



Custo define o tipo de fertilização nitrogenada na formação inicial do cafeeiro

Marcus Vinicius Oliveira Noronha¹, Wellington Marota Barbosa², Tâmara Prado de Moraes³

¹ Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz ESALQ-USP, marcusnoronha123@gmail.com

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS) - Campus Machado, Docente, wellington.marota@ifsulde Minas.edu.br

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS) - Campus Machado, Docente, tamara.morais@ifsulde Minas.edu.br

Recebido em: 25/08/2023

Aceito em: 07/02/2024

Resumo

Atualmente, existem, no mercado, diversas tecnologias associadas aos fertilizantes capazes de promover maior efetividade no uso e na disponibilidade de nutrientes às culturas. Na cafeicultura, destacam-se as classes dos fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada. Objetivou-se avaliar a eficiência de diferentes tipos de fertilizantes nitrogenados na formação do cafeeiro e comparar o custo de sua utilização. Foram realizados dois experimentos, sendo um em campo, no município de Campos Gerais, MG, e outro em casa de vegetação. Foram testadas tecnologias de fertilizantes nitrogenados: testemunha (sem aplicação de nitrogênio), adubação convencional, adubo de liberação lenta e adubo de liberação controlada, nas dosagens recomendadas pelos fabricantes. No experimento em vasos, foi ajustada a dose de acordo com o volume de solo disponível ao sistema radicular. Foram avaliados altura, diâmetro de caule, número de ramos plagiotrópicos, diâmetro de copa, índice *soil plant analysis development* (SPAD), teor de nitrogênio (N) nas folhas, número de plantas rebrotadas após a geada, massa seca da parte aérea e das raízes e os custos de utilização. Notou-se diferença para o diâmetro de copa e índice SPAD no experimento em campo. No diâmetro de copa, o tratamento de liberação controlada manteve-se superior apenas ao tratamento sem a adição de N; e, para o índice SPAD, o tratamento sem N foi inferior aos demais tratamentos. No experimento em vasos, todas as variáveis avaliadas mantiveram-se superiores à testemunha, exceto na massa seca das raízes, em que não houve diferença. Em relação ao custo, o tratamento convencional foi o menos oneroso.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L. Adubação de solo. Liberação gradual. Rentabilidade.

Introdução

A demanda crescente pelo café brasileiro fez com que produtores intensificassem sua produção utilizando tecnologias eficientes em fertilizantes e defensivos, resultando em maiores safras sem aumento da área cultivada. O cafeeiro depende de balanço nutricional equilibrado para seu desenvolvimento, desde o viveiro ao campo, sendo necessárias adubações precisas, evitando-se perdas durante a utilização dos fertilizantes.

O nitrogênio (N) destaca-se como o nutriente requerido em maior quantidade durante o desenvolvimento da cultura. Pode ser absorvido tanto na forma amoniacal quanto na nítrica, sendo responsável pela produção de biomassa, oriunda da participação na síntese de produtos como aminoácido e proteínas, além de estar presente nas estruturas de moléculas

transportadoras de elétrons (CARR et al., 2020). A suplementação adequada de nitrogênio no cafeeiro garante aumento no número de ramos plagiotrópicos, pares de folhas, de nós por ramo e flores por nó, relacionando-se diretamente com a produtividade (NAZARENO et al., 2003). No solo, é facilmente perdido por lixiviação, na forma de nitrato, e por volatilização, na forma de amônia, gerando perdas significativas e contribuindo com a contaminação do meio ambiente (GUELF, 2017).

Na intenção de reduzir os danos e aumentar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados, a indústria investe em tecnologias capazes de diminuir ou até mesmo evitar essas perdas para o ambiente. Entre as tecnologias, destacam-se os fertilizantes estabilizados com algum aditivo químico, que evita a ação da urease em

condições desfavoráveis. Esses são fertilizantes de liberação lenta, com o nitrogênio complexado em cadeias carbônicas de diferentes tamanhos, promovendo liberação ao longo do tempo, e controlada, com revestimento externo com enxofre e polímeros vegetais, sendo que a espessura do revestimento interfere no momento de liberação (TENKEL, 2010). A utilização de fertilizantes de liberação lenta e controlada nas fases de formação, manutenção e produção da lavoura é uma realidade no campo, devido a sua agilidade, sua facilidade na aplicação, seu fornecimento gradual de nutrientes e sua redução do custo operacional (FREITAS et al., 2023).

Ao contrário dos convencionais, fertilizantes de liberação lenta e controlada não precisam ser parcelados, pois promovem menores perdas por lixiviação, volatilização e erosão (CHAGAS et al., 2018). Na cafeicultura, são utilizados ureia, sulfato de amônio e nitrato de amônio como fontes de N convencionais; ureia formaldeído, como lenta; e ureia revestida com enxofre elementar e polímeros na classe de controlados. Atualmente, o fertilizante nitrogenado mais utilizado na agricultura é a ureia, devido a seu preço em relação à quantidade de nitrogênio presente, porém existe grande desvantagem agrônômica pela elevada perda de N por volatilização (GUELFÍ, 2017).

O uso de fertilizantes de eficiência aumentada promove melhor desempenho em relação a perdas no ambiente, gerando menor impacto ambiental e econômico (SOUZA et al., 2023), promovendo também, em alguns casos, maior eficiência agrônômica em relação aos convencionais (BACHIÃO et al., 2018). Para cafeeiros no desenvolvimento inicial pós-transplante em campo, levantou-se a hipótese de o uso de fertilizantes de liberação lenta e controlada proporcionar melhor disponibilidade de nitrogênio, acompanhando a curva de demanda da planta, de modo a reduzir o custo da adubação nitrogenada durante o desenvolvimento inicial da cultura. Assim, avaliaram-se, neste trabalho,

parâmetros morfoagronômicos de crescimento de plantas recém-plantadas e o custo efetivo da adubação nitrogenada, utilizando três tecnologias de fertilizantes nitrogenados no estágio inicial de desenvolvimento do cafeeiro arábica, testadas em campo e em casa de vegetação.

