

UTILIZAÇÃO DE BIOESTIMULANTES E MICRORGANISMOS NA MITIGAÇÃO DO DÉFICIT HÍDRICO EM CULTIVO DE FEIJÃO

JOSÉ GOMES MARTINS NETO¹; NELMÍCIO FURTADO DA SILVA¹; WENDSON SOARES DA SILVA CAVALCANTE¹; PEDRO HENRYQUE FERNANDES CABRAL¹; FERNANDO NOBRE CUNHA² E MARCONI BATISTA TEIXEIRA²

¹Departamento de Agronomia, Universidade de Rio Verde – UniRV, Campus Rio Verde – GO, Fazenda Fontes do Saber - Campus Universitário, CEP: 75.901-970, Rio Verde GO, Brasil, jose.g.m.neto@academico.unirv.edu.br, nelmicio@unirv.edu.br, wendsonbfsoarescv@gmail.com, pedro.h.f.cabral@academico.unirv.edu.br; ORCID (<https://orcid.org/0000-0003-1970-4959>, <https://orcid.org/0000-0001-7055-8075>, <https://orcid.org/0000-0002-5224-5486>, <https://orcid.org/0000-0002-6401-9929>).

²Departamento de Hidráulica e Irrigação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rodovia Sul Goiana, km 01, Zona Rural, CEP: 75.901-970, Rio Verde GO, Brasil, fernandonobrecunha@hotmail.com, marconibt@gmail.com; ORCID (<https://orcid.org/0000-0001-8489-7625>, <https://orcid.org/0000-0002-0152-256X>).

1 RESUMO

Os bioestimulantes são substâncias que conferem benefícios fisiológicos e morfológicos às plantas. Objetivou-se com este estudo avaliar a resposta da cultura do feijão à aplicação de bioestimulantes, onde receberam uma dose de uma formulação de bioestimulantes via tratamento de sementes à base de extrato de alga (*Ascophyllum nodosum* + *Kappaphycus alvarezii*) + complexo de aminoácidos contendo (Prolina + arginina) na dose de 2 mL kg⁻¹ de semente, e verificar seu efeito nas condições edafoclimáticas da região do Cerrado. O experimento foi conduzido com plantas de feijão em vasos, em casa de vegetação. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial de 4 x 4, sendo 4 tratamentos de sementes (Microrganismos, bioestimulantes, microrganismos + bioestimulantes e testemunha) e 4 níveis de reposição hídrica (25%, 50%, 75% e 100% da capacidade de campo – CC), com 5 repetições, totalizando 16 tratamentos e 80 unidades experimentais (Vasos). Foram determinadas as seguintes variáveis: altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF). Os dados encontrados indicam que a aplicação via tratamento semente dos bioestimulantes + microrganismos podem efetivamente aumentar a capacidade de defesa das plantas de feijão contra os danos induzidos pelo déficit hídrico imposto.

Palavras-chave: *Bacillus aryabhattai*; *Bacillus subtilis*; *Trichoderma asperellum*, *Ascophyllum nodosum*; *Kappaphycus alvarezii*.

MARTINS NETO, J. G.; SILVA, N. F.; CAVALCANTE, W. S. S.; CABRAL, P. H. F.; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.
USE OF BIOSTIMULANTS AND MICROORGANISMS IN MITIGATION OF WATER DEFICIT IN BEAN CULTIVATION

2 ABSTRACT

Biostimulants are substances that provide physiological and morphological benefits to plants. The aim of this study was to evaluate the response of bean crops to the application of biostimulants, where they received a dose of a biostimulant formulation via seed treatment based on seaweed extract (*Ascophyllum nodosum* + *Kappaphycus alvarezii*) + an amino acid complex containing proline + arginine at a dose of 2 mL kg⁻¹ of seed, and to verify its effect on the edaphoclimatic conditions of the Cerrado region. The experiment was conducted with bean plants in pots in a greenhouse. A completely randomized design (CRD) was used in a 4 x 4 factorial scheme, with 4 seed treatments (microorganisms, biostimulants, microorganisms + biostimulants and control) and 4 levels of water replacement (25%, 50%, 75% and 100% of field capacity - CC), with 5 replicates, totaling 16 treatments and 80 experimental units (Pots). The following variables were determined: plant height (AP), stem diameter (DC), number of leaves (NF) and leaf area (AF). These findings indicate that the application of biostimulants + microorganisms via seed treatment can effectively increase the defense capacity of bean plants against damage induced by imposed water deficit.

Keywords: *Bacillus aryabhattai*; *Bacillus subtilis*; *Trichoderma asperellum*, *Ascophyllum nodosum*; *Kappaphycus alvarezii*.

3 INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) pertence à família das Fabaceae que abrange as leguminosas e encontra-se entre os alimentos mais antigos da humanidade, sendo uma das primeiras espécies domesticadas pelo homem (Carvalho *et al.*, 2013; Pinto, 2016). No Brasil é considerado uma excelente fonte de proteína vegetal (16 a 36%), carboidratos (66 a 77%), ferro (2%), lipídios (0,66 a 1,43%) e outros minerais, como cálcio, magnésio e zinco (Buratto, 2012; Carvalho *et al.*, 2013). No ano safra 2023/24, a área de cultivo destinada a cultura foi 2.856,6 mil hectares (considerando o feijão-comuns cores, o feijão-comum preto e o feijão-caupi) com uma produção de 3.259 mil toneladas, sendo 7,3% superior ao volume colhido na safra 2022/23 (Feijão, 2024).

São muitos os fatores que interferem no desenvolvimento das plantas. Um dos principais fatores relacionados à produtividade das culturas é a limitação ocasionada por fatores edafoclimáticos, e ainda a demanda por altas produtividades

aliadas às questões sustentáveis, como por exemplo, a demanda nutricional e a restrição hídrica de algumas regiões, prejudicando o bom desenvolvimento da cultura da soja (Carvalho *et al.*, 2013).

