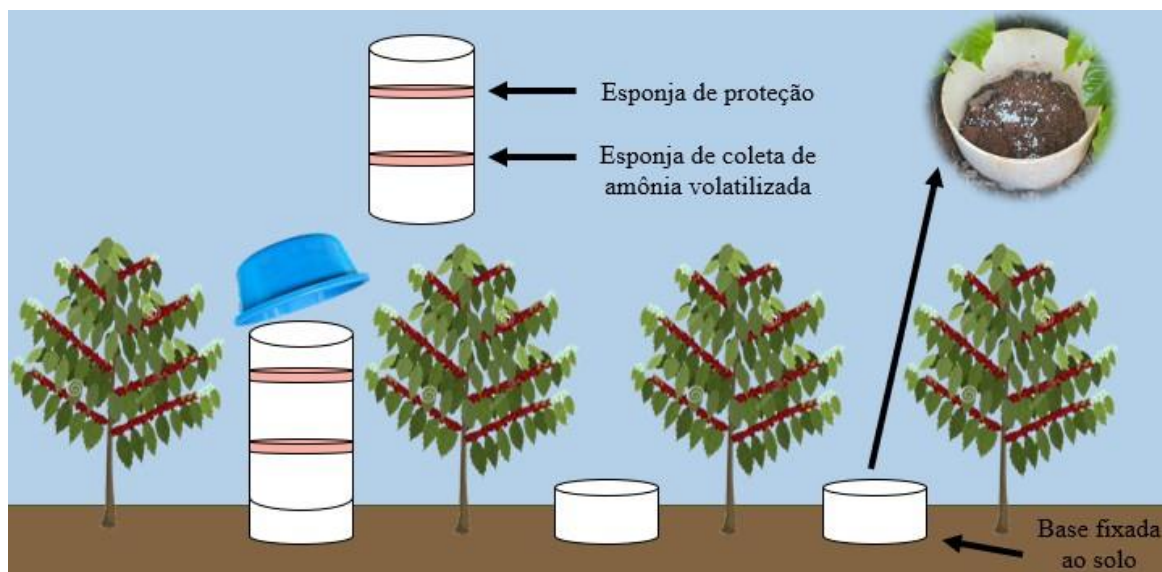


Associada a coleta de fertilizantes foi realizada a amostragem de solo na camada de 0-5 cm, abaixo do local onde foram inseridos os sacos de nylon, para a avaliação e quantificação da disponibilidade de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) no solo (Embrapa, 2017). Foram coletados 10 g de solo em três pontos de amostragem para cada parcela, com seis repetições por tratamento em cada coleta; logo depois, 1 cm^3 de cada amostra de solo foi inserida em potes de 250 mL contendo 100 mL de uma solução de cloreto de potássio (KCl 1M). Após a coleta os materiais foram agitados por período de 60 minutos seguido de 30 minutos em repouso. Uma alíquota de 5 ml foi retirada de cada frasco, para destilação, de acordo com metodologia proposta por (Embrapa, 2017). Esta avaliação foi realizada nas parcelas com aplicação da dose de 400 kg ha^{-1} de N aplicado.

3.7 Perdas de nitrogênio por volatilização

As perdas de nitrogênio por volatilização de amônia (N-NH_3) foram quantificadas por meio coletores semiabertos de amônia, adaptados de Nômmik (1973), inseridos nas linhas de adubação. Os coletores foram feitos com tubos brancos de cloreto de polivinila (PVC) de 50 cm de altura e 20 cm de diâmetro. Eles foram inseridos sobre bases fixas no solo, sendo essas produzidas com o mesmo material. Cada coletor foi coberto com proteção de plástico e arame, de modo a deixar espaço que permita a passagem de ar entre eles, conforme Figura 4.

Figura 4. Ilustração das bases fixadas no solo e da câmara coletora do N-NH₃ utilizadas nas parcelas experimentais.



Fonte: Autor (2024)

Foram instaladas três bases em cada parcela, onde os fertilizantes foram aplicados em quantidades equivalentes à área de cada base. Os fertilizantes foram pesados no dia anterior a cada adubação. A cada avaliação, os coletores foram trocados de base, assegurando que todos sofressem as mesmas influências de temperatura, precipitação e umidade do ar. Dentro de cada coletor, foram colocadas duas esponjas ($0,02 \text{ g cm}^{-3}$ de densidade e 2 cm de espessura), cortadas no mesmo diâmetro das câmaras. A esponja superior foi colocada a 40 cm do solo, sendo utilizada para proteger a esponja inferior de possíveis contaminações ocasionadas por impurezas ou insetos. A esponja inferior, posicionada a 30 cm do solo, foi embebida em uma solução de ácido fosfórico (H_3PO_4 ; 60 ml L^{-1}) e glicerina (50 ml L^{-1}), com função de capturar amônia.

Foram feitas 14 coletas de esponjas após cada adubação. Essas coletas aconteceram no 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 6º, 7º, 9º, 11º, 13º, 15º, 21º, 30º e 47º dias após cada parcelamento da adubação nitrogenada somente nas parcelas com a aplicação de $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos pelas análises: teores foliares de N, perdas de NH_3 e produtividade, foram processados por meio de análise de variância (ANOVA) pelo programa Rstudio, onde os dados foram previamente submetidos ao teste de normalidade (teste de Shapiro-Wilks) e homocedasticidade de variância (teste de Bartlett). Nas variáveis que apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) para o fator isolado fonte (perdas de nitrogênio por volatilização), foi realizado o teste de média (Tukey) no mesmo nível de significância. Para as variáveis que apresentaram diferenças significativas para o fator isolado doses de N (teores foliares de N e produtividade) foram utilizadas análises de regressão com o modelo de melhor ajuste e o valor do coeficiente de determinação (R^2).

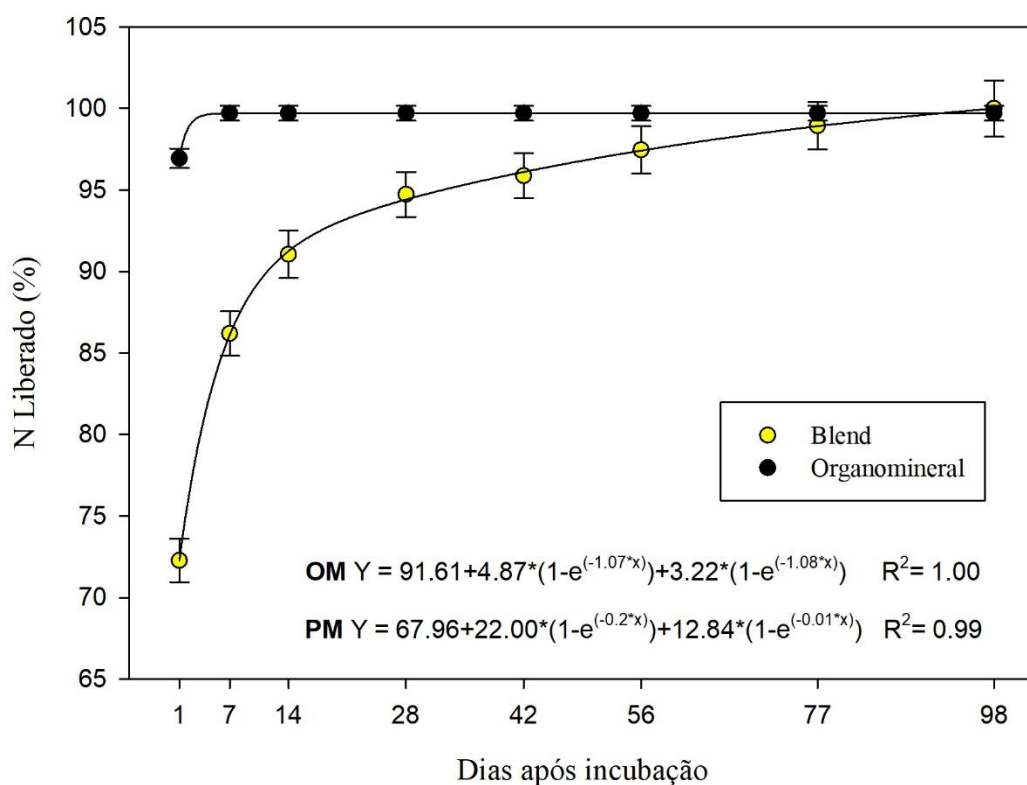
Para descrever o ajuste das curvas de liberação de N em condições de campo e laboratório, utilizou-se o modelo exponencial (Exponential Rise to Maximum) para os dois fertilizantes (Blend e Organomineral). Os dados representados por meio de gráficos foram elaborados no software SigmaPlot (versão 12.5).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Curvas de liberação no laboratório à 21°C

No teste de liberação de N em água, os 100% de liberação de N do blend foi aos 98 dias e aos 7 dias para o organomineral (Figura 5).

Figura 5. Curva de liberação de N (%) pelo organomineral e blend em água destilada a 21°C.



A liberação de N do organomineral de 100% alcançada logo nos sete primeiros dias após adubação, pode ser atribuída à sua composição, predominantemente composta por ureia (57% ureia e 43% composto orgânico). A ureia, cuja solubilidade em água atinge 108 g/100 mL a 20°C (Silva, 2015), desempenha papel crucial nessa liberação imediata ao entrar em contato com água destilada. Por outro lado, a liberação parcial do N do blend é resultado da proporção na mistura física dos grânulos revestidos com S° + polímero (liberação gradual) e ureia + NBPT (liberação imediata). O percentual liberado no 1º dia foi de 72%, representado principalmente pela fração de grânulos de ureia com NBPT presente no fertilizante.

Em pesquisas para quantificar a liberação de N de blends de tecnologias em condições de laboratório mostraram liberação de 47% do N contido no fertilizante sete dias após incubação

em água destilada com temperatura padrão de 40°C (Chagas, 2018). Estudos realizados por Dutra, (2021) avaliando a liberação de N de blend encontrou liberação de 41% do N em condições de laboratório à 25°C no 1º dia.

Estudo em condições de laboratório conduzido por Freitas et al., (2023), avaliando a liberação de dois blends, o primeiro com 40% de ureia estabilizada com NBPT (45% de N) e 60% de ureia revestida com polímero (41% de N), mostrou uma liberação de 46% de N contido no fertilizante no 1º dia após incubação em água destilada a temperatura padrão de 25°C e o segundo com 40% de ureia com NBPT (45% de N) + 60% de ureia revestida com polímero (43% de N), liberou 49% do N contido no fertilizante, no mesmo período de tempo.

