

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

THIAGO GHEDIN CAPPELLESSO

**AGENTES BIOLÓGICOS *B. aryabhattai* e *P. fluorescens* UTILIZADOS NA
CULTURA DA SOJA EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE HÍDRICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

DOIS VIZINHOS

2024

THIAGO GHEDIN CAPPELLESSO

**AGENTES BIOLÓGICOS *B. aryabhattai* e *P. fluorescens* UTILIZADOS NA
CULTURA DA SOJA EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE HÍDRICO**

**Biological agents *B. aryabhattai* and *P. fluorescens* used in soybean culture
under water stress conditions**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Agronomia da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dr. Sergio Miguel Mazaro

DOIS VIZINHOS

2024



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

THIAGO GHEDIN CAPPELLESSO

**AGENTES BIOLÓGICOS *B. aryabhatai* e *P. fluorescens* UTILIZADOS NA
CULTURA DA SOJA EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE HÍDRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Agronomia da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 20/junho/2024

Sergio Miguel Mazaro - Orientador

Doutorado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Dois Vizinhos

Lucas Da Silva Domingues

Doutorado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Dois Vizinhos

Álvaro Luiz Ghedin

Mestrando

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Dois Vizinhos

DOIS VIZINHOS

2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, e por me guiar em toda minha trajetória acadêmica.

A minha família, por todo apoio incondicional recebido ao longo da minha jornada.

Ao professor e orientador Dr. Sergio Miguel Mazaro, pela oportunidade e voto de confiança a mim concedido, bem como por toda ajuda fornecida durante essa etapa.

Ao professor Dr. Lucas Da Silva Domingues, pelos ensinamentos e orientações repassadas para a realização do trabalho.

Aos meus amigos e colegas, que sempre me incentivaram e proporcionaram momentos de descontração. E que de certa forma contribuíram nessa jornada.

RESUMO

A soja é uma das principais *comodities* produzidas no mundo, e a principal cultura agrícola no Brasil, tendo grande importância na economia. Contudo alguns problemas vêm sendo enfrentados na busca por altos tetos produtivos, dentre eles, períodos de restrição hídrica provenientes de estiagens. Como formas alternativas para mitigar essa situação, tem-se utilizado agentes biológicos promotores do crescimento de plantas, sendo bactérias do gênero *Bacillus* e *Pseudomonas* têm mostrado efeito benéfico sobre as plantas expostas a estresse hídrico. Esse trabalho teve por objetivo avaliar o potencial dos agentes biológicos *Bacillus aryabhattai* e *Pseudomonas fluorescens* utilizados na cultura da soja em condições de estresse hídrico. Para isso, o experimento foi conduzido na estação experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Dois Vizinhos. São 8 tratamentos, no delineamento experimental inteiramente casualizado, no esquema bifatorial, sendo um dos fatores com dois níveis (sem e com estresse hídrico) e o outro fator o uso dos agentes biológicos, em 4 níveis (testemunha - sem aplicação dos agentes biológico; com aplicação de *Bacillus aryabhattai*; com a aplicação da *Pseudomonas fluorescens* e com a aplicação de *Bacillus aryabhattai* + *Pseudomonas fluorescens*), em 5 repetições. As sementes após serem tratadas, foram semeadas em vasos plásticos, com 40cm de altura e 8 litros de volume. Quando as plantas atingiram o estágio fenológico V5 (cinco folhas verdadeiras), foi restringido água por um período de 15 dias, para os tratamentos que preveem restrição hídrica, nos demais o solo foi mantido em umidade de capacidade de campo. Após esse período de restrição hídrica, todos os tratamentos foram mantidos com irrigação normal por mais 20 dias, sendo o término do experimento. As avaliações realizadas foram comprimento da parte aérea e radicular, volume radicular, massa verde e massa seca da parte aérea e radicular, das quais apenas massa verde e volume radicular apresentaram diferença estatística entre os tratamentos, com destaque para o tratamento *Bacillus aryabhattai* + *Pseudomonas fluorescens* e *Bacillus aryabhattai*, onde na situação de condução sem estresse hídrico, o tratamento B+P (*Bacillus aryabhattai* + *Pseudomonas fluorescens*) obtiveram em grande maioria os melhores resultados, já em situação de condução com estresse hídrico, o tratamento B (*Bacillus aryabhattai*) se destaca obtendo os melhores resultados, com valores de 30% superiores para MVR e VR se compara do a testemunha, e 5% superiores para MVR e 11% para VR se comparado ao tratamento B+P. Contudo fica evidente que mesmo nas variáveis que não se diferiram estatisticamente, onde foi empregado o uso destas bactérias se obteve resultados superiores em comparação a testemunha, o que reforça o potencial de uso agrônomo destas bactérias viabilizando ainda mais o cultivo da soja.

Palavras-chave: Agentes biológicos; Estresse hídrico; *Glycine max*.