O estresse por déficit hídrico é um dos fatores abióticos mais importantes que influenciam o crescimento e a produção das plantas (Wu *et al.*, 2016). É importante enfatizar que os danos causados pelo estresse hídrico durante o desenvolvimento das culturas (incluindo o processo de germinação, crescimento e reprodução das plantas) podem ser irreversíveis. Durante a fase de germinação, o estresse hídrico afeta a uniformidade e velocidade de germinação e a porcentagem de sementes germinadas, resultando na perda de crescimento da cultura no campo (Castro; Silva, 2023). O estresse hídrico subsequente, durante a fase de crescimento vegetativo, tem um efeito mais pronunciado na fotossíntese, afetando negativamente a produtividade das plantas (Vurukonda *et al.*, 2016).

Diante dessas circunstâncias, é necessário pensar em novas abordagens para mitigar esses efeitos climáticos que afetam

diretamente as plantas de feijão (Das; Albinsson, 2023). Criou-se assim estratégias sustentáveis para enfrentar esses desafios, como forma de se tentar uma mitigação das alterações climáticas para uma proteção eficiente, desde a planta, substâncias bioestimulantes e a microbiota do solo (Cavalcante *et al.*, 2020).

A presença de extratos naturais confere às plantas benefícios fisiológicos. Dentre estes podemos citar as características do balanço hormonal e da osmoproteção, que atua no interior das células vegetais, protegendo-as contra a desidratação e mantendo assim, suas atividades metabólicas num nível adequado, mesmo em situações adversas (Prieto *et al.*, 2017; Cavalcante *et al.*, 2020).

Os bioestimulantes são definidos como mistura de dois ou mais reguladores vegetais com outras substâncias (aminoácidos, extratos naturais, nutrientes e vitaminas) (Traon *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2017; Yakhin *et al.*, 2017), produtos esses que durante o ciclo de desenvolvimento das culturas, podem, dependendo de sua composição, concentração e proporção das substâncias, estimular o crescimento vegetal através de uma maior divisão celular, alongação celular e diferenciação celular, e, dessa forma, aumentar a capacidade de absorção de nutrientes e água, refletindo diretamente no desenvolvimento (germinação de sementes, crescimento, desenvolvimento, floração, frutificação e senescência) e na produtividade das culturas (Kolling *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2017; Cavalcante *et al.*, 2020).

No solo, as plantas interagem com os microrganismos ali presentes, oferecendo um ambiente bastante específico para o desenvolvimento e crescimento natural de comunidades microbianas. Durante o processo evolutivo, essas comunidades desenvolveram habilidades e estratégias que possibilitaram sua interação com as plantas (Deng *et al.*, 2022). Essas interações podem trazer benefícios, portanto, sem causar danos

para as plantas, ou podem trazer malefícios, quando microrganismos patogênicos provocam desequilíbrio bioquímico e fisiológico nas plantas, gerando diferentes tipos de doenças (Álvarez *et al.*, 2016).

Dentre vários microrganismos que têm sido caracterizados como capazes de incrementar o crescimento vegetal, destaca-se aqui bactérias do gênero *Bacillus* e fungos do gênero *Trichoderma*, os quais exibem capacidade de fixação e solubilização de nutrientes essenciais e fornecem metabólitos envolvidos no mecanismo de tolerância aos estresses abióticos (Chagas *et al.*, 2017; Su *et al.*, 2017; Sousa *et al.*, 2023).

A hipótese do estudo é que a aplicação via tratamento sementes de bioestimulantes e microrganismos específicos pode reduzir os impactos negativos do déficit hídrico na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), promovendo maior resistência ao déficit hídrico, além de melhorar o crescimento e desenvolvimento das plantas. Essa intervenção, aplicada em condições controladas da casa de vegetação e com diferentes níveis de reposição hídrica, permitirá avaliar se os bioestimulantes e microrganismos contribuem para manter a atividade metabólica das plantas, em condições adversas típicas do Cerrado brasileiro. Neste contexto, objetivou-se com o presente estudo avaliar a influência de regimes hídricos nas variáveis biométricas da cultura do feijão via tratamento de semente.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi realizado em uma casa de vegetação localizada na Fazenda Fontes do Saber, na Faculdade de agronomia da Universidade de Rio Verde – UniRV (17°47'14.3"S 50°57'53.9"W), entre os meses de maio e junho de 2024.

O solo utilizado nos vasos foi coletado na faculdade em uma área de cultivo na camada de 0,0-0,20 m e

classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), típico, textura muito argilosa e fase cerrado (Santos *et al.*, 2018). Antes da instalação do experimento nos vasos foi realizada a amostragem do solo

para a caracterização físico-química, onde foram analisadas conforme metodologias descritas por Teixeira *et al.* (2017) (Tabela 1).

Tabela 1. Análise química e granulométrica do solo coletado para utilização na condução do ensaio, safra 2024, Rio Verde – GO

Prof. ¹	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al
cm	CaCl ₂	mg dm ⁻³		-----cmol _c dm ⁻³ -----			
0-20	6,32	1,50	132	2,81	0,69	0,00	2,31
Prof.	M.O.	SB	CTC	V	M	Cu	Fe
cm	g dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³		-----%-----		-----mg dm ⁻³ -----	
0-20	24,15	3,84	6,15	62,42	0,00	5,3	67,3
Prof.	Mn	Zn	Areia	Silte	Argila	Classe textural	
cm	-----mg dm ⁻³ -----		-----%-----				
0-20	79,3	3,1	32,09	21,94	45,97	Argiloso	

¹pH da solução do solo, determinado em solução de cloreto de cálcio; MO: matéria orgânica, determinação por método colorimétrico; P: fósforo, melhich; K⁺: potássio, melhich; Ca²⁺ e Mg²⁺: teores trocáveis de cálcio e magnésio, respectivamente, em KCl; S-SO₄²⁻: Enxofre na forma de sulfatos, extraído por fosfato de cálcio e determinado por colorimetria; Al³⁺: Alumínio trocável, extraído por solução de cloreto de potássio a 1 mol L⁻¹; H+Al: acidez total do solo, determinada em solução tampão SMP a pH 7,5; SB: soma de bases (K⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺); CTC: capacidade de troca de cátions (K⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺ + H+Al); V: saturação por bases do solo (relação SB/CTC); m: saturação por alumínio [relação Al³⁺/(SB+Al³⁺)]; Cu, Fe, Mn e Zn: cobre, ferro, manganês e zinco, extraídos por solução melhich.

