

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ENGENHARIA

UNESP - CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

BRUNO VINÍCIUS LEME DO PRADO

**ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE ARBOLINA ASSOCIADAS À PRESENÇA E
AUSÊNCIA DE URÉIA NA CALDA DE APLICAÇÃO NA CULTURA DO FEIJÃO DE
INVERNO**

ILHA SOLTEIRA/SP

2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ENGENHARIA

UNESP - CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

BRUNO VINÍCIUS LEME DO PRADO

**ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE ARBOLINA ASSOCIADAS À PRESENÇA E
AUSÊNCIA DE URÉIA NA CALDA DE APLICAÇÃO NA CULTURA DO FEIJÃO DE
INVERNO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada à Faculdade de Engenharia de
Ilha Solteira, SP – UNESP como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo

Orientador:

Prof. Dr. Orivaldo Arf

Co-orientador:

Prof. Dr. Fernando de Souza Buzo

ILHA SOLTEIRA/SP

2025

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

P896e Prado, Bruno Vinícius Leme do.
Épocas de aplicação de arbolina associadas à presença e ausência de uréia na calda de aplicação na cultura do feijão de inverno / Bruno Vinícius Leme do Prado. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
41 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2025

Orientador: Orivaldo Arf
Coorientador: Fernando de Souza Buzo
Inclui bibliografia

1. Bioestimulante vegetal. 2. Carbon dots. 3. Nanomateriais. 4. *Phaseolus vulgaris* L.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO" FACULDADE
DE ENGENHARIA – UNESP – CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA CURSO DE GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA AGRONÔMICA**

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: "ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE ARBOLINA ASSOCIADAS À PRESENÇA E AUSÊNCIA DE URÉIA NA CALDA DE APLICAÇÃO NA CULTURA DO FEIJÃO DE INVERNO".

ALUNO: BRUNO VINÍCIUS LEME DO PRADO - RA: 181051028

ORIENTADOR: ORIVALDO ARF

Aprovado (X) Reprovado () pela Comissão Examinadora com nota obtida: 9,8

Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 ORIVALDO ARF
Data: 16/12/2025 13:33:52-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Orivaldo Arf (Orientador)


Documento assinado digitalmente
 MATHEUS PEREIRA DE BRITO MATEUS
Data: 18/12/2025 12:23:21-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Matheus Pereira de Brito Mateus

Documento assinado digitalmente
 JUSSARA SOUZA SALLES
Data: 17/12/2025 17:32:31-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Jussara Souza Salles

(Doutoranda em Agronomia)

Documento assinado digitalmente
 BRUNO VINÍCIUS LEME DO PRADO
Data: 18/12/2025 14:07:46-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Bruno Vinícius Leme do Prado

Aluno

Ilha Solteira (SP), 16 de dezembro de 2025.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha família, especialmente ao meu pai Milton Leme do Prado, à minha mãe Isaltina Maria Barbosa Prado, à minha irmã Ellen Cristhian Barbosa do Prado, e aos meus queridos padrinhos; Jair Barbosa e Dirce Pontes do Prado, que sempre estiveram ao meu lado e me incentivaram a conquistar meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

À Deus, primeiramente, pela dádiva da vida e por todas as bênçãos concedidas ao longo desses anos.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP/FEIS, pela oportunidade, pelos ensinamentos e pela vivência acadêmica fundamentais para minha formação pessoal e profissional.

À todos os professores da UNESP/FEIS, aos servidores da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão de Selvíria – MS, pelos conhecimentos compartilhados, que levarei comigo por toda a vida.

Quero agradecer especialmente ao Prof. Dr. Orivaldo Arf, por ter me dado a oportunidade de realizar esse presente trabalho, pela orientação dedicada e pela generosidade em compartilhar seu vasto conhecimento, tanto em campo quanto em sala de aula. Seu exemplo profissional teve papel decisivo na minha trajetória acadêmica.

À todo o grupo de pesquisa e orientados do professor Orivaldo Arf, que me ajudaram de alguma forma na condução do experimento, especialmente ao co-orientador Prof. Dr. Fernando de Souza Buzo.

À toda minha família, pelo apoio e amor incondicional, aos meus pais, Milton e Isaltina, por me ensinarem valores essenciais da vida e por me proporcionarem todas as condições necessárias para minha formação; à minha irmã Ellen e aos meus padrinhos Jair e Dirce, cuja ajuda constante foi fundamental para que eu chegasse até aqui.

A todos com quem convivi na República Pai Sortero, pelo companheirismo, amizade e aprendizados que contribuíram para meu amadurecimento pessoal; e aos demais amigos que, de alguma forma, foram importantes para esta conquista.

Por fim, agradeço aos membros da banca por disponibilizarem seu tempo e contribuírem para este momento tão importante.

*“Seja a mudança que você quer ver no
mundo.”*

(Mahatma Gandhi)

RESUMO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é um alimento fundamental para a segurança alimentar global e constitui um dos principais pilares do agronegócio brasileiro, desempenhando papel expressivo na economia mundial. Considerando a crescente demanda por sistemas produtivos que associem elevada produtividade e sustentabilidade, destaca-se o uso de um novo bioestimulante composto por nanopartículas de carbono *carbon dots* (CDots), denominado Arbolina. Nesse contexto, desenvolveu-se um estudo visando avaliar diferentes épocas de aplicação da Arbolina na calda de pulverização, associada à ureia, como uma alternativa inovadora de manejo. O experimento foi desenvolvido em Selvíria - MS, em Latossolo Vermelho Distrófico, semeado em maio de 2023, em blocos casualizados, com 4 repetições, dispostos em esquema fatorial 2 x 5. Os tratamentos foram: presença e ausência de ureia (1% na calda de aplicação) e aplicações de Arbolina: T1 (Controle); T2 (2 aplicações de 100 ml ha⁻¹ nos estádios V3 e R5, respectivamente); T3 (1 aplicação de 200 ml ha⁻¹ no estádio V3); T4 (1 aplicação de 200 ml ha⁻¹ no estádio V5); T5 (1 aplicação de 200 ml ha⁻¹ no estádio R5). Foram analisados variáveis de valores médios de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), índice de clorofila foliar (ICF), número de vagens por planta, número de grãos por vagens, número total de grãos, população final de plantas, massa de cem grãos e produtividade. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($P < 0,05$). As médias dos atributos avaliados, foram comparados pelo teste de Tukey, pelo software SISVAR®. A hipótese do estudo consistiu em verificar se as diferentes épocas de aplicação da Arbolina, associadas ou não ao uso de ureia, poderiam influenciar a produtividade do feijoeiro. Contudo, as épocas de aplicação do bioestimulante não resultaram em efeitos significativos sobre nenhuma das variáveis avaliadas.

Palavras-chaves: bioestimulante vegetal, *carbon dots*, nanomateriais, *Phaseolus vulgaris* L.

ABSTRACT

Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a fundamental food for global food security and represents one of the main pillars of Brazilian agribusiness, playing a significant role in the world economy. Given the increasing demand for production systems that integrate high productivity with sustainability, the use of a new biostimulant composed of carbon nanoparticles (*Carbon Dots*), known as Arbolina, has gained prominence. In this context, a study was carried out to evaluate different application timings of Arbolina in the spray solution, associated with urea, as an innovative management strategy. The experiment was conducted in Selvíria, MS, on a dystrophic Red Latosol, sown in May 2023, using a randomized block design with four replications, arranged in a 2×5 factorial scheme. The treatments consisted of the presence and absence of urea (1% in the spray solution) and the following Arbolina application strategies: T1 (Control); T2 (two applications of 100 mL ha^{-1} at stages V3 and R5, respectively); T3 (one application of 200 mL ha^{-1} at V3); T4 (one application of 200 mL ha^{-1} at V5); and T5 (one application of 200 mL ha^{-1} at R5). The variables evaluated included normalized difference vegetation index (NDVI), leaf chlorophyll index (LCI), number of pods per plant, number of grains per pod, total number of grains, final plant population, hundred-grain weight, and grain yield. The results were subjected to analysis of variance using the F-test ($p < 0.05$), and treatment means were compared using Tukey's test via the SISVAR® software. The study's hypothesis was to determine whether different application timings of Arbolina, with or without urea, could influence the productivity of common bean. However, the application timings of the biostimulant did not result in significant effects on any of the evaluated variables.