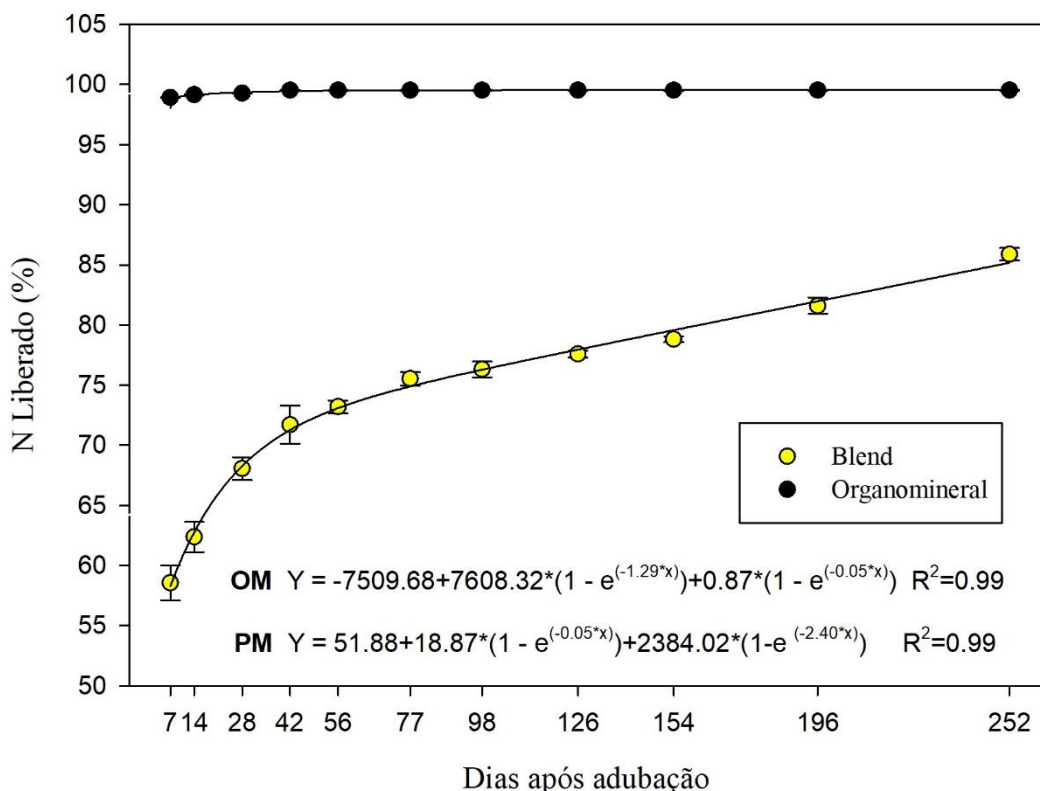
Existem vários fatores que interferem na taxa de liberação do N dos blends que contém ureia revestida com polímeros, dentre os quais se diferenciam a espessura do revestimento, resposta do material de revestimento as condições ambientais e rupturas físicas da camada do revestimento (Timilsena et al., 2015; Adams; Frantz; Bugbee, 2013).

Os resultados de liberação de N do blend em condições de laboratório, estão em contraste com a liberação no campo. Tomado como referência os sete primeiros dias, em condições de laboratório o blend liberou 86% e em campo liberou 58% do N. Conforme observado por Medina et al., (2008) o padrão de liberação de nutrientes declarado pelos fabricantes de fertilizantes, muitas vezes determinado em testes de laboratório, pode não coincidir totalmente com a liberação desses fertilizantes no campo.

5.2 Curvas de liberação no campo

No teste de liberação de N no campo o período de avaliação foi de 252 dias, desde a aplicação dos fertilizantes até a colheita do café. Nesse intervalo, o blend aos 252 dias liberou 86% do N, enquanto o organomineral liberou todo o N nos sete primeiros dias (Figura 6).

Figura 6. Liberação de N dos fertilizantes (%) organomineral e do blend em condições de campo.



O blend liberou 58% do N total aos 7 dias após a adubação, enquanto o organomineral atingiu a liberação de 100% nessa mesma data. Essa diferença indica que o organomineral apresenta solubilização completa da ureia presente na sua formulação nos sete primeiros dias após adubação.

Aos 47 dias, período próximo do adotado para o parcelamento dos fertilizantes convencionais, como ureia e nitrato de amônio (divididos em 3 aplicações), destaca-se que o fertilizante organomineral já havia liberado 100% do nitrogênio presente na sua formulação. Em contraste, o blend na mesma data, apresentou a liberação de 72% do nitrogênio.

Ambos os fertilizantes demonstraram concordância com o modelo exponencial de liberação, revelando adaptação consistente em relação aos diferentes períodos de coleta. Esse resultado alinha-se com as descobertas de Medina et al., (2008), que também observaram adaptação eficaz ao modelo exponencial em fertilizantes de liberação controlada.

Em experimento de campo realizado com a cultura de café foi quantificada a liberação de N de blends com 30% de ureia estabilizada com NBPT + 60% de ureia revestida com S° + polímero, com variações da espessura do revestimento, um deles com 87 a 99 µm e outro com

67 a 68 μm de camada de revestimento, mostrando liberação de 70 e 87% do N contido no fertilizante 47 dias após adubação.

Estudo conduzido por Dutra (2021), em condições de campo, avaliando a liberação de blends evidenciou liberação de 59% do N após 47 dias. Freitas et al., (2023), avaliando a liberação de um blend (40% ureia estabilizada com NBPT e 60% ureia revestida com polímero) encontrou a liberação de 56% do N contido no fertilizante após 47 dias de avaliação.

O intervalo compreendido entre o dia de aplicação dos fertilizantes nitrogenados no campo e o 98º dia após adubação, apresentou os maiores valores de liberação de N (77%), período que coincidiu com as maiores precipitações (1.011mm) no campo, podendo explicar essa maior liberação do N. Em contraste com esse comportamento, no período entre o 98º ao 252º dia após adubação (154 dias corridos), aconteceu a redução na liberação de N (9%), coincidindo com o período de menores precipitações (355mm). Ressaltando assim, que as condições meteorológicas têm marcada influencia na liberação do N por parte dos fertilizantes nitrogenados.

Os valores de liberação acumulada e diária de N para os fertilizantes avaliados, de acordo com o intervalo em dias utilizado para cada adubação das fontes convencionais, mostram fornecimento constante de N por parte do blend até o momento da colheita, em contraste com o fornecimento imediato por parte do organomineral nos sete primeiros dias após adubação (Tabela 3).

Tabela 2. Liberação acumulada e diária de N pelos fertilizantes em campo.

Fertilizante	Liberação acumulada (kg de N)			Colheita	Total
	1º parcelamento	2º parcelamento	3º parcelamento		
Blend	287,8	16,2	11,4	25,2	340,5
Organomineral	400,0	-	-	-	400,0
Fertilizante	Liberação diária (kg de N dia ⁻¹)			Colheita	
	1º parcelamento	2º parcelamento	3º parcelamento		
Blend	6,1	0,3	0,2	0,2	
Organomineral	28,6	-	-	-	

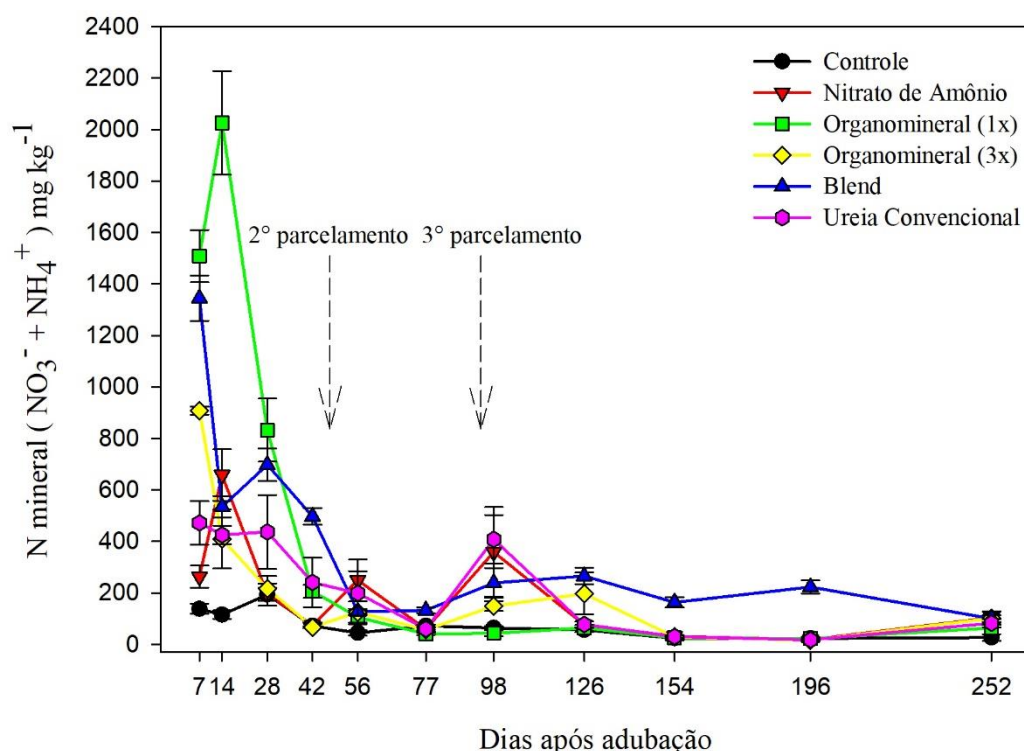
Dose de referência 400 kg de N ha⁻¹ Parcelamentos: 1º, 2º, 3º: intervalo entre as aplicações de fontes convencionais (47 dias), Colheita: intervalo correspondendo ao final do 3º parcelamento até a colheita (111 dias).

5.3 Dinâmica do N_{Mineral} no solo: Amônio (NH₄⁺) e Nitrato (NO₃⁻)

O N_{Mineral} no solo apresentou dinâmica variável em função dos fertilizantes e seus parcelamentos (Figura 7). Nos fertilizantes aplicados em um único parcelamento, blend (1x) e

organomineral (1x), houve picos de disponibilidade de N_{Mineral} aos 7 e 14 dias, com valores de 1.345 mg kg^{-1} (80% na forma NH_4^+ e 20% na forma NO_3^-) e 2.025 mg kg^{-1} (90% na forma NH_4^+ e 10% na forma NO_3^-) após a 1ª adubação.

Figura 7. Disponibilidade de N_{Mineral} (mg kg^{-1}) na camada de 0-5cm do solo adubado com tecnologias para fertilizantes nitrogenados.



A dinâmica das concentrações de N_{Mineral} no solo para o blend e o organomineral (1x) ao longo dos 252 dias de avaliações, confirma as observações realizadas no teste de liberação a campo (Figura 6). O blend apresentou a maior concentração de N_{Mineral} no 7º dia (1.345 mg kg^{-1}) após adubação, seguido do decréscimo em suas concentrações até 56º dia (126 mg kg^{-1}), a partir do qual se manteve com valores constantes até a colheita do café (252 dias após adubação) mostrando valores médios de 187 mg kg^{-1} com a proporção predominantemente das formas nítricas (Tabela 4). Em contraste o organomineral (1x) apresentou a maior concentração de N_{Mineral} no dia 14 (2025 mg kg^{-1}) após adubação, decrescendo até a data de 77 dias (40 mg kg^{-1}), do qual se manteve com valores constantes até a colheita do café, mostrando valores médios de 43 mg kg^{-1} com porcentagem superior das formas nítricas (Tabela 4).

No controle a concentração inicial de N_{Mineral} (7º dia) foi de 137 mg kg^{-1} . Desse total, 13% estavam na forma de NH_4^+ e 87% na forma de NO_3^- . No dia 28 após adubação dos

fertilizantes nitrogenados foi observado aumento nas concentrações de N_{Mineral} com valores de 193 mg kg^{-1} . Desse total 20% estavam na forma de NH_4^+ e 80% na forma de NO_3^- . Posteriormente, ocorreu a diminuição nas concentrações de N-mineral até o dia 42 (72 mg kg^{-1}), permanecendo constante até o momento da colheita do café, mostrando valores médios de 44 mg kg^{-1} com predominância das formas nítricas (Tabela 4).

