

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MARCIA CRISTINA DOS SANTOS

**PROMOÇÃO DO CRESCIMENTO DE PLANTAS DE SOJA E MANEJO DA
FERRUGEM ASIÁTICA PELA APLICAÇÃO DE PRODUTOS BIOLÓGICOS**

SANTA HELENA

2023

MARCIA CRISTINA DOS SANTOS

**PROMOÇÃO DO CRESCIMENTO DE PLANTAS DE SOJA E MANEJO DA
FERRUGEM ASIÁTICA PELA APLICAÇÃO DE PRODUTOS BIOLÓGICOS**

**Promotion of soybean plant growth and management of asian rust by application of
biological products**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná, *Campus* Santa Helena, como
requisito parcial à obtenção do título de
Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Debona

SANTA HELENA

2023



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

MARCIA CRISTINA DOS SANTOS

**PROMOÇÃO DO CRESCIMENTO DE PLANTAS DE SOJA E MANEJO DA
FERRUGEM ASIÁTICA PELA APLICAÇÃO DE PRODUTOS BIOLÓGICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito parcial para a
obtenção do título de Bacharel em Agronomia da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Santa Helena.

Aprovada em: Santa Helena, 07 de dezembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Daniel Debona – Orientador
UTFPR

Profa. Dra. Nádia Graciele Krohn
UTFPR

Prof. Dr. Lincon Oliveira Stefanello da Silva
UTFPR

Dedico este trabalho à minha família por todo amor e apoio, ao meu orientador Daniel Debona pela valiosa orientação, aos meus amigos e a todos que de alguma forma contribuíram em minha jornada acadêmica. Este trabalho é dedicado a todos que acreditaram em mim e na importância da pesquisa como ferramenta de inovação.

AGRADECIMENTOS

Manifesto primeiramente minha mais profunda gratidão a Deus, que sempre me guiou e concedeu forças para superar os desafios e progredir.

Ao meu orientador, o Prof. Dr. Daniel Debona, expresso minha gratidão por toda a paciência e dedicação em me auxiliar durante todo o processo de execução deste e de outros trabalhos. Suas orientações, conselhos e ensinamentos foram de fundamental importância, e por isso sou imensamente grata.

A minha família, que não mediu esforços durante minha trajetória acadêmica para que esse sonho pudesse estar sendo realizado, e por todo o apoio e compreensão incondicional que a mim dedicaram no decorrer desse percurso.

Ao meu amigo e namorado, Darlan Felipe Sartori, proporcionado pela universidade, expresso meu agradecimento pelo companheirismo e auxílio durante a elaboração deste trabalho.

Também expresso minha gratidão aos membros do grupo de pesquisa ProteCrop, que me acolheram e colaboraram na implantação e execução deste trabalho.

A banca avaliadora, Nádia Graciele Krohn e Lincon Oliveira Stefanello da Silva, que aceitaram avaliar e contribuir em prol da melhoria deste trabalho.

Aos professores que contribuíram para a minha formação, expresso minha mais profunda admiração, reconhecimento e gratidão. Seus ensinamentos foram essenciais para a construção deste trabalho e para moldar a pessoa que sou hoje.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná por todo o auxílio e aporte na realização do trabalho.

Agradeço também a todos os meus amigos e amigas que estiveram ao meu lado, oferecendo apoio e ânimo diante das dificuldades impostas tanto pela universidade quanto pela vida. Vocês tornaram muitos momentos desafiadores mais fáceis e alegres.

Por fim, expresso meu agradecimento a todos que, de alguma forma, contribuíram para esta jornada acadêmica. Este trabalho não teria sido possível sem o esforço conjunto de tantas pessoas dedicadas. A todos vocês, o meu mais sincero muito obrigada.

“Na vida, cada desafio é uma semente de conhecimento que, se bem cultivada, floresce em soluções para a terra e para a vida.”

(Autor desconhecido)

RESUMO

A ferrugem asiática, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, constitui a principal e mais destrutiva doença foliar em soja (*Glycine max* L.). Em condições ambientais favoráveis para seu desenvolvimento, a doença pode causar reduções na produtividade entre 10 e 90%. Embora a aplicação de fungicidas químicos constitua a principal medida de controle da ferrugem, a eficácia dos produtos tem diminuído devido à resistência do fungo, tornando-se necessário a inclusão de novas estratégias de controle da doença. O presente trabalho teve como objetivo (i) investigar o efeito do tratamento de sementes com *Bacillus aryabhattai* no crescimento de plântulas de soja; (ii) avaliar esse efeito no controle da ferrugem asiática, associado ou não ao tratamento foliar químico e/ou biológico. O estudo proposto foi dividido em dois estudos, sendo um conduzido em casa de vegetação, e outro à campo, ambos na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Campus Santa Helena. No estudo I, em ambiente controlado, foram avaliados dois tratamentos de sementes: T1: controle com água comum, e T2: *B. aryabhattai*. A estatura das plantas, o comprimento e o volume radicular, a massa seca da parte aérea e do sistema radicular, e a área foliar foram determinados em plântulas 35 dias após sua emergência. No estudo II, a campo, o arranjo fatorial foi 2×4 , sendo que o fator A correspondeu aos dois tratamentos investigados no estudo I, e o fator B foi composto por quatro tratamentos foliares, sendo F1: testemunha, sem aplicação; F2: aplicação biofungicida (*Trichoderma asperellum* + *T. harzianum* + *B. amyloliquifaciens*); F3: aplicação de fungicida químico; F4: aplicação de biofungicida + fungicida químico. A utilização de *B. aryabhattai* no tratamento de sementes promoveu aumento no volume e no comprimento radicular, na estatura de plantas, na massa seca radicular, na massa seca da parte aérea e na área foliar. A campo, o tratamento de sementes com *B. aryabhattai* reduziu a severidade da ferrugem asiática e aumentou a produtividade da soja, principalmente quando o tratamento de sementes foi complementado com aplicações foliares de biofungicida + fungicida químico. Diante disso, o uso de *B. aryabhattai* no tratamento de sementes e a inclusão de biofungicidas aos programas de controle químico, contribuem para o aumento da eficácia no controle da ferrugem asiática e na produtividade da soja.

Palavras-chave: *Bacillus aryabhattai*. *Glycine max* L. Tratamento de sementes. Biofungicida.

ABSTRACT

Asian rust, caused by the fungus *Phakopsora pachyrhizi*, is the main and most destructive foliar disease of soybean (*Glycine max* L.). Under environmental conditions designed for its development, the disease can cause reductions in productivity of between 10 and 90%. Although the application of chemical fungicides is the main measure to control rust, the effectiveness of the products has decreased due to resistance to the fungus, making it necessary to include new strategies to control the disease. The present work aimed to (i) investigate the effect of seed treatment with *Bacillus aryabhatai* on the growth of soybean seedlings; (ii) evaluate this effect on the control of Asian rust, whether or not associated with chemical and/or biological foliar treatment. The proposed study was divided into two studies, one prolonged in a greenhouse, and the other in the field, both in the experimental area of the Federal Technological University of Paraná (UTFPR) - Santa Helena Campus. In study I, in a controlled environment, two seed treatments were evaluated: T1: control with common water, and T2: *B. aryabhatai*. Plant height, root length and volume, dry mass of the shoot and root system, and leaf area were determined in seedlings 35 days after emergence. In study II, in the field, the factorial arrangement was 2×4 , with factor A corresponding to the two treatments investigated in study I, and factor B was composed of four foliar treatments, being F1: control, without application; F2: biofungicide application (*Trichoderma asperellum* + *T. harzianum* + *B. amyloliquifaciens*); F3: application of chemical fungicides; F4: application of biofungicide + chemical fungicide. The use of *B. aryabhatai* in seed treatment promoted an increase in root volume and length, plant height, root dry mass, aerial part dry mass and leaf area. In the field, seed treatment with *B. aryabhatai* protected the severity of Asian rust and increased soybean productivity, especially when seed treatment was complemented with foliar applications of biofungicide + chemical fungicide. In view of this, the use of *B. aryabhatai* in seed treatment and the inclusion of biofungicides in chemical control programs, refreshing to increase the effectiveness in controlling Asian rust and soybean productivity.

