

IRINEU EDUARDO KÜHN

**AÇÃO DE BIOESTIMULANTES NA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DO DÉFICE
HÍDRICO NA CULTURA DA SOJA**

Botucatu

2023

IRINEU EDUARDO KÜHN

**AÇÃO DE BIOESTIMULANTES NA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DO DÉFICE
HÍDRICO NA CULTURA DA SOJA**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Broetto

Botucatu

2023

K96a

Kühn, Irineu Eduardo

Ação de bioestimulantes na mitigação dos efeitos do déficit hídrico na cultura da soja / Irineu Eduardo Kühn. -- Botucatu, 2023

102 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu

Orientador: Fernando Broetto

1. Tolerância a seca. 2. Microrganismos benéficos. 3. Mitigação do estresse hídrico. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor.

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: AÇÃO DE BIOESTIMULANTES NA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DO DÉFICE HÍDRICO
NA CULTURA DA SOJA

AUTOR: IRINEU EDUARDO KÜHN

ORIENTADOR: FERNANDO BROETTO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA
(IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. FERNANDO BROETTO (Participação Presencial)
Química e Bioquímica / Instituto de Biociências de Botucatu UNESP

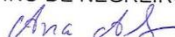
Prof. Dr. EDILSON RAMOS GOMES (Participação Presencial)
Engenharia Agrônoma / Faculdades Integradas de Bauru



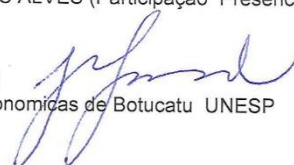
p/ Prof. Dr. RICARDO GAVA (Participação Virtual)
Agronomia / Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



Pesquisadora Dr.^a ANA CAROLINA CHRISTINO DE NEGREIROS ALVES (Participação Presencial)
/ Rigrantec Tecnologia para Sementes



Prof. Dr. JOÃO CARLOS CURY SAAD (Participação Presencial)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu UNESP



Botucatu, 24 de fevereiro de 2023

Ao Marcel Fabian Kühn,

*Meu irmão já não se encontra mais entre nós!
 Deus nos dá a cada um, Vida Única, para sermos
 Guardiões dela, porém a Ele pertence. Ao crepúsculo
 da nossa missão neste plano, a Ele temos de devolvê-
 la. Em 2022, Deus chamou mais um Grande
 Guerreiro e Guardião para Sua companhia!
 Descanse em paz meu irmão, meu amigo.*

In Memoriam

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Aos meus queridos pais, Edemar Kühn e Ligiane Reginatto, por apoiar esta caminhada.

A toda minha família, amigos e colegas, que estiveram juntos e ajudaram sempre.

Ao Prof. Dr. Fernando Broetto, pela orientação, ensinamentos, exemplo de professor, e amizade firmada.

A todos os professores e técnicos da Unesp-FCA.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 001.

RESUMO

Os obstáculos a serem superados para alcançar as altas produtividades na cultura da soja são muitos, como pragas, doenças e manejo de plantas daninhas. Entretanto, o principal é a falta de água para as plantas durante o ciclo de cultivo. A maior parte da soja nacional é produzida em cultivo sequeiro, o qual depende da disponibilidade de águas pluviais. As áreas tradicionais de cultivo frequentemente sofrem com veranicos e estiagens, afetando a produtividade. Para minimizar estes efeitos, algumas pesquisas começaram a estudar substâncias orgânicas e inorgânicas, além de microrganismos que podem atenuar os efeitos de estresses e, consequentemente, a garantia da produção vegetal. Tais substâncias e microrganismos foram denominados bioestimulantes e são compostos por elementos benéficos. Entre esses, destacam-se extratos de algas, fungos, substâncias húmicas, bactérias benéficas, e elementos minerais, os quais tem mostrado eficiência na mitigação dos efeitos negativos de estresses físicos, biológicos e a deficiência hídrica. Esta pesquisa, buscou-se avaliar o efeito dos bioestimulantes em plantas de soja submetidos ao déficit hídrico. O delineamento experimental foi em parcelas subdivididas, com duas lâminas de irrigação e oito tratamentos compostos por bioestimulantes e 4 repetições. Nas parcelas foram aplicados os tratamentos hídricos na forma de lâminas de irrigação: capacidade de campo e déficit hídrico; nas subparcelas foram organizados os tratamentos com bioestimulantes (B1 a B8): *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rhodopseudomonas palustres* (B1), *Rhizophagus irregularis* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *L. calcareum* e substâncias húmicas (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascochyta nodosum* (B7), Controle (B8). Foram realizadas avaliações morfológicas e fisiológicas e de produção de grãos. Os bioestimulantes compostos por Silício e *Rhizophagus irregularis* apresentaram os melhores resultados para a mitigação dos efeitos do déficit hídrico. Os bioestimulantes aplicados resultaram em efeito benéfico tanto para amenizar a deficiência hídrica, quanto para contribuir no aumento da produção de grãos em condição ideal de umidade do solo.

Palavras-chave: tolerância à seca; microrganismos benéficos; mitigação do estresse hídrico.

ABSTRACT

There are many obstacles to be overcome to achieve high yields in soybeans, such as pests, diseases and weed management. However, the main thing is the lack of water for the plants during the growing cycle. Most of the national soy is produced in rainfed cultivation, which depends on the availability of rainwater. Traditional cultivation areas often suffer from dry spells and dry spells, affecting productivity. To minimize these effects, some research began to study organic and inorganic substances, as well as microorganisms that can mitigate the effects of stress and, consequently, the guarantee of plant production. Such substances and microorganisms were called biostimulants and are composed of beneficial elements. Among these, extracts of algae, fungi, humic substances, beneficial bacteria, and mineral elements stand out, which have shown efficiency in mitigating the negative effects of physical and biological stress and water deficiency. This research sought to evaluate the effect of biostimulants on soybean plants subjected to water deficit. The experimental design was in split plots, with two irrigation depths and eight treatments composed of biostimulants and 4 replications. Water treatments were applied in the plots in the form of water management: field capacity and water deficit; The treatments with biostimulants (B1 to B8) were organized in the subplots: *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* and *Rhodopseudomonas palustris* (B1), *Rhizophagus irregularis* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* and *L. farciminius* (B3), Silicon (B4), *L. calcareum* and humic substances (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascochyta nodosum* (B7), Control (B8). Morphological and physiological evaluations and grain production were carried out. Biostimulants composed of Silicon and *Rhizophagus irregularis* showed the best results for mitigating the effects of water deficit. The applied biostimulants resulted in a beneficial effect both to alleviate the water deficit and to contribute to the increase in grain production in ideal soil moisture conditions.

Keywords: drought tolerance; beneficial microorganisms; mitigation of water stress.

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1 - Avaliações fisiológicas, bioquímicas e relações hídricas de plantas de soja submetidas a aplicação de bioestimulantes e déficit hídrico

Tabela 1 - Potencial hídrico (Ψ_t) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE).....	36
Tabela 2 - Conteúdo relativo de água (CRA) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE)..	37
Tabela 3 - Perda de eletrólitos (PE) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE).....	38
Tabela 4 - Fotossíntese de plantas (A) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE).....	39
Tabela 5 - Condutância estomática (g_s) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE).....	40
Tabela 6 - Concentração interna de carbono (C) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE).	40
Tabela 7 - Transpiração (E) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE)..	41
Tabela 8 - Clorofila a (CLO A) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE)..	42
Tabela 9 - Clorofila b (CLO B) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE)..	43
Tabela 10 - Carotenoides totais (CARO) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE).	43
Tabela 11 - Proteína solúvel total (PST) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE).....	44
Tabela 12 - Teor de L-Prolina (L-PRO) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE)..	45
Tabela 13 - Atividade da superóxido dismutase (SOD) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE)..	46
Tabela 14 - Atividade da catalase (CAT) de plantas de soja em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE).	46
Tabela 15 - Atividade da nitrato redutase (NR) de plantas de soja em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE)..	47
Tabela 16 - Atividade da glutamina sintetase (GS) de plantas de soja em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE)..	48

Capítulo 2 - Avaliações biométricas morfológicas, componentes de produção e produtividade de plantas de soja submetidas a aplicação de bioestimulantes e déficit hídrico

Tabela 1 - Altura média das plantas de soja em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência.	73
Tabela 2 - Diâmetro de caule de plantas de soja em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência..	74

Tabela 3 - Altura de inserção da primeira vagem em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 70 dias após a emergência..	75
Tabela 4 - Número de trifólios em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência..	76
Tabela 5 - Área foliar em plantas de soja em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência..	77
Tabela 6 - Massa fresca do caule em plantas de soja em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência..	78
Tabela 7 - Massa seca do caule em plantas de soja em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência..	78
Tabela 8 - Massa fresca de folhas em plantas de soja em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência..	79
Tabela 9 - Massa seca de folhas em plantas de soja em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência..	80
Tabela 10 - Massa fresca de vagens em plantas de soja em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência..	80
Tabela 11 - Massa seca de vagens em plantas de soja em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência..	81
Tabela 12 - Massa fresca de raiz em plantas de soja em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência..	81
Tabela 13 - Massa seca de raiz em plantas de soja em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência..	82
Tabela 14 - Número de vagens por planta em plantas de soja em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 90 dias após a emergência.....	83
Tabela 15 - Número de grãos por vagem em plantas de soja em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 90 dias após a emergência.....	83
Tabela 16 - Massa de mil grãos de soja em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 90 dias após a emergência..	84
Tabela 17 - Produtividade de grãos de soja em kg ha ⁻¹ em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 90 dias após a emergência..	85

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	17
CAPÍTULO 1 - AVALIAÇÕES FISIOLÓGICAS BIOQUÍMICAS E RELAÇÕES HÍDRICAS DE PLANTAS DE SOJA SUBMETIDAS A APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTES E DÉFICE HÍDRICO.....	22
1.1 INTRODUÇÃO.....	24
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
1.3 RESULTADOS	35
1.4 DISCUSSÕES.....	48
1.5 CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIAS.....	54
CAPÍTULO 2 - AVALIAÇÕES BIOMÉTRICAS MORFOLÓGICAS, COMPONENTES DE PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE SOJA SUBMETIDAS A APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTES E DÉFICE HÍDRICO.....	61
2.1 INTRODUÇÃO.....	63
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	64
2.3 RESULTADOS.....	72
2.4 DISCUSSÃO.....	85
2.5 CONCLUSÃO.....	90
REFERÊNCIAS.....	91
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	97
REFERÊNCIAS.....	99

INTRODUÇÃO GERAL

A soja é uma leguminosa de importância mundial, sendo que seus grãos apresentam elevado teor proteico e lipídico. Os derivados da soja são utilizados para alimentação humana e animal, além de fornecer biomassa para produção de energia, como o biodiesel.

A soja é uma planta herbácea classificada como C3, porte ereto, dicotiledônea, ordem Rosales, família Fabaceae (leguminosas), subfamília Papilionoideae, gênero *Glycine* L. Apresenta, durante o seu ciclo, a fase de desenvolvimento vegetativo, que vai da emergência da plântula até a pré-floração e a fase reprodutiva, que compreende da floração até a maturação fisiológica dos grãos (BORÉM, 2005).

A soja é uma das cinco culturas mais importantes do mundo. Os valores globais de importação e exportação de soja ultrapassaram todas as outras culturas importantes, como trigo, arroz e milho, mesmo sem a inclusão de óleo de soja ou outros produtos processados (XIONG et al., 2021). Os grãos de soja são amplamente utilizados na indústria de alimentos como uma rica fonte de proteína de alta qualidade e óleo comestível (NIWIŃSKA et al., 2020). No entanto, a cultura necessita de condições ideais de umidade para apresentar seu potencial produtivo.

A cultura da soja é cultivada em regiões tropicais, subtropicais e temperadas. Porém, a maior parte da produção global é restrita pelo risco climático, particularmente o estresse hídrico, devido à crescente variabilidade na temperatura do ar e chuvas, escassez hídrica severa e recursos hídricos agrícolas limitados (KUNERT et al., 2016).

O déficit hídrico (DH) é o principal fator limitante do rendimento das culturas, e tem sido um importante desafio para a produção de grãos, sendo o fator ambiental mais limitante, especialmente nas regiões semiáridas (FRITCHE-NETO; BORÉM, 2011). As estatísticas mundiais mostraram que as áreas afetadas pela seca aumentaram mais do que o dobro durante os últimos 40 anos e as perdas de produção agrícola devido o estresse hídrico excederam as perdas totais ocorridas por todos os outros estresses abióticos (FAO, 2017)

O estresse hídrico afeta negativamente a emergência, área foliar, crescimento e desenvolvimento de raízes, caule, produção de biomassa, iniciação floral, fertilização, desenvolvimento de sementes, rendimento de sementes, bem como a

qualidade da semente (DU et al., 2020). Portanto, o estresse hídrico é considerado o fator limitante mais importante para o cultivo da soja.

Segundo Dong et al. (2019) plantas de soja são mais sensíveis ao estresse hídrico no estágio reprodutivo, apresentando alterações de seus processos fisiológicos e bioquímicos, como resposta ao DH. No entanto essas alterações prejudicam o desenvolvimento e perda de produtividade.

Nesse contexto, o entendimento do mecanismo de resposta vegetal à deficiência hídrica, durante as fases críticas de cultivo, é de fundamental importância para a obtenção de cultivares mais tolerantes à seca (FURLAN et al., 2014).

Segundo estudos de Buezo et al. (2019), quando as plantas da soja sofrem por falta de água, elas são capazes de responder com alterações que resultam em mudanças na relação da célula com a água e nos seus processos morfofisiológicos, e influenciam a sua capacidade de tolerar as condições adversas do meio. A escassez de água no desenvolvimento vegetativo, prejudica tanto no crescimento inicial das plantas como nos estádios mais tardios, pois causa diminuição de área foliar, limitada pela dimensão e número de folhas, acarretando menor taxa fotossintética, prejudicando o desenvolvimento das plantas (MORAES, 2011).

Desta forma, há a necessidade de alternativas que consigam mitigar os efeitos danosos do DH, reduzindo as perdas de produtividade. Autores como Galindo et al. (2020) e Moradtalab et al. (2019), afirmam que o uso de bioestimulantes apresentam-se como uma alternativa para estimular os processos fisiológicos e absorção de nutrientes pelas plantas, colaborando para a tolerância ao estresse hídrico.

Por definição os bioestimulantes são classificados como substâncias oriundas ou não da associação com biorreguladores vegetais, ou destes com outras moléculas (aminoácidos, nutrientes e vitaminas), os quais podem ser aplicados via foliar, via sementes ou no solo (SHAHRAJABIAN et al., 2021).

Segundo Du Jardin (2015) e Chiaiese et al. (2018) existem diversos compostos que podem ser classificados como bioestimulantes, estando situados nas seguintes categorias: ácidos húmicos e fúlvicos; proteínas hidrolisadas e outros componentes nitrogenados; fungos e bactérias benéficas; componentes inorgânicos; extratos de algas; quitosana e outros biopolímeros.

As algas marinhas são organismos macroscópicos multicelulares encontrados em ecossistemas marinhos costeiros e são rica fonte de polissacarídeos, ácidos graxos poli-insaturados, enzimas e peptídeos bioativos, entre outros (COURTOIS,

2009; RAPOSO et al., 2013; AHMADI et al., 2015; SHUKLA et al., 2016; OKOLIE; MASON; CRITCHLEY, 2018).

Dentre os extratos de algas que podem ser utilizados na agricultura, destaca-se o *Ascophyllum nodosum*, fonte de nutrientes, aminoácidos, vitaminas e hormônios vegetais, que quando fornecidos de forma exógena as plantas, desencadeiam alterações positivas no seu metabolismo e favorecem seu desenvolvimento (ROUPHAEL et al., 2017). Vários extratos comerciais de *A. nodosum* demonstraram melhorar o crescimento das plantas, mitigar alguns estresses abióticos e bióticos, além de melhorar as defesas das plantas pela regulação de processos moleculares, fisiológicos e bioquímicos (SHUKLA et al., 2019).

Os efeitos da aplicação de extratos de algas marinhas, como *A. nodosum* podem ser atribuídos à atividade sinérgica de alguns compostos, como hormônios, betaínas, poliaminas, alginatos, carrageninas, fucanos e florotaninos (STIRK; VAN STADEN, 2020)

Por apresentar em sua composição giberelina, citocianina e auxina, a aplicação do extrato de *A. nodosum* pode atuar sobre a divisão celular e a síntese proteica. Além disso, por possuir compostos antioxidativos, tem a capacidade de estimular a antecipação de mecanismos de defesa das plantas aos estresses bióticos e abióticos (SHUKLA et al., 2019).

Além disso, tem também o *Lithothamnium calcareum* é uma alga vermelha do filo das *Rhodophytas*, ordem *Corallinales* e família *Hopalídiaceae* (WADAS; DZIUGIEL, 2020). A aplicação do extrato desta alga vem crescendo na agricultura, devido ao seu alto teor de nutrientes, principalmente os carbonatos de cálcio e magnésio, e fitohormônios.

Outros microrganismos utilizados na agricultura são os fungos, de forma que a interação entre os fungos de solo e plantas pode ser positiva ou negativa. No caso do fungo micorrízico arbuscular (FMA) *Rhizophagus irregularis*, é positiva, pois nesta simbiose, a planta fornece carboidratos ao microrganismo, em contrapartida rizosfera facilitando a absorção de água e a disponibilização de nutrientes do solo para a absorção pelas raízes, e auxilia na proteção contra patógenos de raízes, e promove alguma tolerância a estresses tanto bióticos quanto abióticos (GUTJAHR; PARNISKE, 2013; WILCHES-ORTIZ et al., 2019).

Segundo Tamayo-Aguilar et al. (2020), a inoculação de *R. irregularis* em sementes de feijão propiciou aumento na altura de plantas, no diâmetro do caule e na

produtividade de grãos, quando em comparação com o tratamento controle. Gitonga et al. (2020), em um estudo de coinoculação com *R. irregularis* e *Bradyrhizobium japonicum* em sementes de soja, aumentaram a fixação de nitrogênio pelas plantas.

Dentre os compostos inorgânicos, o silício (Si) pode ser denominado como um composto bioestimulante devida seu efeito positivo no desenvolvimento e produção das culturas, podendo ainda, mitigar os efeitos deletérios de estresses bióticos e abióticos (SAVVAS; NTATSI, 2015; DAOUD et al., 2018; SZULC et al., 2019; CRISTOFANO; EL-NAKHEL; ROUPHAEL; COLLA, 2021; AZAD et al., 2021).

O Si atua principalmente na deposição de sílica na parede celular e membranas, o que envolve redução de danos oxidativos, melhoria das condições hídricas das plantas e regulação osmótica, mantendo a absorção de água e nutrientes, garantindo assim, a eficiência dos processos fotossintéticos das plantas (ROUPHAEL; COLLA, 2020).

Nos últimos anos tem aumentado o interesse agrícola sobre a utilização de bactérias benéficas para o meio agrícola. Os estudos têm demonstrado que a utilização de rizobactérias, como: *Azospirillum*, *Aminobacter*, *Bacillus*, *Bradyrhizobium*, *Rhizobium*, *Agrobacter*, *Xanthomonas*, *Pseudomonas*, ajudam na fixação de nitrogênio biológico no solo, solubilização de fosfatos e potássio, produção de hormônios vegetais como auxinas, citocininas, giberelinas e ácido abscísico e produção de polissacarídeos e outros compostos importantes para a manutenção da vida das plantas (VELASCO-JIMENEZ et al., 2020).

Susilowati; Pupsita e Yunus (2018), realizaram um estudo de resistência de bactérias na cultura da soja sob escassez hídrica, os resultados mostraram que *Bacillus* sp., *B. licheniformis*, *B. megaterium* e *B. pumilus* produziram polissacarídeos tolerantes ao déficit hídrico. O *B. amyloliquefaciens* também tem apresentado resultados positivos em trabalhos na cultura da soja, acelerando processos de nodulação em coinoculação com *B. rhizobium*, promovendo aumento de massa seca de folhas e ramos, incrementando a produtividade de grãos, e mitigando os efeitos do déficit hídrico (BERNARDES, 2019; SILVA, 2019).

Já o *Rhodopseudomonas palustres*, é uma bactéria fototrófica, capaz de transformar compostos orgânicos complexos em biomassa e energia, e há pouco começou a ser utilizada como bioestimulante na agricultura. Além de promover crescimento da planta, pode aumentar a eficiência da absorção de nutrientes (WONG, 2014).

As várias cepas de bactérias, *Rhodopseudomonas palustri* e *Rhodopseudomonas faecalis*, são conhecidas por desempenhar papel na mitigação de estresses abióticos e promover o crescimento da planta em termos de fixação de nitrogênio de fosfato, solubilização e produção de hormônios vegetais (BATOOL; ZAHRA; REHMAN, 2017)

Lactobacillus rhamnosus é um probiótico utilizado como suplemento nutricional, para manter o equilíbrio da microbiota intestinal (FIESCH; POZIOMYCK, 2014), se aderindo à receptores específicos, competindo com patógenos, além de produzir substâncias antimicrobianas (MARCO; PAVAN; KLEEREBEZEM, 2004).

Bactérias probióticas como *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis*, quando utilizadas em quantidades adequadas promovem efeitos benéficos para o hospedeiro (LANGELLA; MARTÍN, 2019). Esses efeitos benéficos são decorrentes do fornecimento de nutrientes, como também, a redução de patógenos prejudiciais ao hospedeiro (KLEEREBEZEM et al., 2019).

Segundo Santoyo et al. (2021), o uso de bioestimulantes tem ganhado interesse no uso na agricultura, apresentando um aumento na comercialização, com efeitos positivos no crescimento das plantas (JOSHI et al., 2020). Diante do exposto, verifica-se efeito promissor do uso de bioestimulantes na agricultura, reduzindo os impactos de estresses ambientais.

CAPÍTULO 1

AVALIAÇÕES FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE PLANTAS DE SOJA SUBMETIDAS A APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTES E DÉFICE HÍDRICO

Resumo: A cultura da soja apresenta grande importância econômica e social, sendo cultivada em diversas regiões do Brasil. No entanto, a cultura demonstra sensibilidade a escassez hídrica, a qual causa restrições em seu desenvolvimento e perdas de produtividade. Diante disso, esta pesquisa teve como objetivo analisar os efeitos dos bioestimulantes em plantas de soja, submetida ao déficit hídrico. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com parcelas subdivididas e quatro repetições. Nas parcelas, foram aplicados os tratamentos hídricos, duas lâminas de irrigação, uma denominada como Capacidade de Campo e outra denominada Déficit Hídrico. Nas subparcelas, foram oito tratamentos bioestimulantes, aplicados nas sementes no momento da semeadura. O estresse hídrico foi aplicado quando a cultura entrou no estágio fenológico reprodutivo e estendeu-se até o final do ciclo. O déficit hídrico causou alterações nos processos fisiológicos e bioquímicos das plantas, apresentando maior atividade das enzimas antioxidativas e degradações da membrana. Os bioestimulantes a base de Silício e *Rhizophagus irregularis* apresentaram resultados promissores, reduzindo os efeitos negativos do déficit hídrico. Os bioestimulantes aplicados resultaram em efeito benéfico para amenizar os danos causados pela deficiência hídrica.

Palavras-chave: Estresse hídrico; alterações fisiológicas; danos oxidativos; *Glycine max* (L.) Merrill.

BIOCHEMICAL PHYSIOLOGICAL EVALUATIONS RELATIONS OF SOYBEAN PLANTS SUBMITTED TO THE APPLICATION OF BIO-STIMULANTS AND WATER DEFICIT

Abstract: The soybean crop has great economic and social importance, being cultivated in several regions of Brazil. However, the crop demonstrates sensitivity to water deficit, which causes restrictions on its development and grain yield losses. Therefore, this research aimed to analyze the effects of biostimulants on soybean plants submitted to water deficit. The experimental design was in randomized blocks with split plots and four replications. In the plots, water treatments were applied, two irrigation depths, one called field capacity, and another called water deficit. In the subplots, eight biostimulants treatments were applied to the seeds at the time of sowing. Water stress was applied when the crop entered the reproductive phenological stage and extended until the end of the cycle. The water deficit caused alterations in the physiological and biochemical processes of the plants, with greater activity of antioxidative enzymes and membrane degradation. Silicon-based biostimulants and *Rhizophagus irregularis* showed promising results, reducing the negative effects of water deficit. The applied biostimulants resulted in a beneficial effect to alleviate the damage caused by water deficit.

Keywords: water stress; physiological changes; oxidative damage; Glycine max (L.) Merrill.