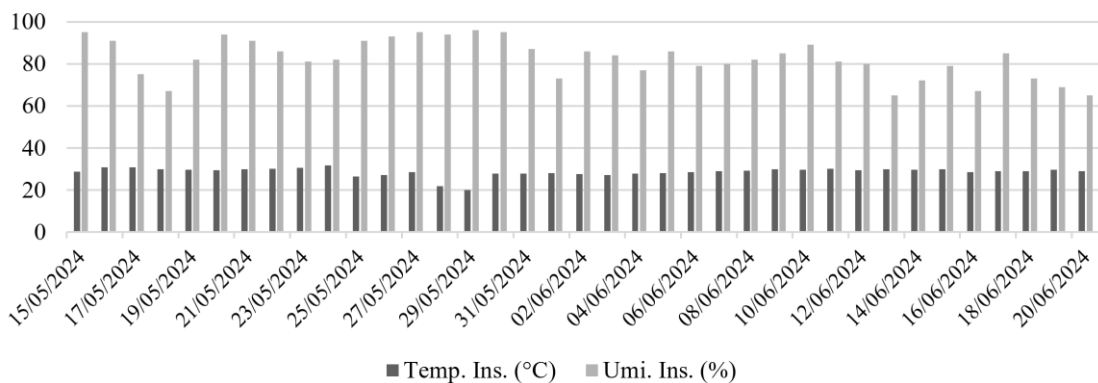
Fonte: Autores (2025)

Segundo a classificação de Alvares *et al.* (2013) e Köppen e Geiger (1928), o clima da região é classificado como Aw (tropical), com precipitação nos meses de outubro a abril, e seca nos meses de maio a setembro. A temperatura máxima oscila de 35° a 37°C, e a mínima de 12° a 15 °C (no

inverno há ocorrências de até 5°C). A precipitação anual chega a 1.800 mm aproximadamente, porém mal distribuídas ao longo do ano (Silva *et al.*, 2017).

Durante o desenvolvimento da cultura, os dados climáticos locais foram monitorados (Figura 1).

Figura 1. Dados diários de temperatura e umidade relativa instantânea no período decorrente do experimento, safra 2024, Rio Verde – GO



Fonte: Estação automática Normal INMET – Rio Verde – GO

A correção do solo foi realizada no vaso e incorporada no solo na camada de 0-20 cm de profundidade, a quantidade de fertilizantes utilizada foi correspondente a 4 t ha⁻¹ do calcário dolomítico. A adubação de plantio foi realizada no vaso e incorporada no solo na camada de 0-10 cm de profundidade, a quantidade de fertilizantes utilizada foi correspondente a 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ utilizando a fonte MAP e 130 kg ha⁻¹ de K₂O utilizando a fonte KCl. Foi realizada a aplicação de uma solução para fornecimento dos micronutrientes Mn, Zn e B, em uma quantidade de 1 kg ha⁻¹, utilizando a fonte sulfato de manganês, sulfato de zinco e ácido bórico. A adubação de cobertura foi realizada no estádio V3, na quantidade de 120 kg ha⁻¹ de N, na superfície do vaso, utilizando a fonte ureia. A correção e adubação foi realizada de acordo com necessidade da cultura, baseado na análise de solo, segundo recomendações de Sousa e Lobato (2004).

Foi utilizado o feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) da cultivar BRS Estilo, desenvolvido pela Embrapa[®], semeada em 15 de maio de 2024. O feijão carioca foi semeado manualmente a 3 cm de profundidade nos vasos num total de 5 plantas por vaso. Foi realizado o desbaste das plantas nos vasos deixando 2 plantas por vaso aos 7 dias após a emergência (DAE).

Foi realizado o monitoramento da cultura durante todo ciclo de cultivo, o controle de plantas daninhas foi realizado através do arranquio manual das plantas emergidas nos vasos, foi necessária aplicação de inseticidas aos 14 DAE, para controle de branca (*Bemisia tabaci* raça B), foi utilizado o produto comercial Engeo Pleno S[®] (*Tiametoxam* + *Lambda-Cialotrina*) na dose de 100 mL ha⁻¹, não foi necessária aplicação de fungicidas e nenhum outro produto fitossanitário até o final dos 30 DAE.

Foram utilizados vasos de 5 L de preenchidos com solo até 2 cm da margem da borda. O solo foi peneirado para retirada

dos torrões e foram colocados um total de 5 kg de solo (Terra fina seca ao ar - TFSA) em cada vaso.

Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial de 4 x 4, sendo 4 tratamentos de sementes (Microrganismos, bioestimulantes, microrganismos + bioestimulantes e testemunha) e 4 níveis de reposição hídrica (25, 50, 75 e 100% da capacidade de campo - CC), com 5 repetições, totalizando 16 tratamentos e 80 unidades experimentais (Vasos).

Os tratamentos previstos com aplicações de microrganismos receberam uma dose de produtos comerciais no tratamento de sementes contendo os microrganismos (*Bacillus aryabhatai*, *Bacillus subtilis* e *Trichoderma asperellum*). Todos os tratamentos receberam aplicação de inoculante comercial Nodumax[®] líquido à base de *Bradyrhizobium japonicum* (na concentração de 7,2 x 10⁹ e dose de 2 mL kg⁻¹ de semente).

Os produtos comerciais utilizados foram: Arid[®] à base de *Bacillus aryabhatai* (na dose de 2 mL kg⁻¹ de semente); Batrix[®] à base de *Bacillus subtilis* (na dose de 2 mL kg⁻¹ de semente); e Triene[®] à base de *Trichoderma asperellum* (na dose de 2 mL kg⁻¹ de semente).

Os tratamentos previstos com aplicações de bioestimulantes receberam uma dose de uma formulação de bioestimulantes via tratamento de sementes à base de extrato de alga (*Ascophyllum nodosum* + *Kappaphycus alvarezii*) + complexo de aminoácidos contendo Prolina + arginina, na dose de 2 mL kg⁻¹ de semente.