Keywords: *Bacillus aryabhatai*. *Glycine max*. Seed treatment. Biofungicide.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Escala diagramática para avaliação da severidade de ferrugem asiática 26
- Figura 2.** Dados meteorológicos safra 22/23. As setas para baixo (▼) representam os meses em que ocorreram as aplicações 27
- Figura 3.** Volume radicular (A; cm³); comprimento radicular (B; cm); Estatura de planta (C; cm); Massa seca radicular (D; g); Massa seca da parte aérea (E; g); Área foliar (F; cm²) em plantas de soja oriundas de sementes não tratadas (T1) ou tratadas com *Bacillus aryabattai* (T2). O asterisco (*) indica diferenças significativas de acordo com o teste *F* ($p < 0,05$). Barras representam o erro padrão da média 28
- Figura 4.** Plantas (A e B) e folíolos (C e D) de soja dos tratamentos de sementes T1 (controle, A e C) e T2 (*Bacillus aryabattai*, B e D) 29
- Figura 5.** Sintomas da ferrugem asiática em folíolos de soja oriundos de plantas de diferentes tratamentos de sementes (T) e foliares (F). Os tratamentos de sementes foram: sem *Bacillus aryabattai* (T1) e com *B. aryabattahi* (T2). Os tratamentos foliares foram: sem aplicação (F1), aplicações de biofungicida isoladamente (F2), aplicações de fungicidas químicos isoladamente (F3) e aplicações de biofungicida + fungicidas químicos (F4) 31
- Figura 6.** Severidade final (%) da ferrugem asiática em folíolos de soja oriundos de plantas de diferentes tratamentos de sementes (T) e foliares (F). Os tratamentos de sementes foram: sem *Bacillus aryabattai* (T1) e com *B. aryabattahi* (T2). Os tratamentos foliares foram: sem aplicação (F1), aplicações de biofungicida isoladamente (F2), aplicações de fungicidas químicos isoladamente (F3) e aplicações de biofungicida + fungicidas químicos (F4) 32
- Figura 7.** Produtividade (kg/ha) da cultura da soja, submetida a diferentes tratamentos de sementes (T) e foliares (F). Os tratamentos de sementes foram: sem *Bacillus aryabattai* (T1) e com *B. aryabattahi* (T2). Os tratamentos foliares foram: sem aplicação (F1), aplicações de biofungicida isoladamente (F2), aplicações de fungicidas químicos isoladamente (F3) e aplicações de biofungicida + fungicidas químicos (F4) 34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição dos tratamentos foliares, contendo o número de aplicações realizadas, ingredientes ativos, produtos comerciais, empresas e doses dos produtos que foram utilizados nos experimentos realizados em campo

26

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 ORIGEM DA SOJA	17
2.2 A SOJA NO MUNDO	17
2.3 A SOJA NO BRASIL	17
2.4 DOENÇAS DA SOJA	18
2.5 FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA	19
2.6 TRATAMENTO DE SEMENTES	20
2.7 CONTROLE BIOLÓGICO	20
3 MÉTODOS	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5 CONCLUSÕES	35
REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma das culturas mais importantes para a economia mundial. O grão de soja representa a fonte de proteína vegetal mais consumida no mundo, utilizado também na produção de óleo para alimentação humana, biodiesel, lubrificante, farelo e diversos outros produtos. A planta pode ser utilizada ainda como silagem, pastagem, adubo e forragem (GAONKAR; ROSENTERER, 2019). O Brasil destaca-se como o maior produtor mundial de soja, alcançando mais de 154,6 toneladas na safra 2022/2023. Destaca-se também como maior exportador do grão, representando 47,67% das exportações globais deste produto (CONAB, 2023; IBGE, 2022).

Apesar da proeminência global da soja na agricultura, seu cultivo enfrenta desafios significativos que podem resultar em perdas, tanto qualitativas, quanto quantitativas de produção. A competição com plantas daninhas, a presença de pragas e a incidência de doenças são consideradas as principais causas de redução na produtividade, podendo comprometer parcial ou totalmente a produção (DHINGRA, 2009; EMBRAPA, 2011).

Considerada como a principal doença foliar da cultura, a ferrugem asiática da soja (FAS), é causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, e teve seu primeiro relato no final da safra 2000/01. Pode ser considerada também como a mais destrutiva doença da soja, podendo causar perdas muito elevadas em condições ambientais favoráveis para seu desenvolvimento (GODOY et al., 2017).

A fim de realizar o controle dessa e de outras doenças na soja, tem-se utilizado fungicidas continuamente, e muitas vezes sem orientações técnicas, de forma já definida e sem alternância de grupos químicos. Além disso, pouco se considera a incidência e/ou a severidade das doenças, e a especificidade do alvo biológico. Essa prática inadequada culminou na resistência ou menor sensibilidade dos patógenos às moléculas químicas fundamentais, evidenciando a necessidade urgente de abordagens estratégicas mais sustentáveis para o controle fitossanitário na produção de soja (SEIXAS et al., 2022).

Desta forma, buscando reduzir a utilização intensiva de produtos químicos para controlar essas doenças, busca-se associar e/ou utilizar novos métodos, como o uso de produtos alternativos. Essa abordagem busca maneiras de reduzir os impactos ao meio ambiente e a saúde humana, além de diminuir os casos de resistência. Dentre essas proposições, destacam-se os

métodos de controle biológico (JACINTO, 2019).

Atualmente, diversas empresas vêm lançando produtos biológicos, tanto com organismos vivos, quanto metabólitos. Esses agentes biológicos de controle tem o intuito de complementar o manejo de doenças na cultura da soja. Sendo que, a inserção do controle biológico pode ser realizada através do tratamento de sementes, e de forma preventiva, retardando o máximo possível a ascensão da curva de progresso da doença, sendo possível também a inserção dos fungicidas biológicos de forma integrada ao manejo já realizado pelos produtores (GIONGO, 2022).

Em meio à busca por práticas agrícolas mais sustentáveis e eficazes, o controle biológico emerge como uma estratégia promissora. Sua capacidade de colonizar, dispersar e estabelecer-se naturalmente no ecossistema confere-lhe um papel importante no manejo de patógenos em áreas agrícolas (MORANDI; BETTIOL, 2009). Diante disso, esse trabalho objetivou (i) avaliar o crescimento de plantas de soja a partir da utilização de sementes tratadas com *Bacillus aryabhatai*; e (ii) avaliar o efeito do tratamento biológico de sementes no controle da ferrugem asiática da soja associado ao uso de produtos foliares químicos e/ou biológicos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ORIGEM DA SOJA

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma planta anual, pertencente à família Fabaceae, e subfamília Papilionoideae. Ela é uma planta ereta, herbácea e de reprodução autógama. O ciclo da soja pode variar de 90 (cultivares mais precoces) a 160 dias (cultivares mais tardias), e sua altura varia entre 30 a 200 cm (TAGLIAPIETRA et al., 2022).

Os relatos iniciais do cultivo da soja datam de cerca de cinco mil anos atrás. O provável centro de origem da soja é o Leste Asiático, mais precisamente o nordeste da China (SEDIYAMA et al., 2015).

2.2 A SOJA NO MUNDO

Há mais de três mil anos atrás, a soja se espalhou por todo o continente Asiático, onde passou a ser utilizada como alimento. Nos Estados Unidos da América (EUA), a soja começou a ser cultivada em meados de 1890, quando era cultivada inicialmente como planta forrageira. Até 1950, a soja não era considerada uma cultura muito popular para cultivo, ficando restrita apenas a algumas regiões (TAGLIAPIETRA et al., 2022).

Porém, a partir dos anos 1970, no contexto mundial das grandes culturas produtoras de grãos, a soja apresentou maior porcentual de crescimento. De 1970 a 2017, a produção global de soja cresceu de 44 para 340 milhões de toneladas. Em relação à área plantada, não foi diferente; dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) mostram que entre 2006/07 a 2017/18 a área global cultivada com soja cresceu 33,5% contra 20,4% para o milho e 4,7% para o arroz e o trigo (GAZZONI; DALL'AGNOL, 2019).

2.3 A SOJA NO BRASIL

A soja foi introduzida no Brasil em 1882, no estado da Bahia (BLACK, 2000). Em 1891, algumas cultivares foram testadas, infelizmente sem sucesso, no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). O cultivo da soja teve êxito no Brasil em 1914, quando foi introduzida no

estado do Rio Grande do Sul (RS), a partir de cultivares trazidas dos EUA. Assim, o sucesso está relacionado às condições edafoclimáticas do Estado serem similares às dos EUA (BONETTI, 1981).

No Brasil, a expansão da cultura iniciou-se a partir da década de 1970, quando a indústria de óleo começou a ser ampliada. Outro fator decisivo foi o aumento da demanda internacional pelo grão, que contribuiu para o início dos trabalhos comerciais e em grande escala da sojicultura (CÂMARA, 2012). Atualmente, o Brasil lidera o ranking na posição de maior produtor mundial do grão (safra 2022/23) com 154,6 milhões de toneladas de produção (CONAB, 2023). Os principais estados produtores de soja no Brasil são o Mato Grosso, seguido pelo Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás.

Devido aos avanços científicos e à disponibilização de tecnologias, houve um crescimento expressivo desse setor produtivo no Brasil. O melhoramento de cultivares altamente produtivas e adaptadas às diversas regiões, a modernização na mecanização, a criação de pacotes tecnológicos relacionados ao manejo de solos, adubação e calagem, manejo de pragas e doenças, e a identificação e possível solução para os principais fatores por perdas no processo produtivo, são os fatores responsáveis por todo este crescimento (FREITAS, 2011).

2.4 DOENÇAS DA SOJA

O aumento da produção de soja está associado à redução dos fatores limitantes, como por exemplo, a ocorrência de doenças. Estima-se que boa parte das perdas ocorridas na cultura são devido ao ataque de fitopatógenos (SEDIYAMA et al., 2015). No Brasil, existem mais de 57 doenças causadas por fungos, bactérias, nematóides e vírus já identificados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária na cultura da soja (EMBRAPA, 2021).