1.1 INTRODUÇÃO

A baixa disponibilidade hídrica impacta na produtividade das culturas, além de ser um fator limitante para a cultura da soja, sendo que a redução na produção agrícola total anual causada pela deficiência hídrica (DH) representa mais de 50% das perdas de produtividade causada por fatores ambientais. Além disso, as projeções climáticas futuras apresentam uma tendência no aumento da temperatura do ar, o que provocará aumento da evapotranspiração das culturas (JIA et al., 2019).

Sob condições de DH, há maior resistência na absorção de água pelas plantas, o que aliado a demanda evaporativa excessiva, causa efeitos adversos na fisiologia das plantas (XU et al., 2018). Em condições de estresse hídrico, ocorre a geração de espécies reativas de oxigênio (EROs) nas células vegetais, que podem degradar o aparato fotossintético, prejudicando o crescimento e produção das plantas (FENG et al., 2020).

Para resistir aos danos potenciais do DH, as plantas desenvolveram mecanismos para tolerar condições adversas a longo prazo e passam por alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas para se adaptar ao estresse e completar seu ciclo de vida (SHEN et al., 2017). Diversos estudos foram realizados sobre a morfologia da planta e as características fisiológicas e bioquímicas, a fim de explorar o potencial de resistência à seca da soja para melhorar a tolerância da planta à escassez hídrica (MA et al., 2012; JIANG et al., 2014; WU et al., 2014; CHIMUNGU et al., 2015).

No entanto, novas alternativas estão sendo estudadas para mitigar a influência negativa da escassez hídrica nas culturas. O objetivo é utilizar alternativas que possam reduzir as perdas de produtividade de forma sustentável, ou seja, que não tenha efeitos negativos ao meio ambiente e que use os recursos naturais de forma eficiente.

Os bioestimulantes apresentam-se como uma alternativa, os quais podem regular e modificar os processos fisiológicos em plantas, podendo estimular o crescimento, mitigar as limitações induzidas pelo estresse e aumentar o rendimento (GALINDO et al., 2020; MORADTALAB et al., 2019). Os bioestimulantes têm sido usados em todas as fases da produção agrícola, inclusive como tratamentos de sementes, como pulverizações foliares durante o crescimento e na pós-colheita.

O uso de bioestimulantes na agricultura apresentam vários efeitos benéficos, melhorando o desenvolvimento das plantas, regulação osmótica, manutenção do conteúdo de água nas células, induzindo a atividade antioxidativa, diminuindo os efeitos deletérios nos processos fisiológicos das plantas, e por fim, aumentando a produtividade das culturas (DU JARDIN, 2015; VAN OOSTEN et al., 2017; BALESTRINI et al., 2018; ULLAH et al., 2019).

Os bioestimulantes são todos estimulantes vegetais, podendo ser compostos por substâncias ou microrganismos tais como enzimas, proteínas, aminoácidos, bactérias, fungos, micronutrientes e compostos inorgânicos (DU JARDIN, 2015; CHIAIESE et al., 2018; SHAHRAJABIAN et al., 2021).

Sob a hipótese de que os bioestimulantes podem mitigar os efeitos negativos do déficit hídrico, objetivou-se avaliar o efeito sobre a fisiologia das plantas em função de oito bioestimulantes aplicados na cultura da soja submetida a deficiência hídrica e condição ideal de umidade do solo.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

Localização e caracterização edafoclimática da área experimental

O experimento foi instalado, em estufa agrícola de 140 m², e pé direito de 3m, na área experimental do Departamento de Engenharia Agrícola, da Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP, no município de Botucatu - SP, latitude 22°51'06.6"S, longitude 48°25'44.7", altitude 762 m, durante o período de janeiro a abril de 2019.

Conforme a classificação de Köppen, o clima predominante de Botucatu é do tipo Cwa (subtropical úmido), caracterizado por verão quente e chuvoso com temperaturas acima de 22°C, e inverno seco com temperaturas inferiores a 18°C. A temperatura média anual do ar é de 20,3°C, e a precipitação pluvial média anual é de 1.428,4 mm (CUNHA; MARTINS, 2009).

As condições climáticas dentro da estufa (temperatura e umidade relativa do ar) foram registradas ao longo do período experimental, da semeadura a colheita, com a utilização de um termo-higrômetro digital *Datalogger* modelo Insutherm HT-500, instalado no centro do ambiente experimental e programado para registrar leituras a cada 30 minutos (Figura 1), com base nos dados de temperatura e umidade relativa

do ar, foi gerado o gráfico de déficit de pressão de vapor, que nos mostra variações na condição atmosférica do ambiente de cultivo (Figura 2).

Figura 1 - Temperatura (°C) e Umidade Relativa (%) médias dentro da estufa agrícola durante o período de condução do ensaio com a cultura da soja (10/01/19 a 18/04/19).

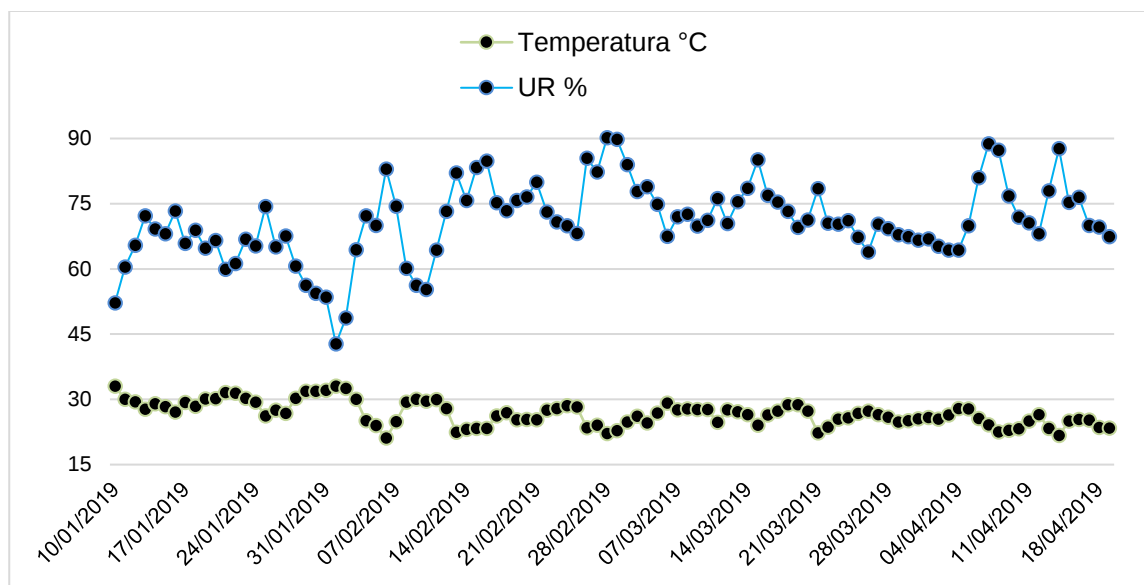
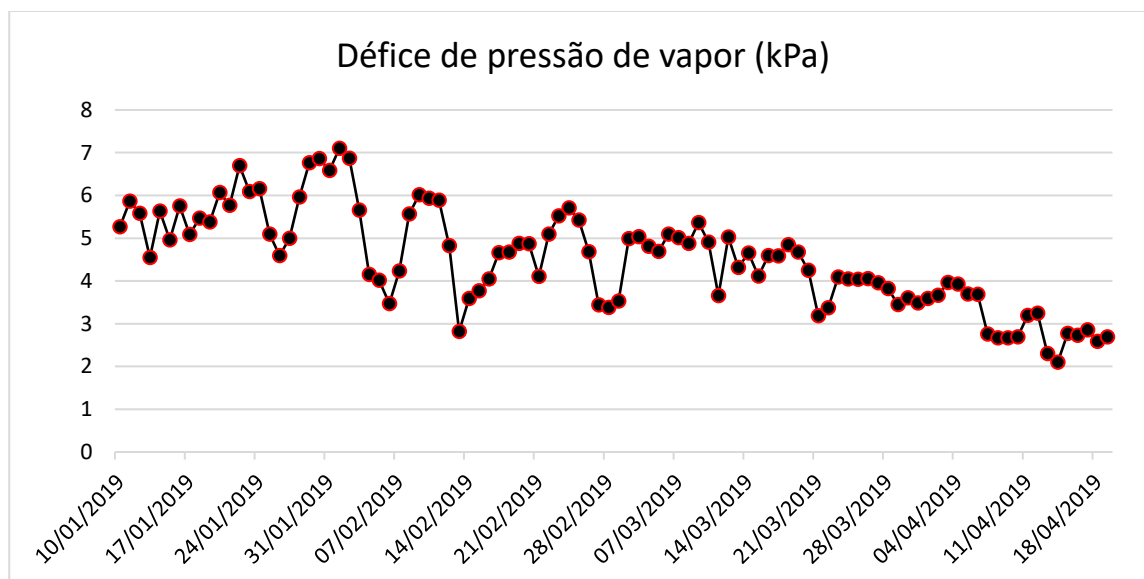


Figura 2 – Déficit de pressão de vapor dentro da estufa agrícola durante o período de condução do ensaio com a cultura da soja (10/01/19 a 18/04/19).



O solo utilizado para a condução experimental foi classificado pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como Latossolo Vermelho Amarelo (SANTOS et al., 2018), com 755, 34 e 210 g dm⁻³ de areia, silte e argila, respectivamente. Para análise química do solo a coleta foi realizada seguindo a metodologia proposta por Raij et al. (2001), e o resultado está descrito na Quadro 1.

Quadro 1 - Atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 0,2 m, antes da instalação do experimento.

pH (CaCl ₂)	M.O.	P(resina)	S	H+Al	K	Ca	Mg	CTC	V
	g dm ⁻³	— mg dm ⁻³ —				mmol _c dm ⁻³			%
4,20	4,00	2,00	18,00	20,00	0,30	2,00	1,00	22,00	10,00
Cu		Fe		Mn		Zn		B	
				mg dm ⁻³					
0,40		3,00		2,8		0,20		0,16	

Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados e parcelas subdivididas com quatro repetições. Nas parcelas, foram aplicados os tratamentos hídricos, duas lâminas de irrigação, uma denominada como Capacidade de Campo (-10kPa) e outra denominada Déficit Hídrico (-25 kPa), Nas subparcelas, foram oito tratamentos bioestimulantes, aplicados nas sementes no momento da semeadura. O estresse hídrico foi aplicado quando a cultura entrou no estágio fenológico reprodutivo e estendeu-se até o final do ciclo. Os tratamentos e as doses e concentrações estão descritos nas Quadro 2 e 3.

Quadro 2 - Resumo dos tratamentos do delineamento experimental para estudo dos efeitos de bioestimulantes na cultura da soja sob condições de capacidade de campo (CC) e déficit hídrico (DH).

Regime Hídrico	Bioestimulantes	Dose
DH	B1	2,5 L ha ⁻¹
	B2	2,5 L ha ⁻¹
	B3	10 kg ha ⁻¹
	B4	1 g kg ⁻¹
	B5	500 g ha ⁻¹
	B6	1 L ha ⁻¹
	B7	1 L ha ⁻¹
	B8	-
CC	B1	2,5 L ha ⁻¹
	B2	2,5 L ha ⁻¹
	B3	10 kg ha ⁻¹
	B4	1 g kg ⁻¹
	B5	500 g ha ⁻¹
	B6	1 L ha ⁻¹
	B7	1 L ha ⁻¹
	B8	-

Quadro 3 - Concentrações de bioestimulantes utilizados para realizar os tratamentos de sementes.

Bioestimulante	Componentes	Concentração
B1	<i>Bacillus pumilus</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>B. amyloliquefaciens</i> e <i>Rodopseudomonas palustres</i>	11,3x10 ⁵ ; 1x10 ⁹ ; 1,3x10 ⁵ ; 1x10 ⁶ (UFC mL ⁻¹)
B2	<i>Rhizophagus irregularis</i>	5x10 ⁷ (UFC mL ⁻¹)
B3	<i>Lactobacillus rhamnosus</i> e <i>L. farciminis</i> .	1,1x10 ⁸ (UFC mL ⁻¹)
B4	SiO ₂	46,75%
B5	<i>Lithothamnium calcareum</i>	100%
B6	<i>Bacillus subtilis</i>	1x10 ⁹ (UFC mL ⁻¹)
B7	<i>Ascochyllum nodosum</i>	100%
B8	Controle sem aplicação de bioestimulante	-

Unidades formadoras de colônias (UFC).

As plantas foram cultivadas em vasos de polietileno de 30 L, sendo uma planta por vaso, num total de 384 plantas. Cada unidade experimental foi composta por seis

plantas, quatro plantas para avaliações fisiológicas e bioquímicas, utilizadas como amostras destrutivas, e duas plantas para a avaliação de componentes de produção e produtividade.

Caracterização da cultivar de soja

A cultivar BRS 232 possui as seguintes características em condições de campo: crescimento determinado, ciclo de 116 a 142 dias podendo sofrer variação conforme a região e época de semeadura. A planta apresenta altura de 67 a 93 cm e peso médio de 100 sementes de 18,5 g. Recomendação de 10 a 12 plantas por metro linear e espaçamento de 45 cm. (EMBRAPA, 2003).

Instalação e condução do experimento

O experimento foi instalado em vasos, dentro de estufa agrícola. O solo utilizado foi previamente corrigido com 1,8 t ha⁻¹ com calcário dolomítico no dia 18/11/2018, com objetivo de neutralizar a acidez e elevar o valor de V% para 80%. Após a calagem o solo foi mantido úmido com objetivo de favorecer a reação de neutralização.

No dia 10/01/2019 foram realizadas as atividades de adubação, tratamento de sementes, e tratamentos dos bioestimulantes uma hora antes da semeadura.

A adubação foi realizada conforme Raij et al. (1997), para a cultura da soja no estado de São Paulo, considerando o resultado da análise química de solos, para produtividade esperada de 3,5 t ha⁻¹, sendo 20 kg ha⁻¹ de N, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 kg ha⁻¹ de K₂O, no momento da semeadura, e aos 35 dias após a emergência foi realizada uma adubação de cobertura de K₂O da dose de 30 kg ha⁻¹.

O tratamento de sementes foi realizado com tiametoxan na dose de 300 mL para 100 kg de sementes e carboxina + tiram na dose de 400 mL para 100 kg de sementes. Após o tratamento de sementes foi realizada a inoculação com *Bradyrhizobium japonicum* na dose de 300 mL para cada 50 kg de sementes.

Ao final do processo de tratamento de sementes, foram realizadas as inoculações de bioestimulantes conforme cada tratamento descrito na Tabela 2. Foram separados 8 pacotes contendo 400 g de sementes em cada, um pacote para cada tratamento bioestimulante, a fim de facilitar a dosagem e homogeneização dos tratamentos. Uma hora após esta etapa foi realizada a semeadura.

Durante o experimento, o controle de plantas daninhas nos vasos foi realizado de maneira manual. Para auxiliar no controle de pragas foram instaladas armadilhas adesivas amarelas para lepidópteros, mosca branca e pulgões, e azuis para tripses, com intuito de minimizar a necessidade de aplicação de inseticidas. O manejo fitossanitário da cultura foi empregado de acordo com a necessidade ao longo do ciclo de cultivo (Quadro 4).

Quadro 4 - Tratos fitossanitários realizados na cultura da soja sob ação de bioestimulantes na mitigação dos efeitos do déficit hídrico.

Data	Classe	Ingrediente Ativo (concentração)	Dose	
24/01/2019	Inseticida	Deltametrina (25 g L ⁻¹)	0,2	L ha ⁻¹
14/02/2019	Inseticida	Deltametrina (25 g L ⁻¹)	0,2	L ha ⁻¹
14/02/2019	Fungicida	Fluxapiraxade (167 g L ⁻¹) + Piraclostrobina (333 g L ⁻¹)	0,4	L ha ⁻¹
04/03/2019	Inseticida	Cipermetrina (220 g L ⁻¹) + Tiametoxan (110 g L ⁻¹)	0,3	L ha ⁻¹
04/03/2019	Fungicida	Azoxtrobina (300 g kg ⁻¹) + Benzovindufupir (150 g kg ⁻¹)	0,3	kg ha ⁻¹
14/03/2019	Inseticida	Bifentrina (50 g L ⁻¹) + Imidacloprido (250 g L ⁻¹)	0,4	L ha ⁻¹
14/03/2019	Inseticida	Deltametrina (25 g L ⁻¹)	0,2	L ha ⁻¹
16/03/2019	Inseticida	Cipermetrina (220 g L ⁻¹) + Tiametoxan (110 g L ⁻¹)	0,3	L ha ⁻¹

Irrigação

A irrigação foi realizada com a utilização de um sistema composto por um reservatório de 500 L, bomba de ¼ de cv, manômetro, filtro de discos, registros, linha principal em PVC, linhas secundárias em polietileno de 13 mm, emissor PCJ com vazão de 2 L h⁻¹ ligados a duas saídas para um gotejador tipo flecha de 1 L h⁻¹ cada, trabalhando a uma pressão de serviço de 10 mca.

Avaliação de uniformidade do sistema de irrigação

Após a montagem do sistema de irrigação foi realizado o teste de coeficiente de uniformidade de aplicação de Christiansen (CUC), a fim de aferir a uniformidade de distribuição de água ao longo de todas as linhas de irrigação. Após o cálculo (Equação 1) resultado obtido foi de 97%, e conforme Mantovani (2001) para os critérios de classificação de CUC, o resultado é excelente.

$$CUC = \left[\frac{\sum_{i=1}^N X_i - \bar{X}}{N * \bar{X}} \right]$$

Em que:

N: número de coletores;

X_i : lâmina de água aplicada no i-ésimo ponto sobre a superfície do solo;

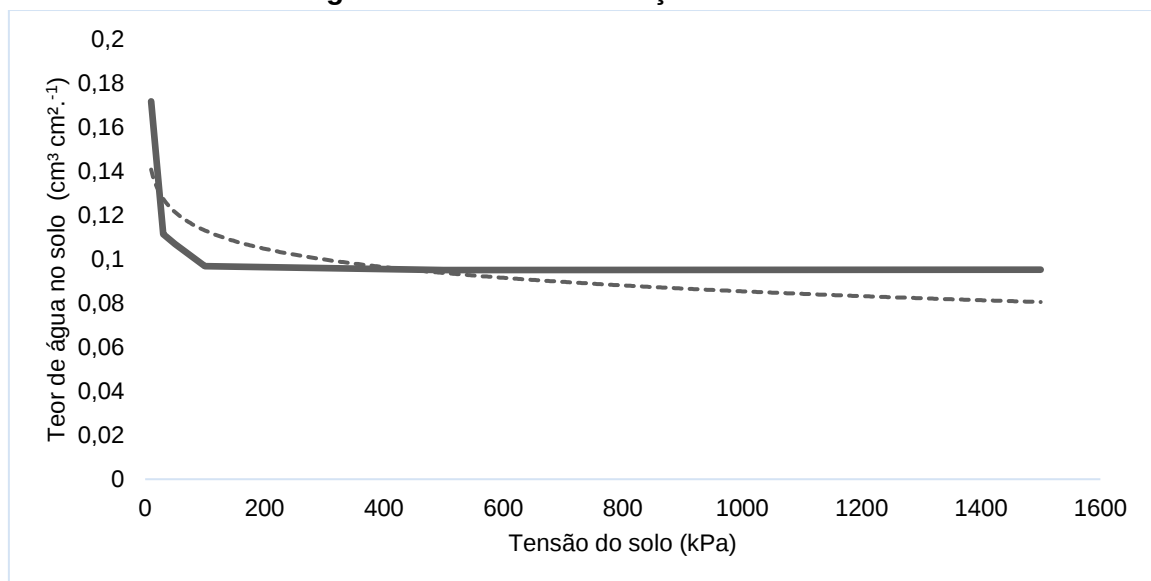
$\bar{X}$: lâmina média aplicada.

Manejo da irrigação e monitoramento de água no solo

O manejo hídrico teve por objetivo manter o solo em condição de capacidade de campo (CC) para todos os tratamentos até o momento da pré-floração, e a partir do momento em que a cultura passa para o estágio reprodutivo, inicia-se o manejo do tratamento de déficit hídrico (DH).

No manejo via tensiometria é relacionada a tensão do solo com a umidade atual. Foram necessárias retirar coletas de amostras indeformadas de solo nos vasos, as quais foram submetidas a câmara de pressão de Richards para determinação da curva de retenção hídrica do solo para os pontos correspondentes a 10, 30, 50, 100, 300, 500 e 1500 kPa. Assim, possibilitando ajustar a curva de retenção (Figura 3) pelo modelo proposto por (VAN GENUCHTEN, 1980).

Figura 3 – Curva de retenção hídrica do solo.



A tensão para ponto de murcha permanente (PMP) de -80 kPa, déficit hídrico a partir da floração (DH) -25 kPa e capacidade de campo (CC) de -10 kPa, valores obtidos pela curva de retenção de água no solo.

Para o cálculo da lâmina líquida foi utilizada a equação 2:

$$LL = (\theta_c - \theta_a) \times Z \times 10, \quad (2)$$

em que é a LL a lâmina líquida de irrigação (mm); θ_a - teor de água volumétrico atual ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), θ_c - teor de água volumétrico no ponto crítico ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), Z - profundidade do vaso (cm).

A lâmina bruta de irrigação (mm) foi determinada com a utilização da Equação 7 e o tempo de irrigação (em minutos) foi determinado para cada tratamento foi calculado utilizando-se a Equação 3.

$$LB = \frac{LL}{Ea}, \quad (3)$$

em que LB é a lâmina bruta aplicada (mm), LL é a lâmina líquida de irrigação (mm) e Ea é a eficiência de aplicação (adimensional).

$$Ti = \left[\frac{LB \times A}{n \times q} \right] \times 60, \quad (4)$$

em que Ti é o tempo de irrigação (minuto), La é a Lâmina bruta aplicada (mm), A é a área do vaso (m^2), n é o Número de emissores e q é a vazão do gotejador (1 L h^{-1}).

Desta maneira, a irrigação foi realizada pela manhã, início da tarde e ao entardecer. Eram aferidos os tensiômetros, e pela diferença da leitura com a tensão desejada, era calculado o tempo de irrigação, no caso da CC a irrigação visava manter a tensão do solo em -10 kPa, e no tratamento de estresse hídrico, a irrigação visava manter a tensão do solo em -25 kPa. A lâmina total aplicada durante o ciclo da cultura para as plantas em condição hídrica de capacidade de campo foi de 480,28 mm, e para as plantas em condições de déficit hídrico no momento do período reprodutivo foi de 331,57 mm.

Avaliações fisiológicas e bioquímicas

As avaliações fisiológicas e bioquímicas foram realizadas em dois momentos. A primeira avaliação foi realizada no momento de pré-floração, aos 40 dias após a emergência, antes do início do manejo de estresse hídrico. A segunda avaliação foi realizada no momento do enchimento de grãos, 70 dias após a emergência, durante o manejo de estresse hídrico. A seguir, os parâmetros avaliados:

- a) Trocas gasosas: Para os períodos de avaliações foram analisados os parâmetros fisiológicos de trocas gasosas no período da manhã (9 h), considerando-se o horário solar verdadeiro, utilizando medidor portátil de fotossíntese Mod. IRGA LI-COR 6400. Na ocasião foram mensuradas a concentração interna de carbono (C_i) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s) ($\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa de fotossíntese líquida (A) ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), seguindo modelo de Capelin et al., 2017.
- b) Potencial hídrico foliar: As determinações do Ψ_{folha} no xilema das plantas foram feitas imediatamente antes de amanhecer aproximadamente às 5:00 horas (em *predawn*), padronizando-se as medidas em folhas da parte mediana das plantas usando-se uma câmara de pressão digital da ELE International, modelo EL540-300 (Soil Moisture Equipment Co., Santa Barbara, CA, USA), conforme Kramer e Boyer (1995).
- c) Perda de eletrólitos: Este parâmetro registra possíveis alterações na permeabilidade de membranas celulares. As amostras (discos foliares) foram analisadas nas duas coletas, em oito repetições por tratamento, conforme metodologia descrita por Lafuente et al. (1991).
- d) Conteúdo relativo de água (CRA): Foram coletados dois discos foliares ($0,69 \text{ cm}^2$ cada) e determinadas a massa de matéria fresca dos mesmos (W_f) em balança analítica. A massa do tecido túrgido (W_t) foi obtida após a hidratação dos discos por 24 h em água deionizada. Após este tempo, retira-se o excesso de água dos discos túrgidos para determinar a massa do tecido túrgido. A massa do tecido seco (W_d) foi obtida depois que os discos foram secos por 48 h a 60°C em estufa de circulação de ar forçada. CRA foi calculado por intermédio da equação, conforme Barr et al. (1962). $\text{CRA} = [(W_f - W_d) / (W_t - W_d) - 1] \times 100$.