No 1º parcelamento de adubação nitrogenada, o organominerais (3x) e ureia convencional promoveram os maiores picos de N_{Mineral} no 7º dia. Para o fertilizante organomineral (3x) ocorreu disponibilidade de 907 mg kg^{-1} , com 18% na forma de NH_4^+ e 82% na forma de NO_3^- em contraste com o organomineral (1x) que mostrou disponibilidade de 2.025 mg kg^{-1} com 90% na forma de NH_4^+ e 10% na forma de NO_3^- no 14º. Enquanto para a ureia convencional a disponibilidade de N_{Mineral} foi de 471 mg kg^{-1} , com 6% na forma de NH_4^+ e 94% na forma de NO_3^- . O nitrato de amônio exibiu padrão distinto, com picos de concentração de N-mineral no 14º dia após a adubação, atingindo 657 mg kg^{-1} , com 9% na forma de NH_4^+ e 91% na forma de NO_3^- .

No 2º parcelamento de adubação nitrogenada, os organominerais (3x), ureia convencional e nitrato de amônio demonstraram aumentos nas concentrações de N_{Mineral} no 9º dia após a adubação, em comparação ao controle (44 mg kg^{-1}). O fertilizante organomineral (3x) registrou valores de 125 mg kg^{-1} com 26% na forma de NH_4^+ e 74% na forma de NO_3^- . A ureia convencional apresentou concentrações de 198 mg kg^{-1} com 46% na forma de NH_4^+ e 54% na forma de NO_3^- . Enquanto isso, o nitrato de amônio alcançou valores de 248 mg kg^{-1} com 25% na forma de NH_4^+ e 75% na forma de NO_3^- .

No 3º parcelamento de adubação nitrogenada, os fertilizantes ureia convencional e nitrato de amônio demonstraram aumentos nas concentrações de N_{Mineral} no 4º dia após a adubação em comparação com o controle (63 mg kg^{-1}). A ureia convencional apresentou valores de 407 mg kg^{-1} , com 68% na forma de NH_4^+ e 32% na forma de NO_3^- . Enquanto isso, o nitrato de amônio alcançou valores de 358 mg kg^{-1} , com 71% na forma de NH_4^+ e 29% na forma de NO_3^- . Por outro lado, o fertilizante organomineral (3x) exibiu padrão distinto, com picos de concentração de nitrogênio mineral no trigésimo segundo dia após a adubação, observando-se valores de 196 mg kg^{-1} com 55% na forma de NH_4^+ e 45% na forma de NO_3^- .

Tabela 3. Proporção de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) no solo adubado com tecnologias para fertilizantes nitrogenados para o cafeeiro.

DDA	BL		OM (1x)		OM (3x)		NA		UC		Controle	
	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-
	%											
7	80	20	90	10	18	82	9	91	6	94	13	87
14	57	43	94	6	51	49	25	75	45	55	20	80
28	28	72	42	58	26	74	12	88	11	89	20	80
42	43	57	11	89	18	82	16	84	5	95	14	86
56	25	75	14	86	26	74	25	75	46	54	34	66
77	49	51	44	56	59	41	51	49	35	65	43	57
98	28	72	39	61	25	75	71	29	68	32	25	75
126	56	44	24	76	55	45	31	69	41	59	46	54
154	53	47	55	45	30	70	26	74	29	71	22	78
196	15	85	23	77	29	71	33	67	24	76	11	89
252	37	63	35	65	4	96	27	73	25	75	56	44

BL = Blend; OM (1x) = organomineral fornecido em única aplicação; OM (3x) = organomineral parcelado em três aplicações; NA = nitrato de amônio; UC = ureia convencional; Controle = tratamento sem adição de nitrogênio.

No controle, notou-se predominância de formas nítricas (NO_3^-) no solo, tendência que se manteve consistente ao longo dos 252 dias de avaliação. De maneira geral, maior disponibilidade de N na forma nítrica em relação as formas amoniacais foram observadas com a utilização das fontes nitrogenadas (Tabela 4). Esse comportamento pode ser explicado pelo processo de nitrificação que acontece no solo, mediado por duas etapas: na primeira o NH_4^+ é convertido em NO_2^- e na segunda etapa o NO_2^- é oxidado a NO_3^- . Essas transformações acontecem pela presença de bactérias do gênero *Nitrobacter* (Costa et al., 2009; Soares, 2016).

A nitrificação pode ser melhor explicada com auxílio das figuras 8 e 9 onde os fertilizantes ureia convencional, nitrato de amônio, organomineral (1x) e (3x) mostraram as variações de NH_4^+ a NO_3^- no intervalo de 14 dias como o representado no primeiro parcelamento. A ureia mostrou maior disponibilidade de NH_4^+ (190 mg kg^{-1}) no 14º dia, seguido da diminuição para 46 mg kg^{-1} e, com posterior aumento de NO_3^- (389 mg kg^{-1}) no 28º após adubação. O nitrato de amônio apresentou maior disponibilidade de NH_4^+ (167 mg kg^{-1}) no 14º dia seguido da diminuição (23 mg kg^{-1}) e com posterior aumento de NO_3^- (171 mg kg^{-1}) no 28º dia após adubação. Os organominerais (1x) e (3x) promoveram a maior disponibilidade de NH_4^+ (1.912 e 209 mg kg^{-1}) no 14º dia seguido da redução (347 e 56 mg kg^{-1}), e um incremento de NO_3^- (484 e 160 mg kg^{-1}) no 28º dia após adubação. Já o blend mostrou comportamento contrastante, com maior disponibilidade de NH_4^+ (1.078 mg kg^{-1}) no 7º dia, seguido do decréscimo (303 e 192 mg kg^{-1}) no 14º e 28º dia, e posterior aumento de NO_3^- (505 mg kg^{-1}) no 28º dia após adubação.

No 2º parcelamento das adubações nitrogenadas esse processo de nitrificação foi reduzido pelas altas precipitações (783mm), onde a maior disponibilidade de NH_4^+ e NO_3^- foi no 9º dia após adubação com os seguintes valores: ureia convencional (90 mg kg^{-1} de NH_4^+ e 107 mg kg^{-1} de NO_3^-), organomineral (3x) (33 mg kg^{-1} de NH_4^+ e 92 mg kg^{-1} de NO_3^-) e o nitrato de amônio (61 mg kg^{-1} de NH_4^+ e 187 mg kg^{-1} de NO_3^-).

Na 3ª adubação nitrogenada, o processo de nitrificação foi representado nos fertilizantes ureia convencional e nitrato de amônio, os quais apresentaram aumentos na concentração de NH_4^+ e NO_3^- no 4º dia evidenciando os seguintes valores: ureia convencional 279 mg kg^{-1} de NH_4^+ e 128 mg kg^{-1} de NO_3^- e o nitrato de amônio 254 mg kg^{-1} de NH_4^+ e 104 mg kg^{-1} de NO_3^- . No 2º e 3º parcelamento não houve variações nos dias de disponibilidade de NH_4^+ e NO_3^- , que é atribuído ao maior espaçamento entre as coletas de amostras de solo (21 e 28 dias de intervalo entre coletas).

Figura 8. Disponibilidade de amônio (NH_4^+) (mg kg^{-1}) na camada de 0-5cm do solo adubado com tecnologias para fertilizantes nitrogenados.

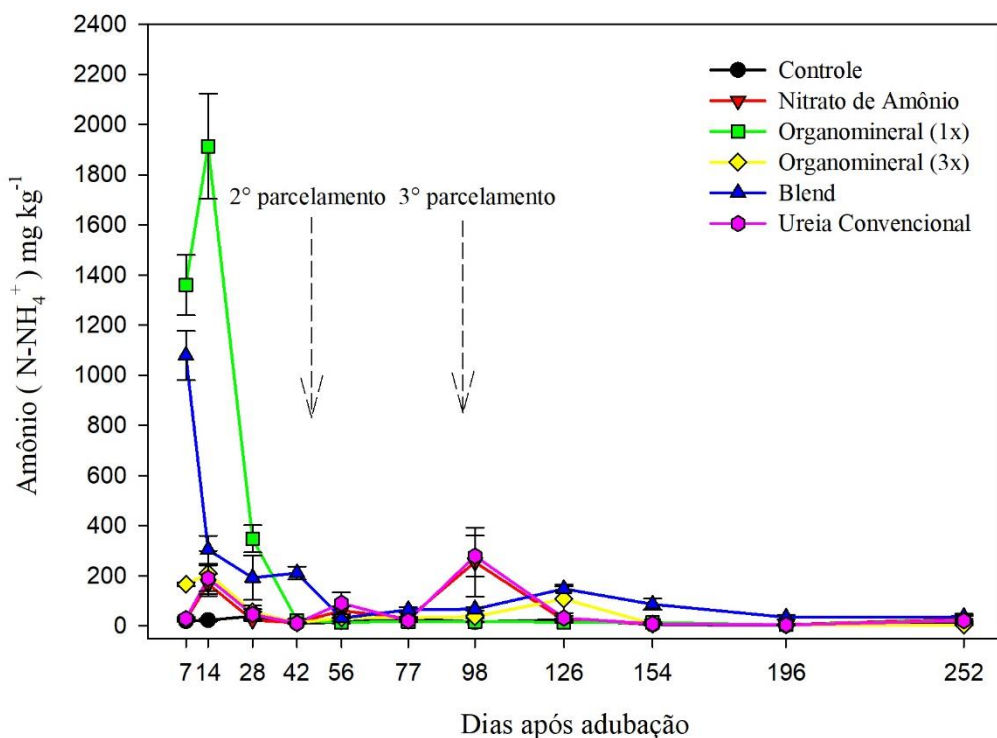
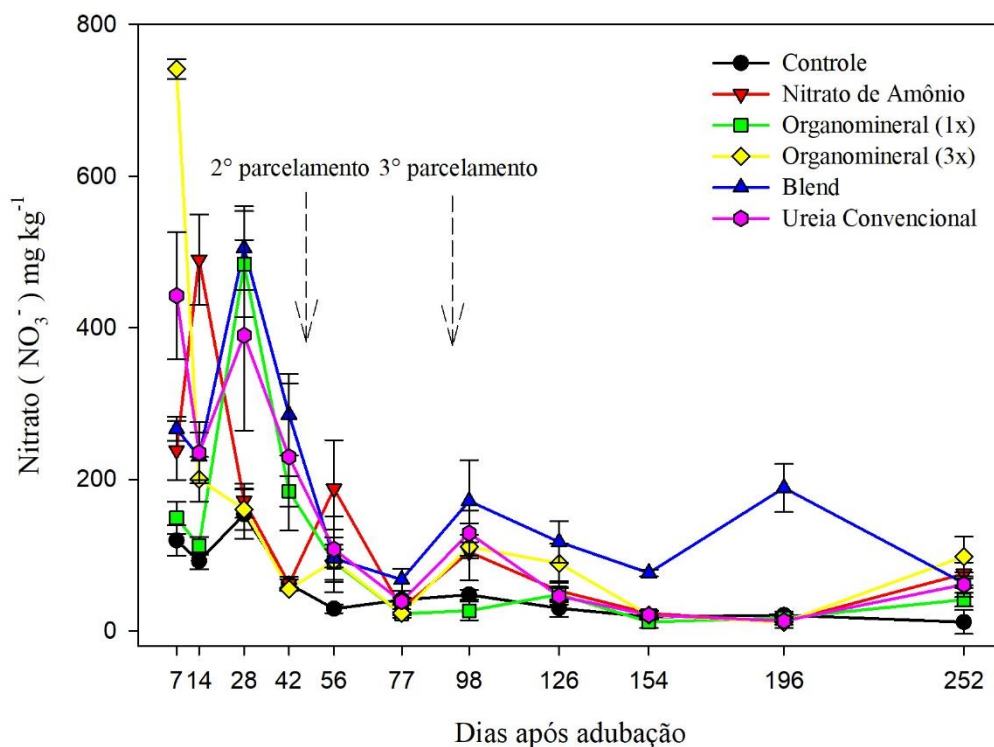