Material e métodos

Foram realizados dois experimentos em plantas de café arábica da cultivar Arara, sendo um em campo e outro em casa de vegetação. Utilizaram-se os seguintes tratamentos em ambos os experimentos: tratamento sem adubação nitrogenada (T1); e três diferentes tipos de ureia: ureia convencional (sem tecnologia de liberação, T2), ureia formaldeído (liberação lenta, T3) e ureia revestida com enxofre elementar + polímeros (liberação controlada, T4). Todos dispostos em blocos casualizados, com cinco repetições.

Experimento I

O primeiro experimento foi realizado no município de Campos Gerais, MG, em condição de campo, entre dezembro de 2020 e outubro de 2021. Utilizou-se o espaçamento 3,5 m entre linhas por 0,6 m entre plantas, expressando um sistema semiadensado com 4.762 plantas ha⁻¹. As plantas foram distribuídas nas linhas de plantio dos blocos, com parcelas compostas por seis plantas avaliadas e duas plantas de bordadura entre elas. Os tratamentos foram distribuídos por sorteio, desprezando-se sempre uma linha de plantio, com a função de bordadura entre os blocos, totalizando 120 plantas avaliadas. O solo da área tem textura argilosa, cujas principais características químicas da camada de zero a 20 cm antes do início dos tratamentos podem ser observadas na Tabela 1.

O preparo da área começou com a calagem em cobertura com um calcário dolomítico, que tinha poder relativo de neutralização total (PRNT) de 85 %, 36 % de óxido de cálcio (CaO) e 17 % de magnésio na dosagem de duas toneladas por

hectare. Posteriormente, o solo foi arado com o auxílio de um arado de três discos, nivelado com uma grade niveladora, a fim de diminuir o tamanho dos torrões de terra presentes, e sulcado na profundidade de 40 cm.

Após a abertura do sulco, foi aplicada 1 ton ha⁻¹ do mesmo calcário, na intenção de levar cálcio e magnésio em profundidade e realizar a adubação fosfatada, aplicando o superfosfato simples na dosagem de 310 g m⁻¹ linear no fundo do sulco. Em seguida, o sulco foi escarificado com um subsolador, incorporando e misturando o material. Para o plantio das mudas, em janeiro de 2021, foram feitas covas com profundidade de 20 cm, espaçadas com 60 cm. Por fim, foram aplicados os tratamentos.

A dosagem de fertilizantes para cada tratamento foi ajustada de acordo com a

recomendação dos fabricantes, exceto o tratamento convencional, no qual utilizou-se ureia convencional (45 % N) como fonte nitrogenada, aplicando 13 g de N por planta, parceladas em três aplicações espaçadas em 30 dias (RIBEIRO et al., 1999). Para a ureia formaldeído, a dosagem recomendada foi 9 g de N por planta e, para a ureia revestida com enxofre elementar + polímeros, a dosagem foi 1 g de N por planta, seguindo a recomendação dos fabricantes.

Os tratamentos do experimento em campo foram aplicados em cobertura no dia 8 de janeiro de 2021, logo após o pegamento das plantas no campo. Nesse experimento, foi utilizado o fertilizante Ciclus NS® (30 % de N) como fonte nitrogenada de liberação lenta e o fertilizante Producofe Longer® (37 % de N) como fonte nitrogenada de liberação controlada.

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental (0-20 cm) antes da aplicação dos tratamentos. Campos Gerais, MG, 2020

Determinações	Unidade	Valores
pH em água – Relação 1:2,5	-	4,63
P – Extrator Mehlich 1	mg dm ⁻³	4,51
P – Resina	mg dm ⁻³	7,04
K – Extrator Mehlich 1	mg dm ⁻³	67,54
Ca – Extrator KCl (mol L ⁻¹)	cmolc dm ⁻³	1,57
Mg – Extrator KCl (mol L ⁻¹)	cmolc dm ⁻³	0,47
S – Extrator monocalcico em ácido acético	mg dm ⁻³	10,20
Cu – Extrator Mehlich 1	mg dm ⁻³	0,81
B – Extrator água quente	mg dm ⁻³	0,12
Zn – Extrator Mehlich 1	mg dm ⁻³	3,16
Fe – Extrator Mehlich 1	mg dm ⁻³	37,8
Mn – Extrator Mehlich 1	mg dm ⁻³	13,4
Al – Extrator KCl (mol L ⁻¹)	cmolc dm ⁻³	0,33
H+Al – SMP	cmolc dm ⁻³	3,47
CTC efetiva (t)	cmolc dm ⁻³	2,54
CTC potencial (T)	cmolc dm ⁻³	6,01
Saturação por alumínio (m)	%	12,99
Saturação por bases (V)	%	36,77
Soma de bases	cmolc dm ⁻³	2,21
Matéria orgânica – Colorimetria	dag kg ⁻¹	1,55

Após o plantio das mudas e a aplicação dos tratamentos em campo, efetuou-se a capina manual para controle de plantas daninhas que resistiram ao processo de preparação do solo, limpeza de torrões e materiais orgânicos presentes na linha de plantio. A partir de então, as plantas infestantes foram controladas, na linha de plantio, com um herbicida pré-emergente a base de oxifluorfem ($480 \text{ g i. a. ha}^{-1}$) e, na entrelinha, com roçadeira mecânica tratorizada. Notou-se, por meio da análise de solo, baixo teor de potássio (K), sendo feita a aplicação de 30 g de cloreto de potássio (20g de K_2O) por planta, parcelada em duas.

Experimento II

O segundo experimento foi desenvolvido em casa de vegetação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS) – Campus Machado, em condições parcialmente controladas entre os meses de março e setembro de 2022.

Adotaram-se três vasos por parcela, com uma planta por vaso, distribuídas ao longo da bancada suspensa. Utilizaram-se 60 vasos de 5,3 L no total, com substrato composto por três partes de terra, retirada do horizonte C de um latossolo vermelho/amarelo de textura argilosa, uma parte de areia lavada, ambas solarizadas por uma semana, $\frac{1}{2}$ parte de substrato comercial inerte e 2 kg de superfosfato simples a cada 500 dm^3 de substrato. A irrigação foi oferecida conforme a necessidade das plantas.