Keywords: *carbon dots*, nanomaterials, *Phaseolus vulgaris* L., plant biostimulant

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1- Temperatura máxima e mínima e média da umidade relativa do ar da estação experimental no período de implantação do feijão (09/05/2023) até a colheita (08/08/2023). Selvíria – MS, Brasil, 2023.	22
Figura 2 – Instalação e condução experimental: semeadura do feijão em uma semeadora de precisão de 7 linhas. Selvíria – MS, Brasil, 2023.	38
Figura 3 – Biofertilizante Arbolina utilizado nas aplicações do experimento. Selvíria – MS, Brasil, 2023.	38
Figura 4 – Colheita dos tratamentos e secagem à pleno sol do feijão colhido. Selvíria – MS, Brasil, 2023.	39
Figura 5 – Avaliação de NDVI e ICF no feijoeiro (estádio R5). Selvíria – MS, Brasil, 2023.	39
Figura 6 – Oito dias após a emergência da cultura ou do feijoeiro (8 DAE). Selvíria – MS, Brasil, 2023.	40
Figura 7 – Primeira aplicação de Arbolina, nos tratamentos 2 e 3 (feijoeiro em estágio V3). Selvíria – MS, Brasil, 2023	40
Figura 8 – Experimento de feijoeiro em estágio vegetativo V3 (18 DAE). Selvíria – MS, Brasil, 2023.	41
Figura 9 – Feijoeiro em estágio reprodutivo R5 (44 DAE). Selvíria – MS, Brasil, 2023..	41
Figura 10 – Colheita do experimento com seus respectivos tratamentos e, secagem à pleno sol do feijão colhido. Selvíria – MS, Brasil, 2023.	42
Figura 11 – Avaliação de vagens por planta de feijão. Selvíria – MS, Brasil, 2023..	42
Figura 12 – Avaliação de produtividade e massa de cem grãos de feijão. Selvíria – MS, Brasil, 2023..	43

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 – Valores médios de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Clorofila Foliar (ICF) obtidos em feijão em função da aplicação de Arbolina®, com e sem ureia via foliar em área irrigada, na entressafra do ano agrícola de 2023, para cultivar IAC 1850.	26
Tabela 2 – Valores médios de número de vagens por planta, número de grãos por planta, número de grãos por vagem obtidos em feijão em função da aplicação de Arbolina®, com e sem ureia via foliar em área irrigada na entressafra do ano agrícola de 2023, para cultivar IAC 1850.	27
Tabela 3 – Valores médios de massa de cem grãos (g) e produtividade (kg ha ⁻¹) obtidos em feijão em função da aplicação de Arbolina®, com e sem ureia via foliar em área irrigada, na entressafra do ano agrícola de 2023, para cultivar IAC 1850.	29

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Importância Socioeconômica Do Feijoeiro	15
2.2	Fisiologia e nutrição	16
2.3	Adubação nitrogenada no cultivo do feijoeiro.....	17
2.4	Irrigação e estresse hídrico	18
2.5	Alternativas sustentáveis para o uso de fertilizantes	18
2.6	Bioestimulantes vegetais e nanopartículas.....	20
3.	MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1	Localização da área experimental e caracterização do local.....	22
3.2	Instalação e condução do experimento	23
3.3	Avaliações realizadas	24
3.3.1	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – (NDVI).....	24
3.3.2	Índice de Clorofila Foliar (ICF) das plantas de feijão.....	24
3.3.3	Avaliações Agronômicas.....	24
3.4	Análises estatísticas	25
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1	Índice de vegetação por diferença normalizada e índice de clorofila foliar	26
4.2	Número de vagens por planta, número total de grãos, número de grãos por vagem e população final	27
4.3	Massa de cem grãos e produtividade	28
5.	CONCLUSÕES	30
6.	REFERENCIAS	31
7.	APÊNDICES	38

1. INTRODUÇÃO

A cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) é um dos grandes pilares do agronegócio brasileiro, sendo que sua cadeia produtiva possui grande importância socioeconômica. O feijão também desempenha um papel fundamental na agricultura do país, especialmente devido à sua importância na alimentação humana e, sobretudo, nos hábitos alimentares dos brasileiros. A sua área estimada para a safra 2024/25 é de 2.866 mil hectares indicando incremento de 0,2% em relação aos 2.856 mil hectares efetivados na safra passada, com estimada em 3,3 milhões de toneladas, correspondendo ao aumento de 3,2% comparado à safra anterior (Conab, 2025).

A produção ocorre nas cinco regiões do Brasil e em quase todos os seus estados, dividindo em três principais grupos: feijão-comum cores, feijão-comum preto (*P. vulgaris*) e feijão-caupi (*Vigna unguiculata (L.) Walp.*). Além de sua importância alimentar, a cultura do feijão se destaca no aspecto agrônômico, especialmente pelo seu ciclo fenológico mais curto, o que permite ao produtor rural ajustar o plantio em uma janela reduzida, sem comprometer a produção de outros grãos na mesma safra. Dessa forma, o Brasil dispõe de três janelas distintas de plantio, garantindo uma oferta contínua do alimento ao longo do ano. Assim, temos o feijão de primeira safra, semeado entre agosto e dezembro, conhecido como “das águas”; o de segunda safra, plantado entre janeiro e abril, também chamado “da seca”; e o de terceira safra, ou “de inverno”, cultivado de maio a julho (Conab, 2025).

O cultivo do feijão em diversas épocas do ano é possível porque a cultura não apresenta sensibilidade ao fotoperíodo. Contudo, é fundamental que não haja limitações quanto à temperatura e à disponibilidade de água, já que a deficiência hídrica pode retardar o crescimento, induzir a queda das flores e comprometer o desenvolvimento dos grãos. O feijoeiro pode ser plantado em regiões com invernos rigorosos (maio a julho), exigindo o uso de irrigação. Nessas condições, além de garantir um bom rendimento de grãos, o cultivo resulta em um alimento de alta qualidade, que chega ao mercado consumidor em um período de oferta reduzida, permitindo a obtenção de preços mais atrativos ao produtor. (Maeda; Mendonça, 1990).

As mudanças climáticas observadas nos últimos anos podem provocar alterações nos padrões de disponibilidade hídrica, afetando negativamente a produtividade agrícola. Perante tais condições adversas e limitações de produção, uma das formas de aumentar a produtividade das lavouras, reduzir os custos de produção e ampliar a renda do produtor rural, é incorporar

novas tecnologias que envolvam, entre outros aspectos, o manejo eficiente da irrigação e da adubação (Oliveira et al., 2015).

Ao longo das últimas três décadas, inúmeras inovações tecnológicas têm sido desenvolvidas com o propósito de promover a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, por meio da expressiva redução no uso de agroquímicos sintéticos, como pesticidas e fertilizantes. Uma inovação promissora e ambientalmente sustentável consiste na utilização de bioestimulantes naturais de plantas, capazes de favorecer a floração, o crescimento vegetal, a frutificação, a produtividade das culturas e a eficiência no uso de nutrientes (Rouphael; Colla, 2020).

A utilização foliar de bioestimulantes (citocinina, ácido indolbutírico e ácido giberélico) em feijoeiros promove incremento na nodulação, no crescimento radicular, nos conteúdos de açúcares solúveis, aminoácidos totais e na atividade da nitrato redutase (Almeida et al., 2014). Visando este contexto, uma nova categoria de biofertilizantes, constituída por nanopartículas e outros nanomateriais, como os CDs (*carbon dots*), surge como uma alternativa promissora para enfrentar tais desafios (Juarez et al., 2019; Mazocco, 2024). Com base nessa premissa, pesquisadores da Universidade de Brasília (UnB) desenvolveram a Arbolina, um composto formado por nanopartículas invisíveis a olho nu que, quando diluídas em água, funcionam como bioestimulante e fertilizante, promovendo o crescimento vegetal e a resistência das plantas à escassez hídrica (Butruille, 2021).

O bioestimulante Arbolina, é um produto obtido de matérias-primas renováveis, destaca-se por agir como um hormônio vegetal. É uma nanopartícula composta por aproximadamente 70% de carbono orgânico, que atua como proteína transportadora na membrana plasmática das plantas (CFQ, 2021). Esse produto, demonstrou efeitos bioestimulantes em diversas espécies de interesse agrícola, incluindo *Zea mays* (milho), *P. vulgaris* (feijão), *Glycine max* (soja) e *Eucalyptus* spp. (eucalipto), promovendo melhorias no crescimento vegetal e no desempenho fisiológico (Butruille, 2021).

