UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SUELEM VERONICA BUENO

CONTROLE BIOLÓGICO DE *Sclerotinia sclerotiorum* NA CULTURA DA SOJA

CURITIBA

2024

SUELEM VERONICA BUENO

CONTROLE BIOLÓGICO DE *Sclerotinia sclerotiorum* NA CULTURA DA SOJA

Artigo apresentado ao curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Fitossanidade, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Fitossanidade.

Orientador(a): Prof(a). Msc.: Daniel Maass Steiner

CURITIBA

2024

Controle biológico de *Sclerotinia sclerotiorum* na cultura da soja

Suelem Veronica Bueno

RESUMO

O mofo branco, causado pelo fungo *Sclerotinia sclerotiorum*, pode reduzir em até 70% a produção de soja. Embora o manejo químico seja amplamente utilizado para controlar esse patógeno, a busca por estratégias mais sustentáveis destaca a necessidade de alternativas biológicas para o controle do *Sclerotinia sclerotiorum*. Este levantamento bibliográfico teve como objetivo identificar as principais espécies dos fungos *Trichoderma* spp. e das bactérias *Bacillus* spp. utilizadas no controle do *Sclerotinia sclerotiorum* na cultura da soja, bem como avaliar o número de publicações e os principais países envolvidos no tema. A pesquisa bibliométrica foi conduzida a partir de uma análise abrangente da literatura científica desde 2010. Foram utilizadas as bases de dados Scopus®, Web of Science™ e SciELO®, com a seleção restrita a artigos científicos. Os termos de busca incluíram: *Sclerotinia sclerotiorum*, *Trichoderma*, *Bacillus*, controle biológico, soja, mofo-branco, *biological control*, *soybean* e *white mold*. Foram encontradas 12 pesquisas sobre o controle biológico com *Trichoderma spp.* e 15 com *Bacillus spp.* na cultura da soja. Os anos com maior número de publicações sobre *Trichoderma spp.* foram 2013, 2016 e 2017, cada um com duas publicações. Para *Bacillus spp.*, o ano de 2022 se destacou com quatro publicações, seguido por 2012 com três publicações. O Brasil liderou a produção de pesquisas, com nove publicações sobre *Trichoderma spp.* e seis sobre *Bacillus* spp. O levantamento revela que as espécies de *Trichoderma spp.* e *Bacillus spp.* mais estudadas para o controle biológico de *Sclerotinia sclerotiorum* na soja foram *Trichoderma harzianum*, presente em 59% das publicações, e *Bacillus amyloliquefaciens*, representando 33% das publicações. Contudo, há ainda muitas oportunidades e desafios para aprofundar a pesquisa sobre o uso de agentes biológicos na agricultura brasileira.

Palavras-chave: Biocontrole; Mofo-branco; Bibliometria; *Trichoderma* spp.; *Bacillus* spp.

ABSTRACT

White mold, caused by the fungus *Sclerotinia sclerotiorum*, can reduce soybean production by up to 70%. Although chemical management is widely used to control this pathogen, the search for more sustainable strategies emphasizes the need for biological alternatives for *Sclerotinia sclerotiorum* control. This literature review aimed to identify the main species of *Trichoderma* spp. fungi and *Bacillus* spp. bacteria used in the control of *Sclerotinia sclerotiorum* in soybean crops, as well as to evaluate the number of publications and the main countries involved in the topic. The bibliometric research was conducted through a comprehensive analysis of the scientific literature since 2010. The databases Scopus®, Web of Science™, and SciELO® were used, with the selection limited to scientific articles. The search terms included: *Sclerotinia sclerotiorum*, *Trichoderma*, *Bacillus*, *biological control*, *soybean* e *white mold*. Twelve

studies were found on biological control with *Trichoderma* spp. and fifteen with *Bacillus* spp. in soybean crops. The years with the highest number of publications on *Trichoderma* spp. were 2013, 2016, and 2017, each with two publications. For *Bacillus* spp., the year 2022 stood out with four publications, followed by 2012 with three publications. Brazil led the research production, with nine publications on *Trichoderma* spp. and six on *Bacillus* spp. The survey reveals that the most studied species of *Trichoderma* spp. and *Bacillus* spp. for the biological control of *S. sclerotiorum* in soybeans were *Trichoderma harzianum*, present in 59% of the publications, and *Bacillus amyloliquefaciens*, representing 33% of the publications. However, there are still many opportunities and challenges to further research on the use of biological agents in Brazilian agriculture.

Keywords: Biocontrol. White mold. Bibliometrics. *Trichoderma* spp. *Bacillus* spp.

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) é uma das principais culturas oleaginosas, estando entre as cinco culturas alimentares mais importantes do mundo. Com utilização para diversas finalidades, como matéria-prima essencial para farelo, óleo vegetal e farinha, desempenhando um papel crucial na indústria alimentícia e de alimentos balanceados (SAVARY et al. 2019). A produção mundial de soja ultrapassa 384 milhões de toneladas (DORRANCE, 2024), das quais um terço é produzido no Brasil, tornando-o o maior produtor mundial de soja, com produção de 147.336,6 mil toneladas na safra de 2023/2024. (CONAB, 2024).

Entre as diversas doenças que afetam a cultura da soja, o mofo-branco, causado pelo fungo *Sclerotinia sclerotiorum*, pode resultar em uma redução de até 70% na produção (HADDAD et al. 2017; HOSSAIN et al., 2023). Após a infecção, o conteúdo de gordura e proteína bruta, e até mesmo a quantidade total de aminoácidos da soja é reduzida, o que afeta diretamente a qualidade da soja (CHENG et al., 2022).

Atualmente, o controle da *Sclerotinia sclerotiorum* é baseado principalmente a base de fungicidas (WEBSTER et al., 2022). No entanto, o controle químico apresenta elevado custo, além de gerar riscos ambientais agudos e o nível de controle alcançado nunca é o ideal (CHENG et al., 2022). Dessa forma, o manejo integrado da doença, com a adoção conjunta de medidas culturais, uso de fungicidas e produtos biológicos compostos por microrganismos, apresenta a melhor forma de controlar o patógeno (MEYER et al., 2016). Essas estratégias devem ser implementadas dentro de um sistema de manejo que priorize a rotação e/ou a combinação de fungicidas com

diferentes modos de ação, com o intuito de retardar o desenvolvimento de resistência do fungo e garantir um controle mais eficaz (MEYER et al., 2018).