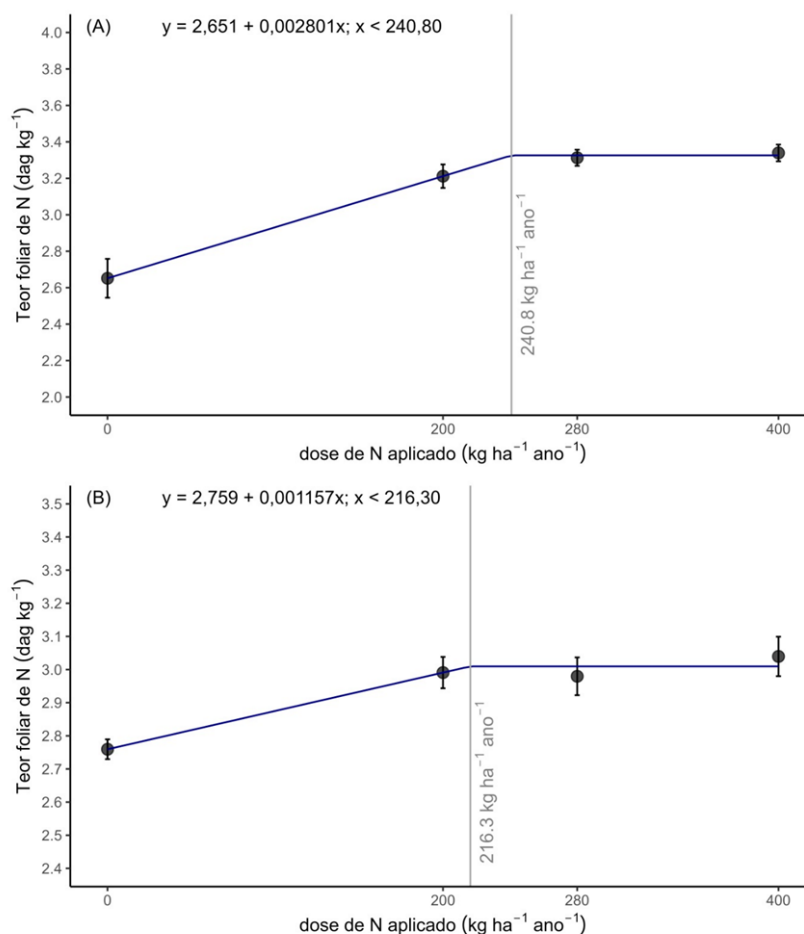
Figura 9. Dinâmica de Nitrato (NO_3^-) (mg kg^{-1}) na camada de 0-5cm do solo adubado com tecnologias para fertilizantes nitrogenados.



5.4 Teores foliares de N

A faixa crítica de nitrogênio (N) no tecido foliar para cafeeiros arábica em produção, conforme definido por Martinez et al. (2003), situa-se entre 2,78 e 3,10 dag kg^{-1} . Observou-se influência significativa para o efeito isolado de doses ($P < 0,05$) nos teores foliares de N nas folhas durante a 1ª e 2ª coleta. Em ambas as épocas, os teores foliares de N ajustaram-se ao modelo linear pleateau (Figura 10). Os teores foliares de N, na 1ª e 2ª análise foliar aumentaram até as doses de 240,8 e 216,3 $\text{kg de N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Figura 10). O aumento na dose de N a partir desses valores, não promoveu aumento da concentração de N nas folhas do cafeeiro. Para a ausência de adubação nitrogenada, durante a 1ª e 2ª coleta, o valor médio de N foliar foi de 2,65 e 2,76 dag kg^{-1} (Figura 10). Na 1ª coleta para cada 100 $\text{kg de N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na adubação houve aumento de 0,28 dag kg^{-1} de N na folha. Já na 2ª coleta esse valor foi de 0,11 dag kg^{-1} .

Figura 10. Teores foliares de nitrogênio durante a 1ª (A) e 2ª (B) coleta em lavoura cafeeira adubada com tecnologias para fertilizantes nitrogenados.



Em estudos conduzidos por Zabini (2010) na região de Manhuaçu-MG, foram encontrados valores médios de 2,75, 2,72 e 2,76 dag kg⁻¹ de N no tecido foliar ao longo de três anos consecutivos, com análises realizadas 60 dias após o florescimento do café em lavouras de alta produtividade. Chagas et al., (2016), ao trabalharem com cafeeiro irrigado e utilizando diferentes fontes de N (ureia, nitrato de amônio, ureia revestida com S^o + polímero e ureia estabilizada) na dose de 450 kg ha⁻¹ ano⁻¹, não observaram diferenças significativas nos teores de N nas folhas.

Com a aplicação tanto de ureia convencional quanto de ureia revestida, Abranches et al. (2019) não identificaram diferenças significativas no teor foliar de nitrogênio do cafeeiro em produção durante o primeiro ano de avaliação. No entanto, ao avaliar o fator de doses (0, 150, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N), foram encontradas diferenças ao longo dos três anos de avaliação no mês de março, apresentando resposta crescente em função da dose aplicada com valores médios de 1,93; 2,53; 2,70 e 2,81 dag kg⁻¹ de N foliar.

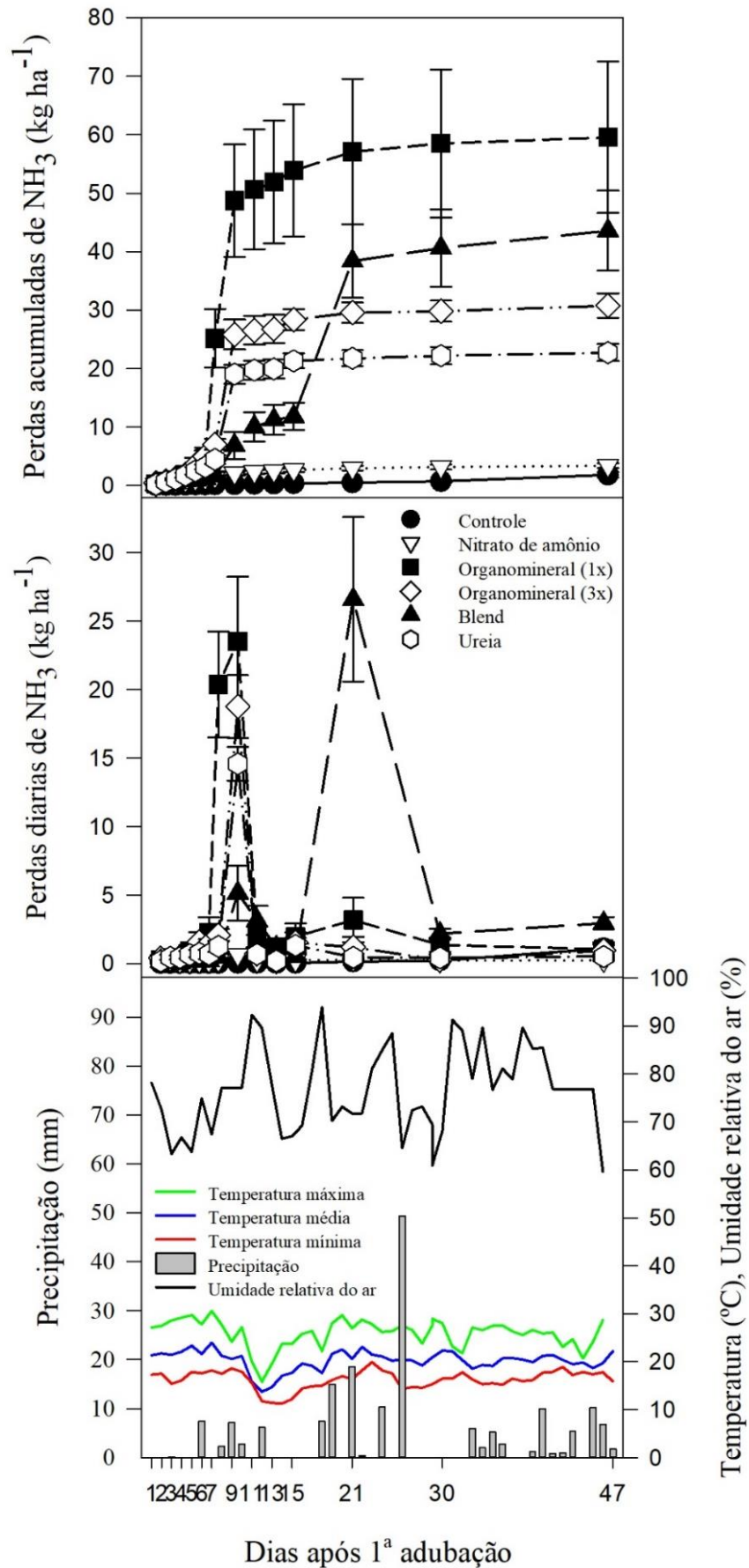
Ao investigar o efeito de fontes nitrogenadas ureia convencional, nitrato de amônio e blends (33 e 39% de N) na cultura de café, Dutra (2021), mostrou que os teores de nitrogênio (N) nas folhas não foram influenciados pelas fontes empregadas. No entanto, ao avaliar o fator de doses (0, 200, 280 e 400 kg ha⁻¹ de N), foram encontrados aumentos nos teores de N nas folhas com valores de 3,07; 3,37; 3,42 e 3,43 dag kg⁻¹ de N.

Durante o segundo ano de análise, conforme os resultados apresentados por Chagas (2018), houve aumento nos teores de nitrogênio foliar ao empregar o Polyblen Montanha® com valores de 3,83 e 3,53 dag kg⁻¹ e o nitrato de amônio com valores de 3,97 e 3,70 dag kg⁻¹, tanto no início da fase de adubação (novembro) quanto no momento crucial da colheita do café (junho), em comparação a ureia convencional com valores de 3,26 e 3,10 dag kg⁻¹.

5.5 Perdas de N-NH₃ por volatilização

As perdas acumuladas e diárias de amônia (N-NH₃) foram influenciadas significativamente ($p < 0,05$) pelas tecnologias para fertilizantes nitrogenados aplicadas em lavoura cafeeira. As perdas acumuladas e diárias de N-NH₃ associadas a precipitação, temperatura do ar e umidade relativa do ar, 47 dias após a 1ª adubação da safra 22/23, estão apresentadas na figura 11.

Figura 11. Perdas diárias e acumuladas de volatilização de N-NH_3 em kg ha^{-1} e condições meteorológicas durante o 1º parcelamento.