Portanto, conforme apresentado sobre a importância da utilização de técnicas adequadas para contribuição científicas e tecnológicas que propiciem melhorias para o desempenho na produção do feijoeiro, o objetivo desse trabalho foi avaliar os efeitos da adição de soluções com diferentes concentrações de Arbolina e ureia, aplicada via pulverização foliar, sobre a produtividade, peso de grãos e quantidade de vagens, no feijoeiro (*P. vulgaris*), em diferentes estádios da cultura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Importância Socioeconômica Do Feijoeiro

O feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma espécie pertencente à família Fabaceae, subfamília Papilionoideae e gênero *Phaseolus*, o qual compreende aproximadamente 55 espécies descritas. Dentre essas, apenas cinco apresentam importância agrônômica e são amplamente cultivadas: *P. vulgaris* L., *P. lunatus* L., *P. coccineus* L., *P. acutifolius* A. Gray var. *latifolius* Freeman e *P. polyanthus* Greeman (Singh, 2001). Dentre essas espécies, *P. vulgaris* L. destaca-se por ser a mais amplamente cultivada e comercializada em escala mundial. Sua ampla distribuição geográfica decorre do alto valor nutricional dos grãos, aliado ao baixo custo de produção e comercialização (Silva, 2011).

Atualmente, o Brasil ocupa uma posição de destaque na produção mundial de feijoeiro-comum, configurando-se como o segundo maior produtor global, com uma produção anual de aproximadamente 2,8 milhões de toneladas, sendo superado apenas pela Índia, cuja produção atinge cerca de 6,5 milhões de toneladas por ano. Evidenciando a relevância do país no cenário internacional da cultura, refletindo sua importância econômica e social (Faostat, 2024). A sua área estimada para a safra 2024/25 é de 2.866 mil hectares indicando incremento de 0,2% em relação aos 2.856 mil hectares efetivados na safra passada, com estimada em 3,3 milhões de toneladas, correspondendo ao aumento de 3,2% comparado à safra anterior (Conab, 2025).

O feijoeiro-comum é amplamente consumido no país e, associado ao arroz, constitui fonte significativa de proteínas, ferro e carboidratos. Além do consumo humano, apresenta potencial para alimentação animal, evidenciando sua versatilidade nutricional. A importância para a alimentação humana e animal decorre de suas características nutricionais e organolépticas, sendo fonte de proteínas, minerais, vitaminas, carboidratos e de ácidos graxos poli-insaturados. (Moraes; Menelau, 2017)

Segundo o Censo Agropecuário da Agricultura Familiar (IBGE, 2006), cerca de 70% da produção de feijoeiro-comum no Brasil é proveniente da agricultura familiar, realizada principalmente nas épocas “das águas” e “da seca”, com produtividade reduzida. Essa limitação decorre de fatores como alto custo de insumos, manejo inadequado de pragas e doenças, perda de biodiversidade e sistemas de produção pouco sustentáveis. Além disso, a produção familiar tem caráter de subsistência, priorizando o sustento da família sobre o aumento da produtividade. Do ponto de vista social, a produção de feijão destinada ao autoconsumo exerce papel

estratégico na segurança alimentar e nutricional da população brasileira, especialmente entre agricultores familiares e comunidades rurais. Nesse contexto, torna-se essencial o aprimoramento de sistemas de produção sustentáveis, que promovam maior autonomia dos produtores e reduzam a dependência de insumos externos, contribuindo para a resiliência socioeconômica e a estabilidade da oferta de alimentos no país (Didonet et al., 2009).

2.2 Fisiologia e nutrição

O feijoeiro-comum é uma planta C3, apresentando menor taxa fotossintética em relação às espécies C4, como milho, milheto e sorgo, com valores variando de 25 a 40 mg CO₂ dm⁻² h⁻¹ (Tanaka; Fujita, 1979). Por ser uma planta C3 requer condições específicas de temperatura, disponibilidade hídrica e radiação solar para alcançar um desenvolvimento fisiológico adequado. A temperatura média ideal ao longo do ciclo fenológico varia de 18 °C a 24 °C, sendo 21 °C a mais favorável ao desempenho produtivo (Fancelli, 2009). O desempenho produtivo do feijoeiro-comum é fortemente influenciado por variações térmicas durante a floração. Temperaturas do ar acima de 35 °C reduzem o rendimento de grãos, enquanto valores inferiores a 12 °C podem provocar abortamento de flores, comprometendo a formação de vagens. Condições de alta umidade relativa (superior a 70%) associadas a temperaturas elevadas também favorecem a incidência de doenças. Quanto ao fotoperíodo, as cultivares são consideradas insensíveis ao comprimento do dia, apresentando bom desempenho em diferentes latitudes. (Barbosa; Gonzaga, 2012).

Para extração de nutrientes necessária para a produção de uma tonelada de grãos de feijoeiro, segue a ordem N > K > Ca > P > Mg para os macronutrientes e Fe > Zn > Mn > Cu para os micronutrientes. Observa-se que a maior proporção de N, P e K é exportada pelos grãos, indicando a necessidade de reposição periódica desses elementos no solo para assegurar a manutenção da fertilidade e a sustentabilidade da produtividade ao longo do tempo (Fageria et al., 2015). Em todos os níveis tecnológicos de cultivo, as doses de fósforo e potássio são aplicadas integralmente na semeadura, enquanto o nitrogênio é dividido entre a semeadura e a adubação de cobertura. Destaca-se que a eficiência da adubação nitrogenada em cobertura depende de sua aplicação sob condições adequadas de umidade do solo. (Barbosa; Gonzaga, 2012).

2.3 Adubação nitrogenada no cultivo do feijoeiro

Entre os nutrientes essenciais, o nitrogênio (N) destaca-se como um dos mais limitantes ao desenvolvimento do feijoeiro nos solos do Brasil. Diversas pesquisas sobre adubação indicam que, depois do fósforo, o nitrogênio é o elemento que mais contribui para o aumento da produtividade. Nos sistemas de cultivo de feijoeiro irrigado sob semeadura direta, o nitrogênio (N) é geralmente aplicado parcialmente no plantio e o restante em cobertura, sobre os resíduos vegetais da cultura anterior. A eficiência desse manejo depende tanto da dose quanto do momento de aplicação, sendo maior quando há sincronismo entre o fornecimento de N e o período de maior demanda da planta. Assim, as estratégias de adubação nitrogenada devem priorizar a redução das perdas de N e o aumento de sua eficiência de aproveitamento pelas culturas (Barbosa Filho et al., 2005).

Os principais fertilizantes nitrogenados são: o sulfato de amônio (SA), ureia e nitrato de amônio (NA), sendo a ureia a mais utilizada em escala mundial, pois apresenta a maior concentração de nitrogênio (46% N) e o menor custo por unidade do nutriente (Bernardes et al., 2015). As formas de nitrogênio (N) absorvidas e metabolizadas pelas plantas são o amônio (NH_4^+) e o nitrato (NO_3^-). Assim, qualquer fonte de N aplicada ao solo que não contenha essas formas precisa ser previamente convertida, por processos biológicos ou químicos, em NH_4^+ e NO_3^- antes de ser absorvida pelas plantas (Barbosa Filho et al., 2005).

O nitrogênio (N) é o nutriente mais absorvido e exportado pelo feijoeiro, exercendo influência direta sobre sua produtividade. Em razão do alto custo dos fertilizantes nitrogenados e das perdas desse nutriente no solo, que podem causar impactos ambientais, torna-se fundamental adotar práticas que aumentem a eficiência de seu uso (Silva et al., 2006). Por essa razão, temos a adubação foliar com nitrogênio como complemento à adubação convencional, com o intuito de minimizar as perdas desse nutriente via solo (Vieira et al., 2006).

A aplicação foliar apresenta, em geral, maior eficiência do que a via solo, possibilitando economia de fertilizantes. Contudo, a nutrição exclusivamente foliar é limitada, pois doses elevadas de N podem provocar fitotoxicidade (Almeida et al., 2000; Fageria et al., 2011). Dessa forma, a associação entre a aplicação de N no solo e a complementação via foliar configura-se como uma alternativa eficiente para otimizar a nutrição da planta (Nascente et al., 2017).