Dentre os microrganismos mais utilizados no Brasil para controle biológico na cultura da soja, estão as espécies do fungo *Trichoderma* spp*.* e da bactéria *Bacillus* spp. O *Trichoderma* spp. são bastante utilizados no Brasil e compõe mais de 30 produtos registrados (MEYER et al., 2016). Trata-se de um fungo altamente diversificado, presente em quase todos os tipos de solos, tanto em ambientes tropicais quanto temperados, constituindo um componente significativo da população microbiana do solo (ASAD, 2022). A bactéria *Bacillus* spp. é encontrada no solo e também se destaca como um eficiente agente de biocontrole, sendo o antagonista mais prevalente em casos de controle biológico devido à sua capacidade de formar endósporos e à multiplicidade de mecanismos antagônicos que possui (SILVA et al., 2008).

Diante do contexto acima, o objetivo do levantamento bibliográfico foi identificar as principais espécies do fungo *Trichoderma* spp. e da bactéria *Bacillus* spp. utilizados para o controle do *Sclerotinia sclerotiorum* na cultura da soja, bem como identificar o número de publicações e os principais países interessados no tema.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A CULTURA DA SOJA

A soja é uma planta herbácea da família Fabaceae, caracterizada por caule híspido e pouco ramificado, raiz com eixo principal e muitas ramificações, e folhas geralmente trifolioladas. Suas flores autógamas, que podem ser brancas, roxas ou intermediárias, são cleistogâmicas e realizam a autopolinização (GAZZONI, 2016). Os frutos são vagens levemente arqueadas que amadurecem de verde para tons de amarelo, marrom ou cinza, contendo de uma a cinco sementes lisas e elípticas com tegumento de cores variadas, como amarelo pálido, e hilo preto, marrom ou amarelo-palha (BRIGHENTI et al., 2021).

Originária da Ásia, a soja era considerada pelos chineses um dos pilares da agricultura, juntamente com culturas como arroz (*Oryza sativa*), sendo extremamente importante para trocas comerciais. A introdução da soja no Ocidente ocorreu apenas

por volta do século XV, no continente europeu, onde foi utilizada como alimento e para decoração de jardins na França, Inglaterra e Alemanha (BERTRAND et al., 1987).

No Brasil, o cultivo da soja começou a se estabelecer na década de 1970 nos estados da região Sul. Com o passar do tempo, o Brasil se tornou um dos maiores exportadores mundiais de soja, consolidando-se nesse papel a partir dos anos 2000, especialmente em 2004, devido à alta produtividade e à demanda crescente no mercado internacional (DOMINGUES et al., 2014). Na safra de 2023/2024, a área plantada no país aumentou de 44.080,10 para 46.020,20 mil hectares, representando um crescimento de 4,4%. O estado do Mato Grosso destacou-se como o maior produtor, alcançando 39,34 milhões de toneladas, enquanto a Bahia liderou em produtividade, com 3,78 Mg ha^{-1} (CONAB, 2024).

2.2 MOFO-BRANCO

O mofo-branco é uma doença comum na cultura da soja, é causado pelo fungo *Sclerotinia sclerotiorum,* pertencente ao reino Fungi e ao Filo Ascomycota (ALEXOPOULOS et al., 1996). É um patógeno monocíclico que sobrevive de uma safra para outra através da produção de escleródios, estruturas de dormência, que também são fontes de desenvolvimento de doenças (HOSSAIN et al., 2023; HEFFER, 2007).

Nas condições de umidade elevada, temperaturas de 15 a 20º C e sombreamento do solo, os escleródios germinam, produzindo (micélio ou ascósporos) capazes de desencadear a doença na planta hospedeira (MEYER et al.,2010; PELTIER et al., 2012). Os apotécios, podem gerar milhões de esporos sexuais, chamados ascósporos. Os áscoporos de *Sclerotinia sclerotiorum* não possuem energia suficiente para infectar tecidos saudáveis da soja, então infectam tecidos mais sensíveis como pétalas de flores ou folhas senescentes que servirão de como fonte de nutrientes para que o micélio cresça e possa infectar outras partes da planta. Notoriamente, grandes eventos de infecção ocorrem em períodos de floração e pós-floração, com pétalas senescentes caindo e alojando-se nas axilas filiais ou aderindo-se às folhas, pecíolos, caules e frutos em desenvolvimento. (PELTIER, 2012; KANDEL et al. 2018; HEFFER, 2007).

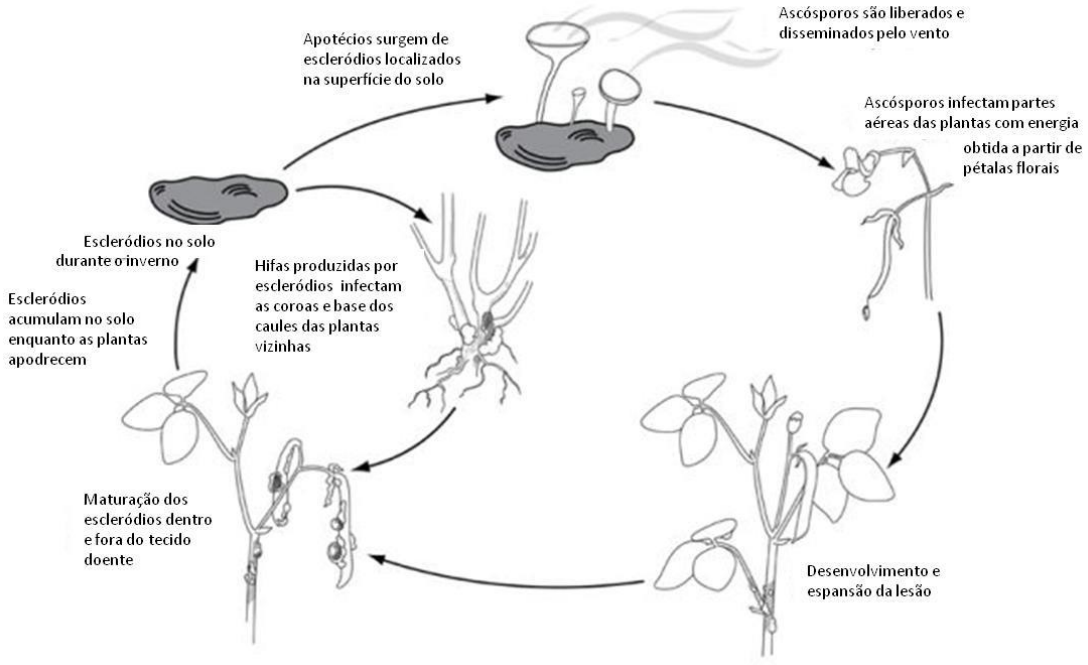
O micélio de *Sclerotinia sclerotiorum* é hialino, septado e altamente ramificado, constituindo uma massa cotonosa na superfície dos órgãos infectados

(ABAWI; GROGAN, 1979). Em um primeiro momento, as hifas vegetativas se desenvolvem de forma dispersa, porém à medida que há escassez de recursos, ocorre a atração e fusão das hifas, dando início ao processo de formação de escleródios. Esse processo envolve alterações celulares, mobilização e deposição de diversas substâncias (LE TOURNEAU, 1979).