- e) Teor de pigmentos: Para a extração, foram utilizados discos foliares frescos com 1,04 cm² de diâmetro, mantidos em tubos de ensaio contendo 1 mL de dimetil formamida (DMF) por 24 h no escuro. O teor da clorofila **a** e **b**, além de carotenoides foi determinado a partir das equações descritas por Hiscox e Israelstam (1979).
- f) Teor de proteína solúvel total: A concentração de proteína solúvel presente nos extratos foi determinada em triplicata, utilizando-se método descrito por Bradford (1976) com albumina de soro bovino (BSA) como proteína padrão.
- g) Teor de L-prolina: O teor de L-prolina (µg mL⁻¹ extrato) foi determinado conforme Bates et al. (1973). Para a realização do teste colorimétrico pipetou-se alíquotas de 2 mL do extrato bruto; 2,0 mL de ninhidrina ácida; 2,0 mL de ácido acético glacial. Após aquecimento em banho-maria à aproximadamente 100 °C por 60 minutos, os frascos foram resfriados em banho de gelo por 5 minutos e efetuada a leitura do cromóforo a 520 nm.
- h) Atividade da enzima Superóxido Dismutase (SOD; EC 1.15.1.1): A determinação da atividade da SOD considera a capacidade da enzima em inibir a fotorredução do NBT (Azul de nitrotetrazólio cloreto). A atividade foi determinada pela adição de 30 µL de extrato bruto a uma solução contendo 13 mM de metionina, 75 µM de NBT, 100 nM de EDTA e 2 µM de riboflavina em 3,0 mL de tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 7.8, conforme descrito por (GIANNOPOLITIS; RIES,1977).
- i) Atividade da enzima Catalase (CAT; EC 1.11.1.6.): A atividade da enzima catalase foi determinada em D.O. à 240 nm pelo monitoramento da variação da absorção do peróxido de hidrogênio, conforme Lock (1963).
- j) Atividade da enzima Nitrato Redutase: Cortou-se 200 mg de tecido foliar (provenientes do terço médio da planta). Os segmentos foliares foram colocados em tubos de ensaio com 5 mL de solução de incubação. Esta solução é constituída por tampão fosfato (KH₂PO₄ 0,1 M; pH 7,5), KNO₃ (0,1M) e n-propanol (3% v/v). O tecido vegetal foi infiltrado à vácuo por três vezes durante um minuto com intervalo de 30 segundos. Após a infiltração, os tubos foram cobertos com papel alumínio e mantidos em banho-maria a 30 °C, por 30 minutos. Retirou-se alíquota de 1 mL a qual adiciona-se 1 mL de sulfanilamida 1% e 1 mL de N-naftil-etilenodiamino 0,02%. Após a adição destes reagentes procedeu-se a leitura da D.O. a 540 nm. A atividade da

enzima foi expressa em μmoles de NO_2 por grama de matéria fresca por hora de incubação ($\mu\text{M NO}_2 \text{ h}$), com base na curva padrão de NaNO_3 (0 - 50 μM) de acordo com JAWORSKI (1971).

- k) Atividade da enzima Glutamina Sintetase: Mescloou-se 250 μL de tampão TRIS-HCl 200 mM com pH 7,5; 100 μL de ATP 50 mM, pH 7,0; 250 μL de glutamato de sódio 500 mM; 50 μL de sulfato de magnésio 1 M; 50 μL de cisteína 100 mM; 150 μL de hidroxilamina 100 mM com pH 7,0 e finalmente, adicionaram-se 150 μL do extrato bruto, completando-se o total de 1000 μL de volume. Em seguida, os tubos foram colocados sob agitação contínua em banho-maria a 30°C durante 20 minutos. Após essa etapa de incubação e para interromper a reação, foi adicionado 1 mL da solução composta (1:1:1) por FeCl_3 (10 %), TCA (24 %) e HCl (6 N), o que formou um precipitado da cor marrom-amarelado. Posteriormente, os tubos foram levados à centrifugação por 5 minutos a 5000 x g e em seguida transferiu-se o sobrenadante para cubetas de metacrilato para efetuar a leitura em espectrofotômetro a 540 nm (ELLIOTT, 1953).

Análise estatística

Para todos os parâmetros avaliados, os resultados foram submetidos à análise da variância, pelo teste F. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância.

1.3 RESULTADOS

Potencial hídrico

O *status* hídrico da planta apresentou grande variação em decorrência da aplicação dos bioestimulantes aos 40 dias após a emergência mesmo em condições hídricas padrão (Tabela 1). Observou-se plantas com maior índice de turgidez nos tratamentos contendo *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1). O tratamento com *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3) apresentou resultados semelhantes ao tratamento controle. Já aos 70 dias após a emergência, apesar do potencial hídrico ser relativamente superior em

relação aos 40 dias após a emergência, o que é resultante do aumento da massa foliar e do porte da planta, notamos que além do *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1) o bioestimulante *Lithothamnium calcareum* (B5) também elevaram os níveis de turgidez foliar. Quanto à disponibilidade hídrica empregada, apenas aos 70 dias após a emergência pode-se notar diferença entre os tratamentos aplicados, sendo observado maiores níveis de água na folha quando a planta foi submetida a capacidade de campo.

Tabela 1 - Potencial hídrico (bar) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE).

Potencial hídrico	40 DAE			70 DAE		
	CC	CC	Média	CC	DH	Média
B1	-3,00	-2,50	-2,75 c	-3,00	-5,00	-4,00 c
B2	-3,00	-3,00	-3,0 bc	-3,67	-5,00	-4,33 bc
B3	-4,67	-4,17	-4,42 a	-4,00	-5,83	-4,92 ab
B4	-4,00	-3,33	-3,67 abc	-4,00	-5,50	-4,75 b
B5	-3,50	-3,50	-3,50 abc	-3,17	-4,83	-4,00 c
B6	-4,17	-3,67	-3,92 ab	-4,00	-5,33	-4,67 bc
B7	-3,67	-4,00	-3,83 ab	-3,83	-4,83	-4,33 bc
B8	-4,50	-3,83	-4,17 a	-5,00	-6,00	-5,50 a
Média	-3,81 A	-3,50 A		-3,83 B	-5,29 A	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregularis* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascochyta nodosum* (B7), Controle (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Conteúdo relativo de água

Apesar das diferenças observadas quanto ao potencial hídrico, nota-se que o conteúdo relativo de água não apresentou alteração entre os bioestimulantes aos 40 dias após a emergência, assim como, quanto a disponibilidade hídrica aplicada neste período. Já aos 70 dias após a emergência notamos que apenas os tratamentos contendo *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), *Lithothamnium calcareum* (B5) e *Bacillus subtilis* (B6) apresentaram resultados inferiores quando comparado ao tratamento controle na capacidade de campo. Na ocasião podemos inferir que, quando a planta se encontra submetida a déficit hídrico a mesma apresenta conteúdo relativo de água semelhante independente do bioestimulante empregado (Tabela 2).

Tabela 2 - Conteúdo relativo de água (%) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE).

Conteúdo relativo de água	40 DAE			70 DAE		
	CC	CC	Média	CC	DH	Média
B1	72,64	73,15	72,90	68,64 Aab	38,34 Ba	53,49
B2	77,23	78,78	78,01	69,76 Aab	34,75 Ba	52,25
B3	71,87	71,87	71,87	61,35 Ab	43,19 Ba	52,27
B4	72,08	72,46	72,27	80,80 Aa	38,39 Ba	59,60
B5	69,94	66,47	68,20	63,01 Ab	35,70 Ba	49,36
B6	66,65	65,01	65,83	61,60 Ab	34,03 Ba	47,81
B7	68,61	68,61	68,61	70,71 Aab	39,33 Ba	55,02
B8	69,29	69,24	69,27	70,22 Aab	32,53 Ba	51,37
Média	71,04	70,70		68,26	37,03	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascochyllum nodosum* (B7), Controle (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Perda de eletrólitos

Para a perda de eletrólitos pode-se observar que as plantas submetidas ao estresse aos 70 dias após a emergência que as maiores perdas de eletrólitos ocorreram no tratamento sem aplicação de bioestimulantes sendo seguido dos tratamentos contendo o *Ascochyllum nodosum* (B7), *Bacillus subtilis* (B6) e *Lithothamnium calcareum* (B5) respectivamente. O uso de *Rizophagus irregulares* (B2) reduziu significativamente a perda de eletrólitos (51,5%) em relação ao tratamento controle, sendo constatado também bons resultados do *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3) e Silício (B4). Em ambientes hídricos cujas plantas estavam submetidas a capacidade de campo notou-se comportamento semelhante entre os bioestimulantes e a testemunha aos 70 dias após a emergência, exceto no *Ascochyllum nodosum* (B7) (Tabela 3).

Tabela 3 - Perda de eletrólitos (%) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE).

Perda de eletrólitos	40 DAE			70 DAE		
	CC	CC	Média	CC	DH	Média
B1	4,81	5,04	4,93 d	30,09 Aab	34,24 Aa	32,16
B2	7,99	7,73	7,86 cd	28,86 Aab	28,37 Ab	28,62
B3	12,64	12,62	12,63 ab	37,11 Aa	32,62 Ab	34,86
B4	11,52	11,83	11,45 bc	36,25 Aa	33,73 Ab	34,99
B5	17,15	17,25	17,20 a	30,89 Bab	47,52 Aa	39,20
B6	8,93	8,49	8,71 bcd	41,32 Ba	54,76 Aa	48,04
B7	16,35	16,66	16,51 a	20,63 Bb	55,18 Aa	37,90
B8	13,24	12,88	13,06 ab	36,46 Ba	58,46 Aa	47,45
Média	11,58 A	11,51 A		32,7	43,11	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascopylum nodosum* (B7), Controle (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Trocas gasosas

Quanto às taxas fotossintéticas, em um período anterior à imposição da deficiência hídrica (40 dias após a emergência), o uso de bioestimulantes aparentemente reduziu parâmetros de trocas gasosas, sendo que o tratamento Silício (B4) apresentou fotossíntese líquida de $10,16 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, contra $19,41 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ do tratamento controle (Tabela 4). Em estágio mais avançado de deficiência hídrica (70 dias após a emergência) o *Rizophagus irregulares* (B2) apresentou maiores valores de fotossíntese o que provavelmente é decorrente aos menores valores de perda de eletrólitos observados no presente estudo (Tabela 3) além do maior potencial hídrico foliar (Tabela 1) em relação aos demais tratamentos. Tal comportamento também é observado em condições hídricas favoráveis, na ocasião pode-se notar uma queda da fotossíntese com o emprego do *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1) e *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3).

Tabela 4 - Fotossíntese de plantas ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE).

Fotossíntese	40 DAE			70 DAE		
	CC	CC	Média	CC	DH	Média
B1	17,81	15,30	16,55 ab	12,61 Ab	7,63 Bab	10,12
B2	14,81	14,22	14,51 ab	18,78 Aa	9,18 Ba	13,98
B3	16,86	17,03	16,95 ab	11,79 Ab	7,46 Bab	9,63
B4	10,10	10,22	10,16 b	14,86 Aab	5,21 Bab	10,03
B5	15,92	16,41	16,16 ab	16,31 Aab	7,15 Bab	11,73
B6	13,38	13,67	13,52 ab	16,3 Aab	6,15 Bab	11,23
B7	16,86	16,68	16,77 ab	14,47 Aab	3,30 Bb	8,88
B8	19,76	19,07	19,41 a	16,74 Aab	4,51 Bab	10,63
Média	16,69 A	15,32 A		15,23	6,32	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascochyta nodosum* (B7), Controle (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

A condutância estomática (g_s) possui forte correlação com a taxa fotossintética, devido ao mecanismo intrínseco de abertura e fechamento estomático, o qual regula as trocas gasosas no sistema solo-planta-atmosfera. No presente estudo, constatou-se forte correlação entre as taxas fotossintéticas (Tabela 4) e condutância estomática (Tabela 5). Aos 40 dias após a emergência notamos maiores valores de condutância no tratamento controle, não sendo observado reposta por parte da planta em decorrência da aplicação de bioestimulantes. Todavia, aos 70 dias após a emergência verificou-se significância com o emprego de tais bioestimulantes, o que ocorre em função do maior tempo submetido ao estresse hídrico por parte da planta. Nestas condições, assim como nas taxas fotossintéticas, plantas tratadas com *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1) apresentaram maiores valores de g_s tanto no regime hídrico de capacidade de campo quanto em déficit hídrico (Tabela 5).

Tabela 5 - Condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE).

Condutância estomática	40 DAE			70 DAE		
	CC	CC	Média	CC	DH	Média
B1	0,21	0,21	0,21 b	0,22 Abcd	0,08 Bab	0,15
B2	0,31	0,31	0,31 b	0,35 Aa	0,15 Ba	0,25
B3	0,31	0,31	0,31 b	0,17 Ad	0,07 Bab	0,12
B4	0,23	0,23	0,23 b	0,21 Acd	0,04 Bb	0,12
B5	0,34	0,31	0,33 b	0,23 Abcd	0,08 Bab	0,15
B6	0,25	0,25	0,25 b	0,25 Abc	0,06 Bb	0,15
B7	0,36	0,36	0,36 b	0,21 Abcd	0,04 Bb	0,12
B8	0,60	0,60	0,60 a	0,29 Aab	0,02 Bb	0,15
Média	0,33 A	0,32 A		0,24	0,7	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascophylum nodosum* (B7), Controle (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

A concentração interna de carbono (C_i) não diferiu entre os manejos hídricos, independente do período avaliado seja aos 40 ou 70 dias após a emergência. Para os tratamentos bioestimulantes, o tratamento controle demonstrou maiores valores de concentração interna de carbono em relação aos demais nos 40 dias após a emergência e não houve diferença entre os tratamentos aos 70 dias após a emergência (Tabela 6).

Tabela 6 - Concentração interna de carbono ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol ar}^{-1}$) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE).

Concentração interna de carbono	40 DAE			70 DAE		
	CC	CC	Média	CC	DH	Média
B1	235,37	235,54	235,45 b	247,63	201,36	224,50
B2	266,88	266,87	266,88 ab	265,83	246,81	256,32
B3	271,31	271,28	271,29 ab	243,50	220,01	231,76
B4	288,30	288,09	288,20 ab	231,68	230,26	230,97
B5	275,49	275,30	275,39 ab	238,79	220,65	229,72
B6	286,32	286,20	286,26 ab	239,04	176,65	207,85
B7	269,26	269,31	269,28 ab	242,53	241,19	241,86
B8	302,10	302,00	302,05 a	261,65	262,22	261,93
Média	274,38	274,32		246,33	224,89	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascophylum nodosum* (B7), Controle (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Conforme relatado anteriormente, a planta realiza o processo de abertura e fechamento estomático com o objetivo de realizar trocas gasosas relacionadas ao

processo fotossintético. Neste processo também ocorre perda de água para a atmosfera através do processo de transpiração. Então, plantas que conservaram maiores teores de água nos tecidos foliares, tendem a perder parte dessa água com maior facilidade para a atmosfera, o que é verificado na Tabela 7.

Nota-se que, independentemente do bioestimulante, as plantas não reduziram significativamente o processo transpiratório, quando comparado ao tratamento controle aos 70 dias após a emergência. Por outro lado, em estádios iniciais, aos 40 dias após a emergência, o emprego de *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4) e *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1) reduziram em cerca de 34 a 46% das taxas transpiratórias em relação ao controle (Tabela 7). Assim, constata-se forte correlação entre os parâmetros relacionados com trocas gasosas e disponibilidade hídrica para a cultura, sendo que em alguns casos, o emprego de bioestimulantes interfere positivamente nessas taxas.

Tabela 7 - Transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE).

Transpiração	40 DAE			70 DAE		
	CC	CC	Média	CC	DH	Média
B1	4,78	4,70	4,74 b	4,93	2,51	3,72 a
B2	6,12	6,19	6,16 ab	6,19	3,47	4,83 a
B3	5,57	5,94	5,75 b	3,79	1,98	2,89 a
B4	4,63	4,83	4,73 b	4,33	1,25	2,79 a
B5	6,35	6,05	6,20 ab	4,82	2,16	3,49 a
B6	5,10	4,87	4,98 b	4,95	1,62	3,28 a
B7	6,64	6,59	6,62 ab	4,55	1,17	2,86 a
B8	9,33	8,23	8,78 a	5,55	4,16	4,86 a
Média	6,07 A	5,93 A		4,89 A	2,29 B	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascochyllum nodosum* (B7), Controle (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Teor de pigmentos

O teor de clorofila a apresentou distinção em função da disponibilidade hídrica apenas quando a planta estava submetida ao estresse por períodos prolongados aos 70 dias após a emergência. As plantas acumularam maiores teores de clorofila a com o uso de *Lithothamnium calcareum* (B5) seguido de *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1). Já em capacidade de campo,

o *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1) manteve elevados teores de clorofila em relação aos demais bioestimulantes, principalmente quando comparado ao tratamento controle (Tabela 8). Aos 40 dias após a emergência o tratamento com *Lithothamnium calcareum* (B5) demonstrou melhores resultados, os quais se mantiveram os 70 dias após a emergência durante o déficit hídrico.

Tabela 8 - Clorofila a ($\mu\text{g cm}^{-2}$ de folha) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE).

Clorofila a	40 DAE			70 DAE		
	CC	CC	Média	CC	DH	Média
B1	12,67	10,95	10,81 b	12,17 Aa	11,34 Aab	11,75
B2	11,97	12,12	12,04 b	9,19 Ab	8,21 Acd	8,70
B3	12,18	12,13	12,16 ab	9,12 Ab	9,10 Ac	9,11
B4	11,42	12,22	11,82 b	8,54 Ab	7,79 Acd	8,17
B5	15,77	13,24	14,51 a	7,99 Bb	11,57 Aa	9,78
B6	10,41	11,21	10,81 b	8,95 Ab	6,85 Bd	7,90
B7	11,15	11,98	11,56 b	9,58 Ab	9,28 Abc	9,43
B8	11,69	12,33	12,01 b	7,59 Ab	8,58 Acd	8,09
Média	10,16 A	12,02 A		9,14	9,09	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascopylum nodosum* (B7), Controle (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Com relação a clorofila *b* houve comportamento semelhante ao da clorofila *a* tanto relacionado ao emprego dos bioestimulantes, quanto a disponibilidade hídrica para as plantas (Tabela 8 e 9). Aos 40 dias após a emergência, apesar da ausência de significância entre as lâminas de irrigação, notamos maior teor de clorofila *b* em plantas com aplicação de *Lithothamnium calcareum* (B5), comportamento este que se repete aos 70 dias após a emergência em sistema de déficit hídrico. Em ambientes situados em capacidade de campo (disponibilidade hídrica), notamos maior acúmulo destes teores em plantas com a presença do *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1).

Tabela 9 - Clorofila *b* ($\mu\text{g cm}^{-2}$ de folha) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE).

Clorofila <i>b</i>	40 DAE			70 DAE		
	CC	CCC	Média	CC	DH	Média
B1	8,13	6,17	6,25 b	8,44 Aa	8,03 Aab	8,24
B2	6,56	7,35	6,95 b	5,79 Abc	5,23 Ad	5,01
B3	8,04	7,89	7,96 ab	3,15 Bd	6,35 Abcd	4,75
B4	6,83	7,19	7,01 b	5,47 Abcd	6,73 Abc	6,10
B5	10,60	8,34	9,47 a	4,23 Bcd	9,87 Aa	7,05
B6	6,27	6,23	6,25 b	6,85 Aab	4,41 Bcd	5,63
B7	6,93	7,75	7,34 b	6,00 Abc	6,34 Abcd	6,17
B8	7,20	7,58	7,39 b	4,41 Bcd	6,63 Abc	5,52
Média	7,57 A	7,31 A		6,57	5,54	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascophyllum nodosum* (B7), Controle (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Apesar dos carotenoides serem considerados pigmentos acessórios, pelo fato de absorverem a luz em faixas um pouco distintas daquelas absorvidas pelas clorofilas, nota-se que seu acúmulo apresentou o mesmo comportamento que das clorofilas. Aos 40 dias após a emergência o resultado mais evidente tem-se com o bioestimulante de *Lithothamnium calcareum* (B5), visto na tabela 10. Aos 70 dias após a emergência, o emprego do bioestimulante a base de *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1) apresenta elevados teores de carotenoides tanto em déficit quanto na disponibilidade hídrica ideal para a cultura (Tabela 10).

Tabela 10 - Carotenoides totais ($\mu\text{g cm}^{-2}$ de folha) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE).

Carotenoides totais	40 DAE			70 DAE		
	CC	CC	Média	CC	DH	Média
B1	5,23	4,53	4,88 b	4,71 Aa	5,08 Aa	4,90
B2	4,82	4,81	4,81 b	3,51 Aab	2,99 Abc	3,25
B3	4,89	4,96	4,93 ab	3,34 Aab	3,61 Aabc	3,47
B4	4,83	5,02	4,93 ab	3,16 Ab	2,47 Ac	2,82
B5	6,09	5,52	5,80 a	3,05 Bb	4,46 Aab	3,75
B6	4,12	4,50	4,31 b	3,74 Bab	2,46 Ac	3,10
B7	4,55	5,04	4,80 b	3,59 Aab	3,47 Abc	3,53
B8	4,65	5,09	4,87 b	2,69 Ab	3,38 Abc	3,03
Média	4,90 A	4,91 A		3,47	3,49	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascophyllum nodosum*

(B7), Controle (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Proteína solúvel total

Dentre as análises bioquímicas o teor de proteína solúvel total é tido como indicador de referência para determinar e quantificar diversas outras atividades enzimáticas. Pode-se constatar que antes da aplicação do déficit hídrico o teor de proteína nas plantas controles foram inferiores às demais plantas contendo o emprego de bioestimulantes, chegando a alcançar cerca de 46% de diferença entre os valores obtidos (Tabela 11). Aos 70 dias após a emergência tal comportamento só foi observado em plantas submetidas ao déficit hídrico. Entretanto, esta variação foi menor, chegando a alcançar apenas 22%, em ambos os casos o tratamento contendo *Rizophagus irregulares* (B2) acabou sendo superior entre os demais. Diferente do verificado nas plantas em déficit hídrico, as plantas com ausência de bioestimulante em capacidade de campo apresentaram acúmulo de proteína significativo em seus tecidos, não sendo este superior apenas aos tratamentos à base de *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1) e *Lithothamnium calcareum* (B5).

Tabela 11 - Proteína solúvel total (mg g⁻¹ MF) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE).

Proteína solúvel total	40 DAE			70 DAE		
	CC	CC	Média	CC	DH	Média
B1	14,27	14,06	14,17 ab	15,3 Aa	10,99 Ba	13,14
B2	15,10	14,68	14,89 a	12,29 Aabc	13,06 Aa	12,67
B3	12,59	12,49	12,54 cd	9,36 Abc	12,09 Aa	10,72
B4	11,16	10,60	10,88 e	13,15 Aab	13,41 Aa	13,28
B5	12,58	12,45	12,52 cd	16,35 Aa	12,76 Ba	14,55
B6	12,03	11,93	11,98 de	7,89 Bc	11,06 Aa	9,47
B7	13,50	13,79	13,65 bc	11,75 Aabc	11,67 Aa	11,71
B8	8,14	8,08	8,11 f	14,97 Aa	10,44 Ba	12,71
Média	12,42 A	12,26 A		12,63	11,93	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascophyllum nodosum* (B7), Controle (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

L-Prolina

No período inicial do ensaio, aos 40 dias após a emergência, o acúmulo de L-prolina foi superior (1,01 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) nas plantas tratadas com B4 em relação aos demais tratamentos. Após o início do estresse, aos 70 dias após a emergência, a DH

influenciou significativamente no acúmulo foliar deste aminoácido, o qual é comumente associado à tolerância a estresses físicos em plantas superiores. Constatou-se que o tratamento B3 potencializou a produção de prolina, comparado aos demais tratamentos (Tabela 12). Ressalta-se que o acúmulo de L-prolina pode representar estratégia osmorregulatória das plantas, indicando sua capacidade de resposta a estresses físicos.

Tabela 12 - Teor de L-Prolina ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE).