2.4 Irrigação e estresse hídrico

A baixa produtividade do feijoeiro tem sido associada ao uso de cultivares com menor potencial produtivo, à ocorrência de pragas e doenças e a condições ambientais desfavoráveis. Entre esses fatores, o clima se destaca por sua influência direta na semeadura do feijão, uma cultura altamente dependente da chuva; quando o regime pluviométrico é irregular, ocorre uma redução significativa na produção (Oliveira et al., 2005). A quantidade de água disponível constitui um fator determinante para a produtividade das culturas em diferentes ambientes. Tanto o excesso quanto a falta de água no solo, sobretudo durante o período de florescimento, podem comprometer o rendimento das plantas (Brito et al., 2015).

A cultura do feijoeiro é altamente sensível ao déficit hídrico, principalmente devido à sua reduzida capacidade de recuperação após períodos de estresse e ao sistema radicular pouco profundo e pouco ramificado (Guimarães, 1998). Diante da escassez hídrica, as plantas adotam três estratégias fisiológicas principais: o fechamento dos estômatos, que minimiza as perdas de água por evapotranspiração; a redução do crescimento foliar, que diminui a superfície transpirante; e o alongamento das raízes, que amplia a capacidade de exploração de água nas camadas mais profundas do solo (Taiz; Zeiger, 2013).

O início da formação das vagens é uma fase do desenvolvimento do feijoeiro fortemente influenciada pelas condições atmosféricas. Essa etapa é considerada crítica quanto à disponibilidade de água, pois a deficiência hídrica nesse período pode reduzir a fotossíntese, causar abortamento floral e diminuir a taxa de crescimento das vagens, resultando em perdas na produção (Silva, 2005). A quantidade de água utilizada na irrigação é definida a partir do balanço entre a evapotranspiração da cultura e as chuvas registradas no período. Dessa forma, a irrigação deve ser planejada para compensar as deficiências hídricas causadas pela distribuição irregular e imprevisível das precipitações (Oliveira; Carvalho, 2003).

2.5 Alternativas sustentáveis para o uso de fertilizantes

O estabelecimento de sistemas agrícolas sustentáveis, capazes de preservar o meio ambiente e assegurar a segurança alimentar nas próximas décadas, constitui elemento essencial para o progresso humano diante das mudanças climáticas e da redução das reservas energéticas não renováveis. Considerando as projeções de crescimento populacional mundial, que indicam a possibilidade de alcance de nove bilhões de habitantes até 2050 (Ash et al., 2010), impõe-se

o desafio de desenvolver métodos mais avançados e eficientes que ampliem a produção de alimentos e de energia renovável, sem promover a exaustão dos recursos naturais. É provável que, em 2050, o planeta enfrente simultaneamente três crises de grandes proporções: a redução das reservas de petróleo, a escassez de água potável e a insuficiência de alimentos para parcela significativa da população. Nesse cenário, a biotecnologia vegetal assume papel estratégico na proposição de soluções capazes de mitigar os problemas atuais e futuros decorrentes do modelo de consumo adotado pela sociedade (Carrer et al., 2010).

O Brasil apresenta elevada dependência da importação de fertilizantes minerais. Com o propósito de reduzir essa vulnerabilidade externa e aprimorar a eficiência no uso de fertilizantes, torna-se essencial considerar estratégias alternativas de manejo da fertilidade do solo (Carvalho et al, 2011). A fertilização é majoritariamente realizada mediante o uso de insumos industrializados, sobretudo fertilizantes solúveis, como os formulados NPK, composições que reúnem diferentes proporções de nitrogênio, fósforo e potássio, além de micronutrientes específicos às características de cada tipo de solo e cultura (Toscani; Campos, 2017). Entretanto, tais fertilizantes apresentam alta suscetibilidade à lixiviação, o que contribui para a recorrente necessidade de reposição a cada novo ciclo produtivo, tanto por parte dos agricultores, quanto pelo próprio solo, que passa a depender do aporte contínuo de nutrientes provenientes dessas adubações químicas (Brito et al., 2019).

A implementação de práticas de manejo sustentável dos solos agrícolas requer a adoção integrada de distintas estratégias que reduzam a dependência de fertilizantes minerais. Esse enfoque pressupõe a ampliação do uso de fontes naturais de nutrientes, como rochas fosfatadas e potássicas, processos de fixação biológica de nitrogênio e biofertilizantes articuladas à reciclagem de resíduos, de modo a promover a manutenção e a melhoria da fertilidade do solo (Olivares, 2009).

Nesse contexto, a adoção de práticas agrícolas de base ecológica, fundamentadas no uso de componentes orgânicos, apresenta benefícios expressivos tanto para o desenvolvimento vegetal quanto para a qualidade ambiental. Tais práticas contribuem para o incremento sustentável da produtividade, favorecendo processos biológicos e aprimorando a interação entre o solo e as plantas (Brito et al., 2024).

2.6 Bioestimulantes vegetais e nanopartículas

Os bioestimulantes vegetais têm como propósito estimular o crescimento das plantas, contribuindo para minimizar os efeitos do estresse hídrico e aumentar a resiliência dos sistemas de cultivo sob condições de limitação de água (Reis, 2021). Os avanços recentes da nanotecnologia aplicada à agricultura têm possibilitado o desenvolvimento de novas categorias de bioestimulantes, especialmente aqueles baseados em nanopartículas (Juárez-Maldonado et al., 2019). Entre essas, destacam-se as nanopartículas de carbono, como fulerenos, nanotubos de carbono, grafeno e *carbon dots* (CD's), que representam uma classe relevante desses materiais (Mukherjee et al., 2016; Khan et al., 2019).

Nesse contexto, pesquisadores da Universidade de Brasília, após anos de estudos com nanopartículas de carbono, desenvolveram um produto com resultados promissores, denominado Arbolina[®]. O bioestimulante tem se destacado por ser produzido a partir de matérias-primas renováveis e por apresentar efeitos positivos, demonstrando potencial estimulante no desenvolvimento das culturas (Busato et al., 2021). A Arbolina[®] é um bioestimulante formulado à base de nanopartículas de carbono do tipo *carbon dots* (CD's), que tem sido empregada na agricultura com o objetivo de potencializar o desenvolvimento, a produtividade e a qualidade de diversas culturas. Sua composição é predominantemente constituída por nanopartículas de carbono (67,4%), nitrogênio (11,6%) e oxigênio (21%). Embora tenha sido inicialmente desenvolvida para aplicação foliar, também pode ser utilizada via solo (Vieira et al., 2024).

Quando aplicadas por pulverização foliar, as nanopartículas (NP's) penetram nos tecidos das plantas principalmente por meio dos estômatos, sendo posteriormente distribuídas pelas vias apoplástica e simplástica (Hong et al., 2021). Estudos mostram que os *Carbon Dots* (CD's), devido ao seu reduzido tamanho, são absorvidos mais eficientemente pelas folhas e podem ativar reações metabólicas essenciais, promovendo o crescimento vegetal, aprimorando a absorção de nutrientes, aumentando a taxa fotossintética e fortalecendo a tolerância das plantas a estresses bióticos e abióticos (Maswada et al., 2020).