A capacidade de retenção de água do solo (capacidade de campo - CC) foi determinada através da pesagem de todos os vasos com o solo seco e após o encharcamento e posterior drenagem. O controle da quantidade de água a ser aplicada em cada tratamento foi realizado através da pesagem diária dos vasos, utilizando balança eletrônica portátil, e a água perdida por

evapotranspiração era reposta até que o peso do vaso atingisse o valor previamente determinado (método gravimétrico). Os

dados de lâmina de reposição hídrica aplicados durante o ensaio estão descritos na tabela 2.

Tabela 2. Análise química e granulométrica do solo coletado para utilização na condução do ensaio, safra 2024, Rio Verde – GO

RH*	CC**		Lâmina total				
	L	%	L dia ⁻¹	L mês ⁻¹	mm dia ⁻¹	mm mês ⁻¹	mm ciclo ⁻¹
25%	0,35	7	0,125	9	2,5	75	250
50%	0,70	14	0,250	18	5,0	150	500
75%	1,05	21	0,375	27	7,5	225	750
100%	1,40	28	0,500	36	10,0	300	1000
Média	0,85	17,5	0,312	22,5	6,25	187,5	625

*RH – Reposição hídrica; **CC – Capacidade de campo.

Fonte: Autores (2025)

Quando as plântulas de feijão estavam com 7 dias após o plantio (DAP) foi realizado o desbaste de plântulas deixando 2 plantas por vaso e foi iniciada a aplicação dos tratamentos de reposição hídrica.

A coleta de dados biométricos ocorreu com 30 DAE. Foram determinadas as seguintes variáveis: altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF).

Foram amostradas 2 plantas (Duplicata), a altura de planta, expressa em centímetros, foi avaliada considerando-se o comprimento da haste principal do coleto até o último nó (ápice da planta) e o diâmetro do caule, expresso em milímetros, foi mensurado na altura do coleto da planta com um paquímetro digital. Contou-se o número de folhas emitidos na haste principal.

A determinação da área foliar (cm²) foi realizada através da mensuração do maior comprimento e maior largura de todas as folhas, posteriormente, os dados coletados foram aplicados na equação empírica proposta por Adami *et al.* (2008) (Equação 1), as estimativas da área foliar de cada folha foram somadas, obtendo-se a área foliar por planta em cm².

$$AF = (C \times L) \times 0,7104 \times NF \quad (1)$$

Em que:

C – Comprimento máximo (cm);

L – Largura máxima (cm);

NF – Número de folhas (Adimensional).

Os dados coletados foram submetidos a análise estatística, incluindo análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$), e os casos de significância foram submetidos ao teste de média Tukey ($p < 0,05$) para dados qualitativos, bem como análise de regressão ($p < 0,05$), para dados quantitativos, usando o software estatístico SISVAR[®] versão 5.6 (Ferreira, 2019).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise de variância para as variáveis altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF), avaliadas em função dos fatores tratamento (TRAT) e reposição hídrica (RH), bem como da interação entre ambos (TRAT × RH). Observa-se que o fator TRAT foi significativo para as variáveis número de folhas (NF) ($p < 0,01$) e área foliar (AF) ($p < 0,05$), indicando que os diferentes tratamentos influenciaram essas variáveis específicas. O fator RH apresentou significância ($p < 0,01$) para todas as variáveis, o que sugere que a disponibilidade

hídrica foi determinante para o crescimento e desenvolvimento da cultura. A interação entre os fatores TRAT e RH, assim como as

repetições, não foram significativas para as variáveis analisadas (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância para as variáveis altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC), número de folha (NF) e área foliar (AF), em função da fonte de variação, Safra 2024, Rio Verde – GO

FV	GL	Quadrados médios			
		AP	DC	NF	AF
TRAT	3	49,855125 ^{ns}	0,332458 ^{ns}	22,618833 ^{**}	134218,188125 [*]
RH	3	302,551458 ^{**}	0,985125 ^{**}	62,098833 ^{**}	509474,310125 ^{**}
TRAT x RH	9	15,248903 ^{ns}	0,588347 ^{ns}	7,701611 ^{ns}	41264,384903 ^{ns}
REP	4	39,345813 ^{ns}	0,362046 ^{ns}	3,886750 ^{ns}	37507,620438 ^{ns}
Resíduo	60	24,838346	0,362046	4,784750	45577,374238
CV (%)		23,04	15,01	20,53	40,07

^{ns} não significativo e *; ** significativo respectivamente a 5 e 1% de probabilidade segundo teste F. FV – fonte de variação; GL – Grau de Liberdade; CV – Coeficiente de Variação; REP – Repetição; RH – Reposição hídrica; e TRAT – Bioestimulante a base de microrganismos (*Bacillus aryabhattai* + *Bacillus subtilis* + *Trichoderma asperellum*) e biofertilizante a base de extrato de algas (*Ascophyllum nodosum* + *Kappaphycus alvarezii*) + complexo de aminoácidos (Prolina + arginina).

Fonte: Autores (2025)

Os valores médios das variáveis altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF) em função dos tratamentos aplicados: bioestimulantes à base de microrganismos (Micro), biofertilizante (Bio), combinação de ambos (Micro + Bio), e uma testemunha. Para o número de folhas (NF), o tratamento Bio apresentou a maior média (11,63),

seguido dos tratamentos Micro (11,23) e Micro + Bio (10,61), enquanto a testemunha apresentou o menor valor (9,56). Em relação à área foliar (AF), todos os tratamentos com bioestimulantes e microrganismos (Micro, Bio e Micro + Bio) mostraram valores superiores à testemunha, com a maior média observada para o tratamento Micro (575,95 cm²) (Tabela 4).