No experimento em vasos, os tratamentos foram aplicados em março de 2022, em que se utilizou o fertilizante Ciclus NS® (31 % de N) como fonte nitrogenada de liberação lenta e o fertilizante Polyblen Montanha® (39 % de N) como fonte nitrogenada de liberação controlada.

Na determinação da quantidade de fertilizante de cada tratamento em vaso, foi utilizada a metodologia de Araújo et al. (2008),

em que a dosagem por vaso foi proporcional à dosagem recomendada por cova $0,4 \times 0,4 \times 0,4 \text{ m}$ (volume 64 dm^3), área referente à ocupada pelas raízes de cafeeiros nos seis primeiros meses em campo. Para o tratamento T2, aplicou-se 0,83 g por vaso por aplicação de ureia convencional; no T3, utilizou-se 2,4 g por vaso de ureia formaldeído; e, no T4, 2,36 g por vaso de ureia revestida com polímero e enxofre elementar.

No cultivo em casa de vegetação, não houve necessidade de controle de plantas daninhas, doenças e pragas. Para o manejo nutricional, realizou-se a aplicação de 2 g de cloreto de potássio (KCl) em cobertura por vaso e uma aplicação de fertilizante foliar misto com garantias mínimas de 26,4 % de zinco (Zn), 16,5 % de manganês (Mn), 11,7 % de cobre (Cu) e 5,6 % de molibdênio (Mo), na concentração de 2 mL por litro de água, acrescido de ácido bórico diluído na proporção de 0,5 %.

Avaliações

Nas plantas, realizaram-se avaliações de altura, diâmetro de caule, diâmetro de copa, índice *soil plant analysis development* (SPAD) e número de ramos plagiotrópicos em ambos os experimentos, espaçadas em 60 dias entre elas. A determinação da altura e do diâmetro de copa foi dada por meio de uma régua graduada, medindo do colo da planta até o ápice e dos pontos das duas extremidades da planta, respectivamente. O diâmetro de caule foi obtido por um paquímetro digital, coletado na região inferior ao primeiro ramo plagiotrópico. Para o teor de clorofila (índice SPAD), foram obtidas leituras de três folhas por plantas, duas no terceiro par e uma do quarto par, contados a partir da gema apical, em seguida, determinado o valor médio dessas três leituras, correspondendo ao índice SPAD, utilizando o Clorofilômetro Minolta® SPAD-502. No experimento em vasos, avaliou-se, também, a massa seca da parte aérea e das raízes.

Para determinar o teor de nitrogênio das plantas em campo, foi realizada apenas uma amostragem de tecido foliar, coletando-se duas folhas do terço médio de cada planta, das seis plantas úteis de cada parcela. As folhas foram lavadas em água corrente e enxugadas com papel toalha. Já das plantas na casa de vegetação, foram coletadas todas as folhas depois da obtenção da massa seca da parte aérea, e encaminhadas ao Laboratório de Solos do IFSULDEMINAS. Tanto as folhas quanto a parte aérea e o sistema radicular foram secos em estufa de circulação forçada a 65°C durante 72 horas. Durante a realização do experimento em campo, registrou-se ocorrência de geada de intensidade forte, acometendo a realização das demais avaliações programadas. Sendo assim, optou-se por reepar as plantas e avaliar os efeitos dos tratamentos na brotação e na recuperação da lavoura. Para determinar o número de plantas rebrotadas no pós-geada, as plantas foram recepadas a 5 cm do solo, 30 dias após o fenômeno, efetuando-se uma única avaliação em outubro de 2021. O número de plantas rebrotadas e de ramos plagiotrópicos foi obtido por meio de contagem direta.

Nos meses de dezembro e janeiro de 2020, foi realizado o levantamento minucioso do preço de implantação de cada fertilizante por meio de cotações no mercado local de Campos Gerais, MG. O custo de cada fertilizante foi expresso em valor por hectare, obtido pela quantidade aplicada por planta multiplicada pela quantidade de plantas pela área, acrescido do custo de aplicação em dia/homem, desconsiderando o frete, adaptado ao que foi proposto por Freitas (2017). O dia/homem, com carga horária de oito horas, foi determinado pelo tempo gasto na aplicação em função do valor pago na região, equivalente a 70 reais. Para determinar o tempo gasto de aplicação, cronometrou-se a aplicação em uma área vizinha com um hectare, determinando o tempo de quatro horas trabalhadas por aplicação, equivalente a $\frac{1}{2}$ dia/homem. Obteve-se a quantidade de dia/homem para a aplicação

de cada fertilizante em função do número de parcelamentos de cada tratamento.

Os dados foram tabulados e submetidos à análise de variância. Quando significativas, as médias foram submetidas ao teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Na variável plantas rebrotadas, houve transformação dos dados pela equação . Todas as análises foram realizadas pelo software Sisvar (FERREIRA, 2011).

Resultados

Experimento I

No experimento em campo, 100 dias após o plantio, as médias de altura, diâmetro de caule, diâmetro de copa, número de ramos e índice SPAD das plantas não foram significativas ao teste F, com nível de 5 % de probabilidade (Tabela 2).

Aos 160 dias após a aplicação dos tratamentos, as médias de altura, diâmetro de caule e números de ramos continuaram sem diferença pelo teste de F, com 5 % de probabilidade. Nas variáveis diâmetro de copa e índice SPAD, observou-se efeito significativo entre os tratamentos (Tabela 3).

Quanto ao diâmetro de copa, o tratamento de liberação controlada teve desempenho quase 9 % superior à testemunha, enquanto o fertilizante convencional e o de liberação lenta não foram significativos entre si e os demais tratamentos. Para o índice SPAD, a testemunha manteve-se inferior a todos os tratamentos e, quando comparada com os demais tratamentos, a redução foi de 12,13 % com o fertilizante convencional, 10,18 % com o de liberação lenta e 13,74 % com o de liberação controlada.

