Manejo do déficit hídrico em plantas de soja com a inoculação de microrganismos

Yan Carlos Moraes Magalhães[1], Vytor de Castro Matias[2], Wendson Soares da Silva Cavalcante[3], Pedro Henryque Fernandes Cabral[4], José Gomes Martins Neto[5], Dr. Nelmício Furtado da Silva[6]

[1] Graduando em Agronomia, Universidade de Rio Verde, PIBIC.
[2] Graduando em Agronomia, Universidade de Rio Verde
[3] Mestrando em Produção Vegetal, Universidade de Rio Verde.
[4] Graduando em Agronomia, Universidade de Rio Verde,
[5] Graduando em Agronomia, Universidade de Rio Verde
[6] Professor Dr., Faculdade de agronomia, Universidade de Rio Verde. E-mail: nelmicio@unirv.edu.br

Reitor:
Prof. Dr. Alberto Barella Netto

Pró-Reitor de Pesquisa e Inovação:
Prof. Dr. Carlos César E. de Menezes

Editor Geral:
Prof. Dra. Andrea Sayuri Silveira Dias Terada

Editores de Seção:
Profa. Dra. Ana Paula Fontana
Prof. Dr. Hidelberto Matos Silva
Prof. Dr. Fábio Henrique Baia
Pra. Dra. Muriel Amaral Jacob
Prof. Dr. Matheus de Freitas Souza
Prof. Dr. Warley Augusto Pereira

Fomento:
Programa PIBIC/PIVIC UniRV/CNPq 2023-2024

Resumo: O manejo do déficit hídrico em plantas de soja é de importância devido ao impacto que a escassez de água. A aplicação de microrganismos representa uma abordagem promissora para mitigar os efeitos negativos do déficit hídrico nas plantas de soja. Objetivou-se avaliar a resposta das plantas de soja com a inoculação dos microrganismos nas condições do déficit hídrico. O experimento foi realizado em uma casa de vegetação na Faculdade de Agronomia da Universidade de Rio Verde – Fazenda Fontes do Saber. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial de 2 x 4, sendo 2 condições (Com e Sem) inoculação de microrganismos e 4 níveis de reposição hídrica (25%, 50%, 75% e 100% da Capacidade de campo - CC), com 5 repetições, totalizando 8 tratamentos e 40 unidades experimentais. Os tratamentos previstos para aplicações de microrganismos receberam uma dose de produtos comerciais no tratamento de sementes contendo os microrganismos (*Bacillus aryabhattai*, *Bacillus subtilis* e *Trichoderma asperellum*), onde todos foram misturados, seguindo as recomendações da empresa e da bula. Foram mensuradas as avaliações biométricas para as variáveis altura de planta, diâmetro de caule, número de folíolos e área foliar. Os dados coletados foram submetidos à análise estatística, incluindo análise de variância e testes de média Tukey ($p<0,05$) para dados qualitativos, bem como análise de regressão para dados quantitativos, com um nível de significância de ($p<0,05$), usando o *software* estatístico SISVAR®. Os microrganismos utilizados proporcionaram efeitos significativos para as variáveis de diâmetro de caule (DC) e área foliar (AF).

Palavras-Chave: *Bacillus aryabhattai, Bacillus subtilis, Trichoderma asperellum, Glycine max.*

Management of water deficit in soybean plants with inoculation of microorganisms

Abstract: *Managing water deficit in soybean plants is important due to the impact that water scarcity has. The application of microorganisms represents a promising approach to mitigate the negative effects of water deficit on soybean plants. The objective was to evaluate the response of soybean plants to the inoculation of microorganisms under water deficit conditions. The experiment was carried out in a greenhouse at the Faculty of Agronomy of the University of Rio Verde – Fazenda Fontes do Saber. A completely randomized design (DIC) was used, in a 2 x 4 factorial scheme, with 2 conditions (With and Without) inoculation of microorganisms and 4 levels of water replacement (25%, 50%, 75% and 100% of field - CC), with 5 replications, totaling 8 treatments and 40 experimental units. The treatments planned for applications of microorganisms received a dose of commercial products for treating seeds containing microorganisms (Bacillus aryabhattai, Bacillus subtilis and Trichoderma asperellum), where they were all mixed, following the company's recommendations and the leaflet. Biometric assessments were measured for the variables plant height, stem diameter, number of leaflets and leaf area. The collected data was subjected to statistical analysis, including analysis of variance and Tukey mean tests ($p<0.05$) for qualitative data, as well as regression analysis for quantitative data, with a significance level of ($p<0.05$), using the SISVAR® statistical software. The microorganisms used provided significant effects for the variables of stem diameter (DC) and leaf area (FA).*