Tabela 4. Teste de média para as variáveis altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC), número de folha (NF), área foliar (AF), em função dos tratamentos, Safra 2024, Rio Verde – GO

Tratamentos	AP	DC	NF	AF
	cm	mm		cm ²
Micro	19,87	3,84	11,23 ab	575,95 a
Bio	20,87	3,92	11,63 a	575,35 a
Micro + Bio	21,64	4,07	10,61 ab	489,10 a
Testemunha	23,26	4,09	9,56 b	426,79 a
DMS	4,1658	0,5029	1,8283	178,4491
Erro padrão	1,1144	0,1345	0,4891	47,7374

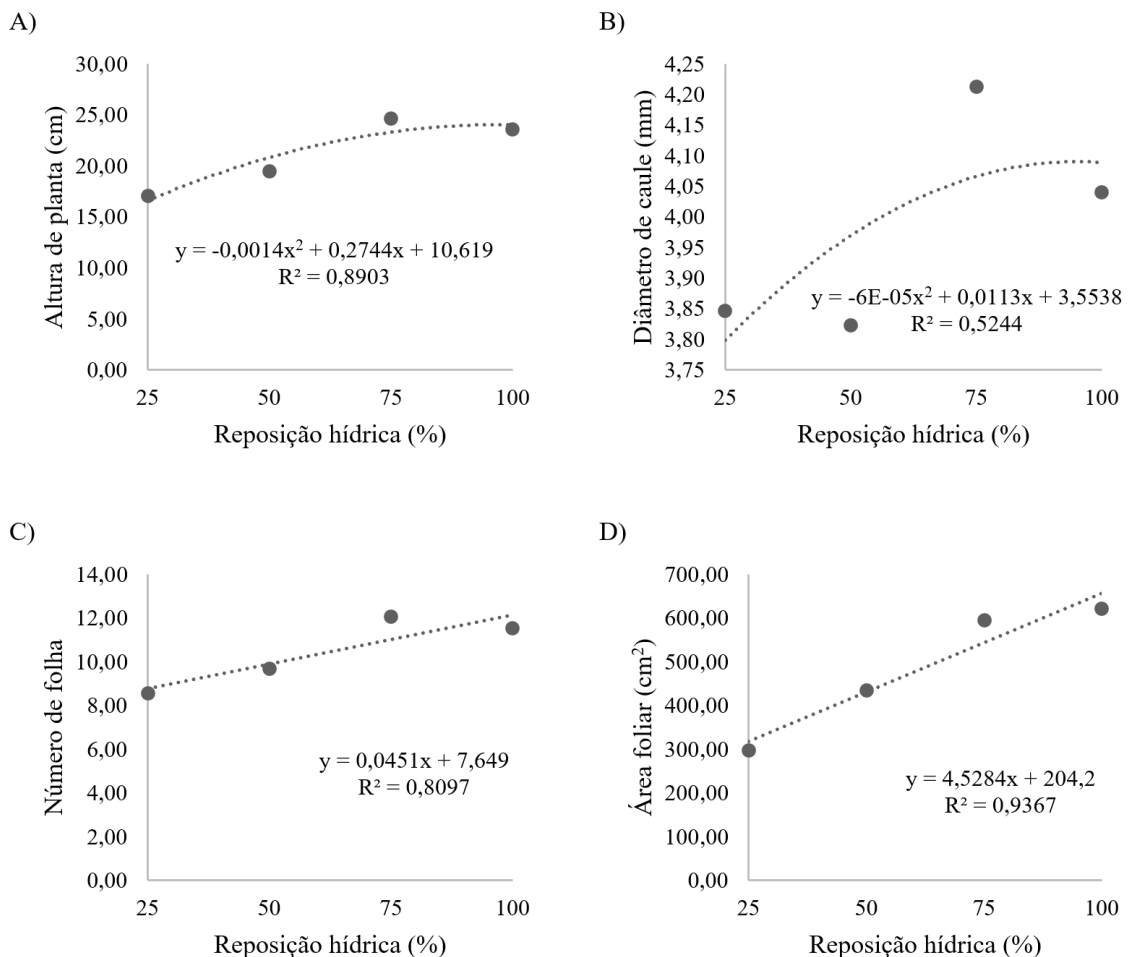
Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Tukey ($p < 0,05$). Micro – Bioestimulante a base de microrganismos (*Bacillus aryabhattai* + *Bacillus subtilis* + *Trichoderma asperellum*); Bio – Biofertilizante a base de extrato de algas (*Ascophyllum nodosum* + *Kappaphycus alvarezii*) + complexo de aminoácidos (Prolina + arginina).

Fonte: Autores (2024)

A resposta das plantas às diferentes reposições hídricas para as variáveis altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas e área foliar, possibilitaram uma visualização do impacto dos níveis de dosagem hídrica na morfologia do feijoeiro (Figura 2). Na variável altura de planta, tivemos o ponto máximo de eficiência 98% de reposição hídrica, tendo um incremento de 60,4% (24,06 cm) (Figura 2A). Na variável diâmetro de caule, tivemos o ponto máximo de eficiência 94,16% de reposição hídrica, tendo um incremento de 5,14mm (30,86%) (Figura 2B). O número de folhas apresentou um incremento com 100% de

reposição hídrica, resultando em 12,16 folhas, na lâmina de 100% de reposição hídrica, tendo um incremento de 4,50 folhas para cada lâmina de 25%. A cada incremento de 25% na lâmina de água, observou-se um aumento gradual no número de folhas, conforme descrito pela equação do gráfico (Figura 2C). A área foliar apresentou um aumento com 100% de reposição hídrica, resultando em 657,04 cm². Observou-se que, para cada incremento de 25% na lâmina de água, houve um aumento progressivo na área foliar, conforme indicado pela tendência linear da equação do gráfico (Figura 2D).

Figura 2. Altura de planta (A), diâmetro de caule (B), número de folha (C) e área foliar (D), em função da reposição hídrica, Safra 2024, Rio Verde – GO



*** significativo respectivamente a 5 e 1% de probabilidade segundo teste F. TRAT – Bioestimulante a base de microrganismos (*Bacillus aryabhattai* + *Bacillus subtilis* + *Trichoderma asperellum*) e biofertilizante a base de extrato de algas (*Ascophyllum nodosum* + *Kappaphycus alvarezii*) + complexo de aminoácidos (Prolina + arginina).

Fonte: Autores (2024)

A altura das plantas (AP) apresentou variações importantes quando comparados os tratamentos com bioestimulantes e microrganismos. Nos tratamentos com microrganismos e bioestimulantes, assim como na combinação de ambos, as plantas apresentaram altura superior em relação à testemunha, sugerindo que os tratamentos favorecem o crescimento vegetativo. Esses resultados indicam que a aplicação de bioestimulantes e microrganismos pode ter contribuído para a síntese de hormônios vegetais, como auxinas e citocininas, essenciais para o crescimento celular. Entre os tratamentos, o uso de bioestimulantes isolados se destacou, sugerindo que essa intervenção oferece vantagens específicas na promoção do alongamento celular das plantas de feijão.