Dentre as principais doenças foliares que afetam a cultura, podemos citar a ferrugem asiática, o oídio, a mancha parda, a mancha alvo, a antracnose e a mela. Já como doenças radiculares destacam-se a podridão de carvão e a podridão de *Phytophthora*, e o mofo branco e o cancro da haste como doenças da haste (HENNING, 2009; EMBRAPA, 2011).

2.5 FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA

Considerada como a principal doença foliar da cultura, a ferrugem asiática da soja (FAS), é causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, e teve seu primeiro relato no final da safra 2000/01. Pode ser considerada também como a mais destrutiva doença da soja, podendo causar perdas muito elevadas de até 90% quando em condições ambientais favoráveis para seu desenvolvimento. O fungo se desenvolve em uma faixa ampla de temperatura, sendo a ótima entre 15°C e 25°C, e em condições de alta umidade por períodos consecutivos, e com precipitações bem distribuídas (GODOY et al., 2017).

O fungo *Phakopsora pachyrhizi* é um patógeno biotrófico, dependendo exclusivamente de tecidos vivos de plantas para sobreviver. Durante a estação sem cultivo, seus inóculos podem persistir em restos de plantas de soja, bem como em hospedeiros secundários como kudzu e trevo, além de áreas cultivadas com soja fora da estação principal de cultivo (LANDGRAF, 2021). Devido à fácil propagação do fungo pelo vento, é essencial manter uma vigilância constante, juntamente com treinamento contínuo, e capacitação profissional para identificação precoce da doença (HASS, 2017).

Os sintomas da FAS vão ser observados primeiramente no terço inferior da planta, sendo o surgimento de pequenas pontuações de até 1 mm de diâmetro, mais escuras que o tecido sadio da folha e com a coloração esverdeada a cinza-esverdeada. A face inferior da folha apresenta pequenas saliências na lesão, chamadas de urédias, que são as estruturas de reprodução do fungo. Com o progresso da doença, as folhas se tornam amarelas, secam e ocorre a desfolha precoce, impedindo a formação completa dos grãos e reduzindo drasticamente a produtividade (GODOY et al., 2017).

A implementação de um manejo integrado da FAS, por meio da aplicação de diversas estratégias de controle, surge como uma abordagem tecnológica em busca de maior eficiência e sustentabilidade no controle da doença (GOULART et al., 2011). As estratégias de manejo preconizadas no Brasil para esta doença compreendem diversas medidas, tais como o emprego de cultivares de ciclo precoce e semeaduras no início da época recomendada, a eliminação de plantas de soja voluntárias e a prática do vazio sanitário, que consiste na ausência de cultivo de soja na entressafra. Adicionalmente, são recomendados o monitoramento constante da lavoura desde o início do desenvolvimento da cultura, a aplicação de fungicidas no surgimento dos

sintomas ou como medida preventiva, e a escolha de cultivares que possuam genes de resistência (TECNOLOGIAS, 2013).

2.6 TRATAMENTO DE SEMENTES

O tratamento de Sementes (TS) com fungicidas, consiste na aplicação de produtos químicos ou biológicos nas sementes, tendo por objetivo permitir a germinação de sementes infectadas, controlar patógenos transmitidos pela semente e proteger as sementes dos fungos do solo, além de obter um bom estande inicial e sucessivamente o melhor desenvolvimento e produtividade da cultura (MACHADO, 2000).

A utilização de sementes certificadas, idôneas e com boa qualidade física, fisiológica e sanitária, é uma das principais medidas de controle das doenças propagadas por sementes. Sendo assim, é imprescindível que o produtor confira a qualidade das sementes antes de realizar a semeadura, por meio das análises de pureza, germinação e sanidade, que são realizadas em laboratórios credenciados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (PARISI; MEDINA, 2017).

Assim, por apresentar diversas vantagens, e um custo relativamente baixo, atualmente mais de 90% das sementes comerciais de soja já vem tratadas com fungicidas. No entanto, pesquisas alternativas e tecnologias mais sustentáveis, vêm surgindo, e a utilização de produtos biológicos vem se expandindo na busca por um manejo mais sustentável nas lavouras de soja (KORBER et al., 2021).

2.7 CONTROLE BIOLÓGICO

A busca por diferentes alternativas ao uso de produtos químicos, práticas que assegurem a integridade do meio ambiente, de modo que auxilie no controle de pragas e doenças, são objetivos necessários da agricultura moderna. Nesse aspecto, o controle biológico surge como uma boa opção. Atualmente, o mercado de produtos biológicos movimenta um alto valor monetário, são bilhões de dólares no mundo todo, e no Brasil está em grande ascensão (MEYER et al., 2022). Em 2017 o mercado global dos biológicos foi de US\$ 6,3 bilhões, e estima-se que alcance US\$ 16,7 bilhões até 2024, com uma taxa anual de crescimento composta - CAGR de

15% (MARKETS, 2019). Em 2012 a previsão era de que esse mercado atingiria em 2017 o valor de US\$ 3,2 bilhões. Sendo assim, esses dados indicam o acentuado crescimento deste método de controle em todo o mundo (MEYER et al., 2019).

No Brasil em 2020/21, esse mercado movimentou em torno de R\$ 3 bilhões, e as previsões são de que até 2025, o mercado de insumos biológicos no Brasil deva movimentar R\$ 6,2 bilhões, com aumento de cerca de 20% ao ano. Nesse sentido, serão beneficiados os segmentos de bionemáticas, bioinseticidas, inoculantes e biofungicidas (NEVES et al., 2022). Esse mercado apresenta crescimento constante, pois são tecnologias criadas baseadas nos microrganismos nativos do solo, que atuam de forma natural na defesa da planta através de uma relação de simbiose. Isso oferece melhorias, como promoção de crescimento, resistência à patógenos e estresse hídrico, aumento do enraizamento, tudo isso com reflexo direto na produtividade (MARIANO et al., 2005).

Já a longo prazo, o controle biológico pode promover ganhos econômicos, especialmente pela redução de defensivos químicos, auxílio na melhoria da biota nativa do solo, e se for realizado constantemente e de maneira correta, o manejo integrado pode tornar solos condutivos a doenças em solos supressivos, restabelecendo o equilíbrio natural do solo (BETTIOL; MORANDI, 2009).

Reconhecido como o gênero de maior potencial para o biocontrole, o *Trichoderma* engloba 25 agentes que têm sido empregados no combate a diversas doenças fúngicas em plantas. Os *Trichoderma* spp. são oportunistas, capazes de colonizar uma variedade de substratos em diferentes condições ambientais. Predominantemente encontrados em climas temperados e solos ácidos, esses fungos desenvolvem estruturas de resistência, como clamidósporos e microescleródios, permitindo-lhes sobreviver em ambientes de condições adversas (MONTE et al., 2019).

O *Trichoderma* desempenha um papel significativo na agricultura, contribuindo de diversas maneiras essenciais. Além de sua capacidade de controle biológico, esses fungos colaboram para otimizar o uso de nitrogênio, favorecem o desenvolvimento das plantas e aumentam a produtividade. Além disso, têm o potencial de atenuar os impactos causados por estresses salinos, proporcionando benefícios abrangentes para a sustentabilidade e eficácia das práticas agrícolas (MEYER et al., 2019).

Bactérias que habitam ambientes naturais colonizam tanto o interior quanto o exterior dos

órgãos das plantas, e sua interação pode ser benéfica, neutra ou prejudicial ao crescimento vegetal (MARIANO et al., 2004). Já as bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), constituem parte da população residente das plantas, existindo como epífitas ou endófitas, e não são fitopatogênicas. Estas bactérias podem ser empregadas em diversas aplicações, como tratamento de sementes, explantes e mudas micropropagadas, incorporação ao substrato de plantio, tratamento de estacas, tubérculos e raízes, pulverizações na parte aérea, incluindo folhagem e frutos, além de pós-colheita (MARIANO et al., 2004).

As BPCP atuam diretamente no estímulo ao crescimento por meio da produção de ácido cianídrico, fitohormônios, enzimas como a ACC-deaminase, mineralização de nutrientes, solubilização de fosfatos, fixação de nitrogênio e aumento da absorção pelas raízes, entre outros. Quando a planta está sob ataque de um patógeno, a promoção de crescimento é considerada indireta, com as BPCP atuando como agentes de controle biológico através da produção de ácido cianídrico, bacteriocinas e antibióticos, competição por espaço e nutrientes, parasitismo, indução de resistência e proteção cruzada (CONN et al., 1997; LAZAROVITS & NOWOWAK, 1997). Assim, as principais BPCP incluem *Pseudomonas* spp. não fluorescentes e fluorescentes, espécies de *Bacillus*, *Streptomyces*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Acetobacter*, *Herbaspirillum*, *Agrobacterium radiobacter*, *Enterobacter cloacae* e *Burkholderia cepacia*, entre outras (MARIANO et al., 2004).