Os escleródios são compostos por três camadas distintas: uma parede grossa rica em melanina, que confere a coloração escura responsável pela resistência às condições adversas do solo, permitindo que permaneçam viáveis por anos mesmo nas plantas hospedeiras; uma parede fina (córtex); e a medula branca, que consiste no micélio dormente do fungo. A germinação do escleródio pode ocorrer de duas maneiras: carpogênica, onde são produzidos os apotécios, órgãos de reprodução sexuada mais comuns; ou micelogênica, caracterizada pelo crescimento de hifas a partir de micrósporos presentes no escleródio (GÖRGEN, 2009). Esses escleródios podem germinar através da produção desses micélios e apotécios (RODRIGUEZ et al., 2006).

A Figura 1 apresenta resumidamente o ciclo de vida e os sinais de infecção de *Sclerotinia sclerotiorum* na cultura da soja:

FIGURA 1 – CICLO DE VIDA E SINAIS DE INFECÇÃO DE *Sclerotinia sclerotiorum* NA CULTURA DA SOJA.



FONTE: Heffer (2007)

A quantidade de escleródios desempenha um papel crucial na epidemiologia da doença, aumentando a cada safra de soja. Adicionalmente, os escleródios mantêm sua viabilidade no campo por até dez anos (FARIA et al., 2022). Portanto, é crucial reduzir a população de escleródios para um controle eficaz da doença. Além disso, é necessário impedir a formação de apotécios e a liberação de ascósporos, bem como minimizar a produção de novos escleródios através do controle preventivo da doença na parte aérea das plantas (GÖRGEN et al. 2010).

2.2.1 Sintomas de *Sclerotinia sclerotiorum*

Os sintomas de mofo-branco manifestam-se nas vagens, hastes, caules e folhas, caracterizados por lesões pequenas e aquosas (PELTIER, 2012). Segundo Barro et al. (2019), durante o desenvolvimento da doença, as partes afetadas perdem a coloração natural, exibindo tons amarelados e marrons, o que resulta em podridão mole nos tecidos.

As lesões frequentemente surgem em tecidos necróticos, onde são visíveis manchas de micélio cotonoso (FAGUNDES-NACARATH et al., 2018). Conforme os sintomas progridem, as lesões secam e adquirem uma aparência esbranquiçada, podendo ou não mostrar presença do micélio do fungo. Em seguida, ocorre a formação de escleródios tanto na superfície quanto no interior das hastes e vagens infectadas (GRAU; HARTMAN, 2015). Os escleródios, que se assemelham a fezes de roedores, podem ser encontrados nos grãos colhidos, podendo resultar em descontos de preço devido à presença de material estranho entregue no momento da venda. Sementes infectadas podem apresentar redução na taxa de germinação e, em alguns casos, diminuição nas concentrações de óleo e proteína (PELTIER, 2012).

2.3 CONTROLE BIOLÓGICO

2.3.1 Uso de *Trichoderma* spp.

O fungo *Trichoderma* spp. pertence à Classe *Sordariomycetes* do filo *Ascomycota* caracterizada pela formação de corpos de frutificação do tipo peritécio, formados em estromas de coloração verde, amarelada, creme ou marrom, produzidos sobre o local colonizado (PRISMANTORO et al., 2024). O *Trichoderma* spp.

reproduzem-se assexuadamente, formando conídios e clamidósporos em condições de laboratório. Em ambientes naturais, produzem ascósporos dentro de peritécios (MUKHERJEE et al., 2013).

Esses fungos são conhecidos por sua capacidade de controlar biologicamente microrganismos patogênicos e por induzir resistência em plantas contra diversas doenças (CONTE et al., 2022). O *Trichoderma* spp. absorve nutrientes das raízes das plantas na rizosfera, formando interações e visa os patógenos fúngicos (ASAD, 2022). O fungo controla biologicamente os patógenos fúngicos das plantas por meio de antibiose, micoparasitismo, competição, ou uma combinação desses mecanismos. O micoparasitismo envolve a degradação das paredes celulares dos patógenos pelas enzimas, incluindo proteases, quitinases e glucanases. (CARPENTER et al., 2005).

Para estabelecer o fungo dentro e sobre as raízes da planta, o *Trichoderma* spp. são efetivamente aplicado durante a semeadura (ZIN; BADALUDDIN, 2020). O tratamento de sementes é recomendado garantir a colonização de *Trichoderma* spp. na raiz para fornecer benefícios à planta (XUE et al., 2017).

A ação do fungo *Trichoderma spp.* é extremamente dependente de condições ambientais favoráveis ao seu desempenho no solo, o que pode limitar o controle sobre os fitopatógenos (LOBO JUNIOR et al.,2018). A disponibilidade de água é um fator crítico que influencia o *Trichoderma* spp. Condições hídricas restritivas podem ter um efeito drástico no crescimento populacional desse microrganismo e na sua interação com outros organismos (FARIA et al., 2022).

2.3.1 Uso de *Bacilus* spp.

. Pertencem ao reino Bacteria e à classe Bacilli. Sua etiologia do latim *Bacillus*, refere-se à sua forma de bastão ou bastonete, normalmente arranjada em colônias. Além de sua morfologia distintiva, o gênero apresenta outros padrões taxonômicos marcantes. Esses microrganismos são caracterizados como Gram-positivos, aeróbios obrigatórios ou facultativos, produtores da enzima catalase, capazes de crescer em diversas fontes de carbono e formadores de endósporos, que funcionam como estruturas de sobrevivência em condições de estresse ambiental (MADIGAN et al., 2016).

As cepas de espécies de *Bacillus* produzem uma diversidade de substâncias antifúngicas que inibem o crescimento de *Sclerotinia sclerotiorum* e a viabilidade dos

escleródios. Entre essas substâncias estão compostos difusíveis, como fenóis, ácidos graxos e lipopeptídeos, além de compostos orgânicos voláteis (COVs) (KUMAR et al., 2012; HAN et al., 2023). O mecanismo pelo qual os lipopeptídeos eliminam patógenos geralmente envolve a ruptura da integridade da membrana celular, resultando no vazamento de componentes internos. Além disso, lipopeptídeos como a surfactina desempenham um papel na regulação de diversos comportamentos sociais, incluindo a motilidade em enxame e a formação de biofilmes (WANG et al., 2024).

Uma das características principais que tornam *Bacillus* spp. competitivos é sua habilidade de esporular em condições ambientais adversas, resultando na produção de uma vasta gama de metabólitos antimicrobianos. Esses compostos possuem estruturas variadas e são eficazes contra um amplo espectro de microrganismos (KUMAR et al., 2012).