ABSTRACT

Soy is one of the main commodities produced in the world, and the main agricultural crop in Brazil, having great importance in the economy. However, some problems have been faced in the search for high production ceilings, including periods of water restriction resulting from droughts. As alternative ways to mitigate this situation, biological agents that promote plant growth have been used, and bacteria of the genus *Bacillus* and *Pseudomonas* have shown a beneficial effect on plants exposed to water stress. This work aimed to evaluate the potential of the biological agents *Bacillus aryabhattai* and *Pseudomonas fluorescens* used in soybean cultivation under water stress conditions. For this, the experiment was conducted at the experimental station of the Federal Technological University of Paraná, Dois Vizinhos campus. There are 8 treatments, in a completely randomized experimental design, in a bifactorial scheme, with one of the factors having two levels (without and with water stress) and the other factor being the use of biological agents, at 4 levels (control - without application of biological agents; with the application of *Bacillus aryabhattai*; with the application of *Pseudomonas fluorescens* and with the application of *Bacillus aryabhattai* + *Pseudomonas fluorescens*), in 5 repetitions. The seeds, after being treated, were sown in plastic pots, 40cm high and 8 liters in volume. When the plants reached the V5 phenological stage (five true leaves), water was restricted for a period of 15 days, for treatments that provide for water restriction, in the others the soil was maintained at field capacity humidity. After this period of water restriction, all treatments were maintained with normal irrigation for another 20 days, ending the experiment. The evaluations carried out were length of the shoot and root part, root volume, green mass and dry mass of the shoot and root, of which only green mass and root volume showed statistical differences between treatments, with emphasis on the *Bacillus aryabhattai* + *Pseudomonas fluorescens* treatment. and *Bacillus aryabhattai*, where in the situation of driving without water stress, treatment B+P (*Bacillus aryabhattai* + *Pseudomonas fluorescens*) obtained the best results in the vast majority, whereas in a situation of driving with water stress, treatment B (*Bacillus aryabhattai*) highlights obtaining the best results, with values 30% higher for MVR and VR compared to the control, and 5% higher for MVR and 11% for VR compared to the B+P treatment. However, it is evident that even in the variables that did not differ statistically, where the use of these bacteria was used, superior results were obtained compared to the control, which reinforces the potential for agronomic use of these bacteria, making soybean cultivation even more viable.

Keywords: Biological agents; Hydric stress; Glycine max.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVOS	9
2.1 Objetivo geral	9
2.2 Objetivos específicos.....	9
3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	10
3.1 Cultura da soja	10
3.2 Estresse hídrico	11
3.3 <i>Bacillus aryabhattai</i>	12
3.4 <i>Pseudomonas fluorescens</i>.....	13
4 MATERIAL E MÉTODOS	15
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
6 CONCLUSÃO	21
REFERÊNCIAS	22

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) está entre os quatro principais grãos produzidos no mundo, tendo uma importância a nível global na cadeia produtiva de alimentos. A exploração da oleaginosa começou inicialmente na região sul do Brasil, e hoje devido a inúmeros avanços de cultivo, sua exploração já é encontrada nos mais diferentes locais como cerrado entre outros. Essa expansão estabeleceu as chamadas novas fronteiras agrícolas no Brasil, como a região do MATOPIBA (FREITAS, 2011).

O Brasil por sua vez é o maior produtor de soja do mundo, com produção que ultrapassou os 125 milhões de toneladas nesta última safra 2021/2022 segundo a CONAB (2022). Contudo para que esses resultados sejam alcançados, é indiscutível que além de boas práticas de manejo, é preciso que as condições climáticas sejam favoráveis, o que nem sempre acontece. Segundo a própria CONAB (2022), embora a produção alcançada nesse último ano tenha sido expressiva, ela foi cerca de 9,9% menor em relação à safra anterior, devido principalmente a estiagens ocorridas nas regiões sul do Brasil no final de 2021, que proporcionaram condições de estresse hídrico a cultura, acarretando em uma redução de mais de 14% na produtividade média por hectare brasileira dessa safra.

Essas condições climáticas adversas estão associadas ao fenômeno La Niña, que permanece pelo Brasil favorecendo a ocorrência de chuvas acima da média em algumas regiões como a norte, e chuvas abaixo da média na região sul durante os últimos meses do ano (CONAB,2022). Porém mesmo em áreas com bons índices pluviométricos, podem ocorrer estresse hídrico e comprometer parcialmente a produtividade da cultura, já que dependendo da fase na qual a mesma se encontra, um período em torno de 15 dias de estresse é capaz de causar prejuízos significativos ao teto produtivo. O déficit hídrico quando ocorre durante todo o ciclo da cultura afeta de forma negativa a maioria de seus componentes de rendimento, resultando em plantas de porte inferior, com menos vagens e peso de sementes menor. Porém sua ocorrência durante a fase de enchimento de grãos da cultura pode ser tão danosa quanto a ocorrência durante toda a fase da cultura (GAVA, 2014).

Contudo o crescimento da cultura da soja seja em área plantada como produtividade por área no Brasil, sempre esteve atrelado ao avanço tecnológico e científico do setor, como relacionadas ao manejo, e ao desenvolvimento de novas variedades e produtos (FREITAS, 2011). É com esses avanços tecnológicos que hoje

se buscam alternativas para minimizar os efeitos causados pelo estresse hídrico na cultura. Uma dessas alternativas é o uso de biológicos, onde se destacam as bactérias do gênero *Bacillus* e *Pseudomonas*, microrganismos promotores do crescimento em plantas, que favorecem um maior desenvolvimento radicular, e produção de substâncias, que de certa forma ajudam atenuar os efeitos causados pelo estresse hídrico. Embora não esteja totalmente esclarecido como isso ocorre de fato, diversos estudos trazem resultados positivos nesse sentido (SILVA, 2019; GAGNÉ-BOURQUE et al., 2015).