As perdas acumuladas de N-NH_3 aos 47 dias após a primeira adubação seguiram a ordem decrescente: organomineral (1x) $59,54 \text{ kg N ha}^{-1}$ (14,88% do N aplicado) > blend (1x) $43,58 \text{ kg N ha}^{-1}$ (10,89% do N aplicado) > organomineral (3x) $30,76 \text{ kg N ha}^{-1}$ (23,07% do N aplicado) > ureia (3x) $22,73 \text{ kg N ha}^{-1}$ (17,04% do N aplicado) > nitrato de amônio (3x) $3,41 \text{ kg N ha}^{-1}$ (2,55% do N aplicado) (Tabela 5) (Figura 11). Durante o 9º dia após adubação, ocorreram as maiores perdas de N-NH_3 para os tratamentos ureia $14,59 \text{ kg N ha}^{-1}$ (10,94% do N aplicado), organomineral (1x) $23,52 \text{ kg N ha}^{-1}$ (5,88% do N aplicado) e organomineral (3x) $18,77 \text{ kg N ha}^{-1}$ (14,08% do N aplicado). Importante mencionar que esses picos representam a somatória do dia oito e novo após adubação.

A precipitação acumulada nos 47 dias seguintes à 1ª adubação nitrogenada totalizou 180,6 mm. Durante os nove primeiros dias, período em que foram registradas as maiores perdas de N-NH_3 , as precipitações foram de 0,0; 0,0; 0,2, 0,0; 0,0; 7,4; 0,0; 2,4; 7,2 mm, totalizando 17,2 mm. A umidade relativa do ar durante os nove primeiros dias foi a seguinte: 76, 71, 62, 65, 62, 73, 66, 76, 66%.

O atraso observado no pico de perda de N-NH_3 pela ureia e nos dois tratamentos com o fertilizante organomineral pode ser atribuído à escassez de precipitações e à baixa umidade relativa do ar durante os primeiros 7 dias após adubação. O'Connor e Hendrickson, (1987) observaram que a hidrólise de ureia foi totalmente concluída 1, 4, 6, 7 e 8 dias após aplicação dos fertilizantes nitrogenados associado as temperaturas de 35, 25, 15, 10 e 5 °C, respectivamente. Além disso, esses autores informaram que em condições de maior temperatura (35°C), foi volatilizado em sete dias o 70% do N aplicado.

A volatilização de N-NH_3 por fertilizantes nitrogenados está diretamente relacionada com fatores como precipitação (Black; Sherlock; Smith, 1987; Kissel et al., 2004; Mikkelsen, 2009), umidade relativa do ar (Reynolds; Wolf, 1987; Mikkelsen, 2009) e também com a temperatura do ar (Martha Junior et al., 2004; Mikkelsen, 2009), o descrito anteriormente pode ser comprovado pela influência dos dados climáticos sobre as perdas de N-NH_3 observados na 1ª adubação nitrogenada (Figura 11).

O blend apresentou comportamento contrastante em comparação com os demais fertilizantes, revelando o pico de perda de N-NH_3 no 21º dia após a primeira fertilização $26,59 \text{ kg N ha}^{-1}$ (6,65% do N aplicado), ressaltando que esse pico representa a perda acumulada de 6 dias. A ocorrência desse pico pode ser atribuída a precipitação reduzida do dia 16 ao 21 que apresentaram os seguintes valores: 0,0; 7,4; 15,0; 0,0; 18,6 mm e a umidade relativa do ar que apresentou o seguinte comportamento: 68, 79, 92, 69, 72, 70%. Relacionado a esse comportamento o blend apresentou disponibilidade alta de amônio e nitrato durante o 7º (1.078

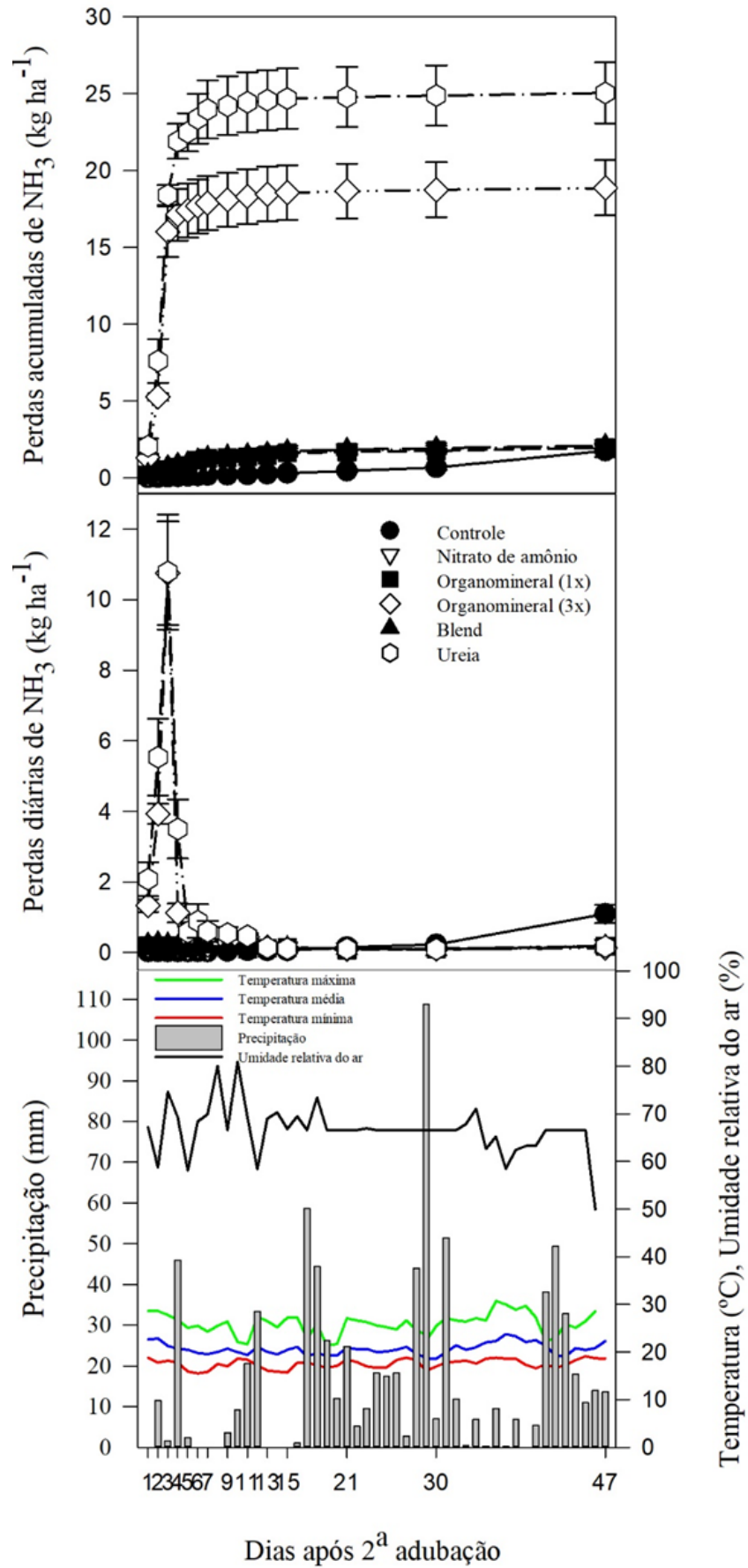
mg kg⁻¹) e 28° (505 mg kg⁻¹) dia após adubação (Figura 8 e 9), onde se pode observar o processo de nitrificação ocorrendo no solo, que coincidiu com os picos de perdas de N-NH₃. Elementos que combinados, podem explicar a volatilização de N-NH₃ observada no blend durante o 21° dia após a adubação.

O atraso no pico de maior perda de N-NH₃ do blend em comparação com os demais fertilizantes está associado ao retardo da hidrólise da ureia proporcionado pela inibição temporária da atividade da enzima urease no solo, devido ao tratamento de uma fração do fertilizante com o inibidor de urease (NBPT), juntamente com a alteração na taxa de dissolução da ureia devido à adição do revestimento com enxofre (S°) + polímeros (Chen et al., 2011; Peng et al., 2015; Chagas et al., 2016).

Ao analisar os fertilizantes ureia convencional, organomineral (1x) e (3x) pode-se observar relação entre os dias de maior disponibilidade de NH₄⁺ (14° dia) e NO₃⁻ (28° dia) após o primeiro parcelamento das fontes nitrogenadas, e os picos de perdas de N-NH₃ (9° dia). Esses resultados indicam que o aumento da concentração de NH₄⁺ no solo está sujeito a maiores perdas de N devido à volatilização de NH₃ em função da ocorrência do processo de nitrificação com a influência de baixas precipitações impedindo a transformação efetiva do NH₄⁺ em NO₃⁻ (Figura 7 e 11).

No 2° parcelamento da adubação nitrogenada, os fertilizantes apresentaram as seguintes perdas acumuladas de N-NH₃ de forma decrescente: ureia (25,05 kg N ha⁻¹ - 18,79% do N aplicado) > organomineral (3x) (18,88 kg N ha⁻¹ - 14,16% do N aplicado) > blend (2,12 kg N ha⁻¹ - 0,53% do N aplicado) > nitrato de amônio (2,09 kg N ha⁻¹ - 1,57% do N aplicado) > organomineral (1x) (1,97 kg N ha⁻¹ - 0,49% do N aplicado) (Tabela 5) (Figura 12).

Figura 12. Perdas diárias e acumuladas de volatilização de N-NH₃ em kg ha⁻¹ e condições meteorológicas durante o 2º parcelamento.