Keywords: *Bacillus aryabhattai, Bacillus subtilis, Trichoderma asperellum, Glycine max.*

Introdução

O déficit hídrico é a principal causa climática responsável pelas perdas de produtividade nas regiões produtoras de soja no país, em média de 1.373 kg ha^{-1} seja ele ocasionado por períodos de estiagem ou irrigação ineficiente (Sentelhas et al., 2015). Condições de intensificação de déficit hídrico no solo em área de produção de soja, em decorrência das mudanças climáticas devido aquecimento global, intensificarão estas perdas de produtividade da soja em território nacional. De acordo com Brandalizze (2017) a deficiência hídrica no solo nos períodos de floração e enchimento dos grãos provoca o abortamento de flores e vagens jovens, reduzindo em 45,22% a produtividade.

Visto isso, a disponibilidade de água no período indicado e a quantidade eficiente para suprir a necessidade hídrica das plantas, estabelece o manejo apropriado, por exemplo, da irrigação na soja. A maximização da produtividade da cultura, a minimização do uso da água e do custo de energia, o aumento da eficácia de adubos e manutenção e aprimoramento das condições físicas e químicas do solo, assim como a diminuição da incidência de doenças, são os propósitos estabelecidos desse manejo (Flumignan; Almeida; Garcia, 2015).

Os microrganismos no solo desempenham um papel crucial na promoção da fertilidade do solo e na saúde das plantas, eles são utilizados na agricultura de diversas maneiras para melhorar a produtividade e a sustentabilidade dos cultivos. Na cultura da soja, esses microrganismos desempenham funções vitais. Por exemplo, as bactérias fixadoras de nitrogênio, como as do gênero *Bradyrhizobium*, estabelecem uma simbiose com as raízes da soja, convertendo o nitrogênio atmosférico em uma forma utilizável pela planta, o que reduz a necessidade de fertilizantes nitrogenados sintéticos (Fracassi, 2022).

Diante da hipótese de que o uso dos microrganismos pode mitigar os efeitos do déficit hídrico nas plantas de soja, este trabalho teve como objetivo avaliar a resposta das plantas de soja com a inoculação dos microrganismos nas condições do déficit hídrico.

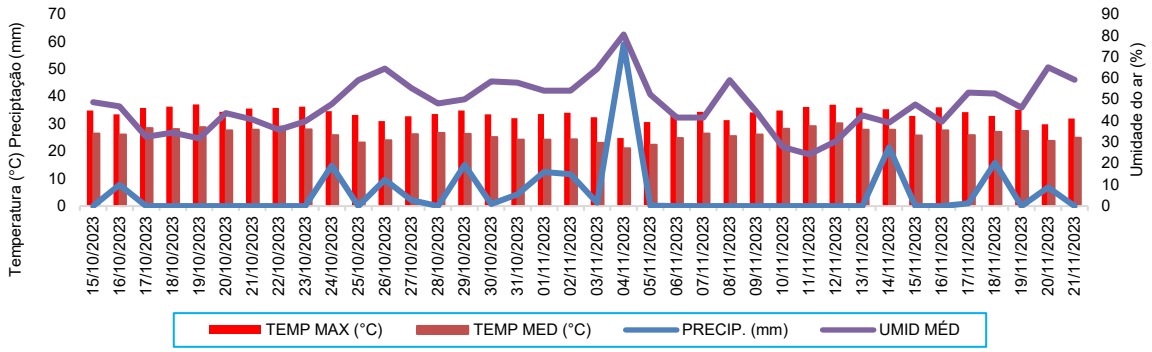
Material e Métodos

Para o manejo do déficit hídrico, em plantas de soja via aplicação de bioestimulante, foi realizado um ensaio em casa de vegetação localizada na Fazenda Fontes do Saber da Universidade de Rio Verde – UniRV entre os meses de outubro e novembro de 2023.

O solo utilizado nos vasos foi coletado na área experimental da faculdade em área de cultivo na camada de 0-20 cm e classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico (LVdf), típico, textura muito argilosa, fase cerrado (Santos et al., 2018).

Antes da instalação do experimento nos vasos foi realizada amostragem do solo, para a caracterização físico-química. 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, de 5L e preenchidos com solo.

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



Fonte: Estação automática Normal INMET – Rio Verde – GO

Figura 1. Dados diários de temperatura média, umidade média e precipitação no período decorrente do experimento, safra 2023-24, Rio Verde – GO

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 400 kg ha^{-1} do formulado 05-25-15, baseado na análise de solo. Para o plantio foi utilizada a cultivar 97R50 IPRO marca Pioneer®, semeada em 15 de outubro de 2023.

A Emergência das plântulas ocorreu aos 5 dias após o plantio. A partir do sétimo dia após o plantio, foram impostas as lâminas de reposição hídrica para começar a estudar os resultados, logo nos estágios iniciais da cultura.

Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial de 2 x 4, sendo 2 condições (com e sem) aplicação de microrganismos e 4 níveis de reposição hídrica (25%, 50%, 75% e 100% da Capacidade de campo – CC), com 5 repetições, totalizando 8 tratamentos e 40 unidades experimentais.

Os tratamentos previstos de aplicações de microrganismos receberam uma dose de produtos comerciais no tratamento de sementes contendo os microrganismos (*Bacillus aryabhattai, Bacillus subtilis* e *Trichoderma asperellum),* onde todos foram misturados, seguindo as recomendações da empresa e da bula. Todos os tratamentos receberam aplicação de inoculante comercial Nodumax® líquido à base de (*Bradyrhizobium japonicum* na concentração de 7,2 x 10^9 e dose de 2 mL/ kg de semente).

Os produtos comerciais utilizados foram: Arid® à base de (*Bacillus aryabhattai* na dose de 2 mL/kg de semente); Bactrix® à base de (*Bacillus subtilis* na dose de 2 mL/kg de semente); e Triene® à base de (*Trichoderma asperellum* na dose de 2 mL/kg 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). Quando as plântulas de soja estavam com 7 dias após o plantio (DAP) iniciou-se a aplicação dos tratamentos de reposição hídrica. Os dados de lâmina de reposição hídrica aplicado durante o ensaio estão descritos na Tabela 2.

Tabela 1. Balanço da reposição hídrica em função dos tratamentos, safra 2023-24, 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 e CC – Capacidade de campo. Fonte: autoria própria.

A coleta de dados biométricos ocorreu com 30 dias após o plantio (DAP). Foram determinadas as seguintes variáveis: altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC), número de folíolos (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 folíolos emitidos na haste principal.

A determinação da área foliar (cm^2) foi realizada através da mensuração do maior comprimento e maior largura de todos os folíolos, 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 folíolos

Os dados coletados foram submetidos a análise estatística, incluindo análise de variância e testes de média Tukey ($p<0,05$) para dados qualitativos, bem como, análise de regressão para dados quantitativos, com um nível de significância de $p<0,05$, usando o software estatístico SISVAR® (Ferreira, 2014).

Resultados e Discussão

A reposição hídrica (RH) teve efeito significativo em todas as variáveis analisadas (AP, DC, NF, AF). Isso indica que os diferentes níveis de reposição hídrica, variando de 25% a 100% da capacidade de campo, influenciaram significativamente o desenvolvimento das plantas de soja em relação à altura, diâmetro do caule, número de folhas e área foliar.

A interação entre (Micro e RH) mostrou-se significativa para algumas variáveis, como o número de folíolos (NF) e área foliar (AF), isso sugere que a aplicação de microrganismos pode interagir com a reposição hídrica, potencialmente otimizando certos aspectos do crescimento das plantas. A associação sinérgica entre a presença de microrganismos benéficos e a disponibilidade de água pode ter implicações positivas no desenvolvimento foliar.

Embora os resultados do presente estudo apontam a interação dos microrganismos, como *Bacillus aryabhattai, Bacillus subtilis e Trichoderma asperellum*, no aumento do diâmetro do caule das plantas, é interessante considerar estudos anteriores que apresentam essa associação benéfica. De acordo com Piter et al. (2020), a inoculação de microrganismos benéficos pode promover o fortalecimento estrutural das plantas, resultando em um maior diâmetro do caule. Esses achados sugerem uma consistência nas respostas das plantas à presença de determinadas espécies microbianas.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para as variáveis altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC), número de folíolos (NF) e área foliar (AF), em função da fonte de variação, Safra 2023-24, Rio Verde – GO

FV	GL	Quadrados médios			
		AP	DC	NF	AF
Micro	1	0,100000 ^{ns}	0,265690 **	0,756250 ^{ns}	7960,862 **
RH	3	69,420833 **	0,508620 **	25,272917 **	7798,136 **
Micro x RH	3	3,437500 ^{ns}	0,035843 ^{ns}	7,222917 **	213,8129 **
Rep	4	22,294531 **	0,052381 ^{ns}	1,553125 ^{ns}	853,5071 *
Resíduo	28	3,763281	0,030228	0,724554	283,7392
CV (%)		7,73	5,50	8,97	14,04

^{ns} não significativo e *; ** significativo respectivamente a 5 e 1% de probabilidade segundo teste F. FV – fonte de variação; GL – Grau de Liberdade; e CV – Coeficiente de Variação; Rep – Repetição; RH – Reposição hídrica e Micro – Microrganismos (*Bacillus aryabhattai* + *Bacillus subtilis* + *Trichoderma asperellum)*.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 3, é possível observar algumas tendências e diferenças entre os tratamentos avaliados no estudo sobre o manejo do déficit hídrico em plantas de soja com a inoculação de microrganismos. Observou-se no diâmetro de caule (DC), que o tratamento com microrganismos tem efeito significativo nas lâminas de 25%, 50% e 75% da capacidade de campo (CC), porém na lâmina de 100% não há um efeito significativo. Esses resultados indicam que a aplicação de microrganismos pode ter influenciado positivamente o desenvolvimento do caule e a área foliar nessas condições de déficit hídrico moderado.