Para as variáveis teor de nitrogênio nas folhas e número de plantas rebrotadas do experimento em campo, também não foram observadas diferenças significativas. No teor de N, somente a testemunha e o fertilizante de liberação lenta

Tabela 2. Crescimento em altura, diâmetro de caule, diâmetro de copa, número de ramos plagiotrópicos e índice SPAD após 100 dias da aplicação, em campo, de diferentes tecnologias de fertilizantes nitrogenados. Campos Gerais/MG, 2021

Tratamentos	Altura (cm)	Diâmetro de caule (mm)	Diâmetro de copa (cm)	Número de ramos	SPAD
Testemunha	26,23	4,80	22,31	5,65	53,30
Convencional	26,60	4,87	23,28	5,75	54,77
Liberação lenta	25,02	5,03	22,31	5,41	54,15
Liberação controlada	25,32	5,04	23,27	5,54	56,47
Média geral	25,79	4,94	22,79	5,59	54,67
F _{trat}	1,14 ^{NS}	0,64 ^{NS}	0,85 ^{NS}	0,46 ^{NS}	2,77 ^{NS}
CV (%)	6,06	6,70	5,93	8,61	3,29

^{NS} Teste F não significativo a 5 % de probabilidade.

resultaram em níveis foliares de N menores que o classificado para deficiente em lavouras adultas (<2,5 dag Kg⁻¹), exceto o tratamento de liberação controlada, o qual obteve nível liminar (MATIELLO et al., 2016) (Tabela 4).

No desenvolvimento do experimento em campo, os meses de janeiro, fevereiro e março tiveram volumes pluviométricos satisfatórios, com excedente hídrico em 63,9; 90,1 e 25,1 mm, respectivamente. Apesar do adequado volume de precipitação para esses meses (Figura 1), a chuva foi mal distribuída no período, favorecendo a ação de dois veranicos, o primeiro na segunda quinzena de janeiro e o outro em meados de março. Os meses de abril, maio, junho, julho

e setembro tiveram baixo volume de chuvas, aumentando o déficit hídrico no período. Outubro obteve o maior volume de chuvas, com acumulado de 316,2 mm e excedente hídrico de 119,7 mm, tornando-se o mês mais chuvoso e com melhor distribuição de chuvas no desenvolvimento do trabalho.

O balanço hídrico entre janeiro e junho, apesar do acúmulo significativo de déficit hídrico, não está fora da normalidade das médias do município em dez anos. Porém, os meses de julho, agosto e setembro foram caracterizados como os mais secos e frios de que se sabe (SISMET COOXUPÉ, 2021).

Tabela 3. Crescimento em altura, diâmetro de caule, diâmetro de copa, número de ramos plagiotrópicos e índice SPAD após 160 dias da aplicação, em campo, de diferentes tecnologias de fertilizantes nitrogenados. Campos Gerais, MG, 2021

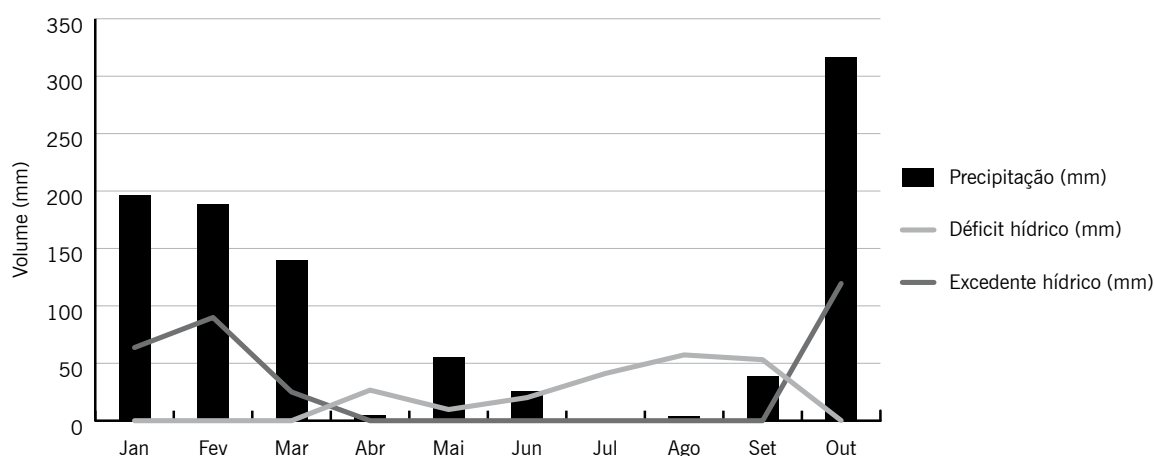
Tratamentos	Altura (cm)	Diâmetro de caule (mm)	Diâmetro de copa (cm)	Número de ramos	SPAD
Testemunha	31,29	5,98	30,27 b	8,86	60,79 b
Convencional	33,70	6,48	32,06 ab	9,67	69,18 a
Liberação lenta	31,40	6,24	31,40 ab	9,17	67,68 a
Liberação controlada	31,95	6,47	32,88 a	9,19	70,47 a
Média geral	32,08	6,29	31,65	9,22	67,03
F _{trat}	1,07 ^{NS}	1,80 ^{NS}	5,20*	1,72 ^{NS}	24,58*
CV (%)	7,53	6,20	3,42	6,15	2,90

^{NS} Teste F não significativo; *Significativo pelo teste F a 5 % de significância. Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Tabela 4. Teor de nitrogênio nas folhas e número de plantas rebrotadas por parcela, em campo, utilizando diferentes tecnologias de fertilizantes nitrogenados. Campos Gerais, MG, 2021

Tratamentos	Teor de nitrogênio de plantas em campo (dag kg ⁻¹)	Plantas rebrotadas ⁽¹⁾
Testemunha	2,43	3,40
Convencional	2,50	3,80
Liberção lenta	2,30	2,60
Liberção controlada	2,52	4,00
Média geral	2,44	3,45
F _{trat}	1,20 ^{NS}	0,63 ^{NS}
CV (%)	8,81	22,91

⁽¹⁾ Médias de plantas rebrotadas dentro de parcelas com o total de seis plantas; ^{NS} Teste F não significativo a 5 % de probabilidade.

