

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE

**Tratamento de sementes de soja com produtos à base de *Bacillus* spp.: análise
bibliométrica, qualidade fisiológica e efeito bioestimulante**

Gustavo Dutra Roesler

ARARAS
Agosto/2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE

Tratamento de sementes de soja com produtos à base de *Bacillus* spp.: análise bibliométrica, qualidade fisiológica e efeito bioestimulante

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em Agricultura e Ambiente.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Josiane Rodrigues
Coorientador: Prof. Dr. Victor Augusto Forti

ARARAS
Agosto/2025

Roesler, Gustavo Dutra

Tratamento de sementes de soja com produtos à base de *Bacillus* spp.: análise bibliométrica, qualidade fisiológica e efeito bioestimulante / Gustavo Dutra Roesler -- 2025. 127f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Araras, Araras
Orientador (a): Josiane Rodrigues
Banca Examinadora: Patricia Andrea Monquero, Evandro Henrique Schinor, Ana Dionisia da Luz Coelho
Novembre, Victor Augusto Forti
Bibliografia

1. Bactérias promotores de crescimento. 2. Tratamento de sementes de soja. 3. Sustentabilidade. I. Roesler, Gustavo Dutra. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Helena Sachi do Amaral - CRB/8
7083



Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Gustavo Dutra Roesler, realizada em 30/07/2025.

Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Patricia Andrea Monquero (UFSCar)

Prof. Dr. Evandro Henrique Schinor (UFSCar)

Profa. Dra. Ana Dionisia da Luz Coelho Novembre (ESALQ/USP)

Prof. Dr. Victor Augusto Forti (UFSCar)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por guiar cada passo durante minha trajetória, possibilitar com que eu esteja rodeado de ótimas pessoas e por me fortalecer diante de todos os desafios.

À minha mãe Joseli, pelo amor e cuidado sempre presentes em minha vida, por tantos sacrifícios feitos por mim, palavras de sabedoria e incentivo. Meu maior exemplo e inspiração.

À minha avó Maria Helena, por sempre me mostrar com palavras e atitudes gentis que perseverança, humildade e honestidade são valores imprescindíveis para todos os passos da vida.

Aos meus irmãos Lucas e Murilo, meus melhores amigos no mundo, por tantos episódios da vida que compartilhamos, pelas conversas e irmandade que nunca me deixaram desistir e por sempre me incentivarem rumo aos meus objetivos.

Ao meu pai Denílson e ao meu avô José (*in memoriam*), espero que estejam felizes e orgulhosos.

À minha orientadora Profa. Dra. Josiane Rodrigues, por aceitar me orientar em mais uma etapa, pela paciência, inúmeros ensinamentos compartilhados e pela prontidão em me ajudar durante tantos momentos nesses anos. Muito obrigado por me permitir ser seu aluno.

Ao Prof. Dr. Victor Augusto Forti, pela coorientação, por tantas conversas e ajuda em incontáveis momentos, sempre sendo um guia para as dúvidas e questionamentos e um exemplo profissional desde os tempos de graduação.

Aos membros do NEPAS/LAO, com os quais compartilhei longos meses de ensaios e pude apreender muito ao longo do mestrado.

À Universidade Federal de São Carlos (UFSCar – Campus Araras), local no qual me formei e carrego ótimas lembranças, ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente (PPGAA-Ar), assim como a todos os professores, servidores e colegas que contribuíram para minha formação e me trouxeram essa grande oportunidade de desenvolvimento.

Aos professores Patricia Andrea Monquero, Evandro Henrique Schinor e Ana Dionisia da Luz Coelho Novembre pelas excelentes sugestões para o aprimoramento deste trabalho.

Agradeço também à CAPES, o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

Com efeitos ambientais adversos e variação de eficácia do controle químico, verifica-se o crescente desenvolvimento de produtos a partir de agentes de biocontrole para o manejo fitossanitário, com destaque às rizobactérias promotoras de crescimento do gênero *Bacillus*. Assim, o objetivo deste estudo foi investigar o uso de *Bacillus* como uma solução de manejo para tratamento de sementes de soja, por meio de uma análise bibliométrica, e avaliar o potencial fisiológico de sementes de soja e os efeitos bioestimulantes de formulações comerciais à base de *Bacillus* spp. quanto ao tempo e ambientes de armazenamento. Para isso, uma análise bibliométrica exploratória para o período de 25 anos (2000 a 2024) sobre o tema tratamento de sementes de soja com *Bacillus* spp. foi desenvolvida, e foram conduzidos ensaios com cinco tratamentos de sementes (*B. amynoliquefaciens* PTA 4838; *B. subtilis* CNPSO 2657; *B. firmus* i1582; Abamectina; Imidaclopride + Tiodicarbe) mais controle, em dois períodos de armazenamento (análise inicial e 180 dias), sendo para o último período analisado o efeito do armazenamento em câmara com ambiente controlado (10°C e 40% de umidade relativa do ar) e ambiente sem controle. Os resultados da análise bibliométrica demonstraram diversificação de aplicações a partir de 2014, com tendência de uso destes microrganismos para manejo de doenças fúngicas e nematoides, explorando, sobretudo, *B. subtilis* nos estudos. No tocante à segunda frente de trabalho, a aplicação de produtos comerciais à base de *Bacillus* spp. gerou reduções significativas na incidência de *Aspergillus* spp., maior expressão na germinação final das plântulas, índice de velocidade de germinação, velocidade de emergência em laboratório e efeitos bioestimulantes com acréscimos no comprimento do sistema radicular e matéria seca da parte aérea e raiz, para ambos os tempos de armazenamento e para o ambiente controlado. Ademais, em condição de déficit hídrico simulado, *Bacillus* spp. foi capaz de manter o potencial fisiológico das sementes para variáveis de germinação e comprimento do sistema radicular. O controle das condições de temperatura e umidade foram determinantes para manutenção do potencial fisiológico das sementes. As informações sobre o efeito de produtos à base de *Bacillus* spp. no desempenho fisiológico das sementes podem auxiliar os programas de manejo integrado a alcançarem melhores expressões de desenvolvimento das plântulas concomitantemente a adequação ambiental de sistemas sustentáveis.

Palavras-chave: Controle biológico; Fisiologia; *