Ao analisar o efeito da reposição hídrica sobre a altura das plantas, constatou-se que as plantas submetidas aos maiores níveis de reposição hídrica (75% e 100% da capacidade de campo) alcançaram alturas superiores às que receberam menor quantidade de água. Esse efeito era esperado, já que a disponibilidade hídrica adequada é essencial para o transporte de nutrientes e para processos bioquímicos envolvidos no crescimento. Em condições de déficit hídrico, as plantas geralmente reduzem seu desenvolvimento em altura como estratégia para diminuir a superfície de evapotranspiração, o que se reflete nos resultados, pois plantas submetidas a reposições de 25% e 50% apresentaram alturas mais reduzidas.

Os bioestimulantes e microrganismos aplicados neste estudo podem ter atenuado os efeitos do déficit hídrico, contribuindo para um desenvolvimento em altura mais próximo ao ideal, mesmo em condições de estresse moderado, o que sugere que essas substâncias bioativas podem atuar como mediadores de resiliência ao estresse hídrico.

No caso do diâmetro de caule (DC), a análise dos efeitos dos tratamentos revelou que a aplicação de bioestimulantes e microrganismos resultou em um aumento ligeiro, mas consistente, do diâmetro em comparação com a testemunha. O diâmetro de caule é um indicador importante de robustez estrutural, proporcionando maior suporte e resistência para a planta. Embora as diferenças entre os tratamentos não tenham sido altamente significativas, o tratamento com bioestimulantes e microrganismos associados apresentou os maiores diâmetros, sugerindo que a combinação desses agentes pode fortalecer a estrutura de suporte das plantas.

O efeito dos diferentes níveis de reposição hídrica no diâmetro de caule também foi notável, com as plantas submetidas a níveis mais altos de reposição hídrica exibindo maiores diâmetros. Em condições de estresse hídrico, o diâmetro tende a ser reduzido, uma vez que a planta destina menos recursos ao crescimento estrutural, concentrando-se na sobrevivência. Assim, o aumento do diâmetro com maior reposição hídrica indica que as plantas beneficiadas pela água suficiente alcançam uma estrutura mais robusta, o que pode implicar na maior capacidade de transporte de nutrientes e maior estabilidade.

Em relação ao número de folhas (NF), os tratamentos com bioestimulantes e microrganismos foram superiores em comparação à testemunha, destacando-se o tratamento com bioestimulantes isolados. O número de folhas é um indicativo importante da capacidade fotossintética da planta, pois uma maior quantidade de folhas tende a aumentar a área disponível para a captura de luz solar. Essa característica é fundamental para o desenvolvimento da planta, sobretudo em condições de estresse hídrico, pois folhas mais numerosos e bem formados contribuem para uma fotossíntese mais eficiente, promovendo maior resiliência.

Além disso, os diferentes níveis de reposição hídrica influenciaram o número de folhas, sendo observadas maiores médias nos tratamentos com reposições hídricas de 75% e 100%. Em condições de menor disponibilidade hídrica (25% e 50%), o número de folhas foi reduzido, refletindo uma resposta adaptativa da planta à restrição de água, onde ocorre menor investimento em folhagem para reduzir a perda de água. Essa adaptação confirma a hipótese de que plantas sob estresse hídrico desenvolvem folhagem reduzida para economizar recursos hídricos e manter funções vitais.

A área foliar (AF) foi positivamente afetada pelos tratamentos com bioestimulantes e microrganismos, destacando-se os tratamentos com bioestimulantes isolados e combinados. A área foliar tem papel crucial na fotossíntese e evapotranspiração, sendo um indicador da capacidade da planta em captar luz e regular sua temperatura. As plantas que receberam bioestimulantes e microrganismos apresentaram áreas foliares superiores em relação à testemunha, o que sugere que esses tratamentos promovem um desenvolvimento foliar que potencializa a eficiência metabólica, especialmente importante em períodos de déficit hídrico.

A análise dos níveis de reposição hídrica revelou que a área foliar foi significativamente maior em plantas submetidas a níveis de reposição mais elevados (75% e 100%). Em condições de estresse hídrico, a área foliar foi reduzida, o que é esperado, pois a planta tende a limitar seu crescimento foliar para reduzir a perda de água por transpiração. Esse comportamento adaptativo também foi observado em estudos anteriores, nos quais o estresse hídrico levou à diminuição da área foliar como uma estratégia de sobrevivência da planta.

Por fim, a importância da área foliar no metabolismo das plantas, especialmente em condições de déficit hídrico, é reforçada pela capacidade da planta em manter uma

área foliar adequada, o que facilita a fotossíntese e permite a continuidade do desenvolvimento, mesmo sob limitações hídricas. Os bioestimulantes e microrganismos testados neste estudo mostraram potencial para mitigar os efeitos do estresse hídrico, promovendo uma manutenção da área foliar que pode contribuir para a produtividade final da cultura do feijão.

Para comparar os resultados com estudos similares que utilizam bioestimulantes e microrganismos no manejo do déficit hídrico, diversos pesquisadores apontam que esses compostos podem melhorar a resiliência das plantas ao estresse hídrico, favorecendo a retenção de água, o fortalecimento da parede celular e a promoção de rotas metabólicas que mantêm a homeostase redox (Nephali *et al.*, 2021). No Cerrado, por ser uma região com restrições hídricas sazonais, esses bioestimulantes tornam-se alternativas sustentáveis para mitigar impactos negativos do déficit hídrico e promover a produtividade agrícola mesmo em condições adversas (Bonatelli *et al.*, 2021).

Os bioestimulantes à base de extratos de algas e bactérias promovem melhor absorção de nutrientes e aumento do diâmetro radicular, tornando as plantas mais robustas e eficientes no uso de água e nutrientes. Hamid *et al.* (2021) demonstram que compostos bioativos, como aminoácidos e hormônios vegetais, podem induzir alterações bioquímicas nas plantas, como o aumento na produção de osmólitos, que protegem as células contra o estresse hídrico, o que é crucial para sistemas de produção no Cerrado, onde a adaptação ao clima seco é vital para a segurança alimentar regional.