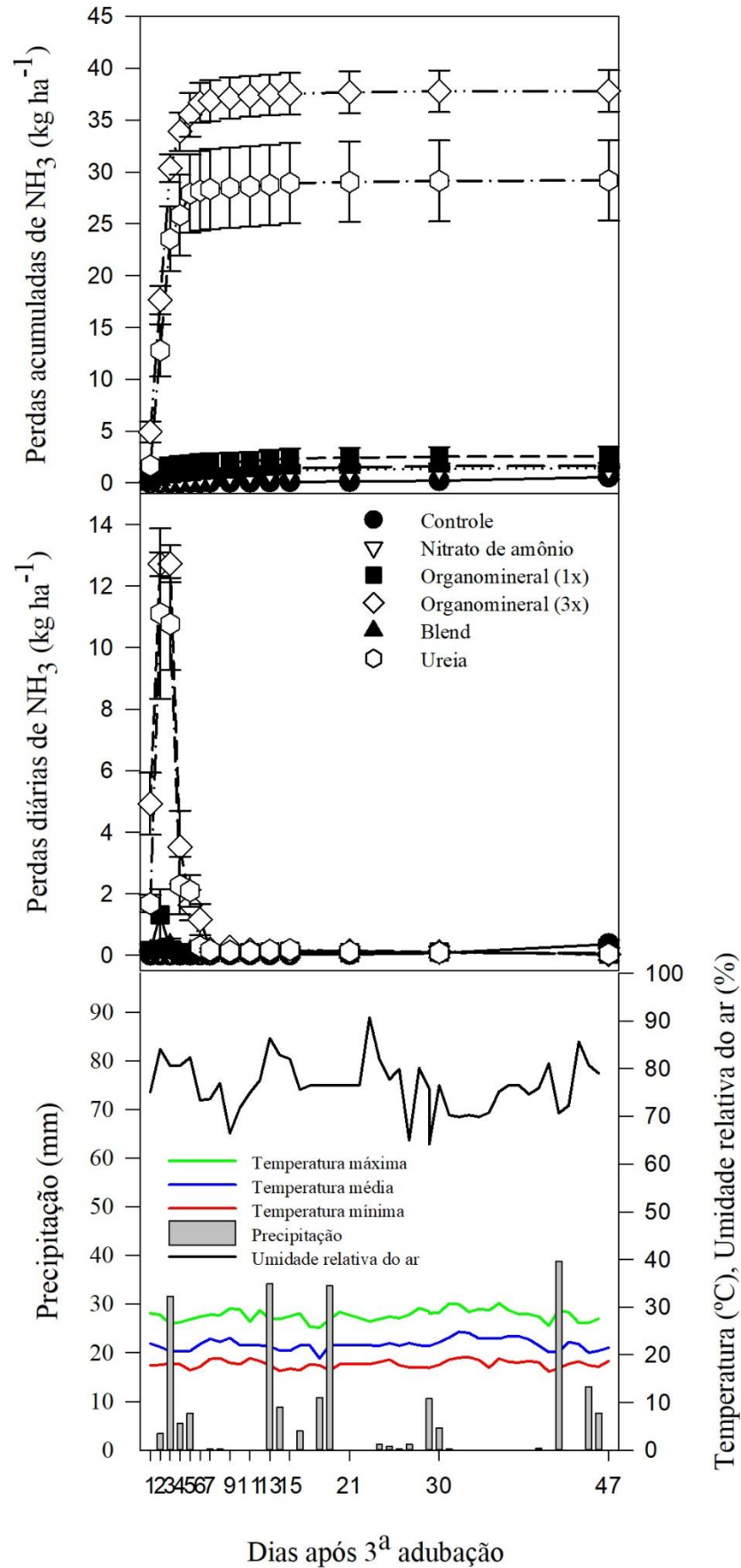
A precipitação acumulada 47 dias após a segunda adubação nitrogenada foi de 783 mm. Nos 7 primeiros dias, período com as maiores perdas de N-NH_3 após aplicação na superfície do solo, a precipitação foi de 0,0; 11,4; 1,6; 46,0; 2,4; 0,0 e 0,0 totalizando o valor de 61,4 mm. Nesse mesmo período de tempo os valores de umidade relativa do ar foram de 79, 69, 87, 77, 80, e 82%.

Baixa precipitação, elevada umidade relativa do ar e temperatura máxima com valor médio de $28,3^\circ\text{C}$ nos primeiros três dias após a fertilização, contribuíram para que ocorressem as maiores perdas de N-NH_3 nos tratamentos ureia $10,78 \text{ kg N ha}^{-1}$ (8,08% do N aplicado) e organomineral (3x) $10,75 \text{ kg N ha}^{-1}$ (8,06% do N aplicado), durante o 3º dia após adubação na superfície do solo. Estudos anteriores, como o de Freitas et al., (2023), destacaram maiores perdas por volatilização de amônia, principalmente nos primeiros três dias após a adubação nitrogenada de fertilizantes convencionais e estabilizados.

O comportamento das precipitações do 4º até o 47º dia após adubação totalizando 770 mm, pode ter exercido influência na redução das perdas acumuladas de N-NH_3 emitidas pelo fertilizante organomineral (3x) ($18,9 \text{ kg ha}^{-1}$), quando comparadas às perdas durante a primeira adubação ($30,8 \text{ kg ha}^{-1}$), permitindo maior incorporação ao solo.

A perda acumulada de N-NH_3 aos 47 dias após a 3ª adubação nitrogenada seguiu a seguinte ordem decrescente: organomineral (3x) ($37,81 \text{ kg N ha}^{-1}$ - 28,36% do N aplicado) > ureia ($29,17 \text{ kg N ha}^{-1}$ - 21,88% do N aplicado) > organomineral (1x) ($2,58 \text{ kg N ha}^{-1}$ - 0,65% do N aplicado) > blend ($1,67 \text{ kg N ha}^{-1}$ - 0,42% do N aplicado) > nitrato de amônio ($1,45 \text{ kg N ha}^{-1}$ - 1,08% do N aplicado) (Tabela 5) (Figura 13).

Figura 13. Perdas diárias e acumuladas de volatilização de N-NH_3 em kg ha^{-1} e condições meteorológicas durante o 3º parcelamento.



A precipitação acumulada 47 dias após a 3ª adubação nitrogenada foi de 218 mm. Nos primeiros 7 dias, período em que ocorreram as maiores perdas de N-NH₃ após aplicação na superfície do solo, a precipitação foi de 0,0; 3,4; 31,6; 5,6; 7,6; 0,0 e 0,2, com um total de 48,4 mm. Os valores de umidade relativa do ar no mesmo período de tempo foram os seguintes: 74, 82, 79, 79, 81, 71 e 72%.

As precipitações pluviométricas, umidade relativa do ar e temperatura máxima (valor médio de 28°C) nos primeiros três dias após a adubação nitrogenada, influenciaram nas maiores perdas de N-NH₃ apresentadas pelos tratamentos ureia e organomineral (3x), totalizando 11,11 kg N ha⁻¹ (8,33% do N aplicado) e 12,71 kg N ha⁻¹ (9,53% do N aplicado), respectivamente, durante o 2º dia e perdas de 10,77 kg N ha⁻¹ (8,07% do N aplicado) e 12,73 kg N ha⁻¹ (9,55% do N aplicado), respectivamente, durante o 3º dia após adubação na superfície do solo.

O blend e organomineral (1x) apresentaram baixas perdas de N-NH₃ no cafeeiro durante o 2º e 3º parcelamento da adubação nitrogenada, com valores em torno de 2 kg N ha⁻¹ (0,5% do N aplicado). Esse comportamento é explicado pela ausência de adubação nitrogenada durante a 2ª e 3ª adubação, devido ao fornecimento de N em aplicação única, evidenciando que o fertilizante residual da 1ª adubação não teve influência significativa nas perdas de N-NH₃ no cafeeiro.

O comportamento da ureia convencional, mostra consonância entre o dia de maior concentração de N_{Mineral} no solo (4º dia) com a disponibilidade de 279 mg kg⁻¹ de NH₄⁺ e 128 mg kg⁻¹ de NO₃⁻ e os dias de maiores perdas de N-NH₃ (2º e 3º) com valores de 11,11 e 10,77 kg ha⁻¹ após adubação nitrogenada na superfície do solo. Para o fertilizante organomineral (3x), essa relação foi evidenciada unicamente para o NO₃⁻ com 111 mg kg⁻¹ no dia 4 após adubação e disponibilidade contraste de NH₄⁺ com 107 mg kg⁻¹ no dia 32 após adubação, esse comportamento pode ser atribuído a discordância entre as datas de coleta de solo para quantificar a disponibilidade de N_{Mineral} e os dias de coleta das perdas de volatilização de NH₃.

A perda acumulada de N-NH₃ nas três adubações foi: organomineral (3x) 87,45 kg ha⁻¹ (21,86% do N aplicado) > ureia (3x) 76,97 kg ha⁻¹ (19,24% do N aplicado) > organomineral (1x) 64,10 kg ha⁻¹ (16,02% do N aplicado) > blend 47,37 kg ha⁻¹ (11,84% do N aplicado) > nitrato de amônio 6,95 kg ha⁻¹ (1,74% do N aplicado). Em comparação com a ureia convencional, foram apresentadas as seguintes reduções de perdas de N-NH₃ por ha durante a safra 22/23: 90,91% com nitrato de amônio, 38,46% com blend, 16,72% com organomineral (1x) e um aumento de 13,62% com organomineral (3x) (Tabela 5).

Tabela 4. Perdas por volatilização de amônia (N-NH₃) das diferentes fontes nitrogenadas aplicadas no cafeeiro durante a safra (22/23).

Tratamentos	1º	2º	3º	Acumulado	Perdas	Redução de perdas comparado a Ureia
	Parcelamento	Parcelamento	Parcelamento			
	kg ha ⁻¹ de N-NH ₃				(%)	(%)
Controle	1,8 c	1,8 c	0,6 b	4,2 c	-	-
Ureia	22,7 bc	25,1 a	29,2 a	76,9 ab	19,2	-
Nitrato de Amônio	3,41 c	2,09 c	1,45 b	6,95 c	1,74	90,97
Organomineral (1x)	59,5 a	1,9 c	2,6 b	64,1 ab	16,0	16,7
Organomineral (3x)	30,8 b	18,9 b	37,8 a	87,5 a	21,9	-13,6
Blend	43,6 ab	2,1 c	1,7 b	47,4 b	11,8	38,5
CV(%)	42,9	11,4	32,3	13,5	-	-
**Precipitação 9 dias (mm)						
	17,2	65	48,6	-	-	-

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância. * Dose de referência 400 kg ha⁻¹ de N por ano. ** Precipitação acumulada até o 9º dia após o dia da adubação para cada parcelamento, referente a aplicação das fontes convencionais.

As perdas de N-NH₃ associadas à ureia convencional são atribuídas à sua alta solubilidade e falta de controle na taxa de hidrólise da molécula de ureia CO(NH₂)₂, influenciada pela presença da enzima urease no solo. Nessa situação, a hidrólise da ureia ocorre de forma catalisada pela urease, formando na primeira etapa o ácido carbâmico (H₂N-COOH) e amônia (NH₃) e, como produto final o ácido carbônico (H₂CO₃) e duas moléculas de amônia (NH₃) (Gioacchini et al., 2002; Mikkelsen, 2009; Rochette et al., 2009). A presença de resíduos vegetais na projeção da copa do cafeeiro, juntamente com condições variadas de temperatura, umidade relativa do ar e pluviosidade (fatores observados neste estudo), aumenta significativamente a susceptibilidade às perdas de N-NH₃ por volatilização (Souza et al., 2023).

As perdas totais acumuladas de N-NH₃ com a aplicação de ureia, expressas como percentual do N aplicado, atingiram 19,24% (76,97 kg N ha⁻¹). Fenilli et al. (2007), ao utilizar a dose de 280 kg N ha⁻¹ na forma de ureia convencional, dividida em quatro aplicações, identificaram perdas de 21% do N total aplicado no cafeeiro. Além disso, Chagas et al. (2016) reportaram perdas de 18,5% (83,2 kg N ha⁻¹) do N total aplicado como ureia (450 kg N ha⁻¹) em condições de café irrigado. Vários estudos no Brasil, focados no cafeeiro adubado com ureia convencional, indicam perdas de N-NH₃ por volatilização variando entre 18,5% e 31,2% do N aplicado (Dominghetti et al., 2016; Fenilli et al., 2007; Chagas et al., 2016).

As perdas de N-NH_3 resultantes da aplicação de nitrato de amônio, descontando as perdas emitidas pelo solo, foram inferiores a 1% do N aplicado. De acordo com Powlson et al., (2011) o nitrato de amônio é uma fonte de nitrogênio que contém a forma amoniacal e nítrica em sua composição, e promove menor variação do pH do solo permitindo que a nitrificação aconteça em menor intensidade como foi mostrado no presente trabalho. Ao aplicar esse fertilizante em solos ácidos (como evidenciado no pH deste estudo, variando de 4,7 a 5,0), esta fonte provoca pouca ou nenhuma perda por volatilização de N-NH_3 (Rochette et al., 2009; Costa; Vitti; Cantarella, 2003; Cabezas; Souza, 2008) e apresenta baixo risco ambiental (Boschiero et al., 2020).