3 METODOLOGIA

O levantamento bibliométrico foi realizado com base em uma pesquisa abrangente da literatura científica realizada à partir de 2010. As buscas foram realizadas entre os meses de março a agosto de 2024. Os termos utilizados nas buscas foram:

- *Sclerotinia sclerotiorum; Trichoderma*; *Bacillus*; controle biológico; soja, mofo-branco.

As bases de buscas utilizadas foram Scopus®, Web of Science™ e Scielo®. Os trabalhos selecionados foram apenas artigos científicos. As informações sobre datas de publicação, países e as principais espécies de *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp. estudadas foram separadas em planilhas do Excel® e, posteriormente, gerados gráficos, para melhor apresentação dos dados.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

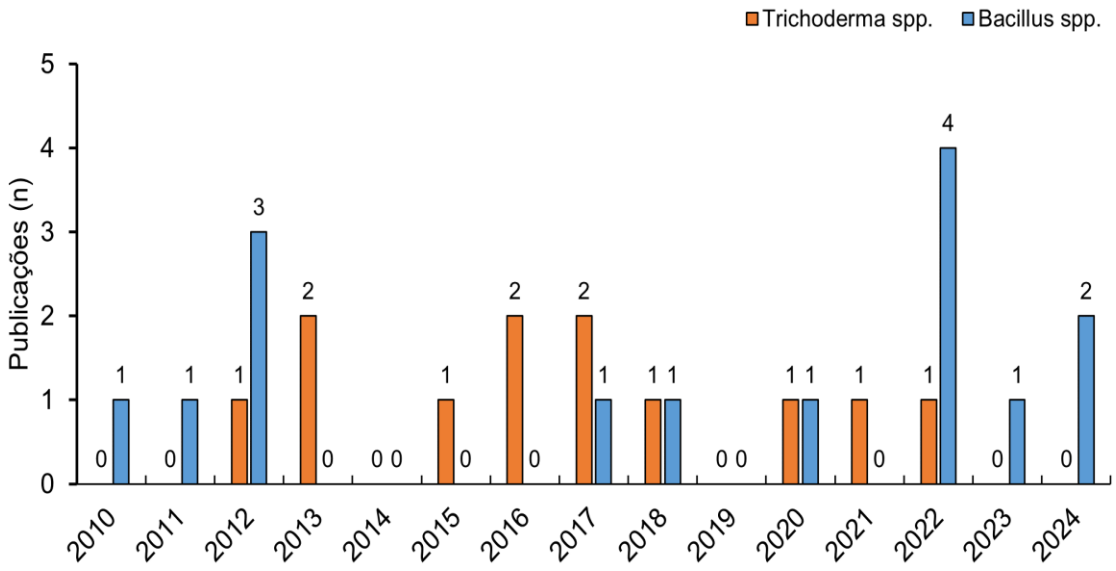
4.1 NÚMERO DE PUBLICAÇÕES

A Figura 2 apresenta o número de publicações que foram realizadas no período de 2010 à 2024 relacionadas ao controle biológico de *Sclerotinia sclerotiorum* com com *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp. na cultura da soja. Neste período, foram

encontradas 12 publicações com *Trichoderma* spp. e 15 publicações com *Bacillus* spp. Para *Trichoderma* spp., os anos de 2013, 2016 e 2017 tiveram o maior número de publicações (n=2), enquanto para *Bacillus* spp., observa-se que o ano de 2022 houve um maior número de publicações (n=4), seguido pelo ano de 2012 (n=3).

No geral, os números do estudo não evidenciam um aumento expressivo nos estudos de para o controle biológico de *Sclerotinia sclerotiorum* na cultura da soja, embora as pesquisas tenham mostrado resultados positivos. Estes resultados estão relacionados principalmente ao fato que a maioria das pesquisas estão dispersas no controle biológico utilizando *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp. para diferentes patógenos de plantas e em diferentes culturas de interesse agronômico, e não concentradas exclusivamente na soja.

FIGURA 2 – NÚMERO DE PUBLICAÇÕES REALIZADAS NO PERÍODO DE 2010 À 2024 RELACIONADAS AO CONTROLE BIOLÓGICO DE *Sclerotinia sclerotiorum* COM *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp. NA CULTURA DA SOJA.



FONTE: A autora (2024)

4.2 PAÍSES

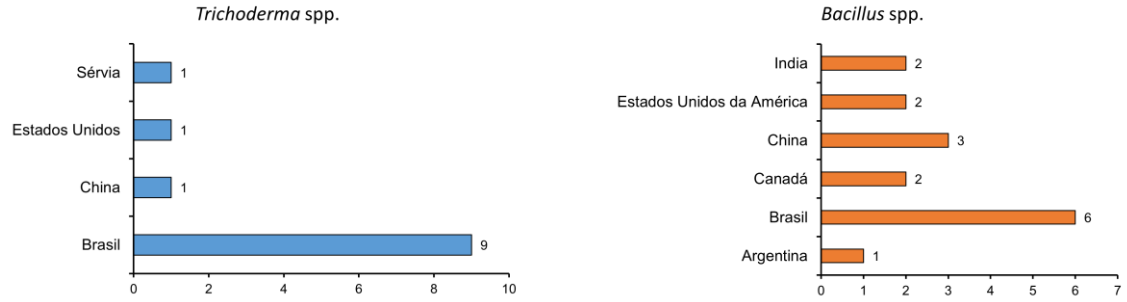
A Figura 3 apresenta os países que foram realizadas as pesquisas relacionadas ao controle biológico de *Sclerotinia sclerotiorum* com *Trichoderma* spp. (a) e *Bacillus* spp.(b) na cultura da soja. Os resultados demontram que o país que mais apresentou publicações com *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp., foi o Brasil (n= 9

e 6, respectivamente). Em relação ao *Trichoderma* spp., países como China, Estados Unidos e Sérvia apresentaram-se apenas com uma publicação. Para *Bacillus* spp., o segundo país, com maior número de publicações foi a China (n=2).