Já as bactérias do gênero *Bacillus* spp. pertencem ao grupo das gram-positivas e apresentam uma ampla distribuição no meio ambiente, abrangendo diversos habitats como solo, ambientes marinhos, água doce, rizosfera e folhas. Bactérias desse gênero formam esporos e endósporos, como forma de resistência. Além de sua notável adaptabilidade ambiental, as bactérias *Bacillus* spp. são reconhecidas por sua habilidade em produzir diversos compostos biologicamente ativos. Entre esses, destacam-se enzimas amilolíticas, enzimas proteolíticas e antibióticos. Essa versatilidade bioquímica torna as bactérias *Bacillus* spp. organismos notáveis com aplicações em diversos campos, dentre eles a agricultura (MELO, 1998).

O *Bacillus aryabhatai*, é uma rizobactéria gram-positiva com formato de bastonete, foi inicialmente isolado e identificado em 2009. O potencial significativo do uso do *Bacillus aryabhatai* na agricultura decorre da ampla gama de benefícios que essa bactéria pode proporcionar às plantas. Esses benefícios abrangem desde o reforço da resistência a estresses abióticos, como a seca, até a melhoria da disponibilidade de nutrientes. Ao colonizar o sistema

radicular de plantas submetidas a estresses abióticos, essas bactérias tolerantes à seca, produzem substâncias denominadas exopolissacarídeos, as quais têm a capacidade de hidratar as raízes. Esse processo resulta no aumento do conteúdo relativo de água nas plantas, conferindo-lhes uma maior capacidade de enfrentar condições adversas de estresse hídrico. Estudos indicam que o *Bacillus aryabhatai* também desempenha um papel crucial na regulação e produção de hormônios e reguladores vegetais, tais como o ácido abscísico (ABA) e o ácido jasmônico (AJ). Essa atividade auxilia no estímulo do crescimento das plantas, destacando o papel multifunções dessa rizobactéria na promoção da saúde e desenvolvimento vegetal (VELOSO, 2022).

3 MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos na casa de vegetação e em campo na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Campus Santa Helena, no município de Santa Helena - PR, com localização dada pelas coordenadas de 24°51'37" de latitude Sul e 54°19'58" de longitude Oeste e com altitude ortométrica de 258 metros acima do nível do mar. O tipo de solo que predomina na região é o Latossolo Vermelho Distrófico (SANTOS et al., 2018), e o clima é classificado como Cfa, subtropical úmido (com verão quente) sem estação seca definida, com temperatura média anual entre 20°C e 22°C, conforme Koppen (FREITAS, 2016).

A cultivar utilizada, tanto nos experimentos realizados em campo, quanto em casa de vegetação, foi a BMX Coliseu (63IX65RSF I2X), que possui um alto potencial produtivo, alto potencial de engalhamento, hábito de crescimento indeterminado e pertence ao grupo de maturação relativa 6.3.

Em casa de vegetação, foram testados dois tratamentos de sementes, sendo T1: testemunha; e T2: formulação comercial a base de *Bacillus aryabhattai* (Hoher Aris, Ballagro, Atibaia, SP).

Em laboratório, com o auxílio de balança semianalítica, foram pesados 1 kg de sementes para cada tratamento e colocadas em sacos plásticos de 5 L. Para o T1, foi realizado o tratamento com água (6 mL). Para o T2, foram adicionados 2 mL do produto comercial e água (4 mL). Em seguida, as sementes foram vigorosamente agitadas por 20 segundos para garantir a homogeneização dos tratamentos.

O experimento em casa de vegetação foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado, com 5 repetições. Cada unidade experimental foi constituída por um copo plástico com 500 mL, nos quais foi realizado um furo de aproximadamente 5 mm ao fundo, para o escoamento do excesso de água. Os copos foram preenchidos com substrato (Fertilizare). Em cada copo, foram depositadas três sementes de soja, sendo que cinco dias após a emergência, foi realizado o desbaste, deixando apenas uma plântula.

Trinta e cinco dias após a emergência, as plantas foram levadas ao laboratório para realizar as avaliações. A estatura da planta e o comprimento da raiz foram avaliados com o auxílio de régua milimetrada. A determinação do volume radicular foi realizada utilizando uma

proveta graduada de 100 mL, contendo 50 mL de água, na qual depositou-se a raiz, e o volume foi obtido pela diferença entre o volume inicial e o volume final após a imersão da raiz. Para a determinação da área foliar, todas as folhas de cada planta foram removidas, colocadas sobre um pano preto e fotografadas. Em seguida, as imagens foram processadas no software Quant para a obtenção dos valores de área foliar. As plantas de soja foram seccionadas na região do colo para a determinação da massa seca radicular e da parte aérea. As duas seções, raízes e parte aérea (incluindo as folhas que foram removidas para a determinação da área foliar) foram depositadas, separadamente, em sacos de papel kraft e armazenadas em estufa com circulação de ar forçada a 65°C, até atingirem massa constante. As seções foram pesadas com o auxílio de uma balança com 0,0001 g de precisão.

Em campo, a semeadura ocorreu no dia 25/10/2022, sendo realizada com semeadora de sete linhas, com espaçamento de 0,5 m entre linhas, com 300 kg ha⁻¹ de adubo NPK na formulação 02-20-18. Para avaliar a influência do tratamento de sementes e o efeito da aplicação de produtos biológicos e químicos na parte aérea para o controle da ferrugem asiática, foram avaliados quatro tratamentos. O experimento foi realizado em esquema fatorial 2 × 4, em que o fator A foi constituído pelos dois tratamentos de sementes descritos anteriormente, e o fator B foi composto por quatro tratamentos foliares, sendo F1: testemunha, sem aplicação; F2: três aplicações de biofungicida; F3: três aplicações de fungicidas químicos; F4: três aplicações de biofungicida + fungicidas químicos (Tabela 1).

As aplicações foram realizadas com barra de pulverização costal pressurizado a CO₂, contendo seis pontas de pulverização do tipo ADI 110 015 (Jacto, Pompeia, SP), com espaçamento de 0,5 m entre si, pulverizando 100 L ha⁻¹. A primeira aplicação de fungicida foi realizada aos 35 dias após a emergência (DAE), quando a cultura estava no estágio V6. A segunda e a terceira aplicação foram realizadas aos 55 e 70 DAE. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com quatro repetições. Cada unidade experimental consistiu em sete linhas de semeadura espaçadas em 0,5 m, com cinco metros de comprimento. Para as avaliações de severidade e de produtividade foram consideradas apenas as quatro linhas centrais, descartando-se 0,5 m de bordadura.

A avaliação de severidade da ferrugem asiática foi realizada no estágio R6 da cultura. Para isso, trifólios do terço superior de 10 plantas aleatórias das quatro linhas centrais de cada parcela, foram coletados, e armazenados em sacos plásticos do tipo ziplock contendo sua

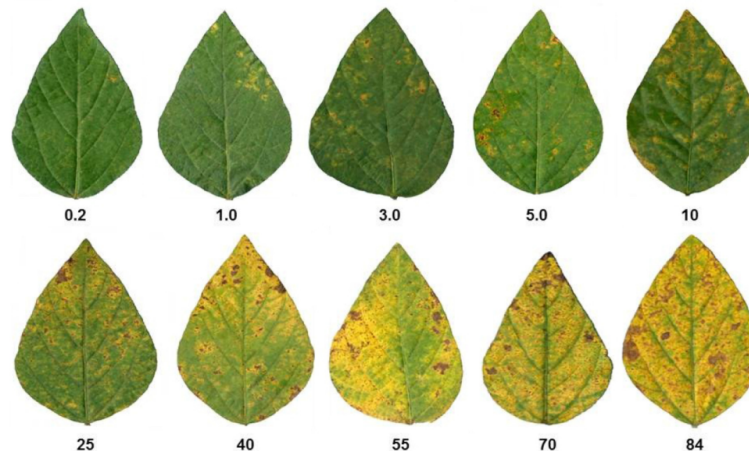
identificação e um pedaço de algodão e água para manter a umidade. No laboratório, as folhas foram fotografadas sobre um fundo preto, e posteriormente comparadas com a escala diagramática para avaliação da severidade de ferrugem asiática realizada por Franceschi et al. (2020) (Figura 1).

Tabela 1. Descrição dos tratamentos foliares, contendo o número de aplicações realizadas, ingredientes ativos, produtos comerciais, empresas e doses dos produtos que foram utilizados nos experimentos realizados em campo.

Tratamento	Aplicações	Ingrediente ativo	Produto comercial	Empresa	Dose
F1	-	Testemunha	-	-	-
F2	1 ^a , 2 ^a e 3 ^a	<i>Trichoderma harzianum</i> + <i>Trichoderma asperellum</i> + <i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Pardella	Ballagro	200 g/ha
F3	1 ^a	Azoxistrobina + benzovindiflupir + Óleo mineral	Elatus + Adjuvante Nimbus	Syngenta + Syngenta	200 g/ha + 500 ml/ha
	2 ^a e 3 ^a	Epoxiconazol + fluxapiroxade + piraclostrobina + Óleo mineral	Ativum + Adjuvante Mess	Basf + Basf	800 mL/ha + 500 ml/ha
F4	1 ^a	<i>Trichoderma harzianum</i> + <i>Trichoderma asperellum</i> + <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> ; Azoxistrobina + benzovindiflupir + Óleo mineral	Pardella + Elatus + Adjuvante Nimbus	Ballagro + Syngenta + Syngenta	200 g/ha + 200 g/ha + 500 ml/ha
	2 ^a e 3 ^a	<i>Trichoderma harzianum</i> + <i>Trichoderma asperellum</i> + <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> Epoxiconazol + fluxapiroxade + piraclostrobina + Óleo vegetal	Pardella + Ativum	Ballagro + Basf + Basf	200 g/ha + 800 mL/ha + 500 ml/ha

No estádio R8, quando as plantas atingiram o ponto ideal de colheita, as quatro linhas centrais de cada parcela (desprezando 0,5 m da bordadura) foram cortadas, trilhadas e armazenadas em sacos de papel, que posteriormente foram pesados para a realização da avaliação de produtividade; foi determinada também a umidade dos grãos, através de um determinador de umidade portátil, à qual foi corrigida para 13% e os dados expressos em kg ha⁻¹.