O blend demonstrou redução significativa nas perdas por volatilização de N-NH_3 , atingindo diminuição de 38,46% em comparação com a ureia convencional. O que pode ser explicado pelo revestimento de S° + polímero presente no fertilizante que provoca redução no contato do nutriente no interior do grânulo com a umidade do solo e do ar, apresentando diminuição da velocidade de hidrólise de ureia e, possibilita melhor aproveitamento do nitrogênio (Peng et al., 2015) .

Ao aplicar o blend em condições de café irrigado, Chagas et al. (2016), identificaram redução de 43,75% ($36,4 \text{ kg N ha}^{-1}$) nas perdas por volatilização de NH_3 , em comparação com a ureia convencional ($83,2 \text{ kg N ha}^{-1}$) durante o 1º ano de avaliação. Freitas et al. (2023) encontraram reduções nas perdas por volatilização de N-NH_3 em 38,1% com o blend (40% ureia com NBPT e 60% de ureia revestida com poliuretano) em comparação com a ureia convencional, valor próximo ao encontrado no presente trabalho (Tabela 5).

O fertilizante organomineral apresentou comportamento variável de acordo com sua forma de aplicação. O organomineral (1x), fornecido em aplicação única, demonstrou redução nas perdas acumuladas de 16,72% ($12,86 \text{ kg N ha}^{-1}$). Em contraste o organomineral (3x) aplicado em três parcelamentos promoveu aumento nas perdas acumuladas de 13,62 % ($10,6 \text{ kg N ha}^{-1}$) em comparação com a ureia convencional.

Essa dinâmica é explicada pelas condições climáticas e a forma de aplicação, onde o organomineral (1x) foi submetido ao único período de condições climáticas influenciado pela baixa precipitação e umidade relativa do ar nos primeiros sete dias associado ao incremento desses fatores a partir do 8º dia após adubação. Já no caso do organomineral (3x) ao ser aplicado em três momentos de condições climáticas diferentes, mostrou variabilidade das perdas de N-NH_3 , onde na 2ª adubação nitrogenada o maior regime de chuvas e menor umidade relativa do ar permitiu a redução das perdas de N-NH_3 . Na 3ª adubação a presença de precipitações

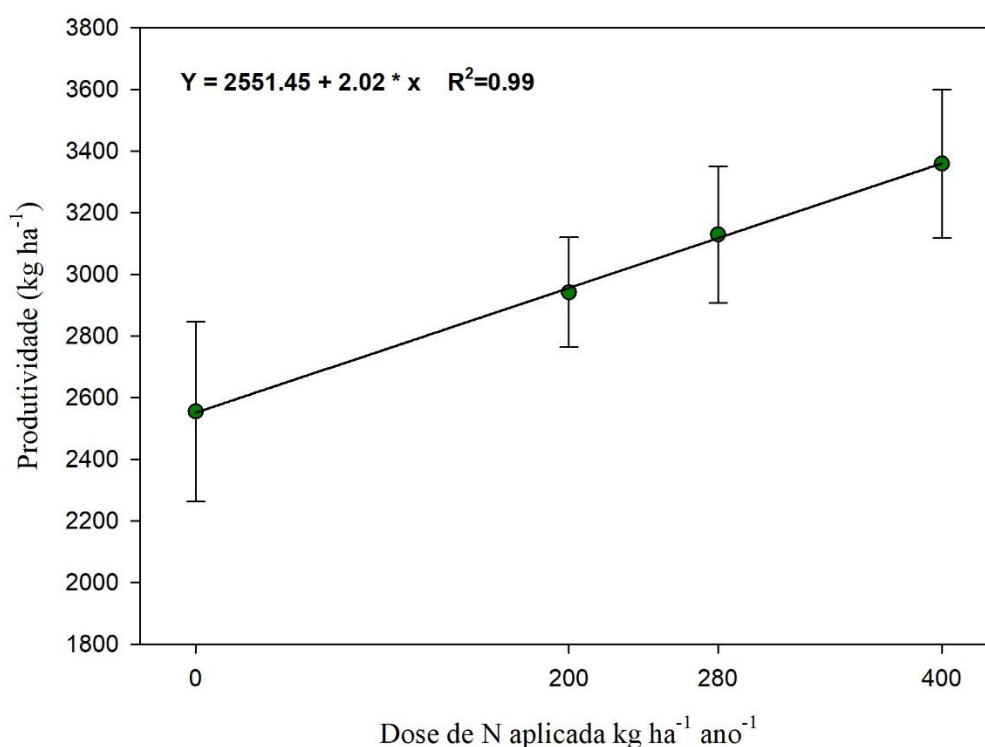
reduzidas e alta umidade relativa do ar ao longo dos 47 dias após adubação, influenciaram no aumento das perdas acumuladas de N-NH₃ (Tabela 5).

5.6 Produtividade, Renda e Rendimento de grãos

A produtividade de grãos do cafeeiro foi influenciada pelas doses de N ($P < 0,05$). Os resultados de produtividade seguiram o ajuste de modelo linear, onde a dose que apresentou maior produtividade para a safra 22/23 foi a dose de 400 kg ha⁻¹ de N com média de 3.360 kg ha⁻¹ de café beneficiado, aumento de 24% em relação a ausência de adubação nitrogenada com média de 2.555 kg ha⁻¹ (Figura 14). Com base na equação do ajuste, para cada 100 kg de N adubado foram colhidos 202 kg ha⁻¹ de café.

As variáveis rendimento e renda, não foram influenciadas pela interação entre os fatores fonte e dose ($P < 0,05$), nem pelo fator isolado de fonte ou dose ($P < 0,05$). O rendimento médio foi de 444 litros de café da roça para uma saca de café beneficiado e a renda média foi de 2,4 litros de café em coco para um kg de café beneficiado.

Figura 14. Produtividade de grãos de café beneficiado em resposta às diferentes doses de N aplicadas na safra 22/23.



A produtividade do cafeeiro, de acordo com Martinez et al., (2003), pode ser classificada em três níveis: alta (mais de 1.800 kg ha⁻¹ ano de café beneficiado), média (de 900 a 1.800 kg ha⁻¹ ano de café beneficiado) e baixa (menos de 900 kg ha⁻¹ ano de café beneficiado). No contexto do presente trabalho, é notável que, mesmo na ausência de adubação nitrogenada (controle), foram alcançadas produtividades em torno de 2.555 kg ha⁻¹ ano. Esse desempenho pode ser explicado pelas boas reservas de nitrogênio total no solo até um 1 m de profundidade, que foram registradas em 24,26 T ha⁻¹ (Figura 1). Parte desse estoque de nitrogênio total, pode ter sido transformado para N_{Mineral} e tornar-se disponível para o cafeeiro.

Carneiro et al., (2013), conduziram uma avaliação da mineralização de nitrogênio (N) em um Latossolo Vermelho distrófico, especificamente na camada de 0-20 cm. Os resultados revelaram taxa de mineralização de 124 mg N kg⁻¹ de solo (NH₄⁺ + NO₃⁻) ao longo de 270 dias. Considerando a profundidade mencionada e a duração desse experimento, é possível estimar oferta de 322 kg ha⁻¹ de N proveniente do solo. Esses resultados indicam que, quando o solo fornece níveis moderados a elevados de nitrogênio (N) como foi o caso do presente trabalho, mesmo quando ocorrem perdas consideráveis dos fertilizantes nitrogenados, a eficiência das fontes de nitrogênio pode ser mascarada.

Os resultados obtidos por Chagas (2018) destacam a dinâmica sazonal nas respostas das fontes de nitrogênio na produção de café. Durante a primeira safra, não foram observadas diferenças na produtividade do café ao analisar quatro fontes de nitrogênio distintas (ureia, nitrato de amônio, Polyblen Extend® e Polyblen Montanha®). No entanto, na segunda safra, houve aumento de 35 e 31% na produtividade, com os fertilizantes Polyblen Montanha® (2.988 kg ha⁻¹ de café) e Nitrato de Amônio (2.910 kg ha⁻¹ de café) em relação a ureia convencional (2.214 kg ha⁻¹ de café). Os resultados do estudo conduzido por Fagundes et al., (2015) ao longo de cinco safras consecutivas revelaram aumento da produtividade no cafeeiro de 28% com a aplicação de um blend (ureia com NBPT e ureia com S^o + polímero), mostrando em média 2.580 kg ha⁻¹ de café, em comparação com a formulação convencional (25-00-25) com valor médio de 2.022 kg ha⁻¹ de café, mesmo aplicando 25% a menos de nitrogênio no blend.

Estudos citados na literatura, focados no cafeeiro em produção, indicam que os resultados estatisticamente significativos para a variável produtividade se manifestam a partir do segundo ano de implantação do experimento. Isso ocorre porque, durante o primeiro ano, a planta está engajada predominantemente em seu processo de crescimento vegetativo e desenvolvimento de tecido reprodutivo, sendo influenciada pela fertilização do ano anterior. Por esse motivo, a realização de experimentos ao longo de dois ou mais anos é considerada

crucial para a avaliação mais abrangente e precisa (Sakiyama et al., 2015; Martinez et al., 2003; Chagas, 2018; Caixeta e Da Mota, 2023).

6. CONCLUSÃO

Exceção ao nitrato de amônio, os fertilizantes nitrogenados mostraram uma correlação direta entre os picos de maior concentração de N_{Mineral} no solo e os picos de perdas de amônia ($N\text{-NH}_3$) em cada período de avaliação dos parcelamentos de fertilizantes. A alta disponibilidade de íons amônio (NH_4^+) no solo provocaram que, muitos desses íons não conseguiram ser convertidos em nitrato (NO_3^-) através da nitrificação. Essa conversão incompleta resultou na perda de nitrogênio por volatilização de amônia (NH_3).

Em termos de liberação gradual de N, maior disponibilidade de N_{Mineral} no solo e redução nas perdas por volatilização de NH_3 (38% em comparação a ureia convencional), tornam o blend como a melhor escolha agrônômica, enquanto o organomineral (1x) teve uma redução nas perdas por volatilização de NH_3 de 16% em comparação a ureia convencional.

Os resultados comprovaram que o nitrato de amônio é uma opção importante como fonte de N para a cafeicultura, pois sua eficácia não depende de condições edáficas e climáticas específicas, conferindo maior flexibilidade aos cafeicultores em sua aplicação no solo.