L-Prolina	40 DAE			70 DAE		
	CC	CC	Média	CC	DH	Média
B1	0,87	0,87	0,87 b	0,74 Ba	1,42 Abc	1,08
B2	0,72	0,72	0,72 c	0,72 Ba	1,73 Aab	1,22
B3	0,74	0,74	0,74 c	0,75 Ba	2,02 Aa	1,39
B4	1,02	1,02	1,02 a	0,75 Aa	1,07 Ac	0,91
B5	0,86	0,86	0,86 b	0,70 Ba	1,33 Abc	1,02
B6	0,90	0,90	0,90 b	0,75 Aa	0,96 Ac	0,86
B7	0,81	0,81	0,81 bc	0,63 Ba	1,17 Ac	0,90
B8	0,82	0,82	0,82 bc	0,74 Ba	1,78 Aab	1,26
Média	0,84 A	0,84 A		0,72	1,44	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregularis* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascophylum nodosum* (B7), Controle (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Superóxido dismutase

A atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) em estágios iniciais da aplicação de déficit hídrico (40 dias após a emergência) apresentou maiores valores no tratamento controle (B8), em seguida do B7. Aos 70 dias após a emergência houve maior atividade desta enzima, neste aspecto nota-se que, no mesmo período, o emprego de alguns bioestimulantes como o B3 e o B6 induziram a atividade desta enzima, o que conseqüentemente poderia ser indício de capacidade de mitigação do impacto causado pela deficiência hídrica (Tabela 13).

Tabela 13 - Atividade da superóxido dismutase (UI μg^{-1} proteína) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE).

Superóxido dismutase	40 DAE			70 DAE		
	CC	CC	Média	CC	DH	Média
B1	1,50	1,32	1,41 b	1,24	1,90	1,57 abc
B2	1,54	1,34	1,44 b	1,49	1,63	1,56 abc
B3	1,47	1,56	1,51 b	1,80	1,71	1,76 ab
B4	1,28	1,46	1,37 b	1,09	1,57	1,33 bc
B5	1,42	1,54	1,48 b	0,85	1,64	1,25 c
B6	1,65	1,56	1,60 b	1,7	1,94	1,82 a
B7	1,89	1,55	1,72 ab	1,44	1,82	1,63 abc
B8	1,84	2,44	2,14 a	1,28	1,88	1,58 abc
Média	1,57 A	1,59 A		1,36 B	1,76 A	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregularis* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascochyta nodosum* (B7), Controle (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Catalase

A enzima catalase (CAT) é um sistema de trabalho em cooperação com a SOD, transformando peróxido de hidrogênio (produto da ação da SOD) em água. Neste aspecto, a avaliação bioquímica indicou que a CAT foi mais ativa nas plantas do tratamento controle, em estágios iniciais de redução da disponibilidade hídrica (Tabela 14). Tal comportamento se manteve semelhante em plantas submetidas ao DH nos 70 dias após a emergência. Já em capacidade de campo, maiores atividades enzimáticas da CAT foram observadas no tratamento B6.

Tabela 14 - Atividade da catalase ($\mu\text{kat } \mu\text{g}^{-1}$ proteína) de plantas de soja em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE).

CATALASE	40 DAE			70 DAE		
	CC	CC	Média	CC	DH	Média
B1	165,08	157,65	161,36 f	274,93 Bd	607,85 Ab	441,39
B2	315,07	260,47	287,77 d	349,97 Acd	408,92 Ad	379,44
B3	237,23	242,19	239,71 e	460,95 Bbc	550,78 Abc	505,86
B4	250,90	253,62	252,26 de	482,33 Ab	445,25 Acd	463,79
B5	353,35	368,35	360,85 c	290,06 Bd	457,95 Acd	374,00
B6	462,08	462,54	462,31 b	632,88 Aa	627,05 Ab	629,96
B7	231,32	206,96	219,14 e	479,59 Ab	509,96 Abcd	494,77
B8	738,76	692,49	715,63 a	488,98 Bb	786,09 Aa	637,54
Média	344,22A	330,53 A		432,46	549,23	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregularis* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascochyta nodosum* (B7), Controle (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Nitrato redutase

A enzima nitrato redutase (NR) apresentou grau de significância apenas nos tratamentos ocorridos aos 70 dias após a emergência, ou seja, quando a planta já se encontrava em um estágio mais avançado do déficit hídrico. A atividade de NR foi superior no tratamento B2 sob DH e no tratamento B6 quando a planta se encontrava em capacidade de campo (Tabela 15). A NR reduz nitrato para nitrito em folhas, para ser metabolizado pela planta e integrar compostos orgânicos na síntese de aminoácidos, compostos nitrogenados e proteínas. Esta enzima é responsável pela assimilação de nitrogênio pelas plantas.

Tabela 15 - Atividade da nitrato redutase (nM NO₂ h⁻¹ g⁻¹ MF) de plantas de soja em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE).

Nitrato redutase	70 DAE		
	CC	DH	Média
B1	107,11 Ab	103,94 Abc	105,52
B2	135,66 Bab	165,80 Aa	150,73
B3	146,77 Aab	143,59 Aab	145,18
B4	129,32 Aab	118,22 Abc	123,77
B5	110,28 Ab	127,73 Aabc	119,01
B6	157,87 Aa	102,35 Bbc	130,11
B7	140,42 Aab	97,60 Bc	119,11
B8	149,94 Aab	121,39 Bbc	135,66
Média	134,67	122,58	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregularis* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminius* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascochyta nodosum* (B7), Controle (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Glutamina sintetase

A glutamina sintetase (GS) é uma enzima chave do metabolismo do Nitrogênio em plantas, a qual é parte do sistema de incorporação do amônio em moléculas orgânicas, como aminoácidos e nucleotídeos. No presente ensaio, o tratamento B4 demonstrou induzir GS assim como descrito para prolina (Tabela 16 e 12); entretanto, em até 40 dias após a emergência e aos 70 dias após a emergência notou-se maior atividade da enzima em relação ao DH, porém sem diferença entre os bioestimulantes e o controle. Em estresse hídrico a utilização de B7 corroborou para um incremento de 22% em relação ao tratamento controle (Tabela 16).

Tabela 16 - Atividade da glutamina sintetase (GS) de plantas de soja em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência (DAE).

Glutamina sintetase	40 DAE			70 DAE		
	CC	CC	Média	CC	DH	Média
B1	0,48	0,52	0,50 b	0,55 Aa	0,36 Bab	0,45
B2	0,53	0,54	0,53 ab	0,56 Aa	0,31 Bb	0,44
B3	0,51	0,49	0,50 b	0,51 Aa	0,41 Bab	0,46
B4	0,56	0,61	0,58 a	0,52 Aa	0,36 Bab	0,44
B5	0,56	0,56	0,56 ab	0,56 Aa	0,35 Bab	0,45
B6	0,55	0,53	0,54 ab	0,51 Aa	0,36 Bab	0,43
B7	0,47	0,50	0,48 b	0,49 Aa	0,45 Aa	0,47
B8	0,55	0,54	0,54 ab	0,52 Aa	0,35 Bab	0,44
Média	0,53 A	0,54 A		0,53	0,37	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascochyllum nodosum* (B7), Controle (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

1.4 DISCUSSÃO

O estresse causado pela deficiência hídrica (DH) pode causar uma série de impactos negativos no desenvolvimento das plantas, promovendo redução da produtividade das plantas, neste sentido, o uso de bioestimulantes pode reduzir esses efeitos deletérios em plantas cultivadas sob DH.

No presente estudo, verificou-se alterações em níveis fisiológicos e bioquímicos nas plantas submetidas ao DH. Estes resultados colaboram com os encontrados por Daryanto, Wang e Jacinthe (2017) e Tankari et al. (2021), os quais informam que o DH promove redução das taxas fotossintéticas, trocas gasosas e potencial hídrico foliar, causando impactos substanciais no desenvolvimento e produção das culturas. De acordo com Sheteiwy et al. (2018a), todos os processos fisiológicos das plantas, entre eles, turgescência celular, trocas gasosas, alongamento celular, são influenciados pelo estresse causado pelo DH.

Deste modo o DH pode reduzir os teores de pigmentos foliares em folhas de soja (WU et al., 2019) e acumular maiores teores de prolina, a qual é utilizada para a regulação osmótica (TURKAN et al. 2005; SHETEIWY et al., 2018a). Além disso, as enzimas antioxidativas são ativadas sob estresse abióticos (SHETEIWY et al., 2018b) para reduzir o nível de espécies reativas de oxigênio (EROs) gerados pelo estresse hídrico.

Conforme resultados apresentados nesta pesquisa, o potencial hídrico foliar apresentou alterações quando as plantas foram submetidas ao DH, verificando-se redução do mesmo. De acordo com Novick et al. (2022), o potencial hídrico controla de forma direta os processos que ocorrem nas folhas e raízes e o gradiente de potencial hídrico promove o movimento de água no sistema solo-planta-atmosfera. O decréscimo do potencial hídrico foliar causa redução da turgescência foliar interrompendo as funções metabólicas da planta. O reduzido teor de água no solo e o resultante potencial osmótico reduzido da planta leva a uma baixa absorção de água e nutrientes (ASHRAFI et al., 2022).

O uso de bioestimulantes a base de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) promoveu maior potencial hídrico foliar aos 40 e aos 70 DAE. Segundo Ojuederie et al. (2019), as BPCV atuam nos mecanismos de proteção, como o acúmulo de osmólitos, os quais promovem a osmorregulação, mantendo a absorção de água pelas plantas.

Aos 70 DAE foi verificado que as plantas do tratamento B1 e B5 (*Lithothamnium calcareum*) apresentaram maior potencial hídrico foliar. *Lithothamnium calcareum* é uma alga marinha que apresenta diversos mecanismos para aumentar a tolerância das plantas ao estresse abiótico, como regulação estomática, melhoria da condutividade hidráulica do xilema, disponibilidade de água na zona radicular das raízes e regula os níveis de etileno e auxina nas raízes (VAN OOSTEN et al., 2017). Mancuso et al. (2006) verificaram aumento do potencial hídrico foliar e condutância estomática em plantas cultivada sob estresse hídrico com aplicação de extrato de algas marinhas. Elansary et al. (2016) encontraram resultados promissores, em que as plantas tratadas com extrato de algas apresentaram melhoria da fisiologia sob condições de estresse hídrico moderado.

A perda de eletrólitos foi significativamente afetada pelo DH, apresentando aumento do extravasamento de eletrólitos. Estudos evidenciaram que o estresse causado pelo DH causa modificações na estrutura da membrana celular em plantas de soja, induz danos à membrana celular, gerando o acúmulo de EROS e consequentemente aumenta a permeabilidade da membrana, os quais afetam a função das células e processos fisiológicos da planta (ALHAITHLOUL, 2019; WANG et al., 2022).

No entanto, verificou-se que os tratamentos com aplicação de bioestimulantes (*Rizophagus irregulares*, *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* e Silício)

apresentaram redução na perda de eletrólitos. De acordo com Shukla e Prithiviraj (2021), os bioestimulantes apresentam efeitos protetores contra o estresse oxidativo em plantas cultivadas sob estresse biótico e abiótico, os quais mitigam a perda de eletrólitos e peroxidação lipídica. Rasul et al. (2021) verificaram redução na perda de eletrólitos e no acúmulo de EROs em plantas cultivadas sob estresse hídrico e aplicação de bioestimulantes.

A redução da perda de eletrólitos nas plantas inoculadas com FMA (*Rizophagus irregulares*) é explicada pelo fato dos fungos influenciarem os processos fisiológicos das plantas, como a condutância estomática, o que pode levar a uma maior tolerância ao DH (LEI et al., 2021), bem como reduzir o dano oxidativo causado por EROs, promovendo maior atividade das enzimas antioxidativas e do complexo não enzimático (LIANG et al., 2018), como alterar o conteúdo de prolina no tecido foliar (ELNAGGAR et al., 2018). Bioestimulantes a base de bactérias e FMA apresentaram-se como alternativas eficazes de tolerância ao estresse hídrico no desenvolvimento e rendimento da soja (AHMAD et al., 2018).

Microrganismos promotores do crescimento vegetal, como fungos micorrízicos arbusculares (FMA) podem reduzir os efeitos negativos do DH por meio da modulação da expressão da 1-aminociclopropano-1-carboxilato desaminase e indução de sinais fito-hormonais (AL-QURAAN; AL-AJLOUNI; QAWASMA 2021; SABAGH, 2020). Ressalta-se ainda que os FMA promovem uma maior tolerância das plantas a vários estresses abióticos, estimulando a absorção de nutrientes e água, apresentando um efeito positivo direto na produção das culturas (LIANG et al., 2021; DAMALAS et al., 2019). Os FMA apresentam modo de ação no equilíbrio hídrico das plantas inoculadas, irrigadas ou não (AHMAD et al., 2018).

Segundo Langella e Martín (2019), bactérias probióticas como *Lactobabillus rhamnosus* e *L. farciminis*, quando utilizadas em quantidades adequadas promovem efeitos benéficos para o hospedeiro. Esses efeitos benéficos são decorrentes do fornecimento de nutrientes, como também, a redução de patógenos prejudiciais ao hospedeiro (KLEEREBEZEM et al., 2019). Santos (2018) informa que o modo de ação das BPCV é semelhante com as bactérias probióticas.

O uso de silício (Si) como bioestimulante promove efeitos benéficos nas plantas cultivadas sob estresse hídrico. De acordo com Shahrajabian et al. (2021), o modo de ação do Si atua diretamente na turgescência e alongamento celular, por meio do depósito de sílica na parede celular, o que promove maior estabilidade das

membranas e menor perda de eletrólitos. Os efeitos positivos do Si podem ser verificados em plantas cultivadas sob CC, pois sua ação influencia a capacidade fotossintética e crescimento das plantas (RASTOGI et al., 2019).

O DH causa redução do desenvolvimento das plantas e produtividade, principalmente pela redução da fotossíntese, a qual é responsável pela assimilação de CO₂ e conversão em fotoassimilados. Porém verificou-se maior taxa fotossintética nas plantas do tratamento B2 (*Rizophagus irregulares*). Segundo Yang et al. (2016) e Elhindi et al. (2017), a interação entre planta e os FMA é capaz de mitigar os efeitos negativos de estresses abióticos nas plantas, aumentando a produtividade, área foliar e biomassa. Essa interação planta-fungo é uma simbiose benéfica devido a modificação do ambiente dos fungos e ao desenvolvimento de extensões miceliais, a qual promove maior absorção e retenção de água, e conseqüentemente, estimula os processos fisiológicos das plantas (HARRIS-VALLE et al., 2018).

De acordo com os resultados, verificou-se redução da condutância estomática e conseqüente aumento da atividade das enzimas antioxidativas as plantas cultivadas sob estresse hídrico. De fato, as plantas podem fechar seus estômatos com o intuito de reduzir a perda de água (XIONG et al., 2021). Sob estresse hídrico, a redução excessiva da cadeia de transporte de elétrons fotossintéticos força a energia de excitação a se dissipar por meio de extinção não fotoquímica, resultando na produção de espécies reativas de oxigênio (DROBEK; FRĄC; CYBULSKA, 2019).

O uso de BPCV promoveu maior condutância estomática nas plantas cultivadas sob DH e CC. As BPCV fazem parte de um grupo de diversas bactérias de solo, as quais promovem o desenvolvimento das plantas em ambiente estressante ou não, por mecanismos diretos e indiretos (VESSEY, 2003; GLICK, 2012; OLANREWAJU; GLICK; BABALOLA, 2017). De forma direta as BPCV podem fornecer à planta hospedeira compostos sintetizados; facilitar a absorção de nutrientes; fixar nitrogênio atmosférico; solubilizar minerais; sintetizar hormônios vegetais, incluindo auxinas, giberelinas, que auxiliam em várias etapas do crescimento da planta; ou ainda gerar enzimas que modulam o crescimento e o desenvolvimento das plantas (LUCY; REED; GLICK, 2004; ETESAMI; MAHESHWARI, 2018). Todos esses mecanismos diretos promovem maior tolerância a estresses abióticos, através da manutenção dos processos fisiológicos essenciais para desenvolvimento e rendimento das culturas.

Como observado nos resultados desta pesquisa, houve redução da perda de eletrólitos e aumento do teor de prolina e proteína nas plantas cultivadas com

bioestimulantes. Esses osmólitos diminuem a permeabilidade das membranas das plantas submetidas a estresses, mantendo as concentrações de íons nas células, assegurando o crescimento das plantas (WANG et al., 2022). Resultados encontrados por Wang et al. (2014), mostram que os teores de prolina na cultura da soja aumentaram nas plantas submetidas ao estresse hídrico, e ainda, as variedades com alta tolerância ao estresse apresentaram maior teor de prolina, em comparação com as variedades com baixa tolerância ao estresse.

A prolina é um osmólito essencial para a regulação osmótica e prevenir a perda de água (BARNAWAL; SINGH; SINGH, 2019). Resultados verificados por Igiehon e Babalola (2021), demonstraram maior teor de prolina em plantas inoculadas com bactérias e FMA, colaborando com os resultados desta pesquisa, em que houve acúmulo de prolina em plantas dos tratamentos com bioestimulantes, resultando em menor potencial osmótico das células, promovendo maior absorção de água (DONG et al., 2002).

Uma das respostas das plantas cultivadas sob estresse, é a ativação de enzimas antioxidativas para reduzir os danos nas membranas. Xiong et al. (2021), verificaram aumento da atividade das enzimas catalase e superóxido dismutase em plantas de soja cultivadas sob estresse hídrico, devido ao estresse oxidativo.

Neste estudo, nas plantas submetidas ao DH, verificou-se redução da condutância estomática, com consequente acúmulo de prolina e aumento das atividades das enzimas antioxidativas. No entanto, a aplicação dos tratamentos B2, B4, B5 e B7 sob DH resultou em menor atividade das enzimas, podendo-se afirmar que tais bioestimulantes reduziram os impactos negativos do DH, os quais promoveria a geração e acúmulo de EROs.

A geração de EROs provoca danos oxidativos nas membranas celulares, aparelho fotossintético, causando uma série de efeitos deletérios nas células, prejudicando assim, o desenvolvimento das plantas (CHOUDHARY et al., 2018; YANG et al., 2020). Porém, as plantas desenvolveram um mecanismo de resposta antioxidativo, por meio de enzimas, como superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) peroxidase (POD), entre outras (CHOUDHARY et al., 2018).

O tratamento B2 promoveu maior atividade da enzima nitrato redutase quando as plantas estavam sob DH, com consequente melhora no metabolismo do nitrogênio, o que resulta em maior disponibilidade de amônio para síntese de aminoácidos como prolina e proteína. O aumento da síntese de aminoácidos resultante da regulação

positiva do metabolismo do nitrogênio está diretamente relacionado com o aumento da tolerância das plantas ao DH (ZAREA et al., 2011).

O DH causou redução na atividade da enzima nitrato redutase e consequentemente da glutamina sintetase. Durante o processo de assimilação de nitrogênio, o NO_3^- é convertido em NH_4^+ pela enzima nitrato redutase e nitrito redutase (XU; GAO, 2012). Posteriormente, o NH_4^+ é assimilado via glutamina sintetase. Estes processos são regulados por sinais internos e externos, sendo sensíveis a estresses abióticos e bióticos (WANG et al., 2014). Colaborando com os resultados desta pesquisa, em que o DH causa redução na atividade da enzima nitrato redutase e consequentemente, decréscimo na glutamina sintetase (DU et al. 2020; ZHAO et al. 2021).

1.5 CONCLUSÃO

O estresse causado pelo déficit hídrico promoveu alterações fisiológicas, resultando em redução do desenvolvimento morfológico das plantas.

Os bioestimulantes compostos por Silício e *Rhizophagus irregularis* evidenciaram os melhores resultados para conteúdo relativo de água, perda de eletrólitos, fotossíntese, condutância estomática, concentração interna de carbono, taxa de transpiração líquida, carotenoides totais, proteína solúvel total, atividade de catalase e ação enzimática de nitrato redutase.

Os bioestimulantes mais eficazes para amenizar os efeitos de déficit hídrico foram o Silício e o fungo micorrízico *Rhizophagus irregulares*.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, Z. *et al.* Physiological responses of wheat to drought stress and its mitigation approaches. **Acta Physiol. Plant.**, v. 40, n. 80, 2018,
- AL-QURAAN, N.A.; AL-AJLOUNI, Z.I.; QAWASMA, N.F. Physiological and biochemical characterization of the gaba shunt pathway in pea (*Pisum Sativum* L.) seedlings under drought stress. **Horticulturae**, v. 7, n. 125. 2021.
- ALHAITHLOUL, H. A. S. Impact of Combined Heat and Drought Stress on the Potential Growth Responses of the Desert Grass *Artemisia sieberi* alba: Relation to Biochemical and Molecular Adaptation. **Plants**, v. 8, p. 416-441, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants8100416>
- ASHRAFI, M. *et al.* Physiological and Molecular Aspects of Two *Thymus* Species Differently Sensitive to Drought Stress. **BioTech**, v. 11, n. 8, 2022.
- BALESTRINI, R. *et al.* Improvement of plant performance under water deficit with the employment of biological and chemical priming agents. **J. Agric. Sci.**, v. 156, p. 680-688, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859618000126>
- BARNAWAL, D.; SINGH, R.; SINGH, R.P. Role of plant growth promoting rhizobacteria in drought tolerance: Regulating growth hormones and osmolytes. In *PGPR Amelioration in Sustainable Agriculture*. **Elsevier**: Amsterdam, The Netherlands, p. 107–128, 2019.
- BARR, H. D.; WEATHERLEY, P. E. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. **J. Biol. Sci.**, v. 15, n. 3, p. 413-428, 1962. DOI: <https://doi.org/10.1071/BI9620413>
- BATES, L.S.; WALDREN, R.P.; TEARE, I.D. Rapid determination of free proline for water stress studies. **Plant and Soil**, v.39, p. 205-207, 1973. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- BRADFORD, M. M. **A rapid and sensitive method for the microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye-binding.** *Analytical Biochemistry*, v. 72 p. 248-254, 1976. DOI: <https://doi.org/10.1006/abio.1976.999>
- CAPELIN, D.; DANELUZZI, G. S.; OLIVEIRA, R. F.; BRESSAN, D. F.; CORRÊA, C. V.; JOCA, T. A. C.; ALVES, M. S.; BROETTO, F. **Utilização do IRGA-Analisador de gases por infravermelho para avaliação de trocas gasosas em plantas: check list de preparação.** *O estresse das plantas teoria & prática [recurso eletrônico]*, 2017.
- CHIAIESE, P. *et al.* Renewable sources of plant biostimulation: microalgae as a sustainable means to improve crop performance. **Front. Plant Sci.**, v. 9, n. 1782, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01782>

CHIMUNGU J. G. *et al.* Utility of root cortical aerenchyma under water limited conditions in tropical maize (*Zea mays* L.). **Field Crops Res.**, v. 171, p. 86–98, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.10.009>

CHOUDHARY, M. M. *et al.* Changes in soil biology under conservation agriculture based sustainable intensification of cereal systems in Indo-Gangetic Plains. **Geoderma**, v. 313, p. 193-204, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.10.041>

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v.14, n. 1, p. 1-11, 2009.

DAMALAS, C. A. Improving drought tolerance in sweet basil (*Ocimum basilicum*) with Salicylic Acid. **Sci. Hortic.** (Amsterdam), v. 246, p. 360–365, 2019.

DARYANTO, S.; WANG, L.; JACINTHE, P-A. Global synthesis of drought effects on cereal, legume, tuber and root crops production: A review. **Agricultural Water Management**, v. 179, p. 18-33, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.022>

DONG, D. *et al.* **Artificial neural networks method for oil systems identification and its applications.** In: Proceedings of the 4th World Congress on Intelligent Control and Automation, p. 2952-2955, 2002.

DROBEK, M.; FRĄC, M.; CYBULSKA, J. Plant Biostimulants: Importance of the Quality and Yield of Horticultural Crops and the Improvement of Plant Tolerance to Abiotic Stress - A Review. **Agronomy**, v. 9, n. 335. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9060335>

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 3-14, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>

DU, Y. L. *et al.* Effect of drought stress at reproductive stages on growth and nitrogen metabolism in soybean. **Agronomy**, v. 10, n. 302, 2020.

ELANSARY, H. O.; SKALICKA-WOŹNIAK, K.; KING, I. W. Enhancing stress growth traits as well as phytochemical and antioxidant contents of *Spiraea* and *Pittosporum* under seaweed extract treatments. **Plant Physiol Biochem**, v. 105, p. 310 – 320, 2016.

ELHINDI, K. M.; EL-DIN, A. S.; AND ELGORBAN, A. M. The impact of arbuscular mycorrhizal fungi in mitigating salt-induced adverse effects in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.), **Saudi J. Biol. Sci.**, v. 24, p. 170–179, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.02.010>

ELLIOTT, W. H. Isolation of glutamine synthetase and glutamotransferase from green peas. **Journal of Biological Chemistry**, v. 201, n. 2, p. 661-672, 1953.