A posição do Brasil como um dos maiores produtores de soja do mundo, justifica seus interesses no assunto. Atualmente, cerca de 80% das áreas de produção agrícola utilizam algum tipo de produto biológico, impulsionadas por investimentos do setor privado nos últimos anos. Esse crescimento foi especialmente fomentado pela colaboração entre pesquisadores e empresas privadas, além da crescente preocupação mundial com a promoção de projetos agrícolas mais sustentáveis (PARRA, 2023)

FIGURA 3 – PAÍSES EM QUE FORAM REALIZADAS AS PESQUISAS RELACIONADAS AO CONTROLE BIOLÓGICO DE *Sclerotinia sclerotiorum* COM *Trichoderma* spp. (a) e *Bacillus* spp.(b) NA CULTURA DA SOJA.

a) b)



FONTE: A autora (2024)

4.3 ESPÉCIES DE *Trichoderma* spp. E *Bacillus* spp. ESTUDADAS

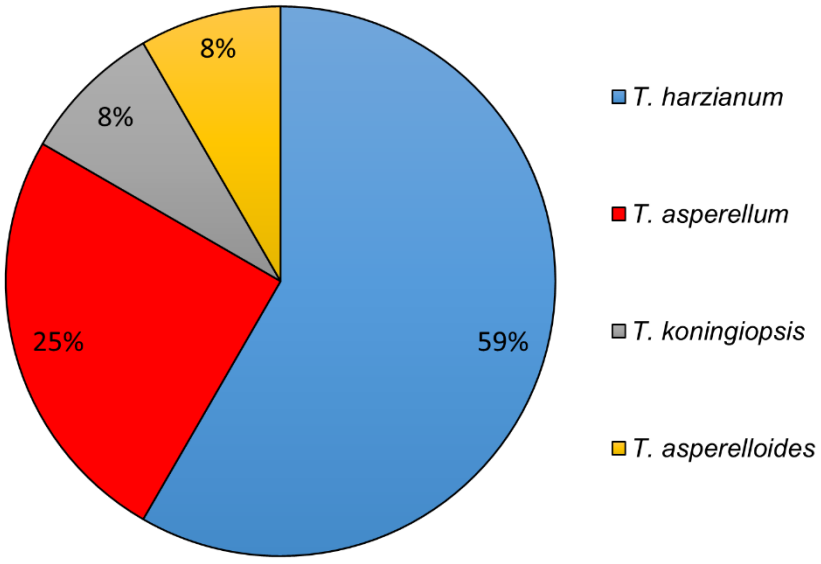
A Figura 4 apresenta a relação de espécies de *Trichoderma* estudas para o controle biológico de *Sclerotinia sclerotiorum* na cultura da soja. Da pesquisa, observou-se que a espécie estudada foi *Trichoderma harzianum*, em 59% das publicações. Em segundo lugar, observa-se *Trichoderma asperellum* (25%). Espécies como *Trichoderma koningiopsis* e *Trichoderma asperalloides* foram as menos estudadas (8%).

Trichoderma harzianum é um fungo antagonista eficaz contra muitos fungos patogênicos de plantas transmitidos pelo solo, como *Rhizoctonia*, *Sclerotinia*, *Pythium* e *Fusarium*, e, portanto, certas formulações desse fungo antagonista, como Trichodex,

Trichoderma 2000, Soil gard e Supresivit, foram produzidas comercialmente para essa finalidade (BATTA, 2007). No Brasil, o primeiro produto comercial, à base de *T. harzianum*, registrado em 2007 (FARIA et al., 2022). O fungo *Trichoderma harzianum* pode aumentar a microflora rizosférica para promover a ativação de nutrientes para a planta (CAI et al., 2014). No controle biológico, o parasitismo direto ocorre por interferência no desenvolvimento e crescimento desses patógenos após a germinação de conídios por um enrolamento de micélio sobre o micélio do patógeno fúngico ou pela ruptura da parede celular do fungo hospedeiro e consequente morte do patógeno (ZHANG et al., 2016; BATTA, 2007). Zhang et al. (2016) sugeriu que *Trichoderma harzianum* aumenta a resistência contra a infecção por *Sclerotinia sclerotiorum* nas plantas de soja, pois diminui os danos e induz a expressão de genes relacionados à defesa, como o gene da proteína relacionada à patogênese.

O *Trichoderma asperellum* é um agente de biocontrole eficaz contra muitos fungos patogênicos de plantas transmitidos pelo solo, antagonizando por meio de antibiose e competição por nutrientes e induzindo resistência em plantas (ALEANDRI et al., 2015).

FIGURA 4 – ESPÉCIES DE *Trichoderma* ESTUDADAS PARA O CONTROLE BIOLÓGICO DE *Sclerotinia sclerotiorum* NA CULTURA DA SOJA.



FONTE: A autora (2024)

A Figura 5 apresenta a relação de espécies de *Bacillus* estudas para o controle biológico de *Sclerotinia sclerotiorum* na cultura da soja. A bactéria *Bacillus*

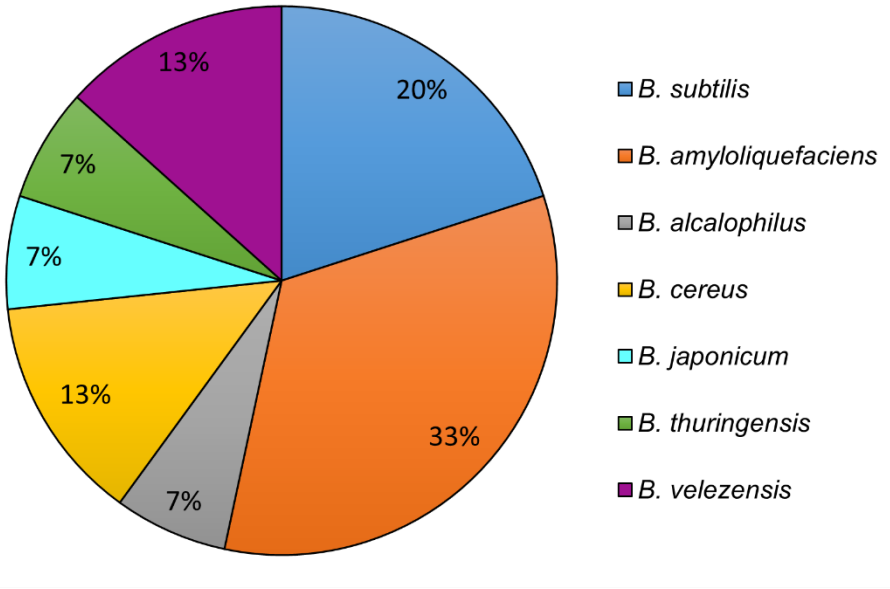
amyloliquefaciens foi a espécie mais estudada nas publicações, em 33% das publicações. Seguida por *Bacillus subtilis*, representando 20% das publicações. *B. cereus* e *Bacillus velezensis* aparecem em 13 % das publicações.

Bacillus amyloliquefaciens é uma bactéria Gram-positiva que forma esporos no solo e possui a capacidade de colonizar a rizosfera de uma gama diversificada de plantas, estimulando o crescimento das plantas e antagonizando uma gama diversificada de fungos e bactérias fitopatogênicos que a tornam um excelente biofertilizante e agente de biocontrole (LUO et al., 2022). Possui a capacidade de causar o vazamento do conteúdo de células fúngicas (destruição da parede celular) e produz enzimas como quitinase ou glucanse, que destruem a quitina ou glucanos na parede celular de *Scleriotinia sclerotiorum* (ABDULLAH; ALI; SULEMAN, 2008).