Figura 1. Médias mensais de precipitação, déficit hídrico e excedente hídrico durante o período do ensaio em campo. Campos Gerais, MG, 2021

Experimento II

No experimento em vasos, foram constatados incrementos no diâmetro de caule e no índice SPAD para o tratamento convencional e de liberção controlada, em relação à testemunha, 60 dias após a aplicação dos tratamentos (Tabela 5).

Decorridos 120 dias após a aplicação dos tratamentos, constataram-se diferenças no número de ramos plagiotrópicos e no índice SPAD (Tabela 6), bem como diferenças na altura, diâmetro de caule, diâmetro de copa, número de ramos plagiotrópicos, índice SPAD (Tabela 7) e massa seca da parte aérea (Tabela 8) aos 180 dias da aplicação dos tratamentos. Em relação ao teor de nitrogênio foliar, a testemunha teve deficiência severa de N, divergindo dos demais tratamentos, os quais registraram níveis liminares (MATIELLO et al., 2016) (Tabela 8).

Após 120 dias, para a variável número de ramos, a testemunha manteve-se inferior aos tratamentos utilizando tecnologias de liberção lenta e controlada; porém, a tecnologia convencional não se diferenciou dos demais tratamentos. Para o índice SPAD, todos os tratamentos foram superiores à testemunha, não diferindo entre si. Na última avaliação, 180 dias após a aplicação, a testemunha manteve-se inferior para altura, diâmetro de copa, número de ramos plagiotrópicos, índice SPAD e massa seca da parte aérea em relação a todas as tecnologias nitrogenadas; entretanto, a testemunha igualou-se no diâmetro de caule com a tecnologia convencional. Em relação à massa seca da raiz, não foi observada diferença entre os tratamentos (Tabela 8).

Tabela 5. Crescimento em altura, diâmetro de caule, diâmetro de copa, número de ramos plagiotrópicos e índice SPAD após 60 dias da aplicação, em vasos, de diferentes tecnologias de fertilizantes nitrogenados. Machado, MG, 2022

Tratamentos	Altura (cm)	Diâmetro de caule (mm)	Diâmetro de copa (cm)	Número de ramos	SPAD
Testemunha	29,70	5,23 a	25,23	2,99	69,48 b
Convencional	29,20	4,60 b	26,06	2,00	74,60 a
Liberação lenta	30,86	5,04 ab	25,93	2,80	73,62 ab
Liberação controlada	30,13	5,09 ab	24,96	2,73	75,38 a
Média geral	29,97	4,99	25,52	2,63	73,27
F _{trat}	0,98 ^{NS}	3,78*	0,41 ^{NS}	1,15 ^{NS}	6,28*
CV (%)	5,31	6,24	7,58	34,67	3,20

^{NS} Não significativo; *Teste F significativo a 5 % de significância. Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Tabela 6. Crescimento em altura, diâmetro de caule, diâmetro de copa, número de ramos plagiotrópicos e índice SPAD após 120 dias da aplicação em vasos de diferentes tecnologias de fertilizantes nitrogenados. Machado, MG, 2022

Tratamentos	Altura (cm)	Diâmetro de caule (mm)	Diâmetro de copa (cm)	Número de ramos	SPAD
Testemunha	31,40	6,27	26,17	3,40 b	65,68 b
Convencional	33,61	6,10	26,76	4,80 ab	79,42 a
Liberação lenta	34,83	6,55	27,53	5,73 a	78,00 a
Liberação controlada	33,36	6,65	27,13	5,13 a	76,78 a
Média geral	33,30	6,39	26,89	4,77	74,97
F _{trat}	2,56 ^{NS}	1,33 ^{NS}	2,71 ^{NS}	7,26*	11,88*
CV (%)	5,97	7,73	4,19	16,96	5,44

^{NS} Não significativo; *Teste F significativo a 5 % de significância. Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade

Tabela 7. Crescimento em altura, diâmetro de caule, diâmetro de copa, número de ramos plagiotrópicos e índice SPAD após 180 dias da aplicação em vasos de diferentes tecnologias de fertilizantes nitrogenados. Machado, MG, 2022

Tratamentos	Altura (cm)	Diâmetro de caule (mm)	Diâmetro de copa (cm)	Número de ramos	SPAD
Testemunha	33,2 b	7,35 b	27,06 b	4,53 b	57,82 b
Convencional	39,12 a	7,93 ab	32,41 a	7,91 a	77,54 a
Liberação lenta	39,60 a	8,34 a	33,06 a	8,33 a	75,02 a
Liberação controlada	38,36 a	8,64 a	33,00 a	8,07 a	78,30 a
Média geral	37,57	8,06	31,38	7,21	72,17
F _{trat}	20,30*	8,60*	11,92*	19,22*	49,42*
CV (%)	3,91	5,28	5,97	12,69	4,26

*Teste F significativo a 5 % de significância. Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Tabela 8. Massa seca da raiz, massa seca da parte aérea e Teor de nitrogênio nas folhas após 180 dias da aplicação em vasos de diferentes tecnologias de fertilizantes nitrogenados. Machado, MG, 2022

Tratamentos	Massa seca da raiz (g)	Massa seca da parte aérea (g)	Teor de nitrogênio de plantas em vasos (dag kg ⁻¹)
Testemunha	8,53	11,04 b	1,75 b
Convencional	8,78	21,04 a	2,94 a
Liberação lenta	9,70	21,52 a	2,59 a
Liberação controlada	9,48	21,12 a	2,62 a
Média geral	9,12	18,68	2,48
F _{trat}	0,77 ^{NS}	80,25*	23,36*
CV (%)	15,46	6,81	9,46

^{NS} Não significativo; *Teste F significativo a 5 % de significância. Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Discussão

A partir dos resultados obtidos, ressalta-se que plantas recém-transplantadas, apesar de condições climáticas favoráveis, não causam efeitos sinérgicos no desenvolvimento fisiológico do cafeeiro. A baixa demanda nutricional, correlacionada à baixa capacidade de absorção de minerais, a reserva de matéria orgânica no solo e o estresse causado no processo de plantio estão diretamente relacionados com o efeito do nitrogênio no metabolismo das plantas. A caracterização do ambiente em que foi feito o experimento, isolado de supostas contaminações com outras fontes nitrogenadas, comprova que é possível notar diferenças no estado nutricional das plantas a curto prazo por meio das variáveis morfofisiológicas, sendo importante o suprimento de nitrogênio logo após o plantio.