O uso de *Bacillus aryabhattai* e *Pseudomonas fluorescens*, tanto de forma isolada como em conjunto, tem grande potencial de minimizar os efeitos causados pelo estresse hídrico, devido suas associações com as raízes das plantas e produção de metabólitos secundários. Além disso, essas bactérias podem atuar também como solubilizadoras de minerais como fosfatos, e no controle de doenças. Dessa forma estudos sobre essas bactérias, e suas utilizações, tem avançado ano a ano devido sua importância para o setor, uma vez que a demanda por informação é importante para se atingir altos tetos produtivos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial dos agentes biológicos *Bacillus aryabhatai* e *Pseudomonas fluorescens* utilizados na cultura da soja em condições de estresse hídrico.

2.2 Objetivos específicos

Determinar o potencial dos agentes biológicos sob diferentes condições de estresse hídrico.

Avaliar as características agronômicas das plantas, em função do uso dos biológicos e condições de estresse hídrico.

Avaliar o crescimento das plantas de soja em condição de stress hídrico.

3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1 Cultura da soja

Embora seja uma cultura conhecida mundialmente nos dias de hoje, nem sempre foi assim. A soja (*Glycine max.*) é uma cultura originária da região leste Asiática, que tomou maiores proporções na segunda década do século XX, onde seu teor de óleo e proteína do grão começaram a despertar o interesse das indústrias mundiais, dando início a tentativa de expansão do cultivo para os demais países do mundo (EMBRAPA SOJA, 2022).

Trata-se de uma planta de porte herbáceo, com ciclo que pode variar de 70 a 200 dias, dependendo da latitude de cultivo e hábito de crescimento da variedade, seja ele determinado, semideterminado ou indeterminado (GIARETTA, 2019).

No Brasil já na década de 30 se tinham alguns registros do cultivo da oleaginosa, porém foi a partir da década de 60 que o seu cultivo começou a ganhar maiores proporções, surgindo como uma opção no cultivo de verão em sucessão ao cultivo de trigo, bem como suprir a demanda por farelo de soja no mercado interno. E a partir daí a produção interna no país vem crescendo cada vez mais até chegarmos onde estamos hoje (EMBRAPA SOJA, 2022).

Dentre os fatores que proporcionaram a expansão da produção de soja em larga escala para as demais regiões do país, pode-se citar o avanço na mecanização, e melhoramento genético de cultivares, desenvolvendo variedades adaptadas às regiões do cerrado brasileiro, que passaram a se tornar as novas fronteiras agrícolas (BEZERRA *et al*, 2015).

Segundo levantamentos da CONAB, (2022) na última safra a soja ocupou uma área de mais de 41 milhões de hectares, resultando em uma produção de mais de 125 milhões de toneladas, das quais grande parte são exportadas para inúmeros países como a China, e grande parte é destinada ao consumo interno do país, seja destinada à alimentação humana ou animal na produção de farelo, óleo e demais derivados, como uso em biocombustíveis.

O estado do Mato Grosso, é o maior produtor de soja brasileiro, seguido do Paraná, sendo cultivada predominantemente sem irrigação, onde seu rendimento está quase que totalmente dependente de precipitações pluviais. A região sul por sua vez vem sofrendo com alguns períodos de seca em decorrência do fenômeno Lã niña, o que faz com que a escolha de cultivares mais tolerantes, seja uma alternativa para

driblar essa situação, contudo a resistência dessas plantas por sua vez a estresses vai depender da intensidade e momento de ocorrência do mesmo. Essa tolerância, por sua vez, não garante a sobrevivência da planta a longos períodos de restrição, portanto não se tem de fato cultivares totalmente tolerantes à seca (AMARAL, 2010)

3.2 Estresse hídrico

"Entre os fatores que reduzem a produtividade das lavouras, a seca é um dos principais responsáveis por perdas na produção brasileira de soja." (AMARAL, 2010 p.9)

Segundo a CONAB (2022), embora na última safra de soja tenha tido um acréscimo de quase 5% na área plantada em relação à safra 20/21 devido a incorporação de novas áreas de cultivo, a produção do país foi quase 10% menor se comparado à safra passada, e isso se deu principalmente devido a condições climáticas de estiagem que atingiram grande parte do país, a influência do fenômeno La Niña na Região Sul, São Paulo e em Mato Grosso do Sul, provocou uma redução significativa no volume de precipitações nessas regiões principalmente nos meses de novembro e dezembro de 2022, o que foi determinante para a redução da produtividade nessas regiões. Vale ressaltar ainda que devido a este e outros fatores, a produtividade média por hectare do Brasil teve uma redução de mais de 14% em relação à safra 20/21.

O déficit hídrico, influencia diretamente sobre o rendimento das culturas agrícolas, podendo apresentar dependendo da severidade prejuízos muito significativos. O déficit hídrico por sua vez não causa danos apenas se ocorrer durante todo o ciclo da cultura, podendo afetar a produtividade mesmo na ocorrência em alguns subperíodos, onde segundo seus estudos a ocorrência de restrição hídrica no momento de enchimento de grãos da cultura foi tão danosa quanto a restrição durante todo seu ciclo. Além disso, provoca a redução do índice de área foliar da cultura, o que afeta a captura de radiação, além de diminuir a eficiência da interceptação da radiação solar fotossintética ativa (GAVA. *et al* 2015).