A bactéria *Bacillus subtilis* produz fitohormônios, os quais são capazes de estimular o desenvolvimento radicular da soja (ARAÚJO; HENNING; HUNGRIA, 2005). Uma vez aplicado sobre as plantas de soja, *B. subtillis* podem produzir substâncias antifúngicas, mantendo a eficácia de supressão continuamente por 15 dias (ZHANG; XUE, 2010).

Bacillus velezensis é uma espécie recém-descrita do gênero *Bacillus*, que vem ganhando destaque científico nos últimos anos. Esta bactéria possui um elevado potencial para a produção de diversas enzimas, incluindo hidrolases (lignocelulose, celulose e hemicelulose). Além disso, *Bacillus velezensis* é uma bactéria associada a plantas, capaz de colonizar as raízes das plantas hospedeiras. Se destaca pela supressão de doenças e pela promoção do crescimento das plantas, tanto por meio do antagonismo direto contra patógenos do solo quanto pela indução de resistência nas plantas contra esses patógenos (SU et al., 2024)

FIGURA 5 - ESPÉCIES DE *Bacillus* ESTUDADAS PARA O CONTROLE BIOLÓGICO DE *Sclerotinia sclerotiorum* NA CULTURA DA SOJA.



FONTE: A autora (2024)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluir que, ao longo do período de 2010 a 2024, as pesquisas sobre o controle biológico de *Sclerotinia sclerotiorum* na cultura da soja com *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp. não demonstraram um aumento significativo no número de publicações. Embora os estudos tenham revelado resultados positivos, a dispersão das pesquisas entre diferentes patógenos de plantas e culturas agronômicas limita o foco exclusivo na soja, demonstrando um campo vasto para pesquisa futuras neste tema. O Brasil se destaca como o país com maior número de publicações para ambos os agentes de controle biológico, revelando seu interesse, uma vez que é um dos maiores produtores de soja. As espécies mais estudadas foram *Trichoderma harzianum* para o gênero Trichoderma e *Bacillus amyloliquefaciens* para o gênero Bacillus, refletindo uma preferência por espécies conhecidas por suas propriedades antagônicas contra *Sclerotinia sclerotiorum*.

REFERÊNCIAS

ABDULLAH, M.T.; ALI, N. Y.; SULEMAN, P. Biological control of Sclerotinia sclerotiorum (Lib.) de Bary with *Trichoderma harzianum* and *Bacillus amyloliquefaciens*. **Crop Protection**, v. 27, n. 10, p. 1354-1359, out. 2008. http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2008.05.007.

ABAWI, G. S. Source of Primary Inoculum and Effects of Temperature and Moisture on Infection of Beans by *Whetzelinia sclerotiorum*. **Phytopathology**, v. 65, n. 3, p. 300, 1975. http://dx.doi.org/10.1094/phyto-65-300.

ALEANDRI, M. P.; CHILOSI, G.; BRUNI, N.; TOMASSINI, A.; VETTRAINO, A. M.; VANNINI, A. Use of nursery potting mixes amended with local Trichoderma strains with multiple complementary mechanisms to control soil-borne diseases. **Crop Protection**, v. 67, p. 269-278, jan. 2015. http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2014.10.023.

ALEXOPOULOS, C. J.; MIMS, C. W.; BLACKS WELL, M. Introductory mycology. 4ª ed. **Jon Willey; Sons; inc.** New York, 1996.

ARAÚJO, F. F.; HENNING, A. A.; HUNGRIA, M. Phytohormones and Antibiotics Produced by *Bacillus subtilis* and their effects on seed pathogenic fungi and on soybean root development. **World Journal Of Microbiology And Biotechnology**, v. 21, n. 8-9, p. 1639-1645, dez. 2005. http://dx.doi.org/10.1007/s11274-005-3621-x.

ASAD, S. A. Mechanisms of action and biocontrol potential of Trichoderma against fungal plant diseases - A review. **Ecological Complexity**, v.48, p100978, 2022 https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2021.100978

BARRO, J. P.; MEYER, M. C.; GODOY, C. V.; DIAS, A. R.; UTIAMADA, C. M.; JACCOUD FILHO, D. S.; WRUCK, D. S. M.; BORGES, E. P.; SIQUERI, F.; JULIATTI, F. C. Performance and profitability of fungicides for managing soybean white mold: a 10-year summary of cooperative trials. **Plant Disease**, v. 103, n. 9, p. 2212-2220, set. 2019. http://dx.doi.org/10.1094/pdis-10-18-1760-re.

BATTA, Y. A. Control of postharvest diseases of fruit with an invert emulsion formulation of *Trichoderma harzianum* Rifai. **Postharvest Biology And Technology**, v. 43, n. 1, p. 143-150, jan. 2007. http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.07.010.

BERTRAND, J. P.; LAURENT, C.; LECLERCQ, V.; OLIVEIRA, L. L. de. **O mundo da Soja**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1987. 139 p.

BIANCHINI, A.; MARINGONI, A. C.; CARNEIRO, S. M. T. P. G. Doenças do feijoeiro. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas.** 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. v. 2, cap. 37, p. 333-349.

BRIGHENTI, A. M; VOLI, E; GAZZIERO, D. L. P; ADEGAS, F. S. **Períodos de convivência entre plantas daninhas e a cultura da soja.** EMBRAPA SOJA, 2021.

Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/producao/manejode-plantas-daninhas/periodos-de-convivencia-entre-plantas-daninhas-e-a-cultura-da-soja.
Acesso 20 jun. 2024.

CAI, F.; CHEN, W.; WEI, Z.; PANG, G.; LI, R.; RAN, W.; SHEN, Q. Colonization of Trichoderma harzianum strain SQR-T037 on tomato roots and its relationship to plant growth, nutrient availability and soil microflora. **Plant And Soil**, v. 388, n. 1-2, p. 337-350, 25 nov. 2014. http://dx.doi.org/10.1007/s11104-014-2326-z.

CAMPOS, H. D. et al. Mofo branco em soja: cenário atual e manejo. In: MEDEIROS, F. H. V. et al (Ed.). **Novos sistemas de produção**. Lavras: UFLA, 2017. p. 53-64.

CARPENTER, M. A.; STEWART, A.; RIDGWAY, H. J. Identification of novel *Trichoderma hamatum* genes expressed during mycoparasitism using subtractive hybridisation. **Fems Microbiology Letters**, v. 251, n. 1, p. 105-112, out. 2005. http://dx.doi.org/10.1016/j.femsle.2005.07.035.