ELNAGGAR, A.; EL-KEBLAWY, A.; MOSA, K.A.; SOLIMAN, S. Drought Tolerance during Germination Depends on Light and Temperature of Incubation in *Salsola Imbricata*, a Desert Shrub of Arabian Deserts. *Flora Morphol. Distrib. Funct. Ecol. Plants*, v. 249, p. 156–163, 2018.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Catálogo de cultivares de soja convencional: 2003**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/convencional/brs232>>. Acesso em: 08 jul. 2021.

ETESAMI, H.; MAHESHWARI, D. K. Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: action mechanisms and future prospects. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, v.156, p. 225-246, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.013>

FENG, W.; LU, H.; YAO, T.; YU, Q. Drought characteristics and its elevation dependence in the Qinghai-Tibet plateau during the last half-century. **Scientific Reports**, v. 10, n. 14323, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71295-1>

GALINDO, F. S. *et al.* Can silicon applied to correct soil acidity in combination with *Azospirillum brasilense* inoculation improve nitrogen use efficiency in maize? **Plos one**, v. 15, n. 4, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230954>

GIANNOPOLITIS, C.N.; RIES, S.K. Superóxido dismutases. I. occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, v. 59, n. 2, p. 309-314, 1977. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309>

GLICK, B. R. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. **Sci. Tech. Rep.**, p. 1-15, 2012. DOI: <https://doi.org/10.6064/2012/963401>

HARRIS-VALLE, C. *et al.* Physiological response of *Cucurbita pepo* var. *pepo* mycorrhized by Sonoran Desert native arbuscular fungi to drought and salinity stresses. **Braz. J. Microbiol.**, v. 49, p. 45–53, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.04.00>

HISCOX, J. D.; ISRAELSTAM, G. F. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. **Canadian Journal of Botany**, v. 57, n. 12, p. 1332-1334, 1979. DOI: <https://doi.org/10.1139/b79-163>

IGIEHON, O.N.; BABALOLA, O.O. Rhizobium and Mycorrhizal Fungal Species Improved Soybean Yield Under Drought Stress Conditions. **Curr Microbiol.**, v. 78, p. 1615–1627, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00284-021-02432-w>

JAWORSKI, E. G. Nitrate reductase assay in intact plant tissues. **Biochem Biophys Res Commun.** v. 43, n. 6, p.1274–1279, 1971. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0006-291X\(71\)80010-4](https://doi.org/10.1016/S0006-291X(71)80010-4)

JIA, S. C. *et al.* Effects of different drought stresses on growth and physiological properties of soybean. **Acta Agric. Boreali. Sin.**, v. 34, p. 137–144, 2019. DOI: <https://doi.org/10.7668/hbnxb.201751770>

JIANG, S.; LIU, D.; PANG H. Effects of PEG stress and recovery on activities of key enzymes involved in proline metabolism in wheat cultivars with difference in drought tolerance. **Acta Bot. Boreali Occidentalia Sin.** v. 34, p. 1581–1587, 2014.

KLEEREBEZEM, M. *et al.* Understanding mode of action can drive the translational pipeline towards more reliable health benefits for probiotics. **Current opinion in biotechnology**, v. 56, p. 55-60, 2019.

KRAMER, Paul J.; BOYER, John S. **Water relations of plants and soils**. Academic press, 1995.

LANGELLA, P.; MARTÍN, R., Emerging health concepts in the probiotics field: streamlining the definitions. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, n. 1047, 2019.

LAFUENTE, M. T. *et al.* Effect of the temperature conditioning on chilling injury of cucumber cotyledons. **Plant Physiology**. v. 95, n. 2, p. 443-449, 1991.
DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.95.2.443>

LEI, C. *et al.* Osmopriming with Polyethylene Glycol (Peg) for Abiotic Stress Tolerance in Germinating Crop Seeds. A Review. **Agronomy**, v. 11, n. 2194, 2021

LIANG, B. *et al.* Effects of Exogenous Dopamine on the Uptake, Transport, and Resorption of Apple Ionome under Moderate Drought. **Front. Plant Sci.**, v. 9, n. 755, 2018.

LIANG, Y. *et al.* Transcriptome Profiling of Two Rice Genotypes under Mild Field Drought Stress during Grain-Filling Stage. **AoB Plants**, v. 13, 2021.

LOCK, H. Catalase. In: HU, B. Methods of Enzymatic Analysis. **New York: ACADEMIC Press**, 1963. p. 885-888.
DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-091302-2.X5001-4>

LUCY, M.; REED, E.; GLICK, B. R. Applications of free-living plant growth-promoting rhizobacteria. **Antonie Leeuwenhoek**, v. 86, n. 1, p. 1-25, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:ANTO.0000024903.10757.6e>

MA F. J. *et al.* Responses of wheat seedlings root growth and leaf photosynthesis to drought stress. **Ying Yong Sheng Tai Xue Bao**, v. 23, p. 724–730, 2012.

MANTOVANI, E. C. AVALIA: **Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada**. Viçosa, MG: UFV, 2001.

MANCUSO, Wagner Pralon; OLIVEIRA, Amâncio Jorge de. Abertura econômica, empresariado e política: os planos doméstico e internacional. **Lua Nova: Revista de Cultura e Política**, p. 147-172, 2006.

MORADTALAB, N. *et al.* Silicon and the association with an arbuscular-mycorrhizal fungus (*Rhizophagus clarus*) mitigate the adverse effects of drought stress on strawberry. **Agronomy**, v. 9, n. 41, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9010041>

NOVICK, K.A. *et al.* Confronting the water potential information gap. *Nat. Geosci.*, v. 15, p. 158–164, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41561-022-00909-2>

OJUEDERIE, O.B.; OLANREWAJU, O.S.; BABALOLA, O.O. Plant Growth Promoting Rhizobacterial Mitigation of Drought Stress in Crop Plants: Implications for Sustainable Agriculture. ***Agronomy***, v. 9, n, 712. 2019. DOI:<https://doi.org/10.3390/agronomy9110712>

OLANREWAJU, O. S.; GLICK, B. R.; BABALOLA, O. O. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. ***World J. Microbiol. Biotechnol.***, v. 6, n. 11, p. 197-2013, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2364-9>

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 284 p.

RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo, 2 ed.** rev. ampl. Campinas, SP: Instituto Agrônômico & Fundação IAC, 1997.

RASUL, F. *et al.* Priming with a Seaweed Extract Strongly Improves Drought Tolerance in Arabidopsis. ***Int. J. Mol. Sci.***, v. 22, n. 1469, 2021.

RASTOGI, A. *et al.* Application of silicon nanoparticles in agriculture. ***Biotech.***, v. 9, n. 90, p. 1–11, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1626-7>

SABAGH, A. E. L. *et al.* Consequences of Salinity Stress on the Quality of Crops and Its Mitigation Strategies for Sustainable Crop Production: An Outlook of Arid and Semi-Arid Regions. In *Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth*; **Springer**: Berlin/Heidelberg, Germany, p. 503–533, 2020.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5.ed.** Brasília: Embrapa, 2018.

SHAHRAJABIAN, M. H. *et al.* Biostimulants application: a low input cropping management tool for sustainable farming of vegetables. ***Biomolecules***, v. 11, n. 698, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom11050698>

SHEN, S. Y.; WU, Y. X.; ZHENG, Y. S. Review on drought response in plants from phenotype to molecular. ***Curr. Biotechnol.***, v.7, p. 169–176, 2017.

SHETEIWY, M. S. *et al.* Cold plasma treatment and exogenous salicylic acid priming enhances salinity tolerance of *Oryza sativa* seedlings. ***Protoplasma***, v. 1, n. 21, 2018a.

SHETEIWY, M. S. *et al.* Priming with methyl jasmonate alleviates polyethylene glycol-induced osmotic stress in rice seeds by regulating the seed metabolic profile. ***Environ Exp Bot.***, v. 48, p. 153:236, 2018b.

SHUKLA, P. S.; PRITHIVIRAJ, B. Ascophyllum nodosum biostimulant improves the growth of Zea mays grown under phosphorus impoverished conditions. **Front Plant Science**, v. 8 n. 11, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.601843>

TANKARI, M. *et al.* Drought priming improved water status, photosynthesis and water productivity of cowpea during post-anthesis drought stress. **Agricultural Water Management**, v. 245, n. 106565, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106565>

TURKAN, I. *et al.* Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L subjected to polyethylene glycol mediated water stress **Plant Sci.**, v. 168, p. 223–231, 2005.

ULLAH, A. *et al.* Drought tolerance improvement in plants: an endophytic bacterial approach. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 103, n. 18, p. 7385-7397, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10045-4>

VAN GENUCHTEN, M. T. H. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of insaturated. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 41, p. 892 – 898, 1980. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>

VAN OOSTEN, M. *et al.* The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 4, n. 5, p. 1-12, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-017-0089-5>

VESSEY, J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil*, v. 255, p. 571-586, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:102603721>

WANG, X. *et al.* Physiological Response of Soybean Plants to Water Deficit. **Front Plant Sci.**, v. 12, n. 809692, 2022 DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.809692>

WANG, H. H.; HUANG, J. J.; YANG L. D. Physiological responses of ascorbic acid and glutathione in soybean seedlings to drought stress. **Jiangsu Agricult. Sci.**, p. 42, n. 86–88, 2014. DOI: <https://doi.org/10.15889/j.issn.1002-1302.2014.05.077>

WU, S. *et al.* Effects of molybdenum on water utilization, antioxidative defense system and osmotic-adjustment ability in winter wheat (*Triticum aestivum*) under drought stress. **Plant Physiol. Biochem.**, v. 83, p. 365–374, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.08.022>

WU, R. *et al.* Physiological response of flax seedlings with different drought-resistances to drought stress. **Acta Agric Boreali-Sinica**, v. 34, n. 145, 2019.

XIONG, R. *et al.* Root system architecture, physiological and transcriptional traits of soybean (*Glycine max* L.) in response to water deficit: A review. **Physiologia Plantarum**, v. 72, n. 2, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppl.13201>

XU, Z. R. *et al.* Effect of drought stress on the growth and physiological characteristics of nine species of wild ornamental plants in Lanzhou. **Pratacult. Sci.**, v. 35, p. 2865–2871, 2018.

XU, Z.; GAO, K. NH₄⁺ enrichment and UV radiation interact to affect the photosynthesis and nitrogen uptake of *Gracilaria lemaneiformis* (Rhodophyta), **Marine Pollution Bulletin**, v. 64, p. 99-105, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.10.016>.

YANG, H. S. *et al.* Predicting plant response to arbuscular mycorrhizas: the role of host functional traits, **Fungal Ecol.**, v. 20, p. 79–83, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2015.12.001>

YANG Y. *et al.* ABF3 enhances drought tolerance via promoting ABA-induced stomatal closure by directly regulating ADF5 in *Populus euphratica*. **J. Exper. Bot.**, v. 71, n. 22, p. 7270-7285, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa383>

ZAREA, M. J.; KARIMI, N.; GOLTAPPEH, E. M.; GHALAVAND, A. Effect of cropping systems and arbuscular mycorrhizal fungi on soil microbial activity and root nodule nitrogenase. **J. of the Saudi Soc. of Agri. Sci.**, v.10, p. 109 – 120, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2011.04.003>

ZHAO, C. F. *et al.* Melatonin enhances drought tolerance by regulating leaf stomatal behavior, carbon and nitrogen metabolism, and related gene expression in maize plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, n. 779382, 2021.

CAPÍTULO 2

AVALIAÇÕES BIOMÉTRICAS E PRODUÇÃO DE PLANTAS DE SOJA SUBMETIDAS A APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTES E DÉFICE HÍDRICO

Resumo: A escassez hídrica promove redução do desenvolvimento e perdas de produtividade em plantas em diversas áreas agrícolas. Sendo assim, há a necessidade do uso de novas alternativas sustentáveis que possam atenuar os danos causados pelo déficit hídrico nas principais culturas cultivadas no mundo. Portanto, o objetivo da pesquisa foi avaliar a eficiência do uso de bioestimulantes a base de compostos como algas, bactérias e fungos em resposta aos efeitos causados nas plantas em condições de estresse pelo déficit hídrico. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em parcelas subdivididas com quatro repetições. Nas parcelas, foram aplicados os tratamentos hídricos, duas lâminas de irrigação, uma denominada como Capacidade de Campo e outra denominada Déficit Hídrico. Nas subparcelas, foram oito tratamentos bioestimulantes, aplicados nas sementes no momento da semeadura. o estresse hídrico foi aplicado quando a cultura entrou no estágio fenológico reprodutivo e estendeu-se até o final do ciclo. As plantas cultivadas sob déficit hídrico apresentaram redução em seu desenvolvimento, o que promoveu redução de biomassa e perdas na produtividade, porém quando utilizados os bioestimulantes compostos por Silício e *Rhizophagus irregularis*, os efeitos do estresse hídrico foram mitigados.

Palavras-chave: estresse abiótico; biomassa; estimulantes vegetais; *Glycine max* (L.) Merrill

BIOMETRIC EVALUATIONS AND GRAIN YIELD OF SOYBEAN PLANTS SUBMITTED TO THE APPLICATION OF BIO-STIMULANTS AND WATER DEFICIT

Abstract: Water scarcity promotes reduced development and productivity losses in plants in several agricultural areas. Therefore, there is a need to use new sustainable alternatives that can mitigate the damage caused by the water deficit in the main crops grown in the world. Therefore, the objective of the research was to evaluate the efficiency of the use of biostimulants based on compounds such as algae, bacteria and fungi in response to the effects caused in plants under conditions of stress due to water deficit. The experimental design was in randomized blocks in split plots with four replications. In the plots, water treatments were applied, two irrigation depths, one called Field Capacity, and another called Water Deficit. In the subplots, eight biostimulants treatments were applied to the seeds at the time of sowing. water stress was applied when the crop entered the reproductive phenological stage and extended until the end of the cycle. Plants cultivated under water deficit showed a reduction in their development, which promoted a reduction in biomass and losses in productivity, but when biostimulants composed of Silicon and *Rhizophagus irregularis* were used, the effects of water stress were mitigated.

Keywords: abiotic stress; biomass; plant stimulants; *Glycine max* (L.) Merrill

2.1 INTRODUÇÃO

O estresse causado pelo déficit hídrico (DH) é um dos fatores abióticos que afetam diretamente a segurança alimentar global. Deste modo, há necessidade em aumentar a produção de alimentos, de forma que reduza as perdas de produtividade devido à escassez hídrica e má distribuição das chuvas.

A agricultura é compõe um setor econômico que é dependente das condições climáticas. Especificamente no Brasil, a maioria das lavouras de cereais são cultivadas em sistema de sequeiro, com dependência exclusiva das chuvas, sendo que a falta de água em períodos fenológicos importantes para o ciclo da cultura, torna essa dependência mais agravante. De acordo com Daryanto; Wang e Jacinthe (2016), a escassez hídrica tem um impacto significativo na produção agrícola, afetando o desenvolvimento e podendo causar perdas de produtividade de até 40%.

A cultura da soja necessita de água suficiente em todo seu processo de crescimento para alcançar seu potencial produtivo (BUEZO et al., 2019).

Como a escassez hídrica afeta o crescimento e desenvolvimento das plantas, os processos fisiológicos e a melhoria da produção são questões de grande importância para a cultura da soja, sendo necessário compreender as respostas relacionadas ao crescimento e desenvolvimento de plantas ao estresse hídrico.

Entre os estresses que afeta a planta o DH prejudica o acúmulo de biomassa, o índice de área foliar e consequentemente a eficiência fotossintética (YAN et al., 2017; LI et al., 2019). As plantas respondem ao estresse com alterações fenotípicas, como aumento do crescimento e biomassa radicular, fechamento estomático e ângulo de posições das folhas estão associados a diversos genes e vias, incluindo transdução de sinal, metabolismo de proteínas, síntese de compostos compatíveis, regulação da síntese de hormônios vegetais e metabolismo de carboidratos (BASU et al., 2016; HURA; HURA; OSTROWSKA, 2022)

Assim, há a necessidade de alternativas que possam minimizar os efeitos negativos do DH das culturas agrícolas. Dentre as recentes inovações no meio agrícola, o uso de bioestimulantes têm despertado muito interesse, face sua capacidade de induzir respostas fisiológicas nas plantas em situações adversas de cultivo.

Os bioestimulantes são considerados componentes suplementares da nutrição vegetal, podendo ser de origem mineral ou microrganismos benéficos, como fungos,

bactérias, algas marinhas, entre outros. Os bioestimulantes são estimulantes vegetais, que desempenham papel fundamental no crescimento das plantas por meio da eficiência da absorção de nutrientes das plantas, aumentando a produtividade e a qualidade dos produtos. Geralmente, os bioestimulantes são definidos como compostos que geram um maior rendimento em culturas agrícolas, por estimular o metabolismo ou otimizar a aquisição de nutrientes, sendo observados também, efeitos como tolerância a estresses abióticos (BITTERLICH et al., 2018; ROUPHAEL et al., 2020; COLLA; ROUPHAEL, 2020)

Desta forma, os efeitos estimulantes podem repercutir no metabolismo primário das plantas em eventos como a absorção de nutrientes, transporte de solutos e translocação, síntese de proteínas, fotossíntese, respiração, formação de carboidratos e substâncias estruturais da planta além da diferenciação dos tecidos (JARDIN, 2015; HOEBERICHTS et al., 2017).

Sob a hipótese de que os bioestimulantes podem mitigar os efeitos negativos do déficit hídrico, objetivou-se avaliar o efeito sobre as características morfológicas e de produção das plantas em função de oito bioestimulantes aplicados na cultura da soja submetida a deficiência hídrica e condição ideal de umidade do solo.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Localização e caracterização edafoclimática da área experimental

O experimento foi instalado, em estufa agrícola de 140 m², com pé direito de 3m, na área experimental do Departamento de Engenharia Agrícola, da Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP, no município de Botucatu - SP, latitude 22°51'06.6"S, longitude 48°25'44.7", altitude 762 m, durante o período de janeiro a abril de 2019.

Conforme a classificação de Köppen, o clima predominante de Botucatu é do tipo Cwa (subtropical úmido), caracterizado por verão quente e chuvoso com temperaturas acima de 22°C, e inverno seco com temperaturas inferiores a 18°C. A temperatura média anual do ar é de 20,3°C, e a precipitação pluvial média anual é de 1.428,4 mm (CUNHA; MARTINS, 2009).

As condições climáticas dentro da estufa (temperatura e umidade relativa do ar) foram registradas ao longo do período experimental, da semeadura a colheita, com

a utilização de um termo-higrômetro digital *Datalogger* modelo Insutherm HT-500, instalado no centro do ambiente experimental e programado para registrar leituras a cada 30 minutos (Figura 1), com base nos dados de temperatura e umidade relativa do ar, foi gerado o gráfico de déficit de pressão de vapor, que nos mostra variações na condição atmosférica do ambiente de cultivo (Figura 2).

Figura 1 - Temperatura (°C) e Umidade Relativa (%) médias dentro da estufa agrícola durante o período de condução do ensaio com a cultura da soja (10/01/19 a 18/04/19).

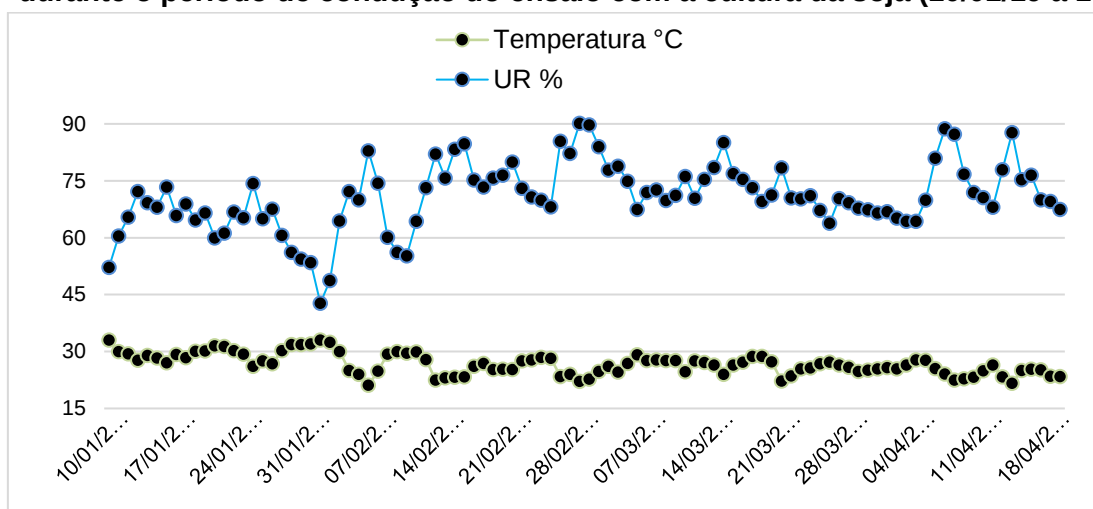
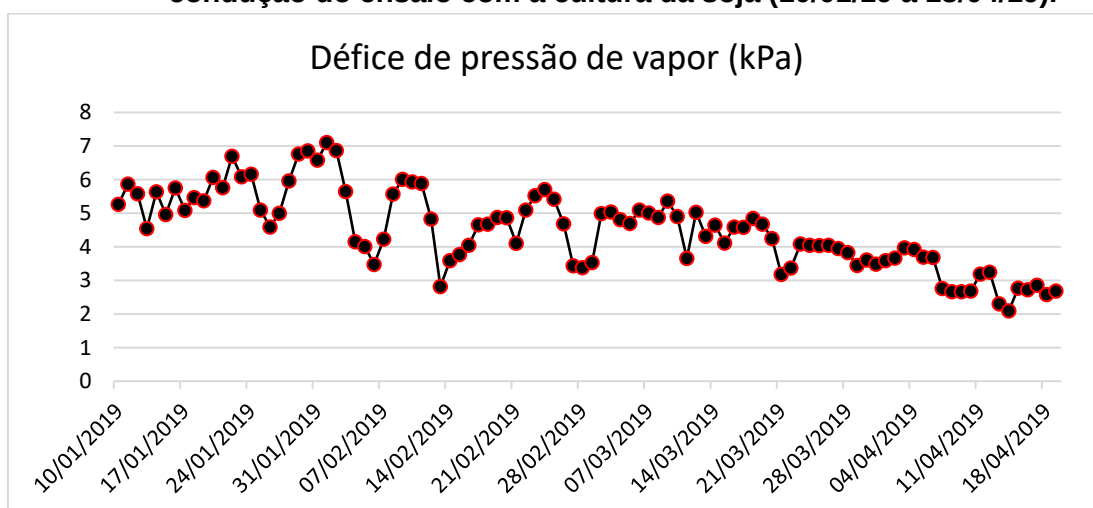


Figura 2 – Déficit de pressão de vapor dentro da estufa agrícola durante o período de condução do ensaio com a cultura da soja (10/01/19 a 18/04/19).



O solo utilizado para a condução experimental foi classificado pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como Latossolo Vermelho Amarelo (SANTOS et al., 2018), com 755, 34 e 210 g dm⁻³ de areia, silte e argila, respectivamente. Para análise química do solo a coleta foi realizada seguindo a metodologia proposta por Raji et al. (2001), e o resultado está descrito na Quadro 1.

Quadro 1 - Atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 0,2 m, antes da instalação do experimento.

pH (CaCl ₂)	M.O.	P(resina)	S	H+Al	K	Ca	Mg	CTC	V
	g dm ⁻³	— mg dm ⁻³ —				mmol _c dm ⁻³			%
4,20	4,00	2,00	18,00	20,00	0,30	2,00	1,00	22,00	10,00
Cu	Fe	Mn	Zn	B					
		mg dm ⁻³							
0,40	3,00	2,80	0,20	0,16					

Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi no esquema de blocos casualizados em parcelas subdivididas com quatro repetições. Nas parcelas, foram aplicados os tratamentos hídricos, duas lâminas de irrigação, uma denominada como Capacidade de Campo (-10kPa) e outra denominada Déficit Hídrico (-25 kPa). Nas subparcelas, foram oito tratamentos bioestimulantes, aplicados nas sementes no momento da semeadura. O estresse hídrico foi aplicado no momento em que a cultura entrou no estágio fenológico reprodutivo e estendeu-se até o final do ciclo. Os tratamentos e as doses e concentrações estão descritos nas Quadro 2 e 3.