Entre os estudos já realizados com a utilização da Arbolina[®], destaca-se a aplicação e concentrações de Arbolina na avaliação em morangueiro, na qual foi observado um aumento de 41% na produtividade quando o produto foi aplicado ao substrato na concentração de 155,6 mg L⁻¹ (Butruille, 2021). Apesar disso, alguns estudos têm demonstrado que o uso de bioestimulantes nem sempre resulta em benefícios, podendo inclusive reduzir a absorção de

nutrientes pelas plantas. Essas variações de resposta podem estar associadas à dose aplicada, à composição das substâncias húmicas do produto e à espécie vegetal utilizada, o que reforça a necessidade de mais estudos sobre os efeitos desses compostos no desenvolvimento das plantas (Ferreira et al., 2014).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área experimental e caracterização do local

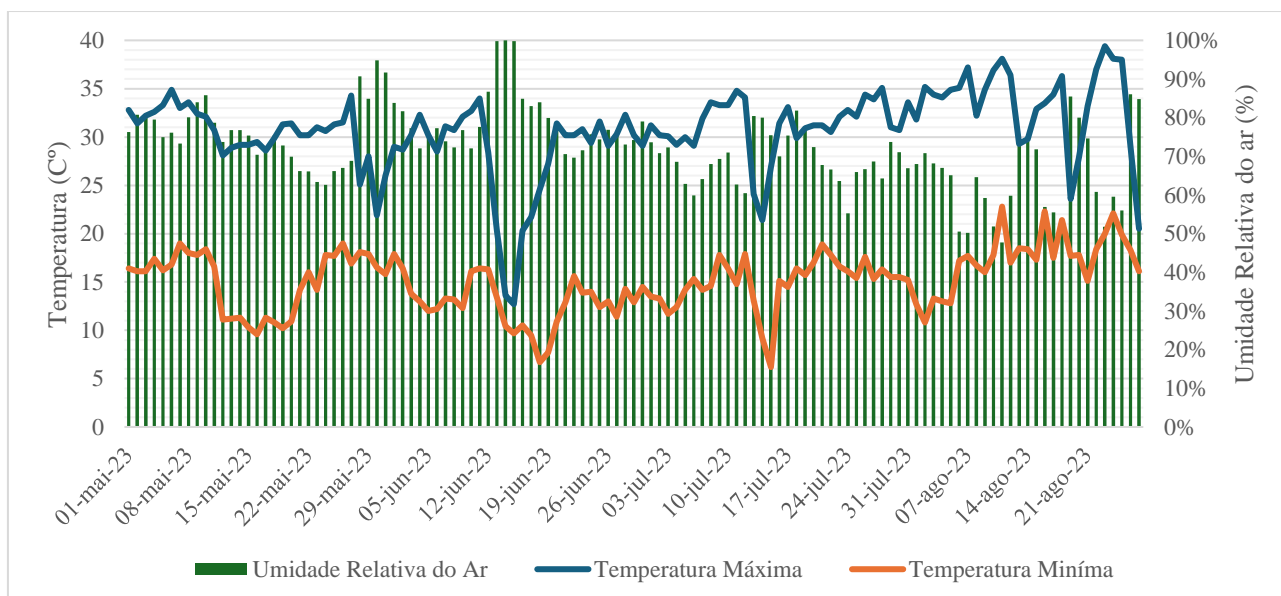
O experimento foi desenvolvido no ano de 2023, em área irrigada (pivô central) na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) – Setor de Produção Vegetal, da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FE/UNESP), localizada no município de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul (Latitude 20°20'49.2"S 51°23'55.4"W, altitude de 335 m).

O solo na área experimental foi classificado, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013), como LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico argiloso. O local do experimento é caracterizado por clima tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno - Aw (Koppen, 2001), as condições de pluviosidade, temperatura e umidade relativa do ar média anual são de aproximadamente 1.330 mm, 25°C e 66%, respectivamente (Centúron, 1982).

Na Figura 1, mostram os dados meteorológicos da área experimental entre maio a agosto de 2023 durante a condução do experimento.

Figura 1- Temperatura máxima e mínima e média da umidade relativa do ar da estação experimental no período de implantação do feijão (09/05/2023) até a colheita (08/08/2023).

Selvíria - MS, Brasil, 2023



Fonte: dados obtidos no canal Climatempo UNESP\FEIS. Elaborado pelo próprio autor, 2023.

3.2 Instalação e condução do experimento

A instalação do experimento foi realizada no dia 09 de maio de 2023 (Figura 2), o delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com 4 repetições, dispostos em esquema fatorial 2 x 5 (ausência e presença de ureia x quatro aplicações de Arbolina + controle), compostos de cultivo de feijão com os tratamentos constituídos pela combinação de fatores; presença e ausência de ureia na calda de pulverização (1% de ureia) no pulverizador costal de 20 litros, elétrico e tratamentos com aplicações de Arbolina®: T₁ (Controle); T₂ (2 aplicações de 100 ml ha⁻¹ nos estádios V3 e R5, respectivamente); T₃ (1 aplicação de 200 ml ha⁻¹ no estádio V3); T₄ (1 aplicação de 200 ml ha⁻¹ no estádio V5); T₅ (1 aplicação de 200 ml ha⁻¹ no estádio R5).

Foi utilizado no presente estudo, a ARBOLIN BIOGENESIS®; fertilizante organomineral classe A de uso foliar da empresa KrillTech; que possui em sua composição: Arbolina® 500 g L⁻¹, Carbono Orgânico 160 g L⁻¹ e Nitrogênio 80 g L⁻¹ (Figura 3).

As parcelas foram constituídas por 7 linhas de 5 metros de comprimento, com área total de 315 m², considerando-se como área útil, as linhas centrais e desprezando-se das extremidades. O cultivar de feijão utilizado foi o IAC 1850, caracterizado por seu ciclo semiprecoce (cerca de 88 a 90 dias), alto potencial produtivo, tolerância ao escurecimento dos grãos, resistência a doenças como causada pelo patógeno *Colletotrichum lindemuthianum* e também para a murcha de fusarium, causada pelo patógeno *Fusarium oxysporum*, além disso, apresenta porte semiereto adequado para colheitas mecânicas (IAC, 2019).

Na semeadura, foi utilizado discos duplos para abertura do sulco, semeado com uma densidade de 13,3 sementes por metro com um espaçamento de 0,45 metros entrelinhas e, para, a adubação nos sulcos de semeadura foi de 250 kg ha⁻¹ da formulação NPK 08-28-16, como recomendado para a cultura, e para adubação de cobertura, foi aplicado 60 kg ha⁻¹ de sulfato de amônia aos 60 (DAE). A semeadura ocorreu no dia 09 de maio de 2023, com a emergência das plantas ocorrendo dia 15 de maio, 6 dias após a semeadura. A colheita foi realizada no dia 08 de agosto de 2023, totalizando cerca de 91 dias de ciclo. A colheita foi realizada manualmente, nas 2 linhas centrais com 3 metros de comprimento, da área central da parcela, desprezando um metro de cada extremidade da bordadura (Figura 4).

O fornecimento de água, quando necessário, foi realizado por um sistema de pivô central. No manejo de água foram utilizados coeficientes K ($K = kc \times Kp$) distribuídos entre a emergência das plântulas e a colheita. Os tratos culturais do feijão foram realizados durante

todo o ciclo quando necessário, com o objetivo de controlar preventivamente o ataque de pragas e doenças com produtos recomendados para a cultura.

3.3 Avaliações realizadas

3.3.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – (NDVI)

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), proposto por Rouse et al. (1973), baseia-se na reflectância das faixas do vermelho e do infravermelho próximo, cujos valores variam de -1 a 1. Valores mais elevados de NDVI refletem maior contraste entre a reflectância no infravermelho e no vermelho, o que está associado a maiores teores de clorofila e maior massa seca. Assim, valores altos do índice indicam maior vigor vegetativo e maior potencial produtivo das plantas (Rissini et al., 2012). Foram realizadas duas medições de NDVI por parcelas.

3.3.2 Índice de Clorofila Foliar (ICF) das plantas de feijão

Foram realizadas avaliações em campo do teor de clorofila das folhas de feijão no estágio reprodutivo (R6), as leituras foram realizadas com o auxílio do clorofilômetro digital (ClorofiLOG - FALKER) do índice de clorofila foliar (ICF) em quinze folhas por parcela, usando o 3º trifólio desenvolvido a partir do ápice da planta para leitura (Figura 5).

O ClorofiLOG (Falker Automação Agrícola, Brasil) utiliza fotodiodos emissores em três comprimentos de onda (FALKER, 2008): dois deles na faixa do vermelho, próximos aos picos de absorção de cada tipo de clorofila (635 e 660 nm), e um no infravermelho próximo (880 nm). Com base nesses dados, o dispositivo fornece valores conhecidos como Índice de Clorofila Falker (ICF), os quais são proporcionais à absorbância das clorofilas (Barbieri Junior, 2012).

3.3.3 Avaliações Agronômicas

Foram coletadas por ocasião da colheita, 10 plantas úteis das parcelas, as quais foram identificadas e colhidas para as seguintes avaliações:

- **Número de vagens por planta:** destacando e contando-se todas as vagens das plantas que apresentaram grãos e dividindo-se pelo número de plantas amostradas.

- **Número de grãos por vagem e número total de grãos:** abrindo-se todas as vagens de 10 plantas, contou-se o número total de grãos, dos quais calculou-se o número de grãos por vagem, na razão entre número de grãos total pelo número de vagens por planta.