Quanto às aplicações práticas, bioestimulantes como os extratos de *Ascophyllum nodosum* são ferramentas promissoras para culturas como o feijão, uma vez que estimulam processos fotossintéticos e aumentam a resistência ao déficit hídrico, além disso esses produtos

auxiliam no desenvolvimento da planta, reduzindo a perda de produtividade sob condições de estresse e ajudando a sustentar a produção agrícola em áreas suscetíveis à escassez de água, como o Cerrado brasileiro (Goñi; Quille; O'connell, 2018).

Boas práticas sugerem o uso de uma combinação de bioestimulantes e microrganismos específicos para otimizar a produtividade em condições de restrição hídrica. Kaushal *et al.* (2023) recomendam que o uso dessas substâncias, associado a técnicas de manejo hídrico, pode maximizar o desempenho das culturas, promovendo tanto o crescimento quanto a resiliência das plantas frente a desafios climáticos.

Assim, a literatura atual reforça que o manejo integrado com bioestimulantes e microrganismos é fundamental para a agricultura sustentável e resiliente no Cerrado, proporcionando alternativas viáveis para enfrentamento das variações climáticas e manutenção da produtividade.

As limitações experimentais deste estudo incluem a realização em ambiente controlado de casa de vegetação, o que pode não refletir totalmente as condições de campo. Experimentos em escala reduzida, como o realizado, muitas vezes apresentam limitações em termos de variabilidade climática e edáfica, elementos essenciais para avaliar o impacto real dos bioestimulantes e microrganismos no manejo do déficit hídrico. Segundo Nephali *et al.* (2021), condições controladas limitam a observação de interações complexas entre plantas, solo e clima, que são determinantes em situações de estresse hídrico em campo aberto.

Outro ponto limitante é o controle de variáveis edafoclimáticas no ambiente de casa de vegetação, onde a uniformidade do solo e a temperatura fixa podem mascarar flutuações que influenciam diretamente o desempenho dos tratamentos aplicados. Hamid *et al.* (2021) destacam que a presença de condições naturais variadas é essencial para validar a eficácia dos bioestimulantes e

microrganismos, pois a variabilidade ambiental pode interferir diretamente na resposta das plantas aos tratamentos aplicados.

Para futuras pesquisas, é recomendado o desenvolvimento de estudos de campo em larga escala, especialmente em áreas do Cerrado, que possui desafios climáticos e edáficos próprios. Estudos conduzidos em campo permitem maior representatividade das condições reais de cultivo, propiciando um cenário mais fiel para a avaliação da eficácia dos bioestimulantes e microrganismos (Goñi; Quille; O'connell, 2018).

Além disso, são necessários estudos que avaliem a aplicação de diferentes formulações e concentrações de bioestimulantes e microrganismos ao longo de ciclos de cultivo prolongados. De acordo com Kaushal *et al.* (2023), a combinação de diferentes tipos de bioestimulantes e microrganismos, aplicados em doses variadas e ao longo de ciclos de cultivo, pode aumentar a resiliência das culturas e adaptar melhor as plantas a estresses sazonais e de longa duração.

Por fim, os estudos futuros também podem explorar a variabilidade de espécies e sua resposta aos bioestimulantes, uma vez que diferentes culturas podem reagir distintamente às combinações de microrganismos e bioestimulantes. Bonatelli *et al.* (2021) apontam que o comportamento diferencial das espécies agrícolas frente aos bioestimulantes indica a necessidade de testar a adaptação específica de cada cultura, promovendo uma agricultura de precisão mais eficiente no contexto do Cerrado.

6 CONCLUSÃO

A altura de planta (AP) e diâmetro de caule (DC) não foram significativos em ambos os tratamentos, diferente do número de folhas (NF), que para bioestimulantes apresentou uma maior média em relação ao

micro + bio e micro (*Ascophyllum nodosum* + *Kappaphycus alvarezii*.) + complexo de aminoácidos contendo (Prolina + arginina).

A variável área foliar foi significativo para os tratamentos, tendo uma média de 516,79 cm².

Na reposição hídrica todas as variáveis tiveram um incremento significativo, mas apenas altura de planta teve uma economia de 2% de água e diâmetro de caule 5,84%, com incremento de 60,4% para altura de planta e 30,86% para diâmetro de caule.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), ao Centro de Excelência em Agricultura Exponencial (CEAGRE), ao Instituto Federal Goiano (IF Goiano) e a Pró-Reitoria de Pesquisa e Inovação (PRPI) da Universidade de Rio Verde (UniRV), pelo apoio financeiro e estrutural para a condução deste estudo.

8 REFERÊNCIAS

ADAMI, M.; HASTENREITER, F. A.; FLUMIGNAN, D. L.; FARIA, R. T. Estimativa de área de folíolos de soja usando imagens digitais e dimensões foliares. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 1053-1058, 2008.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorol, Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ÁLVAREZ, S. P.; ARBELO, O. C.; PÉREZ, M. E.; QUEZADA, G. Á. *Pseudomonas fluorescens* Migula, ¿control biológico o patógeno? **Revista de Protección Vegetal**, Mayabeque, v. 30, n. 3, p. 225-234, 2016.

BONATELLI, M. L.; LACERDA-JÚNIOR, G. V.; REIS JUNIOR, F. B.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I.; MELO, I. S.; QUECINE, M. C. Beneficial Plant-Associated Microorganisms From Semiarid Regions and Seasonally Dry Environments: A Review. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 11, article 553223, p. 1-16, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2020.553223/full>. Acesso em: 29 out. 2024.

BURATTO, J. S. **Teores de minerais e proteínas em grãos de feijão e estimativas de parâmetros genéticos**. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

CARVALHO, T. C.; SILVA, S. S. da; SILVA, R. C. da; PANOBIANCO, M.; MÓGOR, Á. F. Influência de bioestimulantes na germinação e desenvolvimento de plântulas de *Phaseolus vulgaris* sob restrição hídrica. **Revista de ciências agrárias**, Belém, v. 36, n. 2, p. 199-205, 2013.