Quadro 2 - Resumo dos tratamentos do delineamento experimental para estudo dos efeitos de bioestimulantes na cultura da soja sob condições de capacidade de campo (CC) e déficit hídrico (DH).

Regime Hídrico	Bioestimulantes	Dose
DH	B1	2,5 L ha ⁻¹
	B2	2,5 L ha ⁻¹
	B3	10 kg ha ⁻¹
	B4	1 g kg ⁻¹
	B5	500 g ha ⁻¹
	B6	1 L ha ⁻¹
	B7	1 L ha ⁻¹
	B8	-
CC	B1	2,5 L ha ⁻¹
	B2	2,5 L ha ⁻¹
	B3	10 kg ha ⁻¹
	B4	1 g kg ⁻¹
	B5	500 g ha ⁻¹
	B6	1 L ha ⁻¹
	B7	1 L ha ⁻¹
	B8	-

Quadro 3 – Concentrações de bioestimulantes utilizados para realizar os tratamentos de sementes.

Bioestimulante	Componentes	Concentração
B1	<i>Bacillus pumilus</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>B. amyloliquefaciens</i> e <i>Rodopseudomonas palustres</i>	11,3x10 ⁵ ; 1x10 ⁹ ; 1,3x10 ⁵ ; 1x10 ⁶ (UFC mL ⁻¹)
B2	<i>Rhizophagus irregularis</i>	5x10 ⁷ (UFC mL ⁻¹)
B3	<i>Lactobacillus rhamnosus</i> e <i>L. farciminis</i> .	1,1x10 ⁸ (UFC mL ⁻¹)
B4	SiO ₂	46,75%
B5	<i>Lithothamnium calcareum</i>	100%
B6	<i>Bacillus subtilis</i>	1x10 ⁹ (UFC mL ⁻¹)
B7	<i>Ascophyllum nodosum</i>	100%
B8	Controle sem aplicação de bioestimulante	-

Unidades formadoras de colônias (UFC).

As plantas foram cultivadas em vasos de polietileno de 30 L, uma planta por vaso, totalizando 384 plantas. Cada unidade experimental foi composta por seis plantas, quatro plantas para avaliações fisiológicas e bioquímicas, utilizadas como amostras destrutivas, e duas plantas para a avaliação de componentes de produção e produtividade.

Caracterização da cultivar de soja

A cultivar BRS 232 possui as seguintes características em condições de campo: crescimento determinado, ciclo de 116 a 142 dias podendo sofrer variação conforme o ano, a região e época de semeadura, altura de planta entre 67 a 93 cm, peso médio de 100 sementes de 18,5 g. Recomendação de 10 a 12 plantas por metro linear e espaçamento de 45 cm (EMBRAPA, 2003).

Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido em vasos, dentro de estufa agrícola. O solo utilizado foi previamente corrigido com 1,8 t ha⁻¹ calcário dolomítico no dia 18/11/2018,

com objetivo de neutralizar a acidez e elevar o valor de V% para 80%. Após a calagem o solo foi mantido úmido com objetivo de favorecer a reação de neutralização.

No dia 10/01/2019 foram realizadas as atividades de adubação, tratamento de sementes, e tratamentos dos bioestimulantes uma hora antes da semeadura.

A adubação foi realizada conforme Raij et al. (1997), para a cultura da soja para o estado de São Paulo, com base na análise química de solos, para produtividade esperada de 3,5 t ha⁻¹, sendo 20 kg ha⁻¹ de N, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 kg ha⁻¹ de K₂O, no momento da semeadura, aos 35 dias após a emergência foi realizada uma adubação de cobertura de K₂O da dose de 30 kg ha⁻¹.

O tratamento de sementes foi realizado com tiametoxan na dose de 300 mL para 100 kg de sementes e carboxina + tiram na dose de 400 mL para 100 kg de sementes. Após o tratamento de sementes foi realizada a inoculação com *Bradyrhizobium japonicum* na dose de 300 mL para cada 50 kg de sementes.

Ao final do processo de tratamento de sementes, foram realizadas as inoculações de bioestimulantes conforme cada tratamento descrito no Quadro 2. Foram separados 8 pacotes contendo 400 g de sementes em cada, um pacote para cada tratamento bioestimulante, a fim de facilitar a dosagem e homogeneização dos tratamentos. Uma hora após esta etapa foi realizada a semeadura.

Durante o experimento, o controle de plantas daninhas nos vasos foi realizado de maneira manual. Para auxiliar no controle de pragas foram instaladas armadilhas adesivas amarelas para lepidópteras, mosca branca e pulgões, e azuis para tripses, com intuito de minimizar a necessidade de aplicação de inseticidas. O manejo fitossanitário da cultura foi empregado de acordo com a necessidade ao longo do ciclo de cultivo (Quadro 4).

Quadro 4 - Tratos fitossanitários realizados na cultura da soja sob ação de bioestimulantes na mitigação dos efeitos do déficit hídrico.

Data	Classe	Ingrediente Ativo (concentração)	Dose	
24/01/2019	Inseticida	Deltametrina (25 g L ⁻¹)	0,2	L ha ⁻¹
14/02/2019	Inseticida	Deltametrina (25 g L ⁻¹)	0,2	L ha ⁻¹
14/02/2019	Fungicida	Fluxapiraxade (167 g L ⁻¹) + Piraclostrobina (333 g L ⁻¹)	0,4	L ha ⁻¹
04/03/2019	Inseticida	Cipermetrina (220 g L ⁻¹) + Tiametoxan (110 g L ⁻¹)	0,3	L ha ⁻¹
04/03/2019	Fungicida	Azoxtrobina (300 g kg ⁻¹) + Benzovindufupir (150 g kg ⁻¹)	0,3	kg ha ⁻¹
14/03/2019	Inseticida	Bifentrina (50 g L ⁻¹) + Imidacloprido (250 g L ⁻¹)	0,4	L ha ⁻¹
14/03/2019	Inseticida	Deltametrina (25 g L ⁻¹)	0,2	L ha ⁻¹
16/03/2019	Inseticida	Cipermetrina (220 g L ⁻¹) + Tiametoxan (110 g L ⁻¹)	0,3	L ha ⁻¹

Irrigação

A irrigação foi realizada com a utilização de um sistema composto por um reservatório de 500 L, bomba de ¼ de CV, manômetro, filtro de discos, registros, linha principal em PVC, linhas secundárias em polietileno de 13 mm, emissor PCJ com vazão de 2 L h⁻¹ ligados a duas saídas para um gotejador tipo flecha de 1 L h⁻¹ cada, trabalhando a uma pressão de serviço de 10 mca.

Avaliação de uniformidade do sistema de irrigação

Após a montagem do sistema de irrigação foi realizado o teste de coeficiente de uniformidade de aplicação de Christiansen (CUC), a fim de aferir a uniformidade de distribuição de água ao longo de todas as linhas de irrigação. Após o cálculo (Equação 1) resultado obtido foi de 97%, e conforme Mantovani (2001) para os critérios de classificação de CUC, o resultado é excelente.

(1)

$$CUC = \left[\frac{\sum_{i=1}^N X_i - \bar{X}}{N * \bar{X}} \right]$$

Em que:

N: número de coletores;

X_i: lâmina de água aplicada no i-ésimo ponto sobre a superfície do solo;

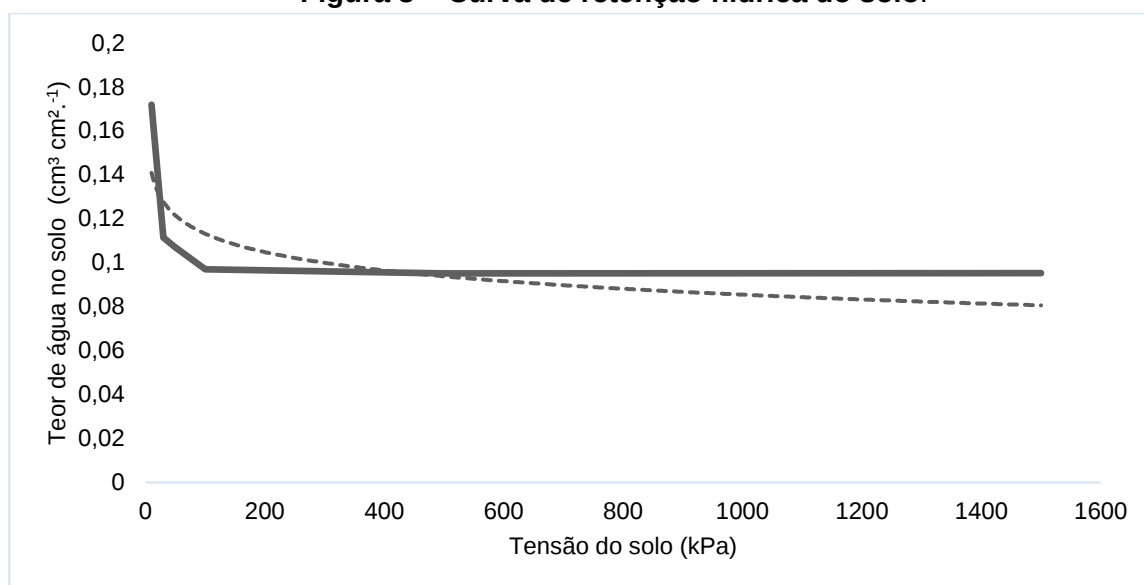
$\bar{X}$: lâmina média aplicada.

Manejo da irrigação e monitoramento de água no solo

O manejo hídrico teve por objetivo manter o solo em condição de capacidade de campo (CC) para todos os tratamentos até o momento da pré-floração, e a partir do momento em que a cultura passa para o estágio reprodutivo, inicia-se o manejo do tratamento de déficit hídrico (DH).

No manejo via tensiometria é relacionada a tensão do solo com a umidade atual. Foram necessárias retirar coletas de amostras indeformadas de solo nos vasos, as quais foram submetidas a câmara de pressão de Richards para determinação da curva de retenção hídrica do solo para os pontos correspondentes a 10, 30, 50, 100, 300, 500 e 1500 kPa. Assim, possibilitando ajustar a curva de retenção (Figura 3) pelo modelo proposto por (VAN GENUCHTEN, 1980).

Figura 3 – Curva de retenção hídrica do solo.



A tensão para ponto de murcha permanente (PMP) de -80 kPa, déficit hídrico a partir da floração (DH) -25 kPa e capacidade de campo (CC) de -10 kPa, valores obtidos pela curva de retenção de água no solo.

Para o cálculo da lâmina líquida foi utilizada a equação 2:

$$LL = (\theta_c - \theta_a) \times Z \times 10, \quad (2)$$

em que é a LL a lâmina líquida de irrigação (mm); θ_a - teor de água volumétrico atual (cm³ cm⁻³), θ_c - teor de água volumétrico no ponto crítico (cm³ cm⁻³), Z - profundidade do vaso (cm).

A lâmina bruta de irrigação (mm) foi determinada com a utilização da Equação 7 e o tempo de irrigação (em minutos) foi determinado para cada tratamento foi calculado utilizando-se a Equação 3.

$$LB = \frac{LL}{Ea}, \quad (3)$$

em que LB é a lâmina bruta aplicada (mm), LL é a lâmina líquida de irrigação (mm) e Ea é a eficiência de aplicação (adimensional).

$$Ti = \left[\frac{LB \times A}{n \times q} \right] \times 60, \quad (4)$$

em que Ti é o tempo de irrigação (minuto), La é a Lâmina bruta aplicada (mm), A é a área do vaso (m²), n é o Número de emissores e q é a vazão do gotejador (1 L h⁻¹).

Desta maneira, a irrigação foi realizada pela manhã, início da tarde e ao entardecer. Eram aferidos os tensiômetros, e pela diferença da leitura com a tensão desejada, era calculado o tempo de irrigação, no caso da CC a irrigação visava manter a tensão do solo em -10 kPa, e no tratamento de estresse hídrico, a irrigação visava manter a tensão do solo em -25 kPa. A lâmina total aplicada durante o ciclo da cultura para as plantas em condição hídrica de capacidade de campo foi de 480,28 mm, e para as plantas em condições de déficit hídrico no momento do período reprodutivo foi de 331,57 mm.

Avaliações biométricas

As avaliações biométricas foram realizadas em dois momentos. A primeira avaliação foi realizada no momento de pré-floração, aos 40 dias após a emergência, antes do início do manejo de estresse hídrico. A segunda avaliação foi realizada no momento do enchimento de grãos, 70 dias após a emergência, durante o manejo de estresse hídrico. A seguir, os parâmetros avaliados:

- a) Altura de plantas: medição, em centímetros, com uso de fita métrica, da distância do colo da planta até o ponto de inserção da lâmina foliar mais alta.
- b) Diâmetro de caule: medição, em milímetros, com uso de paquímetro, do diâmetro da base do caule da planta.

- c) Altura de inserção de vagem: medição, em centímetros, com uso de fita métrica, da distância do colo da planta até a inserção da primeira vagem. Realizada apenas na segunda avaliação.
- d) Número de folhas: Contagem unitária do número de folhas (trifólios) por planta.
- e) Área foliar: medição, em metros quadrados por planta, determinado pela medição de todas as folhas (trifólios) da planta com a utilização do integrador de área foliar LiCOR modelo Li-3000.
- f) Massa fresca e seca de folhas, caule, vagens e raiz: medição, em gramas por planta, realizada pela pesagem de cada parte da planta, de maneira separada para obtenção da massa fresca, em seguida as amostras são levadas para estufa de circulação de ar forçado, a temperatura de $60^{\circ}\text{C} \pm 5$ até massa constante e então pesadas novamente para obtenção da massa seca.
- g) Número de Vagens (NV): contagem de vagens por planta.
- h) Número de grãos por vagem (NGV): realizada pela contagem de todos os grãos presentes na vagem.
- i) Massa de 1000 grãos em g.
- j) Produtividade em kg ha^{-1} : quantificando, em g, produção das parcelas e extrapolando para kg ha^{-1} multiplicando pelo número de plantas por hectares recomendada para a cultivar.

A primeira avaliação foi realizada no dia 25/02/2019, 40 dias após a emergência, em pré-floração. A segunda avaliação foi realizada no dia 26/03/2019, 70 dias após a emergência, em enchimento de grãos. A colheita foi realizada no dia 18/04/2019.

Análise estatística

Para todos os parâmetros avaliados, os resultados foram submetidos à análise da variância, pelo teste F. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância.

2.3 RESULTADOS

Altura de plantas

Os bioestimulantes aplicados via semente não diferiu estatisticamente para altura de plantas nas duas épocas de avaliação. Aos 70 dias após a emergência nota-se distinção entre tratamentos em decorrência da alteração da disponibilidade hídrica,

onde as plantas submetidas ao regime de capacidade de campo apresentaram plantas maiores em média (51,6 cm) em relação ao regime submetido ao déficit hídrico (Tabela 1).

Tabela 1 - Altura média das plantas de soja (cm) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência.

Altura planta	40 DAE			70 DAE		
	CC	CC	Média	CC	DH	Média
B1	30,00	34,67	32,33	51,33	53,33	52,33 a
B2	31,33	31,67	31,50	57,67	46,33	52,00 a
B3	29,67	28,67	29,50	55,67	48,33	52,00 a
B4	29,67	30,33	30,00	51,00	46,00	48,50 a
B5	29,33	29,00	29,17	41,67	47,00	47,33 a
B6	30,33	28,67	29,50	49,00	45,67	47,33 a
B7	27,00	28,67	27,83	49,67	47,67	48,67 a
B8	30,67	30,00	30,33	51,00	45,00	48,00 a
Média	29,75	30,21		51,62 A	47,42 B	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascophyllum nodosum* (B7), Controle sem aplicação de bioestimulante (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Diâmetro de caule

Para avaliação aos 40 dias após a emergência o tratamento com o bioestimulante a base de *Ascophyllum nodosum* (B7) apresentou maior diâmetro de caule em relação aos demais tratamentos, este resultado está ligado aos fitormônios presentes no extrato de alga, que estimulam a elongação e multiplicação celular, e o menor diâmetro foi observado para o tratamento sem aplicação de bioestimulantes (B8).

Tal resultado não se manteve para a avaliação aos 70 dias após a emergência, onde, as plantas submetidas ao regime hídrico de capacidade de campo e aplicação de *Rizophagus irregulares* (B2) apresentaram diâmetro superior aos demais tratamentos. Assim, os fungos micorrízicos têm capacidade de solubilizar nutrientes da fração sólida do solo para as plantas, principalmente o fósforo, melhorando a condição energética da planta permitindo melhor desenvolvimento. O tratamento com silício (B4) também apresentou acréscimo no diâmetro de caule, este resultado está relacionado a capacidade de aumento da atividade fotossintética e crescimento vegetal que o elemento promove.

Para o regime de déficit hídrico, todos os tratamentos bioestimulantes se assemelharam estatisticamente ao controle não apresentando diferença entre si (Tabela 2).

Tabela 17 - Diâmetro de caule de plantas de soja (mm) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência.

Diâmetro de caule	40 DAE			70 DAE		
	CC	CC	Média	CC	WD	Média
B1	3,56	3,88	3,72 ab	5,14 Aab	5,51 Aa	5,33
B2	3,32	3,43	3,37 ab	5,97 Aa	4,74 Ba	5,35
B3	2,89	3,17	3,03 ab	4,72 Aab	5,36 Aa	5,04
B4	2,76	4,12	3,44 ab	5,46 Aa	4,84 Aa	5,15
B5	2,80	3,55	3,17 ab	3,67 Ab	5,01 Ba	4,34
B6	3,46	2,71	3,08 ab	4,57 Aab	4,29 Aa	4,43
B7	3,98	3,60	3,79 a	5,15 Aab	4,26 Aa	4,70
B8	2,87	2,51	2,69 b	4,85 Aab	4,32 Aa	4,59
Média	3,2 A	3,37 A		4,94	4,79	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascophylum nodosum* (B7), Controle sem aplicação de bioestimulante (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Altura de inserção da primeira vagem

Apesar da altura de inserção da primeira vagem possuir certa correlação com a altura da planta, nota-se que nesta ocasião elas foram distintas em decorrência da aplicação dos bioestimulantes (Tabela 3). Maiores valores foram observados com a aplicação do bioestimulante *Bacillus subtilis* (B6) com 13,98 cm, sendo 7,8% superior ao controle. Nota-se que os valores das médias para os tratamentos de regime de capacidade de campo e déficit hídrico não apresentaram diferença para esta avaliação.

Tabela 3 - Altura de inserção da primeira vagem (cm) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 70 dias após a emergência.

Altura de inserção Vagem	70 DAE		
	CC	DH	Média
B1	11,00	13,08	12,04 ab
B2	11,94	13,67	12,80 ab
B3	11,71	13,42	12,56 ab
B4	11,67	12,39	12,02 ab
B5	12,17	13,47	12,82 ab
B6	12,63	15,33	13,98 a
B7	9,72	12,32	11,02 ab
B8	11,90	13,88	12,89 ab
Média	11,59 A	13,44 A	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascopylum nodosum* (B7), Controle sem aplicação de bioestimulante (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Número de folhas

O número de trifólios por planta, assim como a área foliar são fundamentais para o ciclo da cultura por serem responsáveis pela realização da fotossíntese, o que garantirá a sobrevivência desenvolvimento e reprodução da planta. Neste aspecto, nota-se que para a avaliação aos 40 dias após a emergência não houve diferença entre os tratamentos com bioestimulantes aplicados (Tabela 4).

Entretanto, para a avaliação aos 70 dias após a emergência, o número de folhas foi superior nos tratamentos em condição de regime de capacidade de campo, sendo que os tratamentos com melhores resultados foram para os bioestimulantes *Rizophagus irregulares* (B2), Silício (B4) e *Ascopylum nodosum* (B7).

Para a condição de déficit hídrico não houve diferença significativa entre os bioestimulantes, porém os tratamentos com *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3) e *Ascopylum nodosum* (B7) foram capazes de aumentar consideravelmente o número de trifólios em relação aos demais tratamentos.

Tabela 4 - Número de trifólios em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência.

Número de trifólios	40 DAE			70 DAE		
	CC	CC	Média	CC	DH	Média
B1	7,00 ^{ns}	7,33	7,17	19,00 Aa	18,00 Aa	18,50
B2	6,00	6,33	6,17	22,67 Aa	14,00 Ba	18,33
B3	5,67	6,00	5,83	17,00 Aa	18,33 Aa	17,67
B4	5,67	6,00	5,83	22,33 Aa	17,33 Ba	19,83
B5	5,33	6,00	5,67	19,33 Aa	16,00 Aa	17,67
B6	5,67	5,00	5,33	19,00 Aa	12,33 Ba	15,67
B7	5,67	6,00	5,83	21,33 Aa	19,00 Aa	20,17
B8	5,67	5,33	5,50	16,67 Aa	12,33 Aa	14,50
Média	5,83	6,00		19,67	15,92	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascophylum nodosum* (B7), Controle sem aplicação de bioestimulante (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Área foliar

Diferente do observado para o número de folhas, a área foliar teve grande influência dos bioestimulantes tanto aos 40 quanto aos 70 dias após a emergência (Tabela 5), incremento este, de quase 51% com o emprego de *Rizophagus irregulares* (B2) em relação ao tratamento controle aos 40 dias após a emergência. Apesar do incremento da área foliar reduzir aos 70 dias após a emergência (38,3%) o *Rizophagus irregulares* ainda demonstrou melhor resultado em comparação aos demais bioestimulantes em regime de capacidade de campo.

Para a condição de déficit hídrico não houve diferença significativa entre os bioestimulantes, as plantas apresentaram redução de área foliar, porém a aplicação de *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3) apresentou maior média de área foliar 735,66 cm², aproximadamente 24% mais que o tratamento controle (592,08 cm²), conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Área foliar em plantas de soja (cm²) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência.

Área foliar	40 DAE			70 DAE		
	CC	CC	Média	CC	DH	Média
B1	464,54	565,32	514,93 a	1017,13 Aabc	644,49 Ba	830,81
B2	575,52	525,90	550,71 a	1355,79 Aa	600,2 Ba	978,00
B3	305,84	386,58	346,21 bc	825,83 Abc	735,66 Aa	780,75
B4	432,12	474,80	453,46 ab	1048,38 Aab	547,50 Ba	797,94
B5	296,35	387,65	342,00 bc	615,38 Ac	612,23 Aa	613,8
B6	356,22	264,06	310,14 bc	939,86 Aabc	455,40 Ba	697,64
B7	478,15	397,61	437,88 ab	873,15 Abc	614,06 Ba	743,61
B8	319,51	217,62	268,57 c	627,41 Abc	592,08 Aa	609,75
Média	403,53 A	402,44 A		912,87	600,8	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascochyta nodosum* (B7), Controle sem aplicação de bioestimulante (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Massa fresca e seca de caule, folhas, vagens e raiz

As avaliações de massa fresca e seca de caule (Tabela 6 e 7) não apresentaram diferença entre o regime hídrico empregado aos 40 dias após a emergência em relação ao emprego de bioestimulantes. Todos os tratamentos, exceto o *Bacillus subtilis* (B6), demonstraram acúmulo de massa fresca de caule superior ao tratamento controle, sendo evidenciado maiores valores para *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1) de 6,99 g e *Rizophagus irregulares* (B2) de 6,75 g. Entretanto para massa seca de caule tal comportamento não foi semelhante, sendo constatada redução do acúmulo de massa nos tratamentos contendo *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6).

Tabela 6 - Massa fresca do caule em plantas de soja (g) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência.

Massa fresca	40 DAE			70 DAE		
caule	CC	CC	Média	CC	DH	Média
B1	7,53	6,46	6,99 a	14,36 Aabc	11,86 Aa	13,11
B2	7,02	6,47	6,75 a	18,48 Aa	8,06 Bab	13,27
B3	5,36	4,67	5,01 ab	12,23 Abcd	6,70 Bb	9,47
B4	6,07	4,28	5,18 ab	15,07 Aab	8,48 Bab	11,77
B5	5,43	4,27	4,85 ab	9,53 Acd	10,85 Aab	10,19
B6	3,12	3,99	3,55 b	12,54 Abcd	7,15 Bab	9,84
B7	5,41	6,41	5,91 ab	16,61 Aab	8,16 Bab	12,38
B8	2,69	4,51	3,60 b	8,05 Ad	8,67 Aab	8,36
Média	5,33 A	5,13 A		13,36	8,74	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascophyllum nodosum* (B7), Controle sem aplicação de bioestimulante (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Todavia, aos 70 dias após a emergência, nota-se que quando submetido ao regime de capacidade de campo o *Rizophagus irregulares* (B2) proporcionou um incremento em cerca de 56,4 e 58,4% de massa fresca e seca respectivamente em relação ao tratamento controle (Tabela 6 e 7). Em regime de déficit hídrico o tratamento contendo apenas *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1) demonstrou resultados superiores em relação aos demais proporcionando a planta maior acúmulo de massa fresca e seca de caule durante o ciclo da cultura.