Tabela 3. Teste de média para as variáveis altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC), número de folíolos (NF), área foliar (AF), em função dos tratamentos, Safra 2023-24, Rio Verde – GO

Micro	AP		DC		NF		AF	
	cm planta^{-1}		mm				cm^2	
RH	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem
25%	21,00	21,65	2,95 a	2,69 b	7,90	6,50	98,32 a	60,60 b
50%	25,10	26,25	3,32 a	3,16 b	8,80	10,60	136,44a	115,5b
75%	28,00	26,90	3,38 a	3,15 b	11,20	9,30	160,37a	125,8b
100%	26,50	25,40	3,30 a	3,31 a	10,60	11,00	141,08a	121,3b

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si segundo teste Tukey ($p<0,05$). RH – Reposição hídrica; Micro – Microrganismos (*Bacillus aryabhattai* + *Bacillus subtilis* + *Trichoderma asperellum)*; Com – Com microrganismos; Sem – Sem microrganismos. Fonte: autoria própria.

Com base na análise dos dados resultados, a inoculação de microrganismos parece ter um impacto positivo no desenvolvimento das plantas de soja em condições de déficit hídrico para as variáveis fisiológicas mensuradas, como altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas e área foliar. Onde podemos citar os resultados obtidos por Costa (2022), que obteve incremento no crescimento, produção de biomassa e na absorção de nutrientes de plantas, através da inoculação de microrganismos. Adicionalmente Mattos (2017), verificou que os tratamentos com a inoculação de microrganismos, no que se refere à altura de plantas de soja, tiveram os melhores resultados, obtendo efeito positivo dos microrganismos.

As discrepâncias encontradas nas variáveis de diâmetro do caule e área foliar sugerem que os microrganismos podem desempenhar um papel importante na absorção de nutrientes, na promoção do crescimento vegetal e na eficiência da fotossíntese, especialmente em condições de déficit hídrico.

Conclusão

A inoculação dos microrganismos proporcionou um favorecimento no crescimento do diâmetro de caule (DC) e de área foliar (AF) das plantas de soja atingindo seu ponto máximo nas lâminas de, respectivamente, 67,5% e 81,5% da capacidade de campo (CC).

Agradecimentos

Os autores agradecem às instituições que financiaram a execução do trabalho (CNPq, FAPs, CAPES, UniRV-PIBIC.

Referências Bibliográficas

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**, v. 67, n. 4, p. 1053-1058, 2008.

BRANDALIZZE, V. Realidade e perspectivas de mercado e comercialização da soja no Brasil e no mundo. In: FANCELLI, A. L. **Soja: Condicionantes de alta produtividade**. Piracicaba: USP/ESALQ/LPV, 2017, P. 1-29.

COSTA, S. D. A. ***Bacillus subtilis* associado a *Trichoderma asperellum* e seus efeitos na morfometria, uso de nutrientes e fisiologia de capim Marandu**. 2022. Tese de Doutorado. Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2022.

FLUMIGNAN, D. L., ALMEIDA, A. C. S., GARCIA, R. A. Necessidade de Irrigação Complementar da Soja na Região Sul de Mato Grosso do Sul. Dourados: **Embrapa Agropecuária Oeste**, 2015. 8p. (Circular Técnica, 34).

FRACASSI, N. A. Microrganismos benéficos na cultura da soja. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2022.

MATTOS, M. **Promoção do crescimento de soja a partir da inoculação de sementes com microrganismos não noduladores**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal da Fronteira Sul. 2017

PITER, J., BROWN, A., JOHNSON, M. SAM, L. Microbial Inoculation Strengthens Plant Structural Integrity: Insights from *Bacillus spp.* and *Trichoderma asperellum*. **Plant Science Journal,** 35(2), 210-225, 2020.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; DOS ANJOS, L. H. C.; DE OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; CUNHA, T. J. F. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5.ed. Brasília: **Embrapa**, 2018. 355p.

SENTELHAS, P. C., BATTISTI, R., CÂMARA, G. M. S., FARIAS, J. R. B., HAMPF, A. C., & NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil–magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **The journal of agricultural science**, 153(8), 1394-1411, 2015.