- **População final de plantas:** Durante a colheita das plantas no campo, foi realizada a avaliação da população final, foram contadas todas as plantas colhidas das 2 linhas centrais com 3 metros de comprimento.

- **Massa de 100 grãos:** Foi avaliado pela contagem de 100 grãos, da produção obtida em cada parcela, com posterior pesagem em balança de precisão.

- **Produtividade de grãos:** Foram colhidas todas as plantas de 2 linhas centrais com 3 metros de comprimento, onde, após secagem ao sol, foram trilhadas manualmente e os grãos pesados. Foi determinada pela pesagem dos grãos em balança analítica, dos grãos originários das plantas colhidas na área útil das parcelas, convertendo em kg ha^{-1} e corrigindo a umidade à 13%.

3.4 Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($P < 0,05$). As médias dos atributos avaliados, foram comparados pelo teste de Tukey. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SISVAR® (Ferreira, 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Índice de vegetação por diferença normalizada e índice de clorofila foliar

Para os resultados utilizando Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Clorofila Foliar (ICF), não houve diferença significativa nos tratamentos; sem e com aplicação de Ureia e tratamentos com aplicação de Arbolina, respectivamente. Para a interação entre ambos; Ureia x Arbolina na calda de aplicação foliar, também não houve diferença entre os tratamentos no feijoeiro (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Clorofila Foliar (ICF) obtidos em feijão em função da aplicação de Arbolina®, com e sem ureia via foliar em área irrigada, na entressafra do ano agrícola de 2023, para cultivar IAC 1850.

Selvíria-MS, Brasil, 2023.

Tratamentos	Variáveis analisadas	
	NDVI	ICF
	Ureia	
Sem	0,827 a	43,045 a
Com	0,839 a	43,529 a
	Arbolina	
Controle	0,833 a	41,682 a
100 ml ha ⁻¹ nos estádios V3 e R5	0,816 a	43,128 a
200 ml ha ⁻¹ no estádio V3	0,840 a	43,473 a
200 ml ha ⁻¹ no estádio V5	0,839 a	43,729 a
200 ml ha ⁻¹ no estádio R5	0,837 a	44,423 a
	Teste F	
Ureia (U)	0,17 ^{ns}	0,56 ^{ns}
Arbolina (A)	0,46 ^{ns}	0,34 ^{ns}
U x A	0,44 ^{ns}	0,69 ^{ns}
Média Geral	0,833	43,287
CV (%)	3,41	6,07

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns – não significativo, * e **: significativo a 5% e 1% respectivamente. CV (%) – coeficiente de variação.

Em um estudo realizado por Sandrini et al., (2019), o autor constatou que a resposta dos valores de NDVI às doses de nitrogênio aplicadas em cobertura no feijoeiro evidenciou significância somente no estádio fenológico R8. De acordo com os modelos de regressão ajustados para esse estádio, o valor máximo de NDVI (0,820) foi obtido na dose de 129 kg ha⁻¹

de nitrogênio, sendo esses pontos ótimos estimados para ambos os índices de vegetação. Por meio destes resultados, é possível averiguar que a época de aplicação é um ponto importante a ser considerado, especialmente no estágio fenológico R8 do feijoeiro, período ao qual ocorre o aumento do volume das vagens em decorrência do enchimento dos grãos. Como o nosso presente trabalho, fizemos as avaliações em R6, isso pode ter influenciado nos resultados de significância.

Silva (2024), afirma que o tipo de aplicação do bioestimulante Arbolina® na concentração de 60 mg L⁻¹ em plantas juvenis de *Anthurium affine* e *Anthurium maricense* não proporcionou incrementos no crescimento ou no desenvolvimento foliar ao longo dos 90 dias de cultivo avaliados. Em contraste, a aplicação do produto via solo exerceu efeito significativamente positivo sobre o desenvolvimento do sistema radicular, evidenciado pelo aumento do volume de raízes. Tais resultados sugerem que a aplicação ao solo constitui a estratégia mais eficaz para a utilização de bioestimulantes com o propósito de otimizar o crescimento vegetativo das plantas.

4.2 Número de vagens por planta, número total de grãos, número de grãos por vagem e população final

Os componentes de produção; número de vagem por plantas, número total de grãos, grãos por vagem e população final de plantas, não foram observadas diferenças decorrentes da aplicação com ou sem ureia no feijão. Para os tratamentos com Arbolina®, não foram verificadas diferenças significativas em nenhuma das variáveis analisadas (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios de número de vagens por planta, número total de grãos, número de grãos por vagem obtidos em feijão em função da aplicação de Arbolina®, com e sem ureia via foliar em área irrigada na entressafra do ano agrícola de 2023, para cultivar IAC 1850.

Selvíria-MS, Brasil, 2023.

Tratamentos	Variáveis analisadas			População Final
	Número de vagens por planta	Número total de grãos	Número de grãos por vagem	
Ureia				
Sem	10,91 a	554,50 a	5,10 a	232.961 a
Com	11,07 a	559,95 a	5,16 a	228.701 a
Arbolina				
Controle	11,50 a	578,25 a	5,04 a	230.090 a
100 ml ha ⁻¹ nos estádios V3 e R5	11,45 a	555,38 a	4,87 a	227.313 a

200 ml ha ⁻¹ no estádio V3	11,61 a	578,75 a	5,01 a	228.239 a
200 ml ha ⁻¹ no estádio V5	10,65 a	557,50 a	5,26 a	232.868 a
200 ml ha ⁻¹ no estádio R5	9,73 a	516,25 a	5,46 a	235.646 a
Teste F				
Ureia (U)	0,75 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,37 ^{ns}
Arbolina (A)	0,10 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,78 ^{ns}
U x A	0,38 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,20 ^{ns}
Média Geral	10,99	557,23	5,13	230.831
CV (%)	14,0	12,97	13,08	6,37

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns – não significativo, * e **: significativo a 5% e 1% respectivamente. CV (%) – coeficiente de variação.

Em um estudo realizado por Butruille (2021), o autor avaliou a aplicação de Arbolina[®] na cultura do morangueiro, e constatou que a produtividade do tratamento com a presença de arbolina via substrato foi 21,9% maior que a aplicação via foliar, constatando que a aplicação via substrato é capaz de aumentar a produtividade da cultura. Um dos motivos da ausência de efeitos decorrentes da aplicação via pulverização foliar pode estar associado à baixa eficiência de absorção do produto pelas folhas da cultura. Para Tonon et al. (2024) a aplicação de doses de arbolina via substrato em mudas de cafeeiro, demonstram uma interação com o sistema radicular da cultura, apresentando um maior volume do sistema radicular, com maior número de raízes adventícias.

Portanto conforme apresentado pelos autores, é possível observar que a aplicação via substrato do produto seja mais eficiente para a o sistema radicular e maior produtividade para a cultura em comparação a aplicação via foliar utilizada neste trabalho, ao qual não apresentou diferenças significativas em nenhuma das variáveis analisadas, decorrentes da aplicação.

4.3 Massa de cem grãos e produtividade

Nos parâmetros de massa de cem grãos (g) e produtividade (kg ha⁻¹), não foram observadas diferenças decorrentes da aplicação com ou sem ureia no feijão, resultando em valores semelhantes e sem significância estatística. Para os tratamentos com Arbolina[®], não foram verificadas diferenças significativas em nenhuma das variáveis analisadas (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios de massa de cem grãos (g) e produtividade (kg ha⁻¹) obtidos em feijão em função da aplicação de Arbolina®, com e sem ureia via foliar em área irrigada, na entressafra do ano agrícola de 2023, para cultivar IAC 1850. Selvíria-MS, Brasil, 2023.

Tratamentos	Variáveis analisadas	
	Massa de 100 grãos (g)	Produtividade (kg ha ⁻¹)
Ureia		
Sem	22,78 a	3.237 a
Com	22,95 a	3.170 a
Arbolina		
Controle	22,88 a	3.162 a
100 ml ha ⁻¹ nos estádios V3 e R5	22,81 a	3.266 a
200 ml ha ⁻¹ no estádio V3	22,69 a	3.110 a
200 ml ha ⁻¹ no estádio V5	22,90 a	3.268 a
200 ml ha ⁻¹ no estádio R5	23,05 a	3.211 a
Teste F		
Ureia (U)	0,50 ^{ns}	0,46 ^{ns}
Arbolina (A)	0,90 ^{ns}	0,76 ^{ns}
U x A	0,21 ^{ns}	0,58 ^{ns}
Média Geral	22,87	3.203
CV (%)	3,25	8,83

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns – não significativo, * e **: significativo a 5% e 1% respectivamente. CV (%) – coeficiente de variação.