Resultados semelhantes aos parâmetros fisiológicos em campo foram obtidos por Bernardes (2018), avaliando fertilizantes convencionais e de liberação controlada aplicados em cobertura em cafeeiros jovens no sistema sequeiro, 90 dias após o plantio. O autor propôs que plantas de café recém-plantadas investem seus fotoassimilados adquiridos no viveiro em crescimento radicular e na emissão dos primeiros pares foliares em campo, objetivando a fixação no solo e, posteriormente, a captação de energia

luminosa, tornando a absorção de nutrientes fator secundário no desenvolvimento. Outra possível justificativa para a não diferença entre os tratamentos no estágio inicial de desenvolvimento das plantas em campo é o efeito do baixo volume pluviométrico durante esse período, favorecendo a volatilização da amônia das frações menos estáveis dos fertilizantes liberadas nesse período (FREITAS et al., 2023).

Porém, em condições controladas, resultados não-significativos no índice SPAD, entre a testemunha e o fertilizante de liberação lenta, podem ser justificados pela baixa solubilidade da ureia formaldeído, devido ao grau de polimerização das cadeias formadas por moléculas de ureias metiladas, relacionadas à ação de microrganismos do solo para decompor lentamente a cadeia em unidades que serão prontamente absorvidas pelas plantas (TRENKEL, 2010; GUELF, 2017).

Chagas et al. (2018) propuseram que, para o cafeeiro, os melhores resultados dos parâmetros produtivos não são promovidos com apenas uma tecnologia, mas pela utilização de *blends* formados por diferentes tecnologias de fertilizantes, compensando entre si em condições adversas de clima e solo, diminuindo as taxas de hidrólise da ureia e a volatilização da amônia. A incorporação de restos culturais lignificados durante o preparo de solo para o estabelecimento

da cultura também atuou na disponibilidade de nitrogênio, tanto na mineralização da matéria orgânica quanto no aumento da atividade da urease no solo, favorecidos pela incorporação e pela aplicação em cobertura (SHARMA et al., 2021). Fertilizantes nitrogenados aplicados em cobertura proporcionam menor efeito no estágio inicial de plantas, comparados à incorporação no substrato da cova, devido à maior capacidade de perda por volatilização e dispersão no solo; enquanto fertilizantes, aplicados e incorporados na cova em dosagens que não causam toxidez, promovem liberação diretamente no dreno de absorção e minimizam perdas por volatilização (PERUZZO et al., 2015; FREITAS et al., 2023).

Santinato, Pereira e Silva (2009), avaliando diferentes fertilizantes nitrogenados em plantas de cafeeiro aos seis meses após o plantio no sistema irrigado, não constataram diferença nos fertilizantes de liberação controlada na altura e número de ramos em relação à testemunha. Em contraposto, utilizando Ciclus NS® (liberação lenta) na dose de 20 g por cova, a altura foi superior à testemunha em 16,8 %. O diâmetro de copa e o número de ramos estão relacionados diretamente com a captação de energia luminosa, influenciando na produção de fotoassimilados e de reservas que permitem melhor desenvolvimento e altas produtividades.

O índice SPAD, medido pelo clorofilômetro, reflete a intensidade da coloração verde das folhas. Essa variável é utilizada na correlação de clorofilas, caracterizando-se pela rapidez, pela simplicidade e, principalmente, por possibilitar uma avaliação não destrutiva do tecido foliar (RAMOS et al., 2013). O índice SPAD pode ser um parâmetro para correlacionar o estado nutricional da planta em relação ao nitrogênio, no qual maiores valores relacionam-se com o maior teor de nitrogênio nas folhas (WICHARUCK et al., 2024). No florescimento e expansão dos frutos (agosto a outubro), a possibilidade de resposta à adubação nitrogenada é considerada baixa em

unidades acima de 81,5. Já no enchimento de grãos até a granação (novembro a maio) essa possibilidade está em 69,5 e, da maturação à colheita (junho a agosto), a possibilidade é baixa quando acima de 61,7 unidades SPAD (GODOY et al., 2008). Pode-se explicar que o índice SPAD está diretamente relacionado com o suprimento de nitrogênio nos tratamentos e os períodos das avaliações, sendo o tratamento controle aquele com o menor índice, devido à ausência da suplementação do nutriente e à sua baixa reserva no solo, evidenciando clorose nas plantas.

O baixo teor de nitrogênio e a semelhança entre os tratamentos, relacionados com o baixo índice de rebrota no campo, podem ser explicados pelo déficit hídrico do período. Rodrigues et al. (2016) detalharam que a taxa de crescimento de biomassa é linear em função da disponibilidade de água no solo, notando-se que menores valores de disponibilidade de água influenciam diretamente no metabolismo, podendo haver redução na absorção de minerais e baixo desenvolvimento vegetativo. O déficit hídrico no solo interfere diretamente na absorção e assimilação do nitrogênio; com isso, durante o estresse hídrico as enzimas envolvidas no processo (nitrito redutase e nitrito redutase) podem ter sua capacidade limitada, devido à redução na absorção do nutriente pelas raízes em função da falta de água (ROCHA et al., 2023).