Tabela 7 - Massa seca do caule em plantas de soja (g) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência.

Massa seca	40 DAE			70 DAE		
caule	CC	CC	Média	CC	DH	Média
B1	1,68	1,61	1,64 a	4,67 Abc	3,80 Aa	4,24
B2	1,37	1,49	1,43 abc	7,01 Aa	2,60 Ba	4,81
B3	1,11	1,01	1,06 bcd	3,97 Abc	2,19 Ba	3,08
B4	1,57	1,43	1,50 ab	4,91 Aabc	2,58 Ba	3,75
B5	0,59	0,64	0,61 d	2,79 Ac	3,55 Aa	3,17
B6	0,63	0,74	0,69 d	4,36 Abc	2,37 Ba	3,36
B7	1,37	1,27	1,32 abc	5,14 Aab	2,57 Ba	3,86
B8	0,73	1,19	0,96 cd	2,91 Abc	2,83 Aa	2,87
Média	1,13 A	1,17 A		4,47	2,81	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascophyllum nodosum* (B7), Controle sem aplicação de bioestimulante (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Aos 40 dias após a emergência as plantas apresentaram comportamento semelhante para o acúmulo de massa fresca e seca foliar (Tabela 8 e 9), todavia, o emprego dos bioestimulantes resultaram em maior acúmulo de massa fresca foliar, sendo este evidenciado com o *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1) e *Rizophagus irregulares* (B2). Tal resultado não foi tão evidenciado no acúmulo de massa seca da parte aérea, sendo que, o Silício (B4) acabou se sobressaindo aos demais.

Tabela 8 - Massa fresca de folhas em plantas de soja (g) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência.

Massa fresca folha	40 DAE			70 DAE		
	CC	CC	Média	CC	DH	Média
B1	8,79	7,56	8,17 a	13,8 Ac	13,23 Aa	13,51
B2	7,55	8,08	7,81 a	23,48 Aa	11,46 Bab	17,47
B3	6,36	5,23	5,80 ab	11,93 Ac	9,89 Aabc	10,91
B4	6,00	5,43	5,72 ab	19,82 Aab	9,21 Babc	14,51
B5	7,07	5,71	6,39 ab	12,63 Ac	7,93 Bbc	10,28
B6	4,01	5,35	4,68 b	14,65 Ac	6,27 Bc	10,46
B7	6,58	7,07	6,83 ab	15,65 Abc	8,52 Bbc	12,08
B8	3,25	5,40	6,33 b	13,05 Ac	5,98 Bc	9,52
Média	6,20 A	6,23 A		15,62	9,06	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascochyta nodosum* (B7), Controle sem aplicação de bioestimulante (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

As massas frescas e secas de folha notou-se semelhante nos resultados para acúmulo de matéria do caule com o emprego de *Rizophagus irregulares* (B2) em regime de capacidade de campo aos 70 dias após a emergência (Tabela 8 e 9). Tal fato é de se esperar, em função da alta correlação entre o caule e a folha, seja em decorrência da produção de fotoassimilados na parte aérea e a translocação de nutrientes e minerais pelo caule. Isto se torna evidente, quando se observa a ausência de condições hídricas ideais para a planta, denotando uma redução acentuada no acúmulo de massa da parte aérea em condição de estresse. Pode-se aferir que na massa fresca o bioestimulante *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* amenizou de forma significativa a redução causada por estresse hídrico (54,8%) ocorrido durante seu ciclo.

Tabela 9 - Massa seca de folhas em plantas de soja (g) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência.

Massa seca folha	40 DAE			70 DAE		
	CC	CC	Média	CC	DH	Média
B1	1,79	1,75	1,77 ab	4,91 Abc	3,82 Aa	4,37
B2	1,50	1,66	1,58 ab	7,71 Aa	3,67 Ba	5,69
B3	1,57	1,51	1,54 b	4,09 Ac	3,12 Aa	3,61
B4	2,62	2,31	2,47 a	6,78 Aab	2,75 Ba	4,77
B5	2,30	1,43	1,86 ab	4,27 Ac	2,39 Ba	3,33
B6	1,22	1,68	1,45 b	4,10 Ac	1,76 Ba	2,93
B7	2,15	2,28	2,22 ab	5,82 Aabc	2,54 Ba	4,18
B8	1,19	1,68	1,44 b	4,78 Abc	2,17 Ba	3,48
Média	1,79 A	1,79 A		5,31	2,71	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascophyllum nodosum* (B7), Controle sem aplicação de bioestimulante (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Pode-se inferir que, em condições hídricas favoráveis houve um incremento no acúmulo de massa fresca e seca de vagens, sendo este, evidenciado com a utilização de *Rizophagus irregulares* (B2) e Silício (B4) (Tabela 10 e 11).

Tabela 10 - Massa fresca de vagens em plantas de soja (g) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 70 dias após a emergência.

Massa fresca vagens	70 DAE		
	CC	DH	Média
B1	33,86 Ab	23,53 Ba	28,70
B2	52,49 Aa	20,81 Bab	36,65
B3	32,90 Ab	11,38 Bb	22,14
B4	45,35 Aa	12,46 Bb	28,91
B5	25,87 Abc	13,67 Bab	19,77
B6	28,63 Abc	18,69 Bab	22,66
B7	28,50 Abc	17,30 Bab	22,90
B8	20,93 Ac	15,35 Aab	18,14
Média	33,57	16,52	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascophyllum nodosum* (B7), Controle sem aplicação de bioestimulante (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Todavia, tal fato não se repetiu em condições de déficit hídrico, pois a maioria dos bioestimulantes apresentaram acúmulo de massa fresca, semelhante ou inferior ao tratamento controle (Tabela 10 e 11). Apesar desta constatação nota-se que o *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1)

apresentou incremento em relação a testemunha em cerca de 34 e 44% de massa fresca e seca respectivamente.

Tabela 11 - Massa seca de vagens em plantas de soja (g) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 70 dias após a emergência.

Massa seca vagens	70 DAE		
	CC	DH	Média
B1	9,83 Ab	8,43 Aa	9,13
B2	16,53 Aa	7,91 Bab	12,22
B3	9,76 Ab	3,63 Bc	6,70
B4	14,58 Aa	3,86 Bc	9,21
B5	9,99 Ab	4,86 Bbc	7,42
B6	9,65 Ab	6,13 Babc	7,89
B7	9,68 Ab	5,50 Babc	7,59
B8	8,48 Ab	4,68 Bc	6,58
Média	11,06	5,63	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobabillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascopylum nodosum* (B7), Controle sem aplicação de bioestimulante (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Para massa fresca da raiz os bioestimulantes *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobabillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4) e *Bacillus subtilis* (B6), apresentaram maiores valores médios de massa fresca em relação ao tratamento controle aos 40 dias após a emergência (Tabela 12). Já para massa seca, o maior valor médio obteve-se com o Silício (B4).

Tabela 12 - Massa fresca de raiz em plantas de soja (g) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência.

Massa fresca raiz	40 DAE			70 DAE		
	CC	CC	Média	CC	DH	Média
B1	4,12	3,91	4,01 c	34,06Aa	36,45 Ab	35,26
B2	16,36	15,94	16,15 a	23,29 Bbc	51,23 Aa	37,26
B3	15,68	15,21	15,44 a	30,32 Aab	25,63 Acd	27,97
B4	13,23	13,08	13,16 a	30,13 Bab	21,74 Ade	25,93
B5	6,98	6,91	6,94 bc	32,41 Aa	30,67 Abc	31,54
B6	12,73	12,31	12,52 a	18,96 Bc	37,76 Ab	28,36
B7	6,15	6,34	6,24 bc	20,18 Bc	53,51 Aa	36,85
B8	8,22	8,27	8,25 b	21,2 Ac	15,93 Ae	18,57
Média	10,43 A	10,24 A		26,32	34,11	

Capacidade de campo (C), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobabillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascopylum nodosum*

(B7), Controle sem aplicação de bioestimulante (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Aos 70 dias após a emergência o aumento do sistema radicular foi expressivo com a utilização do *Ascophylum nodosum* em relação aos demais bioestimulantes. Tal tratamento apresentou aumento em torno de 70% tanto para massa seca e fresca em comparação ao controle (Tabela 12 e 13). Além disso, destaca-se bom desempenho dos demais bioestimulantes sendo que, em sua maioria apresentaram resultado superior ao tratamento controle, em condições de déficit hídrico.

Tabela 13 - Massa seca de raiz em plantas de soja (g) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 40 e 70 dias após a emergência.

Massa seca raiz	40 DAE			70 DAE		
	CC	CC	Média	CC	DH	Média
B1	0,74	0,75	0,75 d	15,12 Aab	19,04 Acd	17,08
B2	2,13	2,13	2,13 b	13,63 Bb	27,10 Ab	20,37
B3	0,80	0,80	0,80 d	22,00 Aa	18,63 Acd	20,32
B4	3,89	3,86	3,88 a	20,94 Aab	15,96 Bd	18,45
B5	2,26	2,22	2,24 b	18,20 Bab	26,33 Abc	22,27
B6	2,29	2,28	2,29 b	13,21 Bb	27,77 Ab	20,49
B7	1,66	1,75	1,71 bc	13,75 Bb	46,70 Aa	30,23
B8	1,13	1,13	1,13 cd	13,25 Bb	12,28 Ad	12,77
Média	1,86 A	1,87 A		16,26	24,23	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascophylum nodosum* (B7), Controle sem aplicação de bioestimulante (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Número de vagens

O número médio de vagens por planta não foi influenciado em decorrência do emprego de bioestimulantes, sendo observado alterações de tais variáveis apenas em função da disponibilidade hídrica, cujos resultados foram superiores no emprego do regime hídrico de capacidade de campo (Tabela 14).

Tabela 14 - Número de vagens por planta em plantas de soja em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 90 dias após a emergência.

Nº vagens / planta	90 DAE		
	CC	DH	Média
B1	41,17	25,83	34,50 a
B2	39,67	25,50	32,58 a
B3	42,83	26,83	34,83 a
B4	45,67	35,67	40,66 a
B5	33,33	24,00	28,66 a
B6	41,17	24,83	33,00 a
B7	44,17	29,67	36,91 a
B8	38,00	26,17	32,08 a
Média	41,00 A	27,31 B	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascophylum nodosum* (B7), Controle sem aplicação de bioestimulante (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Número de grãos por vagem

Assim como na avaliação de número de vagens, o número médio de grãos por vagem também não foi influenciado em função dos bioestimulantes, havendo diferença apenas em função da disponibilidade hídrica, com resultado superior para o regime de capacidade de campo (Tabela 15).

Tabela 15 - Número de grãos por vagem em plantas de soja em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 90 dias após a emergência.

Nº grãos / vagem	90 DAE		
	CC	DH	Média
B1	2,23	2,16	2,19 a
B2	2,40	2,25	2,32 a
B3	2,25	2,17	2,21 a
B4	2,14	2,11	2,12 a
B5	2,36	2,24	2,30 a
B6	2,24	2,13	2,18 a
B7	2,17	1,97	2,07 a
B8	2,30	2,18	2,23 a
Média	2,26 A	2,15 B	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascophylum nodosum* (B7), Controle sem aplicação de bioestimulante (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Massa de mil grãos

A massa de mil grãos foi analisada e não apresentou diferença do ponto de vista estatístico, porém para o tratamento em regime de capacidade de campo os

grãos de soja foram 2,55% mais pesados do que os grãos colhidos sob condição de déficit hídrico. E para os bioestimulantes o incremento ainda foi maior, o tratamento de *Lithothamnium calcareum* (B5) teve grãos 24,1% mais pesados que o tratamento controle.

Tabela 16 - Massa de mil grãos de soja (g) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 90 dias após a emergência.

Massa de mil grãos	90 DAE		
	CC	DH	Média
B1	166,95	180,00	173,61 a
B2	167,81	151,78	159,79 a
B3	152,43	197,18	174,80 a
B4	170,90	129,61	150,25 a
B5	182,62	181,04	181,83 a
B6	152,30	149,83	151,06 a
B7	153,02	145,22	149,12 a
B8	157,17	145,89	146,52 a
Média	162,90 A	158,85 A	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascochyta nodosum* (B7), Controle sem aplicação de bioestimulante (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Produtividade

Na Tabela 17, verifica-se a diferença nas produtividades quando utilizados os bioestimulantes, o resultado mostra grande diferença de produtividade entre o regime de capacidade de campo e de déficit hídrico, o que é esperado por ocasião da falta de umidade ideal no solo para o cultivo, porém não identifica diferença para os bioestimulantes entre si.

Tabela 17 - Produtividade de grãos de soja (kg ha⁻¹) em função de lâminas de irrigação e bioestimulantes aos 90 dias após a emergência.

Produtividade	90 DAE		
	CC	DH	Média
B1	4182,96 Aab	2228,21 Ba	3205,59 a
B2	4231,96 Aab	2318,24 Ba	3275,10 a
B3	3878,77 Aab	2216,93 Ba	3047,85 a
B4	4274,53 Aa	2217,37 Ba	3245,95 a
B5	3813,11 Aab	2243,85 Ba	3028,48 a
B6	3749,25 Aab	2100,55 Ba	2924,91 a
B7	3876,47 Aab	2225,07 Ba	3050,77 a
B8	3660,53 Ab	2049,71 Ba	2855,12 a
Média	3958,45 A	2199,99 B	

Capacidade de campo (CC), déficit hídrico (DH), *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (B1), *Rizophagus irregulares* (B2), *Lactobacillus rhamnosus* e *L. farciminis* (B3), Silício (B4), *Lithothamnium calcareum* (B5), *Bacillus subtilis* (B6), *Ascophyllum nodosum* (B7), Controle sem aplicação de bioestimulante (B8). Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas nas colunas, e minúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

O tratamento com Silício na condição de capacidade de campo foi responsável pela maior produtividade, 4274,52 kg ha⁻¹, 16,77% superior que o tratamento controle. O mesmo efeito pode ser verificado com a utilização de *Rizophagus irregulares* (B2), com produtividade 15,61% superior ao controle. A utilização de bioestimulantes nestas condições torna financeiramente viável a sua aplicação.

2.4 DISCUSSÃO

O estresse causado pelo déficit hídrico (DH) é um dos principais fatores de perdas de produção em diversas áreas agrícolas. Cerca de 80-95% da biomassa fresca da planta é composta por água, a qual desempenha um papel vital em vários processos fisiológicos (DIATTA et al., 2020). De acordo com Attarzadeh et al. (2019), as consequências do estresse hídrico afetam todo o desenvolvimento das plantas, influenciando os processos fisiológicos, essenciais para crescimento e produção.

As características diversas e processos moleculares, fisiológicos, bioquímicos, morfológicos das plantas são afetados sob condições de estresse hídrico (ORTIZ et al., 2015). Vale ressaltar que o estágio de crescimento, idade, espécie, severidade e duração do estresse são os principais fatores que influenciam nas respostas das plantas (TANKARY et al., 2021).

No entanto, as plantas desenvolveram mecanismos de tolerância ao estresse hídrico, com a capacidade de diminuir o uso de recursos e controlar seu crescimento (OSAKABE et al., 2014; BIELACH; HITYAN; TOGNETTI, 2017). Entre esses

mecanismos, a regulação estomática das plantas, transcrição e sinalização do ácido abscísico (ABA) estão envolvidos nos mecanismos moleculares de resposta ao DH (ZANDALINAS; FRITSCHI; MITTLER, 2020; KUMAR et al., 2019).

De acordo com os resultados desta pesquisa, verificou-se que o DH causou uma série de impactos negativos na morfologia da planta, tal como, crescimento e produtividade. As plantas apresentaram redução de 8 e 26% para altura de plantas e área foliar, respectivamente, quando comparadas as plantas cultivadas sob capacidade de campo (CC). Yang et al. (2021), informam que o estresse causado pelo DH é um dos fatores limitantes no processo de crescimento vegetal, pois afeta diretamente a respiração, a fotossíntese e o movimento estomático das plantas, prejudicando o crescimento da planta e sua morfologia.

As primeiras respostas das plantas ao estresse causado pelo DH são alterações na forma externa e na estrutura interna. A consequência mais significativa da perda de água é o decréscimo no crescimento e desenvolvimento da maioria dos órgãos das plantas (YANG et al., 2021). Deste modo, as plantas têm apresentado respostas as quais podem tolerar as mudanças ambientais por meio do fenótipo de cada cultura. Portanto, as plantas tolerantes ao estresse hídrico apresentam características morfológicas e estruturais (folhas, caule e raízes) adaptadas ao ambiente com baixa umidade.

O diâmetro do caule apresentou influência dos tratamentos empregados, verificando-se maior diâmetro de caule para o tratamento B6 aos 40 dias após emergência (DAE), e aos 70 DAE o tratamento B2 apresentou maior diâmetro de caule sob CC. Segundo Zhang; Zou e Wu (2018), as hifas micorrízicas se difundem no solo além do sistema radicular das plantas, promovendo maior absorção de água e nutrientes para a planta hospedeira e conseqüentemente, melhorando o crescimento e desenvolvimento das plantas.

A redução do diâmetro de caule nas plantas cultivadas sob DH ocorre pela dificuldade da planta em absorver água, devido a menor reposição de água perdida do xilema para os tecidos próximos (WANG et al., 2022). Rodrigues (2020) verificou que a utilização de bioestimulantes na cultura da soja sob efeitos de estresse hídrico teve efeitos positivos para a variável diâmetro de caule, assim como o observado no presente trabalho.

Rosa (2020) estudando a influência da aplicação do *Ascophyllum nodosum* em plantas submetidas ao DH encontraram valores de diâmetro de caule iguais ou

maiores que as plantas bem irrigadas. Isso ocorre pois bioestimulantes a base de *Ascophylum nodosum* estimulam o crescimento e tolerância das plantas ao estresse (ROUPHAEL et al., 2017; SAEGER et al., 2019).

As folhas são indicadores diretos do grau de estresse, sendo estas, os principais órgãos de assimilação e transpiração das plantas. Segundo Yang et al. (2020) as plantas geralmente reduzem o crescimento das folhas, adotando área foliar menor, espessura maior e maior densidade de tecido foliar, como uma forma de se adaptar ao DH.

Essas alterações da área foliar, as quais afetam diretamente a fotossíntese e a produtividade das plantas, é uma das características mais facilmente observadas em plantas submetidas ao estresse. Taiz e Zaiger (2013) discutem que as principais razões para as alterações da área foliar são a pressão de turgor das folhas, temperatura do dossel e disponibilidade de fotoassimilados, os quais reduzem sob estresse hídrico, levando a redução da área foliar.

No presente trabalho, foi verificado redução do número de folhas e redução da área foliar nas plantas submetidas ao DH. No entanto, o emprego dos tratamentos B2, B4 e B7 (*Rizophagus irregulares*, Silício e *Ascophylum nodosum*, respectivamente) promoveram maior número de folhas e o tratamento B2 promoveu maior área foliar. Segundo Ruzzi e Aroca (2015), o crescimento das plantas é regulado em várias partes, sendo uma delas, por alterações hormonais, sendo estes um dos principais mecanismos utilizados pelos bioestimulantes a base de FMA e extrato de algas, os quais promovem o crescimento das plantas e modificações do conteúdo hormonal.

Os microrganismos estimulam o desenvolvimento das culturas, através da produção de hormônios vegetais essenciais (FAROOQ et al., 2009, PORCEL et al., 2014), como: ácido indole-3-acético (IAA), citocinas e ácido abscísico (ABA). O IAA, em período de DH, regula o crescimento do caule e raízes das plantas. Enquanto o ABA, regulador primordial para o crescimento das plantas, regula a transcrição de genes ligados a condutividade hidráulica (JIANG et al., 2013). Salienta-se ainda, que os bioestimulantes a base de microrganismos consegue diminuir a produção e acúmulo de etileno, hormônio este, que quando sob estresse, é sintetizado em excesso, promovendo o decréscimo do desenvolvimento e produtividade das plantas (GLICK, 2012).

De acordo com relatos de Kaushal e Wani (2016) e Tsukanova et al. (2017), os microrganismos são produtores e reguladores de hormônios vegetais, apresentando

influência positiva direta no crescimento das plantas cultivadas sob estresses abióticos.

Dentre vários efeitos positivos do Si na agricultura, os efeitos benéficos no crescimento das plantas e resposta a estresses ambientais, são bastante discutidos na literatura. Efeitos estes, que estão relacionados às alterações morfológicas devido a deposição de sílica na parede celular (RAVEN, 2001; MA et al., 2004). De acordo com Hossain et al. (2022), o Si estimula o alongamento celular, apresentando efeito direto no aumento da área foliar, principal órgão de trocas gasosas.

Da mesma forma, extratos de algas, como *Ascophyllum nodosum* são conhecidos pela capacidade de aumentar o crescimento e o rendimento das culturas (OSMAN et al., 2014). De fato, os benefícios do uso do *Ascophyllum nodosum* no desenvolvimento das plantas foram demonstrados por diversos ensaios, com várias culturas (OSMAN et al., 2014; RATHORE et al., 2009; ROSHDY, 2014; ROUPHAEL et al., 2017).

Battacharyya et al. (2015), afirmam que o modo de ação do extrato de algas na mitigação do estresse biótico e abiótico estão ligados a seus efeitos diretos e indiretos no metabolismo e morfologia das plantas. Estudos com os efeitos do extrato de algas em plantas cultivadas sob DH confirmam esta tese (BATTACHARYYA et al., 2015; KHAN et al., 2009; LATIQUE et al., 2014).

A massa fresca das folhas apresentou maiores valores nas duas condições hídricas estudadas (CC e DH) com o uso de FMA (B2), os quais apresentaram aumento de 76% na CC em relação ao controle (sem bioestimulante); e sob DH, o uso dos FMA promoveram aumento de 120% na massa fresca das folhas, em relação ao controle (sem bioestimulante), o mesmo comportamento foi verificado para a massa seca das folhas.

Segundo Augé (2001), os FMA estimulam o desenvolvimento de hifas extrarradiculares, as quais promovem maior área de absorção de água, resultando assim, em maior assimilação de fotoassimilados e acúmulo de biomassa nas plantas. Rahimzadeh e Pirzad (2017), verificaram que o uso de FMA em plantas cultivadas sob estresse hídrico promoveram aumento significativo no desenvolvimento das plantas, além de maior biomassa, devido a melhoria da absorção de água e nutrientes.

A arquitetura das raízes apresentou redução em seu desenvolvimento devido ao estresse hídrico. O sistema radicular é um os principais órgãos que determina a capacidade de absorção de água e nutrientes (XIONG et al., 2021; WANG et al., 2022). Em períodos de seca nas regiões produtoras de soja, é de suma importância

manter a absorção de nutrientes e água na fase de enchimento de grãos. As plantas conseguem fazer isso, por meio de estratégias, como fechamento dos estômatos, para regular a perda de água e a morfologia das raízes para retardar o rápido consumo de água do solo. Porém, pode levar a redução da produtividade das plantas (RENU; SINGH; DOHARE, 2017).

O fechamento estomático se dá por meio de sinais gerados e transmitidos pelas raízes, de forma que as características das raízes podem desempenhar um papel importante no envio de sinais. Sob condições de baixa disponibilidade de água no solo, ocorre a síntese de ABA nas raízes, o qual é translocado para as folhas e acumulado, promovendo o fechamento dos estômatos, reduzindo assim, a perda de água. Assim, as plantas conseguem conservar água por meio do mecanismo de sinalização (RENU; SINGH; DOHARE, 2017).

O uso dos FMA e *Ascophyllum nodosum* promoveram aumento de 240 e 253% na massa seca das raízes em relação ao controle. De acordo com Khan et al. (2021) e Cavagnaro et al. (2015) os FMA aumentam a exploração das raízes no solo, pelo aumento do crescimento das mesmas, causando melhoria da estrutura do solo e biomassa radicular, e conseqüentemente, aumenta a retenção de água no solo. Os FMA produzem uma proteína que tem a capacidade de agregar a estrutura do solo, a qual induz o crescimento das raízes e mitigação dos efeitos do DH (GONG et al., 2013).

De forma semelhante, o extrato de *Ascophyllum nodosum*, apresentam efeitos positivos no crescimento e desenvolvimento das raízes, os quais são atribuídos principalmente à presença de auxinas, uma vez que esses extratos contêm quantidades consideráveis de IAA (GOMES et al., 2018). As auxinas atuam na ativação de células vasculares, promovendo assim, a emissão de raízes adventícias e maior desenvolvimento das raízes (HARTMANN et al., 2011).