De acordo com Mazocco (2024) a Arbolina® é capaz de proporcionar um aumento na eficiência do uso da água (EUA) em 10%, demonstrando que a arbolina é um produto que possui a capacidade de aumentar a resistência das plantas a estresses abióticos, como a seca, tornando-as mais tolerantes e produtivas em condições adversas. No entanto, no cultivo de feijão de inverno houve a presença de irrigação controlada (pivô central), podendo evitar que a cultura sofra efeito sob estresse hídrico e, sem estresse, o potencial produtivo da cultura encontra-se próximo do máximo, ou seja, a cultura estaria em condições climáticas ótimas de desenvolvimento, impedindo ou limitando resposta ao produto (arbolina).

Desta forma, é possível evidenciar ao longo deste estudo que a eficiência da aplicação de Ureia e da Arbolina dependem de as condições estudadas como cultivar, estresses abióticos (seca), época de aplicação, ou seja, a aplicação não realizada no estádio fenológico ideal para a cultura e, a forma de aplicação do produto (via substrato ou pulverização).

5. CONCLUSÕES

A partir das análises dos resultados obtidos e nas condições em que foram realizadas no experimento, a pulverização de Arbolina[®] combinada ou não com ureia não influenciou no aumento de índice de clorofila foliar e NDVI.

Não houve influência da época de aplicação de Arbolina[®] também em relação às outras variáveis estudadas não trouxe ganhos de produtividade no feijão carioca, cultivar IAC 1850.

Serão necessários futuros experimentos de campo que avaliem diferentes concentrações do produto, cultivares, culturas e condições de instalação, a fim de esclarecer e confirmar os efeitos fisiológicos e morfológicos da Arbolina[®] em sementes, mudas e plantas, aplicadas por via foliar e/ou via solo.

6. REFERENCIAS

ALMEIDA, C.; CARVALHO, M.A.C.; ARF, O.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S. Ureia em cobertura e via foliar em feijoeiro. **Scientia Agricola**, v.57, n.2, p.293-296, 2000.

ALMEIDA, A. Q.; SORATTO, R. P.; BROETTO, F.; CATANEO, A. C. Nodulação, aspectos bioquímicos, crescimento e produtividade do feijoeiro em função da aplicação de bioestimulante. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, p.77-88, 2014. <http://dx.doi.org/10.5433/16790359.2014v35n1p77>

BARBIERI JUNIOR, É.; ROSSIELLO, R. O. P.; SILVA, R.V.M.M.; RIBEIRO, R. C.; M., M.J.F. . Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85. **Ciência Rural** (UFMS. Impresso) , v. 12, p. 2242-2245, 2012.

BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. O. (Ed.) **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central Brasileira: 2012 – 2014**. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, 2012.

BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; MENDES, P. N. Adubação. In: **Cultivo do feijão irrigado na região noroeste de Minas Gerais**. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/193084>>.

BERNARDES, T. G.; SILVEIRA, P. M. da; CARVALHO, M. T. de M.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. da C. S. Produtividade do feijoeiro irrigado em razão de fontes de adubo nitrogenado estabilizado e de liberação controlada. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 62, n. 6, p. 614-620, nov./dez. 2015.

BRITO, R. R.; GRASSI FILHO, H.; SAAD, J. C. C.; OLIVEIRA, S. R. M. Produtividade do feijoeiro sob diferentes potenciais matriciais e fatores de depleção da água no solo. **Nativa**, v. 03, n. 02, p. 109-114, 2015.

BRITO, R. S.; BATISTA, J. F.; MOREIRA, J. G. V.; MORAES, K. N. O.; SILVA, S. O. Rochagem na agricultura: importância e vantagens para adubação complementar. **South American Journal of basic education, technical and technological**, [S. l.], v. 6 n. 1, p. 528-540, 2019.

BRITO, T. T.; VIANA, R. G. ; ARAUJO, J. R. ; REGO, J. A. R. . Eficiência do uso de fertilizantes oriundos de fontes orgânicas no desenvolvimento da cultura da soja e milho: uma revisão sistemática. **REVISTA BRASILEIRA DE GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE**, v. 11, p. 1543-1558, 2024.

BUSATO, J. G.; BUTRUILLE, N.-M. D. S.; RODRIGUES, M. O.; PAULA, A. M. D.; ALENCAR, E. R. D. 2021. Estímulo ao crescimento de morangueiro a partir da adição de nanocomposto de carbono (Arbolina®). **Revista multidisciplinar de educação e meio ambiente**, v.2, n.3, p. 1., 2021. DOI: <https://doi.org/10.51189/rema/1324>

BUTRUILLE, N. M. dos S. **Influência do método de aplicação e concentrações de Arbolina na produtividade, fisiologia e qualidade de frutos de morangueiro**. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília (UnB). Brasília, Distrito Federal, 78 p., 2021.

CARRER H; BARBOSA A. L.; RAMIRO D. A. **Biotecnologia na agricultura**. Estudos Avançados. Vol.24, Nº 70, São Paulo, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142010000300010 DOI: 10.1590/S0103-40142010000300010

CARVALHO E. R, REZENDE P. M. D, ANDRADE M. J. B D, PASSOS A. M. A. D and OLIVEIRA J. A., Mineral fertilizer and organic waste on soybean crop and soil nutrients. **Rev Cienc Agron** 42:930–939 (2011).

CENTURION, J. F. Balanço hídrico da região de Ilha Solteira. **Científica**, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 57-61, 1982.

CFQ - Conselho Federal Químico. Notícias: **Químicos criam biofertilizante vegetal nanotecnológico**. 2021. Disponível em: <http://cfq.org.br/noticia/quimicos-criam-biofertilizante-vegetal-nanotecnologico/>. Acesso em: 17 fev. 2025

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - Conab. **Acomp. safra bras. grãos**, v. 12 - Safra 2024/25 - Quinto levantamento, Brasília, p. 45-68, fevereiro 2025. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos> Acesso em: 17 fevereiro. 2025.

DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. de B. **Sistema de produção orgânico de feijão para agricultores familiares**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009 <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/663541>. Acesso em 13 out. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2013. 353 p

FAGERIA, N.K., STONE, L.F., SANTOS, A.B., CARVALHO, M.C.S., 2015. **Nutrição mineral do feijoeiro**. Brasília: Embrapa.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; JONES, C.A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2011. 586 p.

FALKER, Automação agrícola. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030)**. Porto Alegre, 2008. 33p.

FANCELLI, A. L.. **Feijão: tópicos especiais de manejo**. Piracicaba. 2009. 208p.

FERREIRA, L. A.; OLIVEIRA, J. A.; VON PINHO, E. V. R.; QUEIROZ, D. L. Bioestimulante e fertilizante associados ao tratamento de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 29, n. 2, p. 80-89, 2007.

FERREIRA, D. F. **Sisvar: a computer statistical analysis system**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cagro/v35n6/a01v35n6.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2025.

FERREIRA, C. M.; BARRIGOSI, J. A. F. (ed.). **Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar**. Brasília, DF: Embrapa; Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2021. p. 47-70.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION STATISTICS. Faostat Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Production quantities of beans (dry)**, 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acesso em 13 out. 2025.

HONG, J.; WANG, C.; WAGNER, D. C.; GARDEA-TORRESDEY, J. L.; HE, F.; RICO, C.

M. Foliar application of nanoparticles: mechanisms of absorption, transfer, and multiple impacts. **Environmental Science: Nano**, [s.l.], v. 8, n. 5, p. 1196-1210, 2021.

HU, P.; AN, J.; FAULKNER, M. M.; WU, H.; LI, Z.; TIAN, X.; GIRALDO, J. P. **Nanoparticle Charge and Size Control Foliar Delivery Efficiency to Plant Cells and Organelles**. *ACS Nano*, vol. 14, no. 7, p. 7970–7986, 2020. <https://doi.org/10.1021/acsnano.9b09178>.

IAC - INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. Notícias: **IAC lança a 50a cultivar do feijão Carioca**. Campinas, SP. 2019. Disponível em: <<https://www.iac.sp.gov.br/noticiasdetalhes.php?tag=1281>>. Acesso em: 13 out. 2025.