CASTRO, I. P. de; SILVA, W. F. da. Tolerância ao déficit hídrico na germinação de sementes de soja tratadas com *Bacillus aryabhattai*. **Cerrado Agrocências**, Goiânia, v. 14, p. 46-55, 2023.

CAVALCANTE, W. S. da S.; SILVA, N. F. da; TEIXEIRA, M. B.; CABRAL FILHO, F. R.; NASCIMENTO, P. E. R.; CORRÊA, F. R. Eficiência dos

bioestimulantes no manejo do déficit hídrico na cultura da soja. **Irriga**, Botucatu, v. 25, n. 4, p. 754-763, 2020.

CHAGAS, L. F. B.; CHAGAS JÚNIOR, A. F.; SOARES, L. P.; FIDELIS, R. R. *Trichoderma* na promoção do crescimento vegetal. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 4, n. 3, p. 97-102, 2017.

FEIJÃO. **Acompanhamento da Safra Brasileira: grãos**, Brasília, DF, v. 8, n. 12, p. 1-120, 2024. Safra 2023/24. Décimo segundo levantamento. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/ultimos-boletins-de-safra/e-book_boletimzdezsafraz-z7zlevantamento.pdf. Acesso em: 07 jul. 2024.

DAS, A.; ALBINSSON, P. A. Consumption Culture and Critical Sustainability Discourses: Voices from the Global South. **Sustainability**, Basel, v. 15, n. 9, p. 1-19, 2023.

DENG, C.; LIANG, X.; ZHANG, N.; LI, B.; WANG, X.; ZENG, N. Molecular mechanisms of plant growth promotion for methylotrophic *Bacillus aryabhattai* LAD. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 13, article 917382, p. 1-14, 2022.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira De Biometria**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019.

GOÑI, O.; QUILLE, P.; O'CONNELL, S. *Ascophyllum nodosum* extract biostimulants and their role in enhancing tolerance to drought stress in tomato plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 126, p. 63-73, 2018. Disponível em:

<https://consensus.app/papers/ascophyllum-nodosum-biostimulants-role-enhancing-goñi/9d53b1803b79564b905dbc9c5818a968>. Acesso em: 29 out. 2024.

HAMID, B.; ZAMAN, M.; FAROOQ, S.; FATIMA, S.; SAYYED, R. Z.; BABA, Z. A.; SHEIKH, T. A.; REDDY, M. S.; ENSHASY, H. E.; SURIANI, N. L. Bacterial Plant Biostimulants: A Sustainable Way towards Improving Growth, Productivity, and Health of Crops. **Sustainability**, Basel, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/5/2856>. Acesso em: 29 out. 2024.

KAUSHAL, P.; ALI, N.; SAINI, S.; PATI, P.; PATI, A. M. Physiological and molecular insight of microbial biostimulants for sustainable agriculture. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 14, n. 1, p. 1-17, 2023.

KOLLING, D. F.; SANGOI, L.; SOUZA, C. A. D.; SCHENATTO, D. E.; GIORDANI, W.; BONIATTI, C. M. Tratamento de sementes com bioestimulante ao milho submetido a diferentes variabilidades na distribuição espacial das plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 2, p. 28-253, 2016.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.

NEPHALI, L.; MOODLEY, V.; PIATER, L.; STEENKAMP, P.; BUTHELEZI, N.; DUBERY, I.; BURGESS, K.; HUYSER, J.; TUGIZIMANA, F. A metabolomic landscape of maize plants treated with a microbial biostimulant under well-watered and drought conditions. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 12, n. 1, p. 1-15, 2021.

PINTO, J. V. **Propriedades físicas, químicas, nutricionais e tecnológicas de feijões (*Phaseolus vulgaris* L.) de**

- diferentes grupos de cor.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.
- PRIETO, C. A.; ALVAREZ, J. W. R.; FIGUEREDO, J. C. K.; TRINIDAD, S. A. Bioestimulante, biofertilizante e inoculação de sementes no crescimento e produtividade da soja. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 4, n. 2, p. 1-8, 2017.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- SILVA, N. F.; CLEMENTE, G. S.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; CUNHA, F. N.; AZEVEDO, L. O. S. da; SANTOS, M. A. dos. Manejo fisiológico específico via tratamento de semente na fase inicial da cultura da soja. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 10, n. 2, p. 1-80, 2017.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação.** 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica: Embrapa-CPA, 2004.
- SOUSA, H. C.; SOUSA, G. G. de; VIANA, T. V. A. de; PEREIRA, A. P. de A.; LESSA, C. I. N.; SOUZA, M. V. P. de; SILVA, F. D. B. da. *Bacillus aryabhatai* mitigates the effects of salt and water stress on the agronomic performance of maize under an agroecological System. **Agriculture**, Basel, v. 13, n. 6, p. 1-20, 2023.
- SU, A. Y.; NIU, S. Q.; LIU, Y. Z.; HE, A. L.; ZHAO, Q.; PARÉ, P. W.; ZHANG, J. L. Synergistic effects of *Bacillus amyloliquefaciens* (GB03) and water retaining agent on drought tolerance of perennial ryegrass. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 18, n. 12, article 2651, p. 1-13, 2017.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo.** 3. ed., Brasília, DF: Embrapa, 2017.
- TRAON, D.; AMAT, L.; ZOTZ, F.; DU JARDIN, P. A legal framework for plant biostimulants and agronomic fertilizer additives in the EU. *In: ARCADIA. Report for the European Commission, Enterprise & Industry Directorate – General.* Bruxelas: Editora Arcadia International, 2014. p. 1-133.
- VURUKONDA, S. S. K. P.; VARDHARAJULA, S.; SHRIVASTAVA, M.; SKZ, A. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. **Microbiological research**, Amsterdam, v. 184, p. 13-24, 2016.
- WU, X.; YUAN, J.; LUO, A.; CHEN, Y.; FAN, Y. Drought stress and re-watering increase secondary metabolites and enzyme activity in dendrobium moniliforme. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 94, p. 385-393, 2016.
- YAKHIN, O. I.; LUBYANOV, A. A.; YAKHIN, I. A.; BROWN, P. H. Biostimulants in plant science: a global perspective. **Frontiers in plant science**, Lausanne, v. 7, article 2049, p. 1-32, 2017.