Cafeeiros jovens tendem a ser mais vulneráveis ao efeito da geada, devido ao menor volume de copa e baixa resistência aos danos climáticos. Em lavouras novas, a parte inferior do caule torna-se mais suscetível ao dano da geada pela exposição a temperaturas mais baixas, levando à necrose do tecido, interrompendo as funções dos vasos condutores e causando a morte da planta. Tal efeito é chamado de geada de canela ou canela de geada (CARAMORI et al., 2007). Resultados semelhantes foram relatados em cafeeiros jovens por Santinato e Santinato

(2021), os autores observaram que cafeeiros com menos de 15 meses tiveram baixa capacidade de regeneração, devido ao baixo teor de reserva de carboidratos nos tecidos. Recomendando-se, nesse caso, novo plantio da lavoura. Dessa forma, nota-se que, apesar das diferentes formas de liberação do N, não foi possível formar reservas nos tecidos das plantas e não ocorreu efeito na capacidade de regeneração da lavoura.

Custos

Os custos dos fertilizantes foram obtidos a partir da cotação no mercado local de Campos Gerais, MG, entre dezembro de 2020 e janeiro de 2021, levando-se em consideração o preço livre de cada insumo, número de aplicações, valor de cada aplicação em dia/homem e a quantidade de cada fertilizante baseada na recomendação dos fabricantes. Não foram incluídos nos cálculos custos referentes à energia, armazenamento, transporte e demais desembolsos envolvidos. Na Tabela 9, observam-se a quantidade de nitrogênio aplicado para cada tratamento, o valor do quilograma de nitrogênio de cada tratamento e o valor por hectare (obtido pela multiplicação da quantidade utilizada pelo valor do nitrogênio).

Observa-se que o fertilizante de maior valor por quilograma de nitrogênio em sua formulação foi o de liberação lenta (R\$ 21,07 kg⁻¹), seguido pelo de liberação controlada (R\$ 15,46 kg⁻¹) e pelo convencional (R\$ 5,33 kg⁻¹). Ao observar a quantidade de nitrogênio utilizada, nota-se

que essas quantidades são inversas ao valor do quilograma de N, sendo o tratamento convencional com maior quantidade aplicada (64,29 kg) seguido do de liberação controlada (52,87 kg) e de liberação lenta (42,87 kg). Porém, o custo dimensionado em um hectare manteve-se paralelo ao valor por quilograma de N. O tratamento utilizando fertilizante de liberação lenta foi o mais oneroso (R\$ 903,27), seguido do fertilizante de liberação controlada (R\$ 817,37), representando valor 9,51 % menor que o de liberação lenta. O tratamento convencional obteve o menor valor (R\$ 342,67), sendo 62,06 % mais barato se comparado com o de liberação lenta e 58,08 % em relação ao de liberação controlada.

Para Freitas (2017), a utilização de ureia revestida com enxofre elementar + polímero (liberação controlada) representou valor 40,76 % menor do quilograma do N em relação à ureia formaldeído (liberação lenta), e a ureia convencional custou 75,36 % menos, o que pode ser explicado pela complexidade de fabricação de cada fertilizante, além das dosagens serem reduzidas em relação à adubação convencional devido à sua menor perda no solo. Guelfi (2017) afirmou que os preços dos fertilizantes convencionais e de eficiência aumentada variam entre as matérias-primas, tecnologia de produção e distância do mercado consumidor, seguindo a seguinte tendência crescente: convencionais < blends ≤ liberação lenta < liberação controlada.

Tabela 9. Preço do quilograma de nitrogênio, quantidade de nitrogênio utilizada por hectare e valor por hectare de diferentes tecnologias de fertilizantes nitrogenados

Tratamentos	Preço do N (R\$ kg ⁻¹) ⁽¹⁾	Quantidade de N (kg ha ⁻¹) ⁽²⁾	Valor (R\$ ha ⁻¹)
Testemunha	-	-	-
Convencional	5,33	64,29	342,67
Liberação lenta	21,07	42,87	903,27
Liberação controlada	15,46	52,87	817,37

⁽¹⁾ Preço médio de três revendas entre dezembro de 2020 e janeiro de 2021 do quilograma de nitrogênio para cada tecnologia na região de Campos Gerais, MG; ⁽²⁾ Quantidade de nitrogênio aplicada por hectare em cada tratamento, baseadas nas recomendações dos fabricantes.

Considerando que os tratamentos de liberação controlada e de liberação lenta foram aplicados em dosagem única, levantou-se o custo baseado no número de aplicações de cada tratamento e na quantidade de dia/homem, somado ao valor dos fertilizantes (Tabela 10).

Nota-se que o tratamento convencional manteve o menor custo; porém, foram necessárias duas aplicações a mais que os demais tratamentos, requerendo mais mão de obra. Os fertilizantes de liberação lenta e de liberação controlada mantiveram a mesma diferença, sendo que a aplicação não interferiu em seus custos.

Conclusões

As tecnologias de fertilizantes nitrogenados testadas tiveram desempenho morfofisiológico semelhante nas plantas de café. Não houve relação entre os tratamentos e o teor de nitrogênio foliar, tampouco entre o número de plantas rebrotadas pós-geada, na avaliação em campo. O fertilizante que obteve melhor custo-benefício por hectare foi o convencional (ureia), seguido pelo de liberação controlada e, por fim, o de liberação lenta. Sendo, então, o custo o fator que mais impacta em relação ao uso dos fertilizantes.

Tabela 10. Custo baseado no número de aplicações, valor das aplicações e custo final por hectare de diferentes tecnologias de fertilizantes nitrogenados (Janeiro/2020)

Tratamentos	Número de aplicações	Valor das aplicações (R\$)	Custo final (R\$ha ⁻¹) ⁽¹⁾
Testemunha	-	-	-
Convencional	3	105,00	447,67
Liberação lenta	1	35,00	938,27
Liberação controlada	1	35,00	852,37

⁽¹⁾ Custo referente ao valor de cada fertilizante no hectare somado ao valor das aplicações.