CARVALHO, D. D. C; MELLO, S. C. M.; LOBO JÚNIOR, M.; GERALDINE, A. M. Biocontrol of seed pathogens and growth promotion of common bean seedlings by *Trichoderma harzianum***. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 822-828, 2011.

CHENG, Y.; GAO, X.; HE, H.; ZHANG, X.; WANG, R.; LIU, J. Dual RNA sequencing analysis of *Bacillus amyloliquefaciens* and *Sclerotinia sclerotiorum* during infection of soybean seedlings by *S. sclerotiorum* unveils Antagonistic Interactions. **Frontiers In Microbiology**, v. 13, p. 1-14, 23 jun. 2022. http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2022.924313.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safra brasileira de grãos. Boletim da safra de grãos**: décimo levantamento, safra 2021/22. Brasília, 2022. Disponível em: www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-degraos. Acesso em: 15 jul. 2022.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. A**companhamento da safra brasileira**: Safra 2023/2024. Brasília, 2024. 121 p

CONTE, E. D.; MAGRO, T. D.; BEM, L. C.D; DALMINA, J. C.; MATTÉ, J. A.; SCHENKEL, V. O.; SCHWAMBACH, J. Use of *Trichoderma* spp. in no-tillage system: Effect on soil and soybean crop. **Biological Control**, v.173, p.104941, 2022.

DOMINGUES, M. S. D., BERMANN, C., & SIDNEIDE MANFREDINI, S. A produção de soja no Brasil e sua relação com o desmatamento na Amazônia. **Revista Presença Geográfica**, v.1, n.1, 2014.

DORRANCE, A. E. The soybean crop. **Agrios' Plant Pathology**, p. 773-779, 2024. http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-822429-8.00035-2.

FAGUNDES-NACARATH, I. R. F.; DEBONA, D.; RODRIGUES, F. A. Oxalic acid-mediated biochemical and physiological changes in the common bean-Sclerotinia

sclerotiorum interaction. **Plant Physiology And Biochemistry**, v. 129, p. 109-121, ago. 2018. http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.05.028.

GAZZONI, D. L. **Soybean and bees**. Brasília: Embrapa, 2016. 147 p.

GÖRGEN, C. A.; SILVEIRA NETO, A. N.; CARNEIRO, L. C.; RAGAGNIN, V.; LOBO JUNIOR, M. Controle do mofo-branco com palhada e *Trichoderma harzianum* 1306 em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1583-1590, dez. 2009. http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2009001200004.

GRAU, C. R.; HARTMAN, G. L. *Sclerotinia* stem rot. In: HARTMAN, G. L.; RUPE, J. C.; SIKORA, E. J.; DOMIER, L. L.; DAVIS, J. A.; STEFFEY, K. L. **Compendium of soybean diseases and pests.** 5. ed. St. Paul, American Phytopathological Society, 2015. p.59-62.

HADDAD, P.; LEITE, L. G.; LUCON, C. M. M.; HARAKAVA, R. Selection of *Trichoderma* spp. strains for the control of *Sclerotinia sclerotiorum* in soybean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 12, p. 1140-1148, dez. 2017. http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2017001200002.

HAN, V.; MICHAEL, P. J.; SWIFT, B.; BENNETT, S. J. Biological control of Sclerotinia sclerotiorum: modes of action of biocontrol agents, soil organic amendments, and soil microbiome manipulation. **Biological Control**, v. 186, p. 105346, nov. 2023. http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105346.

HEFFER. White Mold. **The Plant Health Instructor**, p. 1-13, 2007. Scientific Societies. http://dx.doi.org/10.1094/phi-i-2007-0809-01.

HOSSAIN, M. M.; SULTANA, F.; LI, W.; TRAN, L. P.; MOSTOFA, M. G. *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary: insights into the pathogenomic features of a global pathogen. **Cells**, v. 12, n. 7, p. 1063, 31 mar. 2023. http://dx.doi.org/10.3390/cells12071063.

KANDEL, R.; CHEN, C. Y.; GRAU, C. R.; DORRANCE, A. E.; LIU, J. Q.; WANG, Y.; WANG, D. Soybean resistance to white mold: evaluation of soybean germplasm under different conditions and validation of qtl. **Frontiers In Plant Science**, v. 9, p. 1-12, 20 abr. 2018. http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2018.00505.

KUMAR, A.; SAINI, S.; WRAY, V.; NIMTZ, M.; PRAKASH, A.; JOHRI, B. N. Characterization of an antifungal compound produced by Bacillus sp. strain A5F that inhibits Sclerotinia sclerotiorum. **Journal Of Basic Microbiology**, v. 52, n. 6, p. 670-678, 23 fev. 2012. http://dx.doi.org/10.1002/jobm.201100463.

LOBO JUNIOR, M.; LOPES, C. A.; SILVA, W. L. C. *Sclerotinia* rot losses in processing tomatoes grown under centre pivot irrigation in central Brazil. **Plant Pathology**, v. 49, p. 51-56, 2000.

LOBO JUNIOR, M.; SILVA-ABUD, L. L. S.; SANTOS-GOULART, P. F.; MACEDO, R.; TOLEDO-SOUZA, E. D. Panorama da pesquisa com patógenos radiculares no Brasil. In: LOPES, U. P.; MICHEREFF, S. J. (Ed.). **Desafios do manejo de doenças**

radiculares causadas por fungos. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2018. p. 17-34.

LUO, L.; ZHAO, C.; WANG, E.; RAZA, A.; YIN, C. *Bacillus amyloliquefaciens* as an excellent agent for biofertilizer and biocontrol in agriculture: an overview for its mechanisms. **Microbiological Research**, v. 259, p. 127016, jun. 2022. http://dx.doi.org/10.1016/j.micres.2022.127016.

MADIGAN, M.; JOHN, M.; KELLY B.; DANIEL, B.; DAVID, S. **Microbiologia de Brock**. 14. ed. Porto Alegre: Artmed, 2016. 960 p.

MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M. (Eds.). **Ensaios cooperativos de controle biológico de mofo branco na cultura da soja** - safras 2012 a 2015. Londrina: Embrapa Soja, 2016. 46 p. (Embrapa Soja, Documentos, 368).

MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; SEII, A. H.; DIAS, A. R.; JACCOUD FILHO, D. S.; BORGES, E. P.; JULIATTI, F. C.; NUNES JUNIOR, J. **Eficiência de fungicidas para controle de mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) em soja, na safra 2017/18**: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Londrina: Embrapa, 2018.

MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; LOBO JUNIOR, M. **Avaliação à campo de Trichoderma em mofo-branco**. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (ed.). *Trichoderma*: uso na agricultura. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 339-346.