7. REFERÊNCIAS

- ABRANCHES, J.L. Resposta da cultura do café arábica à aplicação de ureia revestida. 2018. 94 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidad Estadual Paulista, Botucatu – SP, 2018.
- ADAMS, C. et al. Macro- and micronutrient-release characteristics of three polymer-coated fertilizers: Theory and measurements. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 176, n. 1, p. 76-88, Feb. 2013.
- ANTILLE, D.L., SAKRABANI, R., TYRELL, S.N., LE, M.S., GODWIN, R.J.: Characterization of organomineral fertilizers derived from nutrient-enriched biosolids granules. *Appl. Environ. Soil Sci.* (2013). doi:[10.1155/2013/694597](https://doi.org/10.1155/2013/694597)
- BLACK, A. S.; SHERLOCK, R. R.; SMITH, N. P. Effect of timing of simulated rainfall on ammonia volatilization from urea, applied to soil of varying moisture content. *European Journal of Soil Science*, Chincester, v. 38, n. 4, p. 679-687, Dec. 1987.
- BLACK, A. S.; SHERLOCK, R. R.; SMITH, N. P. Effect of timing of simulated rainfall on ammonia volatilization from urea, applied to soil of varying moisture content. *European Journal of Soil Science*, Chincester, v. 38, n. 4, p. 679-687, Dec. 1987.
- BOSCHIERO, B.N., MARIANO, E., TORRES-DORANTE, L.O., SATTOLO, T.M.S., OTTO, R., GARCIA, P.L., DIAS, C.T.S., TRIVELIN, P.C.O., 2020. Nitrogen fertilizer effects on sugarcane growth, nutritional status, and productivity in tropical acid soils. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 117, 367–382. <https://doi.org/10.1007/s10705-020-10074-w>.
- CABEZAS, W. A. R. L.; SOUZA, M. A. Volatilização de amônia, lixiviação de nitrogênio e produtividade de milho em resposta à aplicação de misturas de ureia com sulfato de amônio ou com gesso agrícola. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 2343- 2353, nov./dez. 2008.
- CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O. Eficiência de um coletor semi aberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado da uréia aplicada ao solo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Viçosa, v. 14, n. 3, p. 345-352, set./dez. 1990.
- CAIXETA, E. A.; et al. Avaliação de diferentes fontes de nitrogênio na cultura do café. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 15, n. 4, p. 617-631, 2021.
- CAIXETA, E.A.; JUNIOR, K.S.F.; BRIGANTE, G.P. Avaliação de diferentes fontes de nitrogênio na cultura do café. *Rev. Bra. Eng. Bios. Minas Gerais*, v. 14, n. 4, p. 617-631, 2021.
- CANCELLIER, E.L. et al. Ammonia volatilization from enhanced-efficiency urea on no-till corn in Brazilian cerrado with improved soil fertility. **Ciência e Agrotecnologia**, v.40, p.15-23, 2016.
- CANTARELLA, H., OTTO, R., SOARES, J.R., SILVA, A.G., DE, B., 2018. Agronomic efficiency of NBPT as a urease inhibitor: a review. *J. Adv. Res* 13, 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2018.05.008>.

CARDOSO A, QUINTÃO R, SOARES W, MIRANDA J, QUEIROZ J, 2017. Performance of organomineral fertilizer in winter and rainy potato crop. *Biosci. J.* 33(4): 861-870.

CHAGAS, W. F. T. **Tecnologias de fertilizantes nitrogenados na cafeicultura**. 2018. 139 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

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.

CHEN, H.; WAN, L.; FAN, L.; XU, H.; CAO, H. **Water soluble alkylid resin-sulfur coated controlled release fertilizer and preparation thereof**. US Pat. 2011/0072871 A1, 2011.

CONAB, 2023. Companhia Nacional de Abastecimento. Retrieved from: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe/boletim-da-safra-de-cafe?limitstart=0>

COSTA, A. R.; et al. Uso do nitrogênio na agricultura e suas implicações na emissão do gás de efeito estufa óxido nitroso (N₂O). Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 47 p.

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

DA MOTA, R. P.; Fertilizantes Especiais na Cultura do Cafeeiro (*Coffea arabica* L.). 2023. 100 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

DE SOUZA, T.L., OLIVEIRA, D.P., SANTOS, C.F., PEREIRA, T.H., CAMPOS, J.P., DA SILVA, E.R., FERNANDES, T.J., DE SOUZA, T.R., BUILES, V.R., GUELF, D. Nitrogen fertilizer technologies: Opportunities to improve nutrient use efficiency towards sustainable coffee production systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 345.

DOMINGHETTI, A.W. et al. Nitrogen loss by volatilization of nitrogen fertilizers applied to coffee orchard. *Ciência & Agrotecnologia*, v.40: p. 1-11, 2016.

DUTRA, M.P., Diagnóstico nutricional foliar e blends de fertilizantes de eficiência aumentada em cafeeiros em produção. 2021. 76 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2021.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Visão 2030 : o futuro da agricultura brasileira. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 212 p

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 574 p.

FAGUNDES, A. V. et al. Adubação nitrogenada e potássica com fertilizantes de liberação controlada (Polyblen®) em cafeeiros *Coffea arabica* por cinco safras (2011/2012 a 2015/2016) no sul de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 41, 2015, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: CD-ROM.

FENILLI, T. A. B.; et al. Volatilization of Ammonia Derived from Fertilizer and its Reabsorption by Coffee Plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 38, n. 13-14, p. 1741-1751, 2007.

FREITAS, T. **Fertilizantes de liberação controlada e seus “blends” com ureia tratada com inibidor de urease para o cafeeiro**. 2020. 126 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2020.

FREITAS, T.; OLIVEIRA, D.P.; DUTRA, M.P.; ZITO, P.C.; REIS, E.H.S.; FERNANDES, T.J.; NUNES, A.P.P.; GUIMARÃES, R.J.; RABÊLO, F.H.S.; GUELF, D. Blending Controlled-Release and Urease-Inhibitor Technologies as Innovative Solutions to Reduce Ammonia Emissions in Coffee Environments. *Soil Syst, Lavras*, v. 7, n. 83, p 21, September. 2023.

FU, J.; et al. Classification research and types of slow controlled release fertilizers (SRFs) used - a review. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 49, n. 17, p.2219-2230. 2018.

FUNJINUMA, R.; BALSTER, N.J.; NORMAN, J.M. Na improved model of nitrogen release for surface-applied urea controlled-release fertilizer. **Soil Science Society of American Journal**. 73: 2043-2050, 2009.

GUELF, D. Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada. *Informações Agrônomicas*, Belo Horizonte, n. 157, p. 1-14, mar. 2017.

INTERNATIONAL FERTILIZER ASSOCIATION - IFA. **IFADATA**. France: International Fertilizer Association, 2017. Disponível em: < <https://www.ifastat.org/databases/plant-nutrition>>. Acesso em: 8 fevereiro . 2024. <https://www.ifastat.org/databases/plant-nutrition>

KE, J. et al. Effects of different controlled-release nitrogen fertilisers on ammonia volatilisation, nitrogen use efficiency and yield of blanket-seedling machine-transplanted rice. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 205, p. 147-156, Apr. 2017.

KISSEL, D. E. et al. Rainfall timing and ammonia loss from urea in a loblolly pine plantation. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 68, n. 5, p. 1744-1750, Sept. 2004.

KOMINKO, HALYNA, KATARZYNA GORAZDA, AND ZBIGNIEW WZOREK. "The possibility of organo-mineral fertilizer production from sewage sludge." *Waste and Biomass Valorization* 8 (2017): 1781-1791.

LIU, J., et al. Bio-Based elastic polyurethane for Controlled-release urea fertilizer: Fabrication, properties, swelling and nitrogen release characteristics. *Journal Clinical Production*, v. 209, p. 528-537, 2019.

MALAVOLTA, E.; et al. **Diagnóstico do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. Ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa do Fosfato, 1997. 238 p.

MARTHA JÚNIOR, G. B et al. Perda de amônia por volatilização em pastagem de capim Tanzânia adubada com uréia no verão. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 2240-2247, dez. 2004.

MARTINEZ, H. E. P. et al. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 703-713, jun. 2003.

MARTINEZ, H. E. P.; NEVES, J. C. L. Nutrição Mineral, Calagem, Gessagem e Adubação. In: SAKIYAMA, N. S.; MARTINEZ, H. E. P.; TOMAZ, M. A.; BORÉM, A. (Eds.). *Café Árábica do Plantio à Colheita*, Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, p.64-103. 2015.

MEDINA, L. C.; et al. Nitrogen Release Patterns of a Mixed Controlled-release Fertilizer and Its Components. **HortTechnology**, v. 18, n.3, p. 475-480, 2008.

MIKKELSEN, R. Ammonia emissions from agricultural operations: fertilizer. **Better Crops**, Atlanta, v. 93, n. 4, p. 9-11, Oct. 2009.

NAZ, M. Y.; SULAIMAN, S. A. Slow release coating remedy for nitrogen loss from conventional urea: a review. **Journal of Controlled Release**, Amsterdam, v. 225, p. 109-120, Mar. 2016.

NOELLSCH, A. J. et al. Corn response to conventional and slow-release nitrogen fertilizers across a claypan landscape. **Agronomy Journal**, Madison, v. 101, n. 3, p. 607-614, May 2009.

O'CONNOR, M.J. & HENDRICKSON, L.L. Effect of phenylphosphorodiamidate on ammonia volatilization as affected by soil temperature and rates and distribution of urea. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:1062-1066, 1987.

PENG, X.; et al. Laboratory evaluation of ammonia volatilization and nitrate leaching following nitrogen fertilizer application on a coarse-textured soil. *Agronomy Journal*, v. 107, n. 3, p. 871-879, 2015.

PORTUGAL J, ANSELMO M, RIBEIRO A, DE CASTILHO D, 2016. Aplicação de fertilizante orgânico e mineral em arroz de terras altas irrigado por aspersão: análise econômica. *Jaboticabal*. 44(2): 146-155.

POWLSON, D. S.; GREGORY, P. J.; WHALLEY, W. R.; QUINTON, J. N.; HOPKINS, D. W.; WHITMORE, A. P.; HIRSCH, P. R.; GOULDING, K. W. T. Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services. *Food Policy*. v. 36, 2011.

REYNOLDS, C. M.; WOLF, D. C. Effect of soil moisture and air relative humidity on ammonia volatilization from surface-applied urea. *Soil Science*, Washington, v. 143, n. 2, p. 144-152, Feb. 1987.

ROCHETTE, P.; MACDONALD, J.D.; ANGERS, D.; CHANTINI, M.H.; GASSER, M.; BERTRAND, N. Banding urea increased ammonia volatilization in a dry acidic soil. *J. Environ. Qual.*, 38: 1383-1390, 2009.

SAKIYAMA, N. S.; et al. *Café Arábica do Plantio à Colheita*. 22. ed. Viçosa: Editora UFV, 2015, 316 p.

SILVA, C. A.; CERRI, C. E. P.; ANDRADE, C. A. de; MARTIN NETO, L.; BETTIOL, W. Matéria orgânica do solo: ciclo, compartimentos e funções. In: SILVA, C. A.; CERRI, C. E. P.; ANDRADE, C. A. de; MARTIN NETO, L.; BETTIOL, W. *Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical*. Brasília, DF: Embrapa, 2023. cap. 1, p. 17-4

SOARES, D. A. Emissões de Gases de Efeito Estufa por Fertilizantes Nitrogenados em Lavoura Cafeeira Irrigada. 2016. 129 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Universidade Federal de lavras, lavras, 2016.

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

TRENKEL, M. E. Slow and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010. 167 p.

VAZ, M.R.; SOUSA, R.T.; KORNDORFER, G.H; HENRIQUE, H.M. Efeito de fertilizante organomineral sobre a produtividade da cana soca de segundo corte na usina vale do são simão no município de santa vitória-mg. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciências do solo, julho-agosto 2013, Florianópolis - SC.

ZABINI, A. V.; Diagnóstico Nutricional do Cafeeiro por Meio da Análise de Flores, Folhas e Extrato Foliar. 2010. 88 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2020