A tolerância ao estresse hídrico por sua vez varia de espécies para espécies, e envolve diferentes fatores da planta, como regulação estomática, desenvolvimento e tipo do desenvolvimento radicular, taxa de respiração entre outros inúmeros atributos (MASCARANHAS, 2021). Embora não esteja totalmente esclarecido, algumas bactérias (*Pseudomonas*, *Bacillus*) se mostram benéficas às plantas em

condições de estresse hídrico, aumentando a tolerância das mesmas a agentes estressantes, fazendo com que o crescimento vegetal seja mantido mesmo nessas condições (SILVA, 2019).

3.3 *Bacillus aryabhatai*

Essa espécie de bactéria, foi isolada e identificada pela primeira vez, em criotubos usados para coletar o ar da atmosfera, mais precisamente entre 27 e 41 metros de altitude, no ano de 2009. Seu desenvolvimento ótimo se dá em temperaturas de 10-37 °C e pH 6-10, não se desenvolvendo em temperaturas muito elevadas acima de 42 °C, e nem em meios com pH muito ácido, abaixo de 4. Apresenta ainda resistência a radiação UV (SHIVAJI *et al*, 2009).

"É uma bactéria gram-positiva, de formato bastonete, formação de endósporos, e com colônias de 5 a 8 mm de diâmetro." (NDOUNG, 2019 p.4).

Após o seu descobrimento inúmeras outras variantes dessa bactéria já foram isoladas na rizosfera em diferentes partes do mundo. Um dos primeiros estudos sobre o uso dessa bactéria foi realizado na Coreia do Sul, avaliando seu efeito sobre o desenvolvimento da planta selvagem *Xanthium italicum*. Durante esse estudo, pode-se comprovar que com a utilização dessa bactéria, o comprimento das raízes e brotos bem como o peso das mudas foi maior se comparado à testemunha, onde não foi aplicado *B.aryabhatai*. Ele atribui a capacidade desta bactéria em desenvolver o crescimento das plantas devido a produção de alguns fitohormônios, como giberelina, ácido abscísico e AIA, além de atuar na solubilização de fosfatos (LEE, OK KA, HONG-GYU, 2012).

Kavamura (2012), realizou no Brasil um comparativo, do uso de diferentes espécies biológicas sob o desenvolvimento do milho em condições de estresse hídrico, onde constatou que o *B.aryabhatai* promoveu a produção de biofilme pelas linhagens de milho, o que pode ter protegido as plantas contra as condições de déficit, fazendo com que mesmo durante esse período seu crescimento de caule e parte aérea, fosse superior a testemunha.

Essa bactéria estabelece uma relação com as raízes das plantas, promovendo o crescimento e imunidade das mesmas, os mecanismos estabelecidos promovem a regulação de fitohormônios e melhoram a disponibilidade de nutrientes, em alguns casos pode ainda apresentar efeitos antagônicos sobre patógenos vegetais. Em análise de espectrometria pode-se observar que a cepa de

B. aryabhatai, produz quantidades significativas de ácido abscísico, ácido acético indol, citocina e diferentes outros ácidos. As plantas de soja por sua vez tratadas com estas cepas, apresentaram melhor tolerância a estresse térmico se comparado às plantas não tratadas, apresentando fechamento estomático mediado pelo ácido abscísico produzido, se mostrando altamente tolerante ao estresse oxidativo induzido por água e potencializado por atividades de alta catálise e superóxido de dismutase. Além disso seu uso promove nas plantas de soja o desenvolvimento de raízes e brotos mais profundos, desse modo sua utilização pode ser de grande importância para quem busca um incremento produtivo das culturas (PARK. et al 2017).

3.4 *Pseudomonas fluorescens*

Pseudomonas são bactérias gram-negativas, de formato reto ou ligeiramente curvo, encontradas em diferentes ambientes, como nos solos, associados a colonização de raízes de plantas, trazendo benefícios à saúde das mesmas. Dessa forma seu uso pode ser empregado na agricultura, podendo melhorar o desempenho ecológico da rizosfera, atuando na solubilização de nutrientes, e propiciando melhores respostas em condições de estresse (RAINEY, 1999).

Os efeitos benéficos exercidos por essa bactéria podem acontecer de forma direta, promovendo o crescimento da planta através da produção de metabólitos como reguladores de crescimento, sendo eles auxina, citocinina e giberelina, e também pela solubilização de fosfatos naturais. Além destes fatores, podem auxiliar na eliminação de alguns patógenos pela produção de substâncias, ou ativando os mecanismos de defesa das plantas induzindo sua resistência sistêmica (COELHO, 2007).

Segundo Guimarães, Klein e Klein, (2021) em experimentos realizados a campo em alguns municípios do estado do Paraná, a utilização de *Pseudomonas fluorescens*, na coinoculação de sementes de soja, trouxe resultados significativos a cultura, promovendo um maior desenvolvimento radicular da cultura, o que resultou em um maior volume de massa seca de raiz, um diâmetro de caule maior, e uma produção de massa seca de área foliar até 24% superior se comparado ao tratamento que não recebeu a inoculação. Quanto a produtividade de soja, em todos os tratamentos realizados nos diferentes municípios, os maiores tetos produtivos, foram alcançados onde houve a coinoculação com *Pseudomonas fluorescens*, se comparado aos tratamentos de mesma adubação.