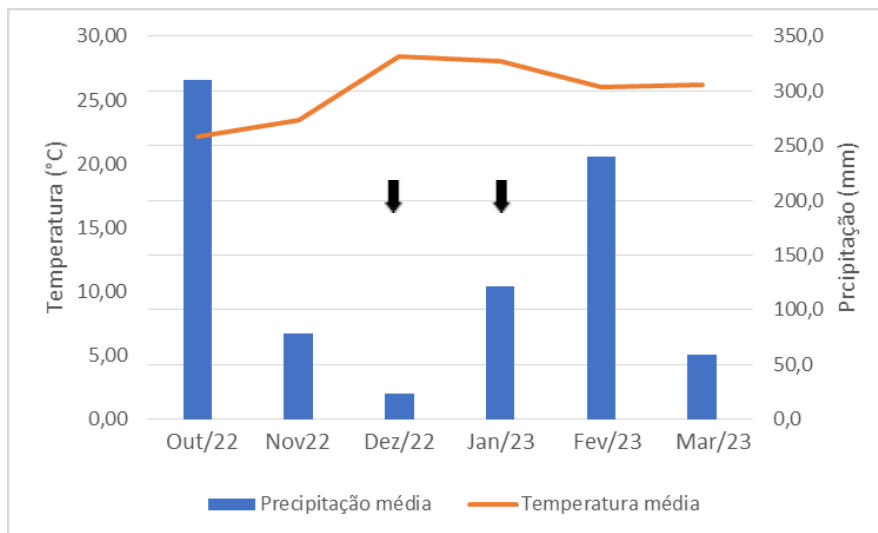
Figura 1. Escala diagramática para avaliação da severidade de ferrugem asiática.



Fonte: Franceschi et al. (2020).

Durante a safra 22/23 ocorreram bastantes variações nas condições climáticas da região, onde a temperatura média foi de 25°C, e a precipitação acumulada foi de 138 mm.

Figura 2. Dados meteorológicos safra 22/23. As setas para baixo (↓) representam os meses em que ocorreram as aplicações.



Fonte: Autor (2023).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$), utilizando o software Minitab.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas avaliações realizadas em casa de vegetação, houve efeito significativo ($p < 0,05$) do tratamento de sementes para o volume e o comprimento radicular, a estatura de plantas, a massa seca radicular, a massa seca da parte aérea e a área foliar (FIGURA 3). O desenvolvimento radicular e da parte aérea foi maior no tratamento com *B. aryabattai* (T2) em relação ao controle (T1) (FIGURA 4).

Figura 3. Volume radicular (A; cm³); comprimento radicular (B; cm); Estatura de planta (C; cm); Massa seca radicular (D; g); Massa seca da parte aérea (E; g); Área foliar (F; cm²) em plantas de soja oriundas de sementes não tratadas (T1) ou tratadas com *Bacillus aryabattai* (T2). O asterisco (*) indica diferenças significativas de acordo com o teste *F* ($p < 0,05$). Barras representam o erro padrão da média.

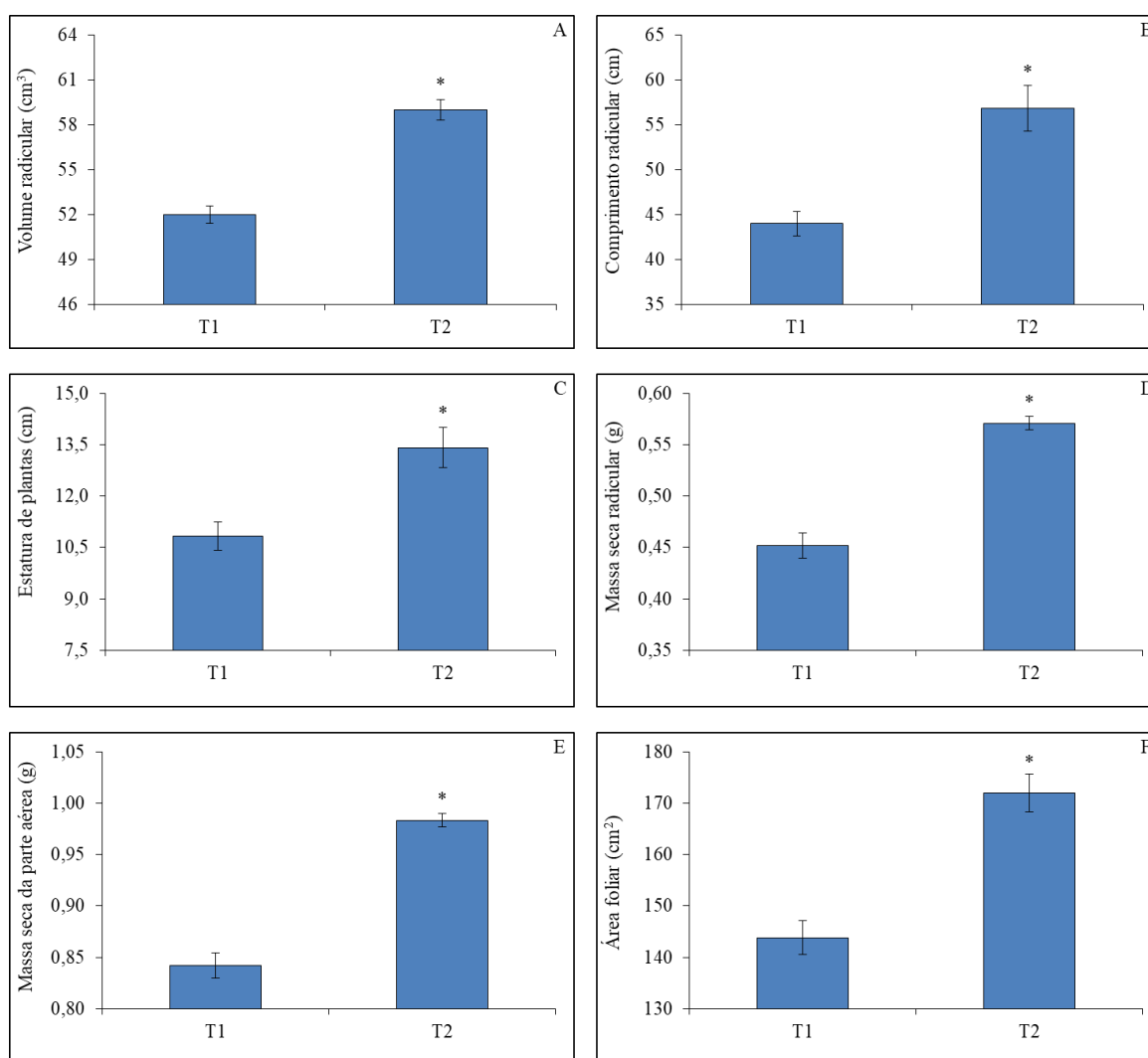


Figura 4. Plantas (A e B) e folíolos (C e D) de soja dos tratamentos de sementes T1 (controle, A e C) e T2 (*Bacillus aryabhatai*, B e D).



Fonte: Autor (2023).

O volume radicular foi significativamente maior, em 13%, no tratamento com *B. aryabhatai* (T2) em relação ao controle (T1) (FIGURA 3A). De maneira consistente com os resultados obtidos neste trabalho, estudos realizados com o isolado de *Bacillus* sp. CNPSo 2481 mostraram que a bactéria promoveu acréscimo de 39% no volume de raízes em plantas de milho quando comparado com o tratamento controle (SZILAGYI-ZECCHIN et al., 2014).

O tratamento T2 aumentou em 29% o comprimento radicular em relação ao T1 (FIGURA 3B). De forma semelhante, em pesquisas conduzidas na cultura do tomate, a aplicação de *Bacillus subtilis* resultou em um aumento de 15% no comprimento radicular em comparação com o tratamento controle (MENA-VIOLANTE et al., 2007).

A estatura de plantas foi aumentada 23% no T2 em comparação ao T1 (FIGURA 3C; 4A-B), corroborando com estudos prévios que mostraram aumento de 14% na estatura de plantas em plantas de soja oriundas de sementes tratadas com *Bacillus* sp em relação ao tratamento testemunha (CHAGAS JUNIOR et al., 2021). De maneira semelhante, a inoculação de sementes de feijoeiro com *Bacillus subtilis* aumentou o comprimento das plântulas e nas raízes primárias, fato que foi atribuído à indução na produção de fitohormônios induzida pela bactéria (OLIVEIRA

et al., 2016).