JUÁREZ-MALDONADO, A.; ORTEGA-ORTÍZ, H.; MORALES-DÍAZ, A. B.; GONZÁLEZ-MORALES, S.; MORELOS-MORENO, Á.; CABRERA-DE LA FUENTE, M.; SANDOVAL-RANGEL, A.; CADENAS-PLIEGO, G.; BENAVIDES-MENDOZA, A. Nanoparticles and nanomaterials as plant biostimulants. **International Journal Of Molecular Sciences**, vol. 20, no. 1, p. 162, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms20010162>. Acesso em: 13 out. 2025.

KHAN, I.; SAEED, K.; KHAN, I. Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 12, n. 7, p. 908–931, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.05.011>. Acesso: 13 out. 2025.

KÖPPEN, W. Climatologia. In: PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. (Ed). **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 478 p.

MAEDA, S.; MENDONÇA, A. L. **Época de semeadura: a cultura do feijão no Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa, 1990.

MASWADA, H. F.; MAZROU, Y. S. A.; ELZAAWELY, A. A.; ALAM-ELDEIN, S. M. Nanomaterials. Effective tools for field and horticultural crops to cope with drought stress: A review. **Spanish Journal of Agricultural Research**, [s.l.], v. 18, n. 2, p. 1-15, 2020.

MAZOCCO, L. A. **Efeitos da arbolina e de lâminas de irrigação sobre atributos bioquímicos, fisiológicos e morfológicos de feijoeiro**. 2024. 106 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade de Brasília, Brasília, 2024

MORAES, E. da S.; MENELAU, A. S., Análise do mercado de feijão comum. **Revista de Política Agrícola**, [S. l.], v. 26, n. 1, p. 81–92, 2017. Disponível em: <https://rpa.sede.embrapa.br/RPA/article/view/1245>. Acesso em: 13 out. 2025.

MUKHERJEE, A.; MAJUMDAR, S.; SERVIN, A. D.; PAGANO, L.; DHANKHER, O. P.; WHITE, J. C. Carbon nanomateriais in agriculture: A critical review. **Frontiers in Plant Science**, [S.l.], v. 7, n. FEB 2016, p. 172, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00172>. Acesso em: 13 out. 2025.

NASCENTE, A. S.; MONDO, V. H. V.; GONZAGA, A. C. de O.; CARVALHO, M. da C. S.; LACERDA, M. C. Doses e épocas de aplicação foliar de N afetando a produtividade de grãos do feijoeiro comum. **Revista Agrarian**, v. 10, n. 37, p. 199-208, 2017.

OLIVARES, F. **Bactérias promotoras de crescimento vegetal**. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 22-25, jan./mar. 2009.

OLIVEIRA, L. F. C.; CARVALHO, D. F. Regionalização da lâmina suplementar de irrigação e época de plantio da cultura de feijão, no Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 7, n. 1, p.106-110, 2003.

OLIVEIRA, A. D.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D. **Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 86-95, 2005.

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; ALVES, R. C.; et al.. Produção de feijão caupi em função da salinidade e regulador de crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 11, p. 1049–1056, nov. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807->

1929/agriambi.v19n11p1049-1056. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/bYCzk7StfZTc9GhT8brRwdw/?lang=pt#>. Acesso em: 13 out 2025.

RISSINI, A. L. L.; GENU, A. M.; KAWAKAMI, J.. Índice de vegetação por diferença normalizada e produtividade de cultivares de trigo submetidas a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Online), v. 39, p. 1703-1713, 2015.

REIS, M. A. M.; COELHO, A. P.; PALARETTI, L. F.. **Biostimulant as a strategy to water deficit in common beans**. In: 8th Inovagri International Meeting and 32nd CONIRD - National Irrigation and Drainage Congress, 2023, Fortaleza. Anais do Inovagri Meeting Virtual, 2023.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Editorial: Biostimulants in Agriculture. **Frontiers in Plant Science**, vol. 11, p. 40, 2020. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>.

ROUSE J. W., HAAS R. H., SCHELL J. A., DEERING D. W., **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. In: Proceedings of the 3rd. ERTS-1 Symposium; 1973; Washington, DC. Washington, DC: NASA SP-351; 1973. p.309-17.

SANDRINI F. de O. T., LEAL F. T., COELHO A. P., LEMOS L. B., & ROSALEN D. L., (2021). Índices de vegetação na estimativa da produtividade do feijoeiro cultivado sob doses de nitrogênio. Agrária - **Revista Brasileira De Ciências Agrárias**, 14(4), 1-8. <https://doi.org/10.5039/agraria.v14i4a7310>

SILVA, J. V. B., **Avaliação dos métodos de aplicação de uma nanopartícula no cultivo de antúrios**. 2024. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024.

SILVA, G. M. B. **Formação de um painel de diversidade genética em feijão comum**. 2011. 52f. Dissertação (Mestrado em Genética, Melhoramento Vegetal e Biotecnologia) – Pós-Graduação – IAC.

SILVA, J. C. **Épocas de menor risco de estresse hídrico e térmico para o feijoeiro na região central do Rio Grande do Sul**. 64f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade de Santa Maria-UFSM, Santa Maria, 2005.

SILVA, T.R.B.; LEMOS, L.B.; TAVARES, C.A. **Produtividade e característica tecnológica de grãos em feijoeiro adubado com nitrogênio e molibdênio**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.41, p.739-745, 2006.

SINGH, S. Broadening the genetic base of common bean cultivars. **Crop Science**, 41(6), 1659-1675. 2001.

TAN, T. L.; ZULKIFLI, N. A.; ZAMAN, A. S. K.; JUSOH, M. binti; YAAPAR, M. N.; RASHID, S. A. **Impact of photoluminescent carbon quantum dots on photosynthesis efficiency of rice and corn crops**. Plant Physiology and Biochemistry, vol. 162, p. 737–751, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.031>.

TANAKA, A.; FUJITA, K. Growth, photosynthesis and yield components in relation to grain yield of the field bean. **Journal of the Faculty of Agriculture Hokkaido University**, Sapporo, v. 59, n. 2, p. 145-238, 1979.

TOSCANI, R. G. S.; CAMPOS, J. E. G. **Uso de pó de basalto e rocha fosfatada como remineralizadores em solos intensamente intemperizados**. Geociências, [S. l.], v. 36, p. 259-274, 2017.

VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 600p.

XU, X.; MAO, X.; ZHUANG, J.; LEI, B.; LI, Y.; LI, W.; ZHANG, X.; HU, C.; FANG, Y.; LIU, Y. **PVA-Coated Fluorescent Carbon Dot Nanocapsules as an Optical Amplifier for Enhanced Photosynthesis of Lettuce**. ACS Sustainable Chemistry and Engineering, vol. 8, no. 9, p. 3938–3949, 2020. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b07706>.

7. APÊNDICES

Figura 2 – Instalação e condução experimental: semeadura do feijão em uma semeadora de precisão de 7 linhas. Selvíria – MS, Brasil, 2023.



Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 3 – Biofertilizante Arbolina utilizado nas aplicações do experimento. Selvíria – MS, Brasil, 2023.



Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 4 – Colheita dos tratamentos e secagem à pleno sol do feijão colhido. Selvíria – MS, Brasil, 2023.



Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 5 – Avaliação de NDVI e ICF no feijoeiro (estádio R6). Selvíria – MS, Brasil, 2023.



Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 6 – Oito dias após a emergência da cultura ou do feijoeiro (8 DAE). Selvíria – MS, Brasil, 2023.



Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 7 – Primeira aplicação de Arbolina, nos tratamentos 2 e 3 (feijoeiro em estágio V3). Selvíria – MS, Brasil, 2023.



Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 8 – Experimento de feijoeiro em estágio vegetativo V3 (18 DAE). Selvíria – MS, Brasil, 2023.



Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 9 – Feijoeiro em estágio reprodutivo R5 (44 DAE). Selvíria – MS, Brasil, 2023.



Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 10 – Colheita do experimento com seus respectivos tratamentos e, secagem à pleno sol do feijão colhido. Selvíria – MS, Brasil, 2023.



Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 11 – Avaliação de vagens por planta de feijão. Selvíria – MS, Brasil, 2023.



Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 12 – Avaliação de produtividade e massa de cem grãos de feijão. Selvíria – MS, Brasil, 2023.



Fonte: Próprio autor (2023).