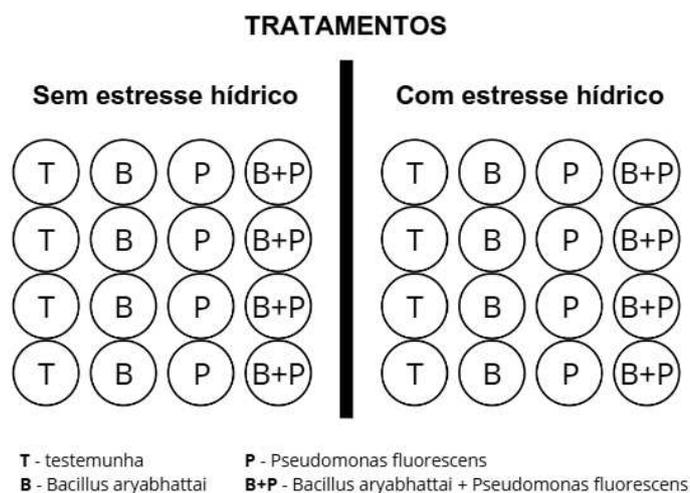
O uso de *Pseudomonas fluorescens* além de promover benefícios diretos a cultura como descrito anteriormente, pode também ser utilizado nos cultivos como forma de antagonista para supressão de doenças. Através da produção de diversos antibióticos, entre eles o 2,4- diacetilfloroglucinol, a nível laboratorial em meio de cultura se mostrou muito efetivo para controle de *Macrophomina phaseolina*, chegando a inibir em mais de 50% o crescimento do fungo (SANTOS. et al 2010).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante o primeiro semestre do ano de 2023 na estação experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Dois Vizinhos (UTFPR–DV). O município de Dois Vizinhos se localiza na região sudoeste do Paraná, mais precisamente nas coordenadas de Latitude: 25° 44' 5" Sul, Longitude: 53° 3' 31" Oeste. Com aproximadamente 530 metros de altitude em relação ao nível do mar. Segundo Dos Santos (2018), o solo da região é classificado predominantemente como latossolo e nitossolo, sendo solos bem profundos e permeáveis. O clima do município por sua vez se caracteriza, como Cfa subtropical úmido, com verão quente e sem estação de seca definida (PIGOSSO. *et al* 2009). Contudo, o experimento foi conduzido sob irrigação controlada.

Foram 8 tratamentos, sendo utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, no esquema bifatorial, sendo um dos fatores com dois níveis (sem e com estresse hídrico) e o outro fator o uso dos agentes biológicos, em 4 níveis (testemunha - sem aplicação dos agentes biológico; com aplicação de *Bacillus aryabhatai*; com a aplicação da *Pseudomonas fluorescens* e com a aplicação de *Bacillus aryabhatai* + *Pseudomonas fluorescens*), em 4 repetições (figura1).

Figura 1 – Representação esquemática dos tratamentos



Fonte: Autoria própria (2024)

Foram tratadas aproximadamente 100 gramas de semente de soja para cada tratamento, e a dosagem de cada um dos inoculantes utilizadas foi de 100 ml para cada 50 kg de semente, respeitando a recomendação comercial, simulando uma

inoculação on-farm. As sementes após serem tratadas, foram semeadas em vasos de plástico, com 40cm de altura e volume de 8 litros, preenchidos com solo da fazenda experimental, o qual se tratava de um solo desnudo, com baixos teores de matéria orgânica. Inicialmente, foram semeadas 10 sementes por vaso, e com o passar do tempo, a medida com que as plantas iam se desenvolvendo, foi realizado o raleio das plantas que emergiram, fazendo com que a partir do estágio fenológico V2 (duas folhas verdadeiras) restassem apenas 2 plantas por vaso. Quando as plantas atingiram o estágio fenológico V5 (cinco folhas verdadeiras), foi restringido água por um período de 15 dias, para os tratamentos que preveem restrição hídrica, nos demais o solo foi mantido em umidade de capacidade de campo. Após esse período de restrição hídrica, quando as plantas já se encontravam em estágio reprodutivo, todos os tratamentos foram mantidos com irrigação normal por mais 20 dias, até a coleta dos dados e o término do experimento.

As avaliações feitas foram comprimento da parte aérea e radicular, volume radicular, massa verde e seca da parte aérea e radicular. As mesmas foram realizadas com uso de fita métrica, balança de precisão e proveta graduada, após o arranquio das plantas e limpeza de seu sistema radicular.

Após a realização do experimento, e com os dados produtivos das variáveis já coletados, os mesmos foram tabelados em planilha eletrônica do Office Excel e submetidos a análise de variância, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, utilizando o programa estatístico Rbio (BHERING, 2017).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados demonstraram que a inoculação de sementes de soja com *Bacillus aryabhatai* e *Pseudomonas fluorescens* tanto de forma isolada como associada, tratamento B+P (*Bacillus aryabhatai* + *Pseudomonas fluorescens*), tratamento P (*Pseudomonas fluorescens*), tratamento B (*Bacillus aryabhatai*) e tratamento T (testemunha), observamos que para grande maioria das variáveis analisadas não apresentaram diferenças significativas, com exceção para variável massa verde de raiz nos tratamentos conduzidos sem estresse hídrico e massa verde e volume de raiz nos tratamentos conduzidos com estresse hídrico.