O T2 aumentou em 26% o peso da massa seca radicular em relação ao T1 (FIGURA 3D). Corroborando com os dados obtidos neste trabalho, um ensaio utilizando *B. subtilis* aumentou 36% sua massa seca radicular em comparação com tratamento controle (CHAGAS et al., 2018). A massa seca da parte aérea foi aumentada em 16% no tratamento T2 em relação ao T1 (FIGURA 3E). De modo similar, um aumento de 17% na massa seca da parte aérea de plantas de soja foi observado quando houve o tratamento utilizando *B. subtilis* (ARAÚJO, 2008).

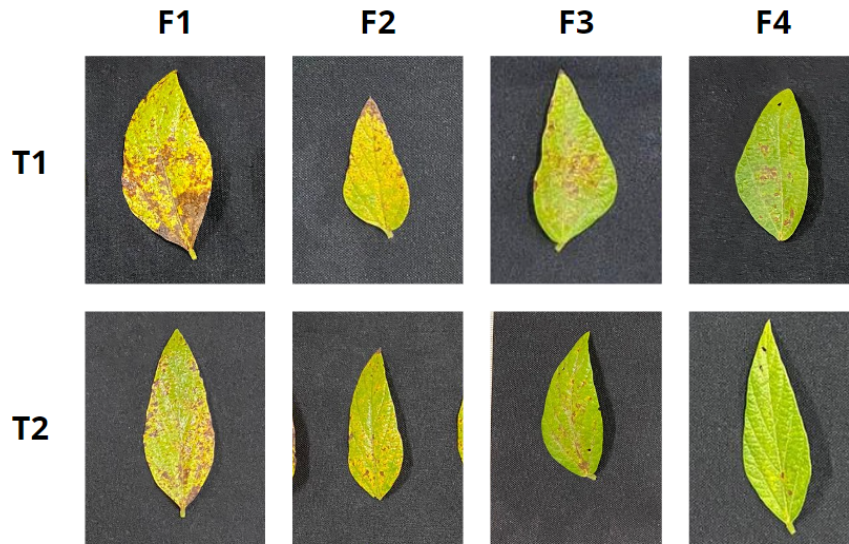
Com relação à área foliar, o T2 obteve aumento de 17% em relação ao T1 (FIGURA 3F). Em estudo realizado na cultura do feijão-caupi, a associação de *Bradyrhizobium* sp. + *B. subtilis* promoveu aumento de 37% da área foliar em comparação com o tratamento controle (SILVA, 2022). Estudos indicam que o estímulo ao crescimento está relacionado à melhoria da absorção de nutrientes pelas raízes, acarretando aumento da concentração de nutrientes transportados para as folhas (ARAÚJO; MARCHESI, 2008).

No experimento realizado em campo, houve interação significativa ($p < 0,05$) entre o tratamento de sementes e os tratamentos foliares. O tratamento de sementes com *B. aryabattai* (T2) e a aplicação combinada de biofungicida com fungicidas químicos (F4) diminuiu os sintomas de ferrugem asiática da soja (FIGURA 5).

A utilização do tratamento de sementes com *B. aryabattai* reduziu significativamente a severidade de ferrugem asiática da soja (FAS) em 30%, 31%, 63% e 72% para os tratamentos F1, F2, F3 e F4, respectivamente (FIGURA 6). A redução na severidade da FAS devida ao tratamento de sementes com *B. aryabattai* pode estar relacionada à produção de antibióticos e à indução de defesa nas plantas de soja promovida pela bactéria. Segundo Chung et al. (2008), bactérias do gênero *Bacillus* possuem a capacidade de produzir lipopeptídios, como fengicina, iturina, surfactina e bacilomina. Essas substâncias apresentam propriedades antimicrobianas, desempenhando o papel de indutores de resistência e desempenhando uma função essencial no controle biológico de patógeno.

O tratamento F2 constituído da aplicação isolada do biofungicida não reduziu significativamente a severidade da FAS, independentemente do tratamento de sementes. Por outro lado, reduções significativas de 58% e 78% na severidade da FAS foram observadas devido à aplicação de fungicidas químicos (F3) na ausência (T1) e na presença (T2) do tratamento de sementes com *B. aryabattai*, respectivamente.

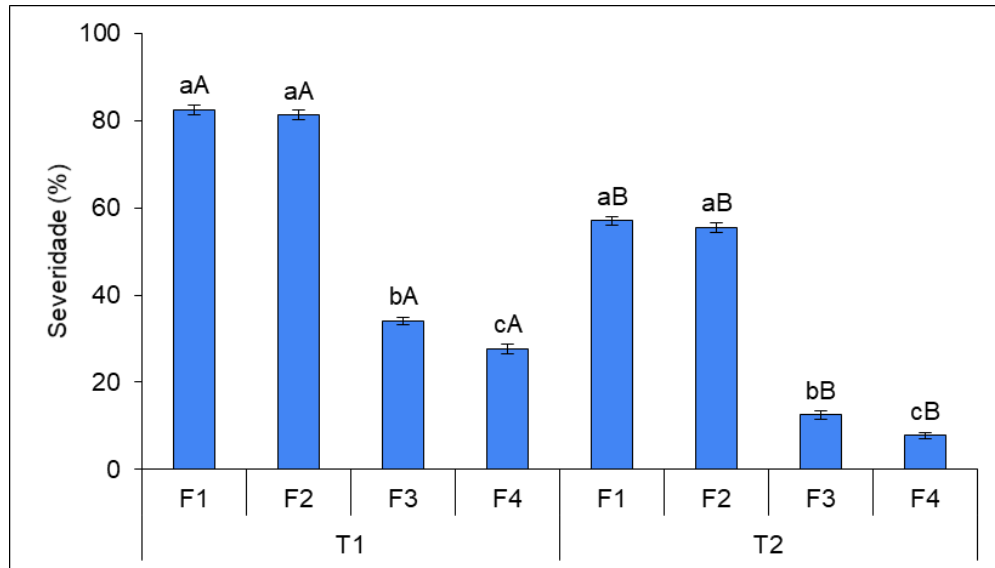
Figura 5. Sintomas da ferrugem asiática em folíolos de soja oriundos de plantas de diferentes tratamentos de sementes (T) e foliares (F). Os tratamentos de sementes foram: sem *Bacillus aryabattahi* (T1) e com *B. aryabattahi* (T2). Os tratamentos foliares foram: sem aplicação (F1), aplicações de biofungicida isoladamente (F2), aplicações de fungicidas químicos isoladamente (F3) e aplicações de biofungicida + fungicidas químicos (F4).



Fonte: Autor (2023).

Em outro estudo, diferentes biofungicidas foram avaliados para o controle da FAS. Entre os produtos avaliados estiveram um contendo *B. subtilis* QST-723, outro com base em *B. pumilus* QST-2808, além de três cepas de *B. subtilis* (AP-3, AP-51 e uma cepa não denominada), uma cepa de *B. licheniformis* e uma mistura de *B. subtilis* com *B. licheniformis*. Esses tratamentos foram comparados a um fungicida (piraclostrobina + epoxiconazol) em testes realizados em folhas destacadas, plantas em casa de vegetação e em campo. Em todos os testes, o tratamento com o fungicida isolado demonstrou ser o mais eficaz. No entanto, foi observado que os dois produtos comerciais (*B. subtilis* QST-723 e *B. pumilus* QST-2808) inibiram completamente a germinação dos uredosporos de *P. pachyrhizi*. Em folhas destacadas, além dos produtos comerciais, *B. subtilis* QST-713, *B. subtilis* AP-3 e *B. subtilis* AP-51 também apresentaram uma redução significativa na severidade da doença. Dessa forma, concluiu-se que, embora os agentes de biocontrole possam contribuir para o manejo da FAS, é crucial associar outras estratégias, incluindo o uso de fungicidas químicos, para alcançar um controle adequado da doença e prevenir perdas de produtividade (DORIGHELLO et al., 2015).

Figura 6. Severidade final (%) da ferrugem asiática em folíolos de soja oriundos de plantas de diferentes tratamentos de sementes (T) e foliares (F). Os tratamentos de sementes foram: sem *Bacillus aryabhattai* (T1) e com *B. aryabhattai* (T2). Os tratamentos foliares foram: sem aplicação (F1), aplicações de biofungicida isoladamente (F2), aplicações de fungicidas químicos isoladamente (F3) e aplicações de biofungicida + fungicidas químicos (F4).



Letras minúsculas comparam as médias dos tratamentos foliares (F) e letras maiúsculas comparam as médias dos tratamentos de sementes (T). Colunas seguidas de mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey ($P < 0,05$). Barras representam o erro padrão da média.

No presente trabalho, a associação de biofungicida com fungicidas químicos (F4), foi mais eficiente no controle da FAS, tendo reduzido em 66% a severidade da doença sem tratamento de sementes. Quando as sementes foram tratadas com *B. aryabhattai*, houve redução de 86% na severidade da doença quando comparado ao F1 (FIGURA 6). Esses resultados demonstram haver efeito positivo da integração destas duas práticas, visando o controle da doença, ou seja, a adoção do tratamento de sementes com o *B. aryabhattai* potencializou o efeito da aplicação foliar do biofungicida associado ao fungicida químico no manejo da ferrugem asiática da soja.