MEYER, M. C.; FERREIRA, L. C.; BAYLÃO, B. S. G.; COSTA, N. B.; GUERZONI, R. A.; PIMENTA, C. B.; NUNES JÚNIOR, J.; VENANCIO, W. S. Influência do nível de água no solo sobre a germinação carpogênica de *Sclerotinia sclerotiorum*. **Tropical Plant Pathology**, v. 35 p. S153, 2010.

MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; GODOY, C. V. **Controle biológico de mofo-branco na cultura da soja**. In: MEYER, M. C.; BUENO, A. de F.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. da (ed.). Bioinsumos na cultura da soja. Brasília, DF: Embrapa, 2022. p. 315-329.

MUELLER, D. S.; DORRANCE, A. E.; DERKSEN, R. C.; OZKAN, E.; KURLE, J. E.; GRAU, C. R.; GASKA, J. M.; HARTMAN, G. L.; BRADLEY, C. A.; PEDERSEN, W. L. Efficacy of fungicides on *Sclerotinia sclerotiorum* and their potential for control of *Sclerotinia* stem rot on soybean. **Plant Disease**, v. 86, p.26-31, 2002.

MUKHERJEE, P. K.; HORWITZ, B. A.; HERRERA-ESTRELLA, A.; SCHMOLL, M.; KENERLEY, C. M. *Trichoderma* Research in the Genome Era. **Annual Review Of Phytopathology**, v. 51, n. 1, p. 105-129, 4 ago. 2013. http://dx.doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102353.

PARRA, J. R. P. Biological Control in Brazil: state of art and perspectives. **Scientia Agricola**, v. 80, p. 1-4, 2023. http://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2023-0080.

PELTIER, A. J.; BRADLEY, C. A.; CHILVERS, M. I.; MALVICK, D. K.; MUELLER, D. S.; WISE, K. A.; ESKER, P. D. Biology, yield loss and control of Sclerotinia Stem Rot of Soybean. **Journal of Integrated Pest Management**, v. 3, n. 2, p. B1-B7, 2012. https://doi. org/10.1603/IPM11033.

PRISMANTORO, D.; AKBARI, S. I.; PERMADI, N.; DEY, U.; ANHAR, A.; MIRANTI, M.; MISPAN, M. S.; DONI, F. The multifaceted roles of *Trichoderma* in managing rice diseases for enhanced productivity and sustainability. **Journal Of Agriculture And Food Research**, v. 18, p. 101324, dez. 2024. http://dx.doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101324.

RODRÍGUEZ, M. A.; CABRERA, G. E.; GODEAS, A. Cyclosporine a from a nonpathogenic Fusarium oxysporum suppressing Sclerotinia sclerotiorum**. Journal of Applied Microbiology**, v.100, p.575-586, 2006.

SAVARY, S.; WILLOCQUET, L.; PETHYBRIDGE, S. J.; ESKER, P.; McROBERTS, N.; NELSON, A. The global burden of pathogens and pests on major food crops. **Nature Ecology & Evolution**, v.3*,* p.430–439, 2019.

SCHULMAN, P.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H.; CRUZ-MAGALHÃES, V.; GODOY, C. V.; GUIMARÃES, R. A.; SILVA, L. H. C. P.; GOUSSAIN, M. M.; MARTINS, M. C.; NUNES JUNIOR, J.; VENANCIO, W. S.; FANTINI, L.; BRUSTOLIN, R.; JACCOUD FILHO, D. S.; CARNEIRO, L. C.; JULIATTI, F. C; MEDEIROS, F. H. Seven years of white mold biocontrol product's performance efficacy on *Sclerotinia sclerotiorum* carpogenic germination in Brazil: A meta-analysis. **Biological Control**, v. 176, p. 105080, 2022. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105080.

SILVA, J. R. C.; SOUZA, R. M.; ZACARONE, A. B.; SILVA, L. H. C. P.; CASTRO, A. M. S. Bactérias endofíticas no controle e inibição in vitro de Pseudomonas syringae pv tomato, agente da pinta bacteriana do tomateiro. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 4, p. 1062-1072, ago. 2008. http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542008000400005.

SU, T.; SHEN, B.; HU, X.; TENG, Y.; WENG, P.; WU, Z.; LIU, L. Research advance of Bacillus velezensis: bioinformatics, characteristics, and applications: bioinformatics, characteristics, and applications. **Food Science And Human Wellness**, v. 13, n. 4, p. 1756-1766, jul. 2024. http://dx.doi.org/10.26599/fshw.2022.9250148.

WANG, Y.; PEI, Y.; WANG, X.; DAI, X.; ZHU, M. Antimicrobial metabolites produced by the plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): *bacillus* and *pseudomonas*. **Advanced Agrochem**, v. 3, n. 3, p. 206-221, set. 2024. http://dx.doi.org/10.1016/j.aac.2024.07.007.

WEBSTER, R. W.; ROTH, M. G.; MUELLER, B. D.; MUELLER, D. S.; CHILVERS, M. I.; WILLBUR, J. F.; MOURTZINIS, S.; CONLEY, S. P.; SMITH, D. L. Integration of Row Spacing, Seeding Rates, and Fungicide Applications for Control of Sclerotinia Stem Rot in Glycine max. **Plant Disease**, v. 106, n. 4, p. 1183-1191, 1 abr. 2022. http://dx.doi.org/10.1094/pdis-09-21-1931-re.

XUE, A. G.; GUO, W.; CHEN, Y.; SIDDIQUI, I.; MARCHAND, G.; LIU, J.; REN, C. Effect of seed treatment with novel strains of *Trichoderma* spp. on establishment and yield of spring wheat. **Crop Protection**, v. 96, p. 97-102, jun. 2017. http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2017.02.003.

ZHANG, F.; GE, H.; ZHANG, F.; GUO, N.; WANG, Y.; CHEN, L.; JI, X.; LI, C. Biocontrol potential of *Trichoderma harzianum* isolate T-aloe against *Sclerotinia sclerotiorum* in soybean. **Plant Physiology And Biochemistry**, v. 100, p. 64-74, mar. 2016. http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.12.017.

ZHANG, J. X.; XUE, A. G. Biocontrol of sclerotinia stem rot (*Sclerotinia sclerotiorum*) of soybean using novel Bacillus subtilis strain SB24 under control conditions. **Plant Pathology**, v. 59, n. 2, p. 382-391, 2010. http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02227.x.

ZIN, N. A.; BADALUDDIN, N. A. Biological functions of *Trichoderma* spp. for agriculture applications. **Annals Of Agricultural Sciences**, v. 65, n. 2, p. 168-178, dez. 2020. http://dx.doi.org/10.1016/j.aoas.2020.09.003.