Tabela 1 - Médias de Massa verde de raiz (MVR), Massa seca de raiz (MSR), Volume de raiz (VR) e Comprimento de raiz (CR) no tratamento conduzido sem estresse hídrico para os agentes biológicos avaliados no experimento.

Tratamento	MVR (g)		MSR (g)		VR (ml)		CR (cm)	
<i>B. aryabhatai</i> + <i>P. fluorescens</i>	30	a	2.75	n.s	33.75	n.s	65.26	n.s
<i>P. fluorescens</i>	29	ab	3	n.s	31.75	n.s	61.5	n.s
Testemunha	25.75	ab	2.5	n.s	30.75	n.s	63.75	n.s
<i>B. aryabhatai</i>	24	b	2.75	n.s	31	n.s	65.5	n.s

Fonte: Autoria própria (2024).

Como pode-se observar na tabela 1, onde se diz respeito a variável raiz, apenas a massa verde (MVR) apresentou diferença significativa, com destaque para o tratamento B+P onde foi feito o uso associado dos biológicos *Bacillus aryabhatai* e *Pseudomonas fluorescens*, que obteve um resultado 14% superior a testemunha, seguido do tratamento P onde foi feito uso isolado da *Pseudomonas fluorescens*, que apresentaram resultados significativamente superior ao tratamento T (testemunha) e ao tratamento B (uso isolado de *Bacillus aryabhatai*). Contudo fica evidente nas variáveis MSR e VR que embora não se tenha apresentado diferença estatística, os tratamentos em que são utilizados o *Bacillus aryabhatai* e *Pseudomonas fluorescens*, apresentam resultados superiores em até 9% a testemunha, o que reforça o potencial de uso destes agentes biológicos. Quanto ao comprimento de raiz (CR) acredito que não se teve diferença significativa principalmente pelo fato de o vaso usado para o plantio ter um tamanho relativamente pequeno, o que limitou o crescimento das raízes em profundidade. Segundo De Moura Guerra. et al (2021), em estudos com produção de pimenta de cheiro em diferentes volumes de vaso, ressalta que quando a planta é submetida a um recipiente com limitação física de espaço, pode ocorrer a contenção do crescimento radicular, e conseqüentemente diminuição no crescimento da parte

aérea da planta. Nesse mesmo contexto, Campagnol. et al (2012) chegou em resultados onde plantas de tomateiro cultivados em recipientes de maiores volumes, alcançaram maiores diâmetros de caules, devido ao maior espaço para o crescimento das raízes, afetando conseqüentemente parte aérea da planta. Desse modo, isso pode de certa forma explicar também porque as variáveis de parte aérea (tabela 2) não apresentaram diferenças significativas entre seus resultados.

Tabela 2 - Médias de Massa verde da parte aérea (MVPA), Massa seca da parte aérea (MSPA) e Comprimento de parte aérea (CPA) no tratamento conduzido sem estresse hídrico para os agentes biológicos avaliados no experimento.

Tratamento	MVPA (g)		MSPA (g)		CPA (cm)	
Testemunha	63.75	n.s	17.75	n.s	65.75	n.s
<i>B. aryabhatai</i>	58.25	n.s	15.75	n.s	60.25	n.s
<i>P. fluorescens</i>	65	n.s	16.5	n.s	62.5	n.s
<i>B. aryabhatai</i> + <i>P. fluorescens</i>	79	n.s	21.75	n.s	63.5	n.s

Fonte: Autoria própria (2024)

Das variáveis mensuradas de parte aérea (tabela 2) todas apresentaram resultados não significativos, porém pode-se observar que o tratamento B+P é superior se comparado à testemunha, em 19% para MVPA e de 18% para MSPA, o que é um resultado expressivo e satisfatório, tendo em vista que toda essa diferença se deu apenas pela inoculação das sementes com essas duas bactérias.

Nos tratamentos conduzidos com estresse hídrico, assim como no descrito anteriormente a grande maioria das variáveis analisadas não apresentaram diferenças significativas em seus resultados com exceção da massa verde de raiz e volume de raiz (tabela 3).

Tabela 3 Médias de Massa verde de raiz (MVR), Massa seca de raiz (MSR), Volume de raiz (VR) e Comprimento de raiz (CR) no tratamento conduzido com estresse hídrico para os agentes biológicos avaliados no experimento.

Tratamento	MVR (g)		MSR (g)		VR (ml)		CR (cm)	
<i>B. aryabhatai</i>	27.5	a	3.25	n.s	34.25	a	56.75	n.s
<i>B. aryabhatai</i> + <i>P. fluorescens</i>	26	ab	2.5	n.s	30.5	ab	62.25	n.s
<i>P. fluorescens</i>	23	ab	1.75	n.s	27.75	ab	56.75	n.s
Testemunha	18.75	b	2	n.s	24.75	b	64.5	n.s

Fonte: Autoria própria (2024)

Das variáveis que apresentaram diferença significativa, MVR e VR em ambos o tratamento B (*Bacillus aryabhatai*) obteve resultados superiores aos demais tratamentos, chegando a 30% superior se comparado a testemunha. Seguido pelo

tratamento B+P que apresentou resultados inferiores, tratamento P e pôr fim a testemunha (T). Para a variável MSR embora não se tenha obtido diferença significativa, os resultados do tratamento B são 38% superiores em relação a testemunha, o qual é um acréscimo significativo em massa de raiz. Os resultados obtidos estão de acordo com estudos de Castelo Sousa. et al (2023), os quais afirmam que diversas culturas, podem se beneficiar do uso dessa bactéria (*Bacillus aryabhatai*), a qual está associada a melhoria na atividade de hormônios vegetais, como giberelinas, citocininas, ácido adscísico e auxina, que podem atuar na mitigação do estresse hídrico.