Estudos realizados com *B. subtilis* em aplicações sequenciais e alternadas com o fungicida piraclostrobina + epoxiconazol, para o controle da ferrugem asiática mostraram redução na área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e aumento na produtividade da soja. *Bacillus subtilis* e de fungicida aplicado em alternância reduziram a AACPD entre 41% e 69%. Não foram observadas diferenças significativas na AACPD e na produtividade da soja entre o tratamento

com quatro aplicações de fungicida e o tratamento com duas aplicações de fungicida alternadas com duas aplicações de *B. subtilis*, demonstrando que o número de aplicações de fungicida pode ser reduzido pela metade quando o controle biológico é incluído no manejo da doença (DORIGHELLO et al., 2020).

Ensaio de campo realizados na cultura do trigo, com a ferrugem estriada, mostraram que o tratamento com *B. subtilis* ou seus metabólitos reduziu em 20% na área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para o experimento 1. Já no experimento 2, quando a pressão do inóculo de *Puccinia striiformis* foi mais intensa, foi registrado redução de 12% na AACPD. Os tratamentos que combinaram fungicidas químicos com *B. amyloliquefaciens* ou *B. subtilis* mostraram as maiores reduções na AACPD da ferrugem, alcançando decréscimos de 70% e 50% nos experimentos 1 e 2, respectivamente. Dessa forma, os resultados indicaram que a combinação de fungicidas químicos e *Bacillus* spp. resulta em reduções significativas na severidade da doença (DEBRES, 2022).

Neste trabalho, houve interação significativa ($p < 0,05$) entre o tratamento de sementes e os tratamentos foliares. O tratamento de sementes com *B. aryabattai* aumentou a produtividade da soja em 9%, 8%, 6% e 14% para os tratamentos F1, F2, F3 e F4, respectivamente (FIGURA 7). De forma condizente com os dados de severidade, a produtividade foi maior nos tratamentos que apresentaram menor percentual de severidade e menor nos tratamentos em que a taxa de severidade foi mais alta. Considerando apenas o tratamento das sementes, com e sem *B. aryabhattai*, foi observado efeito significativo da presença deste microrganismo nas sementes.

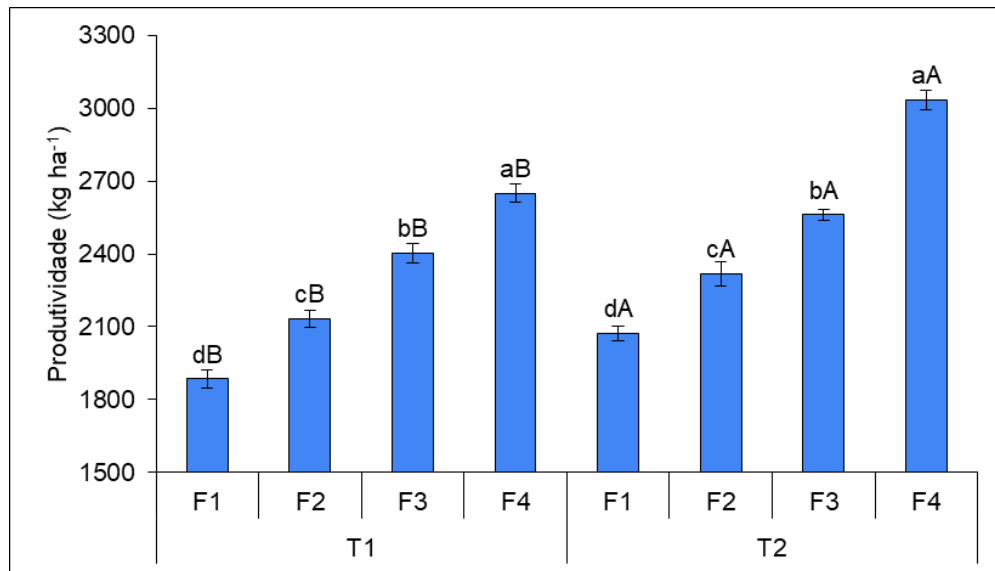
O tratamento F1, que apresentou a maior severidade, foi também o que resultou na menor produtividade (1884,95 kg ha⁻¹ em T1 e 2072,36 kg ha⁻¹ em T2), o que pode estar associado com à senescência antecipada e desfolha precoce, reduzindo a atividade fotossintética e, dessa forma a produtividade. A aplicação foliar isolada de biofungicida (F2), resultou no aumento significativo da produtividade de 13% e 11%, para os tratamentos T1 e T2 respectivamente. O tratamento F3 resultou em aumento 27% e 23% na produtividade para os tratamentos T1 e T2 respectivamente.

As maiores produtividades foram observadas no tratamento F4 (2649,70 kg ha⁻¹ e 3033,77 kg ha⁻¹ nos tratamentos T1 e T2, respectivamente), apresentando aumento significativo de 40% e 46% sob F1 dos tratamentos de sementes.

De forma geral, os resultados obtidos neste estudo mostraram que a adição do *B. aryabhattai* ao tratamento de sementes na cultura da soja, não considerando a aplicação de

tratamento foliar na parte aérea da cultura, foi benéfica no sentido de atrasar a evolução da ferrugem da soja e retardar a desfolha, apresentando diferença significativa com o tratamento de sementes controle sem o microrganismo, em relação à severidade e a produtividade.

Figura 7. Produtividade (kg/ha) da cultura da soja, submetida a diferentes tratamentos de sementes (T) e foliares (F). Os tratamentos de sementes foram: sem *Bacillus aryabattahi* (T1) e com *B. aryabattahi* (T2). Os tratamentos foliares foram: sem aplicação (F1), aplicações de biofungicida isoladamente (F2), aplicações de fungicidas químicos isoladamente (F3) e aplicações de biofungicida + fungicidas químicos (F4).



Letras minúsculas comparam as médias dos tratamentos foliares (F) e letras maiúsculas comparam as médias dos tratamentos de sementes (T). Colunas seguidas de mesma letra não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Tukey ($P < 0,05$). Barras representam o erro padrão da média.

Considerando a interação entre o tratamento de sementes com *B. aryabattahi* e os tratamentos foliares, na maior parte dos tratamentos foi observado diferença significativa para a severidade da ferrugem, o único que não se apresentou diferente do tratamento controle foi o tratamento com a aplicação apenas de produto biológico, comprovando as indicações de que seu uso deve ser associado ao tratamento químico. Já para a produtividade, todos os tratamentos foliares com produtos químicos e/ou biológicos (F3-F4) resultaram em aumento significativo na produtividade em relação ao controle (F1).

5 CONCLUSÕES

No experimento em casa de vegetação, a utilização de *B. aryabhatai* no tratamento de sementes aumenta o volume e o comprimento radicular, a estatura da planta, a massa seca radicular e da parte aérea, além da área foliar de plântulas de soja.

No campo, o tratamento de sementes com *B. aryabhatai* reduziu a severidade da ferrugem asiática e aumentou a produtividade da soja, principalmente quando o tratamento de sementes foi complementado com aplicações foliares de biofungicida + fungicida químico.

Em conclusão, o uso de *B. aryabhatai* no tratamento de sementes e a inclusão de biofungicidas aos programas de controle químico contribuem para o aumento na eficácia do controle da ferrugem asiática e na produtividade da soja.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, F. F. D.; MARCHESI, G. V. P. Uso de *Bacillus subtilis* no controle da meloidoginose e na promoção do crescimento do tomateiro. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1558-1561, ago. 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009000500039>.

BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. Biocontrole de doenças de plantas. Uso e perspectivas. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, p. 334, 2009.

BAKER, R. Improved *Trichoderma* spp. for promoting crop productivity. **Trends of biotechnology**, v.7, p.34-38, 1989.

BLACK, R. J. Complexo soja: fundamentos, situação atual e perspectiva. In: CÂMARA, G. M. S. (Ed.). **Soja: tecnologia de produção II**. Piracicaba: ESALQ, p.1- 18, 2000.

BONETTI, L. P. Distribuição da soja no mundo: origem, história e distribuição. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (Ed.). **A soja no Brasil**. Campinas: ITAL, p. 1-6, 1981.

CÂMARA, G. M. S. **Introdução ao Agronegócio Soja**. Piracicaba: USP/ESALQ, 2012.

CHAGAS JUNIOR, A. F. et al. *Bacillus* sp. como promotor de crescimento em soja *Bacillus* sp. **Revista de Ciências Agrárias**, [S.L.], 23 out. 2021. *Revista de Ciências Agrárias*. <http://dx.doi.org/10.19084/RCA.22557>.

CHAGAS, L. F. B. et al. *Bacillus subtilis* e *Trichoderma* sp. no incremento da biomassa em plantas de soja, feijão-caupi, milho e arroz. **Agri-Environmental Sciences**, [S.L.], v. 3, n. 2, p. 10-18, 22 mar. 2018. *Agri-Environmental Sciences - AGRIES*. <http://dx.doi.org/10.36725/agries.v3i2.430>.