Além da fonte exógena de auxinas, conforme dados revisados por Koyama et al. (2012), extratos de *Ascophyllum nodosum* possuem quantidades significativas de aminoácidos, como ácidos aspártico e glutâmico, glicina, tirosina e triptofano. Esses aminoácidos aumentam o enraizamento e o número de raízes (DUTRA; KERSTEN; FACHINELLO, 2002).

Diante das alterações morfológicas verificadas neste estudo, houve impacto direto nos componentes de produtividade das plantas de soja, quando submetidas ao DH. Verificou-se redução de 34% no número de vagens das plantas sob DH, em relação

a CC; e ainda, houve decréscimo de 44% na produtividade das plantas de soja submetidas ao DH, quando comparadas a CC. Buezo et al. (2019) informam que a soja é uma cultura que precisa de água suficiente durante seu processo de desenvolvimento para alcançar seu potencial produtivo. Além disso, a ocorrência de DH no estágio reprodutivo da soja reduz de forma efetiva a formação de vagens e enchimentos dos grãos (ANDA et al., 2020).

As plantas de soja apresentaram alterações morfológicas como uma resposta ao estresse hídrico imposto, no entanto estas alterações geram um gasto energético, promovendo assim, redução dos principais processos de assimilação e produção de fotoassimilados, e como consequência, decréscimo no rendimento dos grãos.

2.5 CONCLUSÃO

Aos 70 dias após a emergência, observa-se melhores resultados para as plantas que receberam os bioestimulantes em condição de capacidade de campo quando comparado as plantas submetidas ao déficit hídrico.

Os bioestimulantes compostos por Silício e *Rhizophagus irregularis* apresentaram os melhores resultados para as avaliações de diâmetro de caule, área foliar, massas fresca e seca de caule, folhas e raízes e produção de grãos, em relação aos demais tratamentos, para os dois regimes hídricos.

As plantas que receberam água de maneira adequada durante o ciclo de cultivo apresentaram melhores resultados que foram potencializados pelos bioestimulantes com Silício e com *Rhizophagus irregularis*. Mesmo as plantas sob condição de estresse hídrico apresentaram resultados positivos em função dos bioestimulantes.

REFERÊNCIAS

- ANDA, A. *et al.* Yield features of two soybean varieties under different water supplies and field conditions. **Field Crop. Res.**, v. 245, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107673>.
- ATTARZADEH, M. *et al.* Improvement of Echinacea purpurea performance by integration of phosphorus with soil microorganisms under different irrigation regimes, **Agricultural Water Management**, v. 221, p. 238-247, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.022>
- AUGÉ, R. M. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Mycorrhiza**, v. 11, p. 3-42, 2001.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s005720100097>
- BASU, S. *et al.* Plant adaptation to drought stress. **F1000Research**, v. 5, 2016. DOI: <https://doi.org/10.12688/f1000research.7678.1>.
- BATTACHARYYA, D. *et al.* Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 39-48, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.012>
- BIELACH, A.; HRTYAN, M.; TOGNETTI, V. B. Plants under Stress: Involvement of Auxin and Cytokinin. **Int J Mol Sci.**, v. 4, n. 18, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms18071427>.
- BITTERLICH, M. *et al.* Arbuscular mycorrhizas: A promising component of plant production systems provided favorable conditions for their growth. **Front Plant Sci.**, v. 9, n. 1329, 2018.
- BUEZO, J. *et al.* Drought tolerance response of high-yielding soybean varieties to mild drought: physiological and photochemical adjustments. **Physiol. Plantarum**, v. 166, n. 1, p. 88-104, 2019.
- CAVAGNARO, T. R. *et al.* The role of arbuscular mycorrhizas in reducing soil nutrient loss. **Trends Plant Sci.**, v. 20, p. 283-290, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.03.004> 115
- COLLA, G.; ROUPHAEL, Y. Microalgae: New Source of Plant Biostimulants. **Agronomy**, v. 10, n. 9, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10091240>
- CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v.14, n. 1, p. 1-11, 2009.
- DARYANTO, S.; WANG, L.; JACINTHE, P-A. Global synthesis of drought effects on cereal, legume, tuber and root crops production: A review. **Agricultural Water Management**, v. 179, p. 18-33, 2017.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.022>

DIATTA, A. A., *et al.* Assessment of nitrogen fixation by mungbean genotypes in different soil textures using ^{15}N natural abundance method. **J. Soil Sci. Plant Nut.**, v. 20, p. 2230-2240, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s42729-020-00290-2>

DUTRA, L.F.; KERSTEN, E.; FACHINELLO, J.C. Cutting time, indolebutyric acid and tryptophan in rooting of peach tree cuttings. **Scientia agrícola**, v.59, n.2, p.327-333, 2002. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162002000200019>

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Catálogo de cultivares de soja convencional: 2003**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/convencional/brs232>>. Acesso em: 08 jul. 2021.

FAROOQ, M. *et al.* Plant drought stress: effects, mechanisms, and management. **Agronomy for Sustainable Development, Netherlands**, p. 185-212, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1051/agro:2008021>

GLICK, B. R. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. **Sci. Tech. Rep.**, p. 1-15, 2012. DOI: <https://doi.org/10.6064/2012/963401>

GOMES, N. E. *et al.* Brown seaweed extract enhances rooting and roots growth on *Passiflora actinia* Hook stem cuttings. **Ornam. Hortic.**, v. 24, n. 3, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14295/oh.v24i3.1221>

GONG, M. *et al.* Effects of two *Glomus* species on the growth and physiological performance of *Sophora davidii* seedlings under water stress. **New Forests**, v. 44, p. 399-408, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9349-1>

HARTMANN, H.T. *et al.* **Plant propagation: principles e practices**. Boston: Prentice Hall. 8ed. p. 915, 2011.

HOEBERICHTS, F. A. *et al.* Next generation sequencing to characterise the breaking of bud dormancy using a natural biostimulant in kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). **Scientia Horticulturae**, v. 225, p. 252-263, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.011>

HOSSAIN, M. T. *et al.* Growth promotion and an increase in cell wall extensibility by silicon in rice and some other Poaceae seedlings. **Journal of Plant Research**, v. 115, n.1, p.23-27, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s102650200004>

HURA, T.; HURA, K.; OSTROWSKA, A. Drought-Stress induced physiological and molecular changes in plants. **Int. J Mol. Sci.**, v. 23, n. 9, p. 1-5, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms23094698>

JARDIN, P. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**. v. 196, p. 3 – 14, 2015.

JIANG, S. *et al.* A maize calcium-dependent protein kinase gene, ZmCPK4, positively regulated abscisic acid signaling and enhanced drought stress tolerance in transgenic *Arabidopsis*. **Plant Physiol. Biochem.**, v. 71, p. 112-120, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.07.004>

KAUSHAL, M.; WANI, S. Rhizobacterial-plant interactions: Strategies ensuring plant growth promotion under drought and salinity stress. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 231, p. 68–78, 2016.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.031>

KHAN, M. I. R. *et al.* The intricacy of silicon, plant growth regulators and other signaling molecules for abiotic stress tolerance: An entrancing crosstalk between stress alleviators. **Plant Physiol. Biochem.**, v. 162 p. 36–47, 2021.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.02.024>

KHAN, W. *et al.* Seaweed Extracts as Biostimulants of Plant Growth and Development. **J. Plant Growth Regul.**, v. 28, p. 386 – 399, 2009.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x>

KOYAMA, R. *et al.* Seaweed extract of *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis on tomato yield and vegetative development. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 55, n. 4, p. 282–287, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2012.067>

KUMAR, A. *et al.* Effects of water deficit stress on agronomic and physiological responses of rice and greenhouse gas emission from rice soil under elevated atmospheric CO₂. **Science of The Total Environment**, v. 650, p. 2032–2050, 2019.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.332>.

LATIQUE, S. *et al.* Effect of seaweed liquid extract of *Sargassum vulgare* on growth of durum wheat seedlings (*Triticum durum* L) under salt stress. **Int. J. Innov. Appl. Stud.**, v. 7, p. 1430 – 1435, 2014.

LI, S. *et al.* How root traits would be affected by soybean yield improvement? An examination of historical cultivars grafted with record-yield cultivar scion. **Plant Soil**, v. 439, p. 19–30, 2019.

MA, C. C. *et al.* Effects of silicon application on drought resistance of cucumber plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 50, n. 5, p. 623–632, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1080/00380768.2004.10408520>.

MANTOVANI, E. C. AVALIA: **Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada**. Viçosa, MG: UFV, 2001.

ORTIZ, N. *et al.* Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi and/or bacteria to enhancing plant drought tolerance under natural soil conditions: effectiveness of autochthonous or allochthonous strains. **J. Plant Physiol.**, v.174, p. 87–96, 2015.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.08.019>

OSAKABE, Y. *et al.* Response of plants to water stress. **Front Plant Sci.**, v. 5, p. 86–86, 2014.

OSMAN, H. S.; EL-GAWAD, H. G. A. Effect of Exogenous Application of Boric Acid and Seaweed Extract on Growth, Biochemical Content and Yield of Eggplant **J. Hortic. ciência Ornam. Plants**, v. 6, p. 133–143, 2014.

DOI: <https://doi.org/10.5829/idosi.jhsop.2014.6.3.1147>

PORCEL, R. *et al.* Involvement of plant endogenous ABA in *Bacillus megaterium* PGPR activity in tomato plants. **BMC Plant Biol.**, v. 14, n. 1, p. 36-48, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2229-14-36>.

RAHIMZADEH, S.; PIRZAD, A. R. Microorganisms (AMF and PSB) interaction on linseed productivity under water-deficit condition. **Int. J. Plant Prod.**, v. 11, p. 259-274, 2017. DOI: <https://doi.org/10.22069/IJPP.2017.3423>

RAIJ, B. VAN; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 284 p.

RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**, 2 ed. rev. ampl. Campinas, SP: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1997.

RATHORE, S. S. *et al.* Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (*Glycine max*) under rainfed conditions. **S. Afr. J. Bot.**, v. 75, p. 351-355, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2008.10.009>

RAVEN, J. A. Silicon transport at the cell and tissue level. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Eds.). **Silicon in Agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p. 41–55

RENU, B.; SINGH, K.; DOHARE, R. K. Removal of heavy metals from wastewater using modified agricultural adsorbents. **Materials today: Proceedings**. v.4, p. 10534–10538, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.06.415>.

RODRIGUES, C. Y. A. C. **Ação do bioestimulante (FH Attivus) na mitigação do estresse hídrico em diferentes estádios fenológicos da soja**. Monografia – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza- CE 2020.

ROSA, V. R. **Ação de bioestimulantes na mitigação do estresse por deficiência hídrica em soja**. 2020. Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

ROSHDY, KA. Effect of spraying silicon and seaweed extract on growth and fruiting of grandnaine banana. **J. Agric. Res.**, v. 92, p. 979 - 991, 2014.

ROUPHAEL, Y. *et al.* Effect of *Ecklonia maxima* seaweed extract on yield, mineral composition, gas exchange, and leaf anatomy of zucchini squash grown under saline conditions **J. Appl. Phycol.**, v. 29, p. 459-470, 2017.

ROUPHAEL, Y. *et al.* Metabolomic responses of maize shoots and roots elicited by combinatorial seed treatments with microbial and non-microbial biostimulants. **Fron Microbiol.**, v. 11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00664>

RUZZI, M.; AROCA, R. Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**. v.196, p. 124–134, 2015.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.042>

SAEGER, J. *et al.* Toward the molecular understanding of the action mechanism of *Ascophyllum nodosum* extracts on plants **J. Appl. Phycol.**, v. 32, p. 573-597, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01903-9>

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5.ed. Brasília: Embrapa, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. São Paulo: Artmed, 2013

TANKARI, M. *et al.* Drought priming improved water status, photosynthesis and water productivity of cowpea during post-anthesis drought stress. **Agricultural Water Management**, v. 245, n. 106565, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106565>

TSUKANOVA, K. A. *et al.* Effect of plant growth-promoting Rhizobacteria on plant hormone homeostasis. **South African Journal of Botany**, v. 113, p. 91-102, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.07.007>

VAN GENUCHTEN, M. T. H. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of insaturated. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 41, p. 892 – 898, 1980. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>

WANG, X. *et al.* Physiological Response of Soybean Plants to Water Deficit. **Front Plant Sci.**, v. 31, n. 12, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.809692>.

XIONG, R. *et al.* Root system architecture, physiological and transcriptional traits of soybean (*Glycine max* L.) in response to water deficit: A review. **Physiologia Plantarum**, v.172, n. 2, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppl.13201>

YAN, W. *et al.* Overexpression of a maize MYB48 gene confers drought tolerance in transgenic arabidopsis plants. **J Plant Biol.**, v. 60, p. 612–621, 2017.

YANG, X. *et al.* Response Mechanism of Plants to Drought Stress. **Horticulturae**, v. 7, n. 50, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae7030050>

YANG Y. *et al.* ABF3 enhances drought tolerance via promoting ABA-induced stomatal closure by directly regulating ADF5 in *Populus euphratica*. **J. Exper. Bot.**, v. 71, n. 22, p. 7270-7285, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa383>

ZANDALINAS, S. I.; FRITSCHI, F. B.; MITTLER, R. Signal transduction networks during stress combination. **Journal of Experimental Botany**, v. 71, p. 1734–1741, 2020.

ZHANG, F., ZOU, Y.N., WU, Q.S. Quantitative estimation of water uptake by mycorrhizal extraradical hyphae in citrus under drought stress. **Sci. Hortic.**, v. 229, p. 132-136, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.038>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a primeira avaliação, as diferenças entre os tratamentos são diretamente relacionadas a cada bioestimulante, mostrando o efeito de cada um deles no desenvolvimento vegetativo da cultura.

Para condição de irrigação na capacidade de campo as plantas apresentaram melhores resultados quando comparadas as plantas sob deficiência hídrica moderada para todos os parâmetros avaliados, após o estresse hídrico, principalmente no componente de produção, alcançando até 52% a mais na massa de grãos.

Os bioestimulantes com Silício e *Rizophagus irregulares* (B2) apresentaram os melhores resultados para a maioria dos parâmetros avaliados em relação aos demais tratamentos, para os dois regimes hídricos.

As produtividades mais altas foram obtidas nos tratamentos com regime hídrico de capacidade de campo, com os bioestimulantes Silício (4.274,53 kg ha⁻¹), *Rizophagus irregulares* (4.231,96 kg ha⁻¹) e *Bacillus pumilus*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *Rodopseudomonas palustres* (4182,96 kg ha⁻¹), 16,77%, 15,61% e 14,27% mais rendimento que o tratamento Controle (3660,53 kg ha⁻¹), respectivamente.

Já para o estresse hídrico moderado o bioestimulante que promoveu a maior produtividade foi o *Rizophagus irregulares* (2318,24 kg ha⁻¹) 13,59% mais rendimento que o Controle (2049,71 kg ha⁻¹), e o tratamento de bioestimulante com o menor desempenho foi o *Bacillus subtilis* (2100,55 kg ha⁻¹) apresentando 2,48% mais rendimento que o Controle.

Portanto, recomenda-se a utilização de bioestimulantes no sulco de plantio ou tratamento de semente para melhorar o meio do sistema de cultivo de soja para maiores produtividades.

REFERÊNCIAS

- AHMADI, A. *et al.* Antiviral potential of algae polysaccharides isolated from marine sources: a review. **Biomed. Res. Int.**, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1155/2015/825203>
- AZAD, M. O. K. *et al.* Silicon biostimulant enhances the growth characteristics and fortifies the bioactive compounds in common and Tartary buckwheat plant. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 24, p. 51–59, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12892-020-00058-1>
- BATOOL, K.; ZAHRA, T. F.; REHMAN, Y. Arsenic-Redox Transformation and Plant Growth Promotion by Purple Nonsulfur Bacteria *Rhodopseudomonas palustris* CS2 and *Rhodopseudomonas faecalis* SS5. **Biomed Res Int.** 2017. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/6250327>.
- BERNARDES, I. P. **Co-inoculação de *Bradyrhizobium* e *Bacillus amyloliquefaciens* na cultura da soja**. Trabalho de conclusão de curso - Faculdade Evangélica de Goianésia. Goianésia - GO. 2019
- BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2 ed. Viçosa. Ed. UFV, 2005. 969 p.
- BUEZO, J., *et al.* Drought tolerance response of high-yielding soybean varieties to mild drought: physiological and photochemical adjustments. **Physiol. Plantarum**, v. 166, p. 88-104, 2019.
- CHIAIESE, P. *et al.* Renewable sources of plant biostimulation: microalgae as a sustainable means to improve crop performance. **Front. Plant Sci.**, v. 9, n. 1782, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01782>
- COURTOIS, J. Oligosaccharides from land plants and algae: production and applications in therapeutics and biotechnology. **Curr. Opin. Microbiol.**, v. 12, p. 261–273, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mib.2009.04.007>
- CRISTOFANO, F.; EL-NAKHEL, C.; ROUPHAEL, Y. Biostimulant Substances for Sustainable Agriculture: Origin, Operating Mechanisms and Effects on Cucurbits, Leafy Greens, and Nightshade Vegetables Species. **Biomolecules**. v. 11, n. 1103, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom11081103>
- DAOUD, A. M. *et al.* Effect of silicon on the tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) to salt stress at different growth stages: case study for the management of irrigation water. **Plants**, v.7, n. 29, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants7020029>
- DONG, S. *et al.* A study on soybean responses to drought stress and rehydration. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, n. 8, p. 2006-2017, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.08.005>.

DU, Y. *et al.* Effect of drought stress at reproductive stages on growth and nitrogen metabolism in soybean. **Agronomy**, v. 10, n. 2, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10020302>

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 3-14, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>

FAOSTAT (2017) **FAO** Stat. Rome, Italy. <http://www.fao.org/faostat>

FIESCH, A. G.; POZIOMYCK, K. A. The therapeutic use of symbiotics. **ABCD Arq Bras Cir Dig**, p. 206- 209. 2014.

FRITCHE-NETO, R.; FURLAN BORÉM, A. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Viçosa: Suprema, 2011.

FURLAN, F. *et al.* Influência do potencial hídrico induzido por polietilenoglicol in vitro na morfologia do trigo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 3, p. 370-375, 2014.

GALINDO, F. S. *et al.* Can silicon applied to correct soil acidity in combination with *Azospirillum brasilense* inoculation improve nitrogen use efficiency in maize? **Plos one**, v. 15, n. 4, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230954>

GITONGA, N, M. *et al.* Genetic and Morphological Diversity of Indigenous Bradyrhizobium Nodulating Soybean in Organic and Conventional Family Farming Systems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.606618>

GUTJAHR, C.; PARNISKE, M. Cell and developmental biology of arbuscular mycorrhiza symbiosis. **Annu. Rev. Cell Dev. Biol.**, v. 29, p. 593–617, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-101512-122413>

JOSHI, B. *et al.* Prospective evaluation of individual and consortia plant growth promoting rhizobacteria for drought stress amelioration in rice (*Oryza sativa* L.). **Plant Soil**, v. 457, p. 225–240, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-020-4730-x>

KLEEREBEZEM, M. *et al.* Understanding mode of action can drive the translational pipeline towards more reliable health benefits for probiotics. **Current opinion in biotechnology**, v. 56, p. 55-60, 2019.

KUNERT, K. J. *et al.* Drought stress responses in soybean roots and nodules. **Front Plant Sci.**, v. 7, p. 1015, 2016.

LANGELLA, P.; MARTÍN, R., Emerging health concepts in the probiotics field: streamlining the definitions. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, 2019.

MARCO, M. L.; PAVAN, S.; KLEEREBEZEM, M. Towards understanding molecular modes of probiotic action. **Curr Opin Biotechnol.**, v.17, p. 204-210. 2004

MORADTALAB, N. *et al.* Silicon and the association with an arbuscular-mycorrhizal fungus (*Rhizophagus clarus*) mitigate the adverse effects of drought stress on strawberry. **Agronomy**, v. 9, n. 41, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9010041>

MORAES, J. V. **Parâmetros biométricos, fisiológicos e bioquímicos em híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* sob diferentes regimes de irrigação em casa de vegetação.** São Paulo, 2011. 78p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

NIWIŃSKA, B. *et al.* Seeds of n-GM soybean varieties cultivated in Poland and their processing products as high-protein feeds in cattle nutrition. **Agriculture**, v. 10, n. 5, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10050174>

OKOLIE, C. L.; MASON, B.; CRITCHLEY, A. T. **Seaweeds as a source of proteins for use in pharmaceuticals and high-value applications.** Novel Proteins for Food, Pharmaceuticals, and Agriculture: Sources, Applications, and Advances, ed. M. Hayes (Hoboken, NJ: Wiley), 2018.

RAPOSO, M. F. J. *et al.* Bioactivity and applications of sulphated polysaccharides from marine microalgae. **Mar. Drugs**, v. 11, p. 233–252, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3390/md11010233>

ROUPHAEL, Y. Effect of *Ecklonia maxima* seaweed extract on yield, mineral composition, gas exchange, and leaf anatomy of zucchini squash grown under saline conditions. **J. Appl. Phycol.**, v. 29, p. 459-470, 2017.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Editorial: Biostimulants in Agriculture. **Front. Plant Sci.**, v. 11, n. 40, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>

SANTOYO, G. *et al.* Plant growth stimulation by microbial consortia. **Agronomy**, v. 11, n. 219, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11020219>

SHAHRAJABIAN, M. H. *et al.* Biostimulants application: a low input cropping management tool for sustainable farming of vegetables. **Biomolecules**, v. 11, n. 698, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom11050698>

SHUKLA, P. S. *et al.* Carrageenans from red seaweeds as promoters of growth and elicitors of defense response in plants. **Front. Mar. Sci.**, v. 3, n. 81, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00081>

SHUKLA, P.S. *et al.* *Ascophyllum nodosum*-Based Biostimulants: Sustainable Applications in Agriculture for the Stimulation of Plant Growth, Stress Tolerance, and Disease Management. **Front. Plant Sci.**, v. 10, n. 655, 2019.

SILVA, M. C. A. P. **Impacto da inoculação com cepas da bactéria *Bacillus amyloliquefaciens* sobre os processos fisiológicos de soja exposta à seca.** Trabalho de conclusão de curso - Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia Goiano, Rio Verde - GO, 2019.

STIRK, W.A.; VAN STADEN, J. Potential of phytohormones as a strategy to improve microalgae productivity for biotechnological applications. **Biotechnol. Adv.**, v. 44, 2020.

SUSILOWATI, A.; PUPSITA, A. A.; YUNUS A. Drought resistant of bacteria producing exopolysaccharide and IAA in rhizosphere of soybean plant (*Glycine max*) in Wonogiri Regency Central Java Indonesia. **Bioscience Study**, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/142/1/012058>

SAVVAS, D.; NTATSI, G. Biostimulant activity of silicon in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 66-81, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.010>

SZULC, W. *et al.* Plant available silicon in differentiated fertilizing conditions. **Plant, Soil and Environment**, v. 65, n. 5, p. 233–237. 2019. DOI: <https://doi.org/10.17221/99/2019-PSE>

TAMAYO-AGUILAR, Y., P. *et al.* Bioproductos en el crecimiento y rendimiento de *Phaseolus vulgaris* L. var. Delícia 364. **Terra Latinoam.**, v. 3, p. 667-678, 2020. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v3i3.672>

VELASCO-JIMENEZ, A. *et al.* Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. **Terra Latinoam.**, v.3 8, n. 2, 2020. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v3i2.470>

WADAS, W.; DZIUGIEL, T. The Potato and its contribution to the human diet and health. In: CAMPOS, H., ORTIZ, O. **Springer International**. v. 10, p. 37-74, 2020.

WILCHES ORTIZ, W. A. *et al.* Association of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) with sugarcane plants (*Saccharum officinarum*) for panela production in Colombia. **Terra Latinoam.**, v. 37, n. 2, p.175-184, 2019. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.481>.

WONG, W. T. *et al.* Promoting effects of a single *Rhodopseudomonas palustris* inoculant on plant growth by *Brassica rapa chinensis* under low fertilizer input. **Microbes Environ.**, v. 29, p. 303-313, 2014.

XIONG, R.; *et al.* Root system architecture, physiological and transcriptional traits of soybean (*Glycine max* L.) in response to water deficit: A review. **Physiologia Plantarum**, Volume172, Issue2, 2021. <https://doi.org/10.1111/ppl.13201>