Tabela 4 - Médias de Massa verde da parte aérea (MVPA), Massa seca da parte aérea (MSPA) e Comprimento de parte aérea (CPA) no tratamento conduzido com estresse hídrico para os agentes biológicos avaliados no experimento.

Tratamento	MVPA (g)		MSPA (g)		CPA (cm)	
Testemunha	48.25	n.s	12.75	n.s	64	n.s
<i>B. aryabhatai</i>	56.75	n.s	14.75	n.s	64	n.s
<i>P. fluorescens</i>	46.75	n.s	12	n.s	62.25	n.s
<i>B. aryabhatai</i> + <i>P. fluorescens</i>	49.25	n.s	12.75	n.s	64.5	n.s

Fonte: Autoria própria (2024)

Embora as variáveis de parte aérea (tabela 4) não obtiveram resultados significativos, fica evidente que o tratamento B (*Bacillus aryabhatai*) obteve resultados superiores aos demais tratamentos, sendo de 15% superior a testemunha para MVPA e 13% para MSPA. Isso mostra o potencial dessa bactéria no uso agrônomo, que se destaca ainda mais em situações de estresse hídrico. Confirmando estudos realizados por Spanevello (2023), onde a coinoculação com *Bacillus aryabhatai* em associação com demais bactérias promotoras de crescimento, possibilitam o desenvolvimento da cultura da soja mesmo em anos de déficit hídrico.

Fazendo uma avaliação conjunta entre os tratamentos nas diferentes situações de condução, sem estresse hídrico e com estresse hídrico, podemos observar que o uso destas bactérias influenciou positivamente nos resultados obtidos, e embora para muitas variáveis não se teve diferença estatística, em sua grande maioria os resultados foram superiores a testemunha que viabilizam sua utilização. Na situação onde os tratamentos foram conduzidos sem estresse hídrico, o tratamento B+P (*Bacillus aryabhatai* + *Pseudomonas fluorescens*) obtiveram em grande maioria os melhores resultados, enquanto que o tratamento B (*Bacillus aryabhatai*) obteve resultados até 20% inferior como foi o caso para MVR, ficando com valores muito

próximos ou até inferiores à da testemunha. Já na situação onde os tratamentos foram conduzidos com estresse hídrico, o tratamento B (*Bacillus aryabhattai*) se destaca obtendo os melhores resultados, com valores de 30% superiores para MVR e VR se comparado a testemunha, e 5% superiores para MVR e 11% para VR se comparado ao tratamento B+P.

Isso mostra que em condições favoráveis de ambiente a associação destas bactérias em específico, tendem a trazer melhores resultados de desenvolvimento radicular e parte aérea em soja. Segundo estudos realizados por Guimarães, Klein e Klein (2021) o uso de *Pseudomonas fluorescens*, na coinoculação de sementes de soja promove um maior desenvolvimento radicular, resultando em um maior volume de raiz e conseqüentemente de massa seca de parte aérea, o que colabora para que com sua utilização se tenha o potencial de promover ganhos em crescimento e produtividade da cultura da soja. Enquanto que como observado o *Bacillus aryabhattai* utilizado de forma isolada não apresentou resultados expressivos em condições favoráveis.

Porem quando a condição ambiental está desfavorável, sob estresse hídrico como foi simulado, os resultados se invertem, e o tratamento com *Bacillus aryabhattai* se mostra significativamente superior aos demais, seguido do tratamento B+P. Isso porque segundo Kavamura (2012) o *Bacillus aryabhattai*, pode ter a capacidade de em condição de estresse hídrico promover a produção de biofilme que de certa forma podem proteger as plantas contra essa condição de restrição hídrica. O que também foi evidenciado no estudo de PARK. et al (2017) onde relata que plantas de soja tratadas com cepas de *B.aryabhattai* apresentam melhor tolerância a estresse térmico, promovendo o desenvolvimento de raízes mais profundas.

6 CONCLUSÃO

Embora grande maioria das variáveis analisadas nos tratamentos não apresentaram diferença significativa, o uso de *Bacillus aryabhattai* e *Pseudomonas fluorescens* influenciaram positivamente e significativamente na produção de massa verde e volume de raízes, porém não modificou o comprimento das raízes.

Baseado na análise dos dados, se observarmos apenas a testemunha (T), a mesma obteve melhores resultados na condução dos tratamentos sem estresse hídrico, porém se compararmos os melhores resultados de cada uma das condições, tratamento B+P para condição sem estresse hídrico e tratamento B para condição com estresse hídrico, vemos que a diferença entre os tratamentos é muito inferior se comparado a diferença entre a testemunha nas duas condições. Isso de certa forma nos indica a viabilidade agrônômica da utilização dessas bactérias, uma vez que em condição de estresse hídrico, os valores obtidos foram muito similares aos da condição sem estresse hídrico.