CHUNG, S. et al (2008) - Isolation and partial characterization of *Bacillus subtilis* ME488 for suppression of soil born e pathogens of cucumber and pepper. **Applied Microbiology and Biotechnology**, vol. 80, p. 115-123. <https://doi.org/10.1007/s00253-008-1520-4>.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Com novo recorde, produção de grãos na safra 2022/23 chega a 322,8 milhões de toneladas**. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5157-com-novo-recorde-producao-de-graos-na-safra-2022-23-chega-a-322-8-milhoes-de-toneladas>.

CONN, K.L., NOWAK, J. & LAZAROVITS, G. A gnotobiotic bioassay for studying interactions between potatoes and plant growth-promoting rhizobacteria. **Canadian Journal of Microbiology** 43: 801-808. 1997.

DEBRES, L. **Associação de produtos biológicos e químicos no controle de doenças foliares do trigo e mofo-branco em soja**. 2022. 57 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022.

- DHINGRA, O. D. et al Doenças e seu controle. In: SEDIYAMA, T. **Tecnologias de Produção e Usos da Soja**. Londrina-PR, p. 133-156, 2009.
- DORIGHELLO, D. V. et al. Controlling Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) with *Bacillus* spp. and coffee oil. **Crop Protection**, [S.L.], v. 67, p. 59-65, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2014.09.017>.
- DORIGHELLO, D. V. et al. Manejo da ferrugem asiática da soja com *Bacillus subtilis* em aplicações sequenciais e alternadas de fungicidas. **Australasian Plant Pathology**. 49 , 79–86 (2020). <https://doi.org/10.1007/s13313-019-00677-5>.
- EMBRAPA. **Soja**: Recomendações Técnicas para Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. Dourados, MS. 2000. 176p.
- EMBRAPA. **Cultivo de soja dados econômicos**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>.
- FARIA, A. Y. K. et al. Qualidade fisiológica de sementes de algodoeiro submetidas a tratamentos químico e biológico. **Revista Brasileira de Sementes**. V, 25, n.1, p.121-127, 2003.
- FRANCESCHI, V. T. et al. A new standard area diagram set for assessment of severity of soybean rust improves accuracy of estimates and optimizes resource use. **Plant Pathology**, [S.L.], v. 69, n. 3, p. 495-505, 4 fev. 2020.
- FREITAS, M. C. M. 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, p. 1-12, 2011.
- FREITAS, M. M. S. **Clima do Paraná**. 2016. Disponível em: <http://www.geografia.seed.pr.gov.br/modules/galeria/detalhe.php?foto=1570&evento=8>.
- GAONKAR, V. et al. **Integrated processing technologies for food and agricultural by-products**. EUA: Academic Press, p. 73-104, 2019.
- GAZZONI, D. L; DALL'AGNOL, A. Paralelo entre a soja no mundo e no Brasil. In: CESB. **Soja, quebrando recordes**: cesb: 10 anos de máxima produtividade. Sorocaba, 2019. p. 37-59.
- GIONGO, F. **Manejo de doenças foliares na cultura da soja com fungicidas microbiológicos e químicos**. 2022. 35 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, UTFPR, Dois Vizinhos, 2022.
- GODOY, C. V. et al. **Boas práticas para o enfrentamento da ferrugem-asiática da soja**. Embrapa Soja-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2017.
- GOULART, A. C. P., et al. Controle integrado da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) com o fungicida fluquinconazole aplicado nas sementes em associação com outros fungicidas pulverizados na parte aérea da cultura. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 37, n. 2, p. 113-118, jun. 2011.

HASS, M. **Efeito de horários de aplicação de fungicida no controle de Phakopsora pachyrhizi na cultura da soja.** 2017. 42 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Unicruz, Cruz Alta, 2017.

HENNING, A. A. Manejo de doenças da soja (*Glycine max* L. Merrill). **Informativo Abrates**, v. 19, p. 9-12, 2009.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção de soja.** 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/soja/br>. Acesso em: 03 mar. 2023.

JACINTO, F. **Potencial de Beauveria bassiana e metabólitos na indução de resistência e no controle de doenças foliares em soja.** 2019. 40 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, UTFPR, Dois Vizinhos, 2019.

KORBER, Â. H. C. et al (2021). **Eficiência de produtos biológicos na coinoculação de sementes de soja.** South American Sciences. DOI: <https://doi.org/10.52755/sas.v2i2.109>.

LAZAROVITZ, G. & NOWAK, J. Rhizobacterium for improvement of plant growth and establishment. **Hortscience**. 32:188-192. 1997.

LANDGRAF, L. **Monitoramento no Paraguai e Brasil identifica ferrugem em soja voluntária, kudzu e coletores.** 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/66000211/monitoramento-no-paraguai-e-brasil-identificam-ferrugem-em-soja-em-voluntaria-kudzu-e-coletores>. Acesso em: 12 dez. 2023.

MACHADO, J.C. **Tratamento de sementes no controle de doenças.** Lavras, LAPS/FAEPE, 138 p., 2000.

MARIANO, R. L. R. et al. Importância de bactérias promotoras de crescimento e de biocontrole de doenças de plantas para uma agricultura sustentável. Recife: **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, 2004.

MARIANO, R. L. R. et al. Controle biológico de doenças radiculares. In: MICHEREFF, S. J., et al. **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais.** Recife: UFRPE: Imprensa Universitária, 2005. p. 303-322.

MARKETS AND MARKETS. Biopesticides market by type, source, mode of application, formulation, crop application and region: global forecast to 2023. **Charing: Report buyer**, 2019.

MELO, I. S. Agentes microbianos de controle de fungos fitopatogênicos. In: MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L. **Controle biológico.** Jaguariúna, SP: Embrapa, 1998. p. 17-67.

MENA-VIOLANTE, H. G., et al. Alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): *Bacillus subtilis* beb-13bs. **Scientia Horticulturae**, [S.L.], v. 113, n. 1, p. 103-106, jun. 2007. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2007.01.031>.

MEYER, M. C., et al. **Trichoderma uso na agricultura.** Brasília: Embrapa, 2019. 538 p.

MEYER, M., C., et al. **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília, Distrito Federal: Embrapa, 2022.

MONTE, E., et al. Trichoderma e seus mecanismos de ação para o controle de doenças de plantas. In. MEYER, M. C., et al. **Trichoderma: uso na agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2019, p.181-199.

MORANDI, M. A. B.; BETTIOL, W. Controle biológico de doenças de plantas no Brasil. **Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. Cap. 1, 7-14.

NEVES, M. F., et al. **Os grandes números do mercado de bioinsumos em 2021** . 2022. Disponível em: <https://agrivalle.com.br/numeros-do-mercado-de-bioinsumos/>. Acesso em: 27 mar. 2023.

OLIVEIRA, G. R. F., et al. Crescimento inicial do feijoeiro em função do vigor de sementes e inoculação com *Bacillus subtilis*. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tupã, v. 10, n. 4, p. 439-448, out. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2016v10n4p439-448>.

PARISI, J. J. D.; MEDINA, P. F. **Tratamento de Sementes**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2017.

RAASCH, L. D.; Bonaldo, S. M. & Oliveira, A. A. F. de (2013) - *Bacillus subtilis*: enraizamento e crescimento de mini estacas de eucalipto em Sinop, norte de Mato Grosso, Brasil. **Bioscience Journal**, vol. 29, n. 1, p. 1446-1457.

SANTOS, H. G., et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003>. Acesso em: 10 dez. 2023.

SEDIYAMA, T. et al. **Soja** do plantio à colheita. Viçosa: Ufv, 2015. 333 p.

SEIXAS, C. D. S. et al. Bioinsumos para o manejo de doenças foliares na cultura da soja. In: MEYER, M. C. et al. **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília: Embrapa, 2022. p. 1-550.

SILVA, D. S. **Cultivo de feijão caupi, cv. guariba, em função da aplicação de bioinsumos no leste maranhense**. 2022. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2022.

SZILAGYI-ZECCHIN, Vivian Jaskiw et al. Identification and characterization of endophytic bacteria from corn (*Zea mays* L.) roots with biotechnological potential in agriculture. **Amb Express**, [S.L.], v. 4, n. 1. 7 maio 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s13568-014-0026-y>.

TAGLIAPIETRA, E. L. et al. **Ecofisiologia da Soja**. 2. ed. Santa Maria: Editora Gr, 2022. 432 p.

TECNOLOGIAS de produção de soja - Região Central do Brasil 2014. Londrina: **Embrapa Soja**, 2013. 265 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 16).

VELOSO, C. **Bacillus aryabhattai**: conheça este microrganismo e seus benefícios para a agricultura. 2022. Disponível em: <https://blog.verde.ag/pt/nutricao-de-plantas/bacillus-aryabhattai-conheca-este-microrganismo-e-s-eus-beneficios-para-a-agricultura/>. Acesso em: 17 nov. 2023.

WOO, S. L., et al. Trichoderma-based products and their widespread use in agriculture. **The Open Mycology Journal**, v. 8, n. 1, 2014.