Referências

- ARAÚJO, J. B. S.; CARVALHO, G. J. de; GUIMARÃES, R. J.; MORAIS, A. R. de; CUNHA, R. L. da. Composto orgânico e biofertilizante supermagro na formação de cafeeiros. **Coffee Science**, v. 3, n. 2, p. 115-123, 2008.
- BACHIÃO, P. O. B.; MACIEL, A. L. R.; AVILA, R. G.; CAMPOS, C. N. Crescimento de mudas de cafeeiro em tubetes com fertilizante de liberação lenta. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, n. 1, p. 105-116, 2018.
- BERNARDES, B. V. M. **Adubação nitrogenada de liberação controlada na formação de lavoura cafeeira**. 2018. 20 f. Trabalho de conclusão de curso. (Graduação em Agronomia) Centro Universitário do Cerrado Patrocínio. Patrocínio, 2018.
- CARAMORI, P. H.; ANDROCIOLI FILHO, A.; CARNEIRO FILHO, F.; OLIVEIRA, D. de; MORAIS, H.; LEAL, A. C.; GALDINO, J. Métodos de proteção contra geadas em cafezais em formação. **Informe de Pesquisa IAPAR**, 2007. 6 p.
- CARR, N. F.; BOARETTO, R. M.; MATTOS JUNIOR, D. Coffee seedlings growth under varied NO₃⁻: NH₄⁺ ratio: consequences for nitrogen metabolism, amino acids profile, and regulation of plasma membrane H⁺-ATPase. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 154, n. 2, p. 11–20, 2020.
- CHAGAS, W. F. T.; GUELFILVA, D. R.; LACERDA, J. R.; PINTO, L.C.; ANDRADE, A.B.; FAQUIN, V. Nitrogen Fertilizers technologies for coffee plants. **Coffee science**, v. 14, n. 1, p. 55-66, 2018.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FREITAS, T. **Fertilizantes nitrogenados convencionais, estabilizados, de liberação lenta ou controlada na cultura do cafeeiro:** eficiência e custos. 2017. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

FREITAS, T.; OLIVEIRA, D. P.; DUTRA, M. P.; ZITO, P. C.; REIS, E. A. C.; FERNANDES, C. 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. **Soil Systems**, v. 7, n. 4, p. 83-104, 2023.

GODOY, L. J. G.; SANTOS, T. S.; VILLAS BÔAS, R. L.; LEITE JÚNIOR, J. B. L. Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em Nitrogênio durante o ciclo de cafeeiro fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 217-226, 2008.

GUELF, D. Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada. **Informações Agrônomicas**, n. 157, p. 1 - 32. 2017.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; ALMEIDA, S. R.; GARCIA, A. W. R. **Cultura de Café no Brasil.** Manual de recomendações: ed. 2015. São Paulo: Futurama Editora, 2016. 586 p.

NAZARENO, R. B.; OLIVEIRA, C. A. da S.; SANZONOWICZ, C.; SAMPAIO, J. B. R.; SILVA, J. C. P. da.; GUERRA, A. F. Crescimento inicial do cafeeiro Rubi em resposta a doses de nitrogênio, fósforo e potássio e a regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 8, p. 903 - 910, 2003.

PERUZZO, A.; LUNELLI, L.; ALVES, M. V.; NESI, C. N. Efeito do nitrogênio incorporado ou em superfície na produtividade de milho. **Scientia Agraria**, v. 16, n. 3, p. 33 - 41, 2015.

RAMOS, M. J. M.; MONNERAT, P. H.; PINHO, L. G. R. Leitura SPAD em abacaxizeiro imperial cultivado em deficiência de macronutrientes e de boro. **Revista Brasileira Fruticultura**, v. 35, n. 1, p. 277-281, 2013.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais:** 5ª aproximação. Viçosa: UFV, 1999. 360 p.

ROCHA B. C. P.; MARTINEZ, H.E.P.; RIBEIRO, C.; BRITO, D. dos S. Nitrogen metabolism in coffee plants subjected to water deficit and nitrate dose. **Brazilian archives of biology and technology**, v. 66, n. 2, e232100, 2023.

RODRIGUES, R. R.; PIZETTA, S. C.; SILVA, N. K. C.; RIBEIRO, W. R.; REIS, E. F. dos. Crescimento inicial do cafeeiro conilon sob déficit hídrico no solo. **Coffee Science**, v. 11, n. 1, p. 33 - 38, 2016.

SANTINATO, F.; SANTINATO, R. Boletim técnico do cafeeiro – geada em cafezais, efeitos, recuperação e condução dos cafeeiros. **Santinato & Santinato Cafés Ltda.**, 2021. 81 p.

SANTINATO, R.; PEREIRA, E. M.; SILVA, V. A. Adubação nitrogenada com fontes de nitrogênio de liberação programada na fase inicial de crescimento (pós plantio) de 0 - 6 meses do cafeeiro irrigado por gotejamento. CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 35., Rio Paranaíba-MG. **Anais...** Embrapa Café, 2009. 2 p.

SHARMA, S.; SINGH, P.; CHOUDHARY, O. P.; NEEMISHA. Nitrogen and rice straw incorporation impact nitrogen use efficiency, soil nitrogen pools and enzyme activity in rice-wheat system in north-western India. **Field Crops Research**, v. 266, n. 2, p. 108 - 131, 2021.

SISMET COOXUPÉ. **Sistema de visualização de dados meteorológicos.** Cooperativa dos cafeicultores da região de Guaxupé. 2021. Disponível em: <https://sismet.cooxupe.com.br:9000/bh/estacoes/mensal/pesquisar/?estCooxupe=1&cdEstacao=76> . Acesso em: 20 abr. 2022.

SOUZA, T. L. de; OLIVEIRA, D. P. de; SANTOS, C. F.; REIS, T. H. P.; CABRAL, J. P. C.; SILVA E. R. R.; FERNANDES, T. J.; SOUZA, T. R. da; BUILES, V. R.; GUELFY, D. Nitrogen fertilizer technologies: Opportunities to improve nutrient use efficiency towards sustainable coffee production systems. **Agriculture ecosystems & environment** v. 7, n. 4, p. 83 - 104, 2023

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

WICHARUCK, S.; SUANG, S.; CHAICHANA, C.; CHROMKAEW, Y.; MAWAN, N.; SOILUEANG, P.; KHONGDEE, N. The implementation of the SPAD-502 Chlorophyll meter for the quantification of nitrogen content in Arabica coffee leaves. **MethodsX**, v. 12, n. 3, p. 102 – 107, 2024.