Desse modo, a utilização dessas bactérias promotoras de crescimento podem ser utilizadas, como uma ferramenta auxiliar para os produtores enfrentarem as adversidades do clima no campo, viabilizando ainda mais o cultivo da soja, uma vez que se tratam de insumos de baixo custo, e com boa viabilidade econômica.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, Leidy Cristiane. **Análise das respostas fisiológicas e da expressão diferencial de genes em soja submetida a déficit hídrico**. 2010.
- BEZERRA, A. R. G. et al. Importância econômica. **Soja: do plantio à colheita. Viçosa: Editora UFV**, p. 9-26, 2015.
- BHERING, Leonardo Lopes. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 2, p. 187-190, 2017.
- CAMPAGNOL, Rafael et al. Efeito do volume do recipiente na produção de mudas de mini-tomate no sistema de cultivo “Canguru”. **Horticultura brasileira**, v. 30, n. 2, p. 563-569, 2012.
- CASTELO SOUSA, Henderson et al. *Bacillus aryabhattai* mitigates the effects of salt and water stress on the agronomic performance of maize under an agroecological System. **Agriculture**, v. 13, n. 6, p. 1150, 2023.
- COELHO, Luciana Fontes et al. Interação de bactérias fluorescentes do gênero *Pseudomonas* e de *Bacillus* spp. com a rizosfera de diferentes plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1413-1420, 2007.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 9, safra 2021/22, n. 12 décimo segundo levantamento, setembro 2022. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 10 out. 2022.
- DE MOURA GUERRA, Antonia Mirian Nogueira et al. Produção de pimenta de cheiro em diferentes volumes de vaso Smeel pepper production in different pot volumes. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 10, p. 100867-100883, 2021.
- DOS SANTOS, Humberto Gonçalves et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- EMBRAPA SOJA. **História da soja**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/historia>>. Acesso em: 10 out. 2022.
- FREITAS, Márcio. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, 2011.
- GAGNÉ-BOURQUE, François et al. Accelerated growth rate and increased drought stress resilience of the model grass *Brachypodium distachyon* colonized by *Bacillus subtilis* B26. **Plos one**, v. 10, n. 6, p. e0130456, 2015.
- GAVA, Ricardo et al. O estresse hídrico em diferentes fases da cultura da soja. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 9, n. 6, p. 349-359, 2015.
- GAVA, Ricardo. **Os efeitos do estresse hídrico na cultura da soja (Glycine Max,(L.) Merrill.)**. São Paulo. Universidade de São Paulo, 2014.

GIARETTA, Layssa Carrilho et al. **Parâmetros genéticos e seleção fenotípica em população F2 de soja oriunda de Germoplasma convencional e RR.** 2019.

GUIMARÃES, Vandeir Francisco; KLEIN, Jeferson; KLEIN, Débora Kestring. Promoção de crescimento e solubilização de fosfato na cultura da soja: coinoculação de sementes com *Bradyrhizobium japonicum* e *Pseudomonas fluorescens*. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. e366101120078-e366101120078, 2021.

KAVAMURA, Vanessa Nessner. **Bactérias associadas às cactáceas da Caatinga: Promoção de crescimento de plantas sob estresse hídrico.** 2012. Tese de Doutorado. University of São Paulo.

LEE, Sol; KA, Jong-Ok; SONG, Hong-Gyu. Growth promotion of *Xanthium italicum* by application of rhizobacterial isolates of *Bacillus aryabhattai* in microcosm soil. **The Journal of Microbiology**, v. 50, n. 1, p. 45-49, 2012.

MASCARANHAS, L. S. **Uso de inoculantes microbiológicos para otimização do crescimento e desenvolvimento de plantas de cana-de-açúcar cultivadas sob déficit hídrico.** 2021.

NDOUNG, Ornelle Christiane Ngo et al. **Potencial de *Bacillus aryabhattai* para o controle de *Meloidogyne incognita* na cultura do milho.** 2019.

PARK, Yeon-Gyeong et al. *Bacillus aryabhattai* SRB02 tolerates oxidative and nitrosative stress and promotes the growth of soybean by modulating the production of phytohormones. **PLoS One**, v. 12, n. 3, p. e0173203, 2017.

PIGOSSO, Márcio et al. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JIRAU ALTO–DOIS VIZINHOS-PARANÁ. **Geoambiente On-line**, n. 13, p. 01-20 pág., 2009.

RAINEY, Paul B. Adaptation of *Pseudomonas fluorescens* to the plant rhizosphere. **Environmental Microbiology**, v. 1, n. 3, p. 243-257, 1999.

SANTOS, PJC et al. **Utilização de *Pseudomonas fluorescens* no controle biológico de *Macrophomina phaseolina*.** 2010.

SHIVAJI, S. et al. *Janibacter hoylei* sp. nov., *Bacillus isronensis* sp. nov. and *Bacillus aryabhattai* sp. nov., isolated from cryotubes used for collecting air from the upper atmosphere. **International journal of systematic and evolutionary microbiology**, v. 59, n. 12, p. 2977-2986, 2009.

SILVA, Maria Clara de Andrade Pereira da et al. **IMPACTO DA INOCULAÇÃO COM CEPAS DA BACTÉRIA *Bacillus amyloliquefaciens* SOBRE OS PROCESSOS FISIOLÓGICOS DE SOJA EXPOSTA À SECA.** 2019.

SPANEVERELLO, Janaina de Fatima et al. **Coinoculação de rizobactérias com *Bradyrhizobium japonicum* na mitigação dos efeitos do La Niña na cultura da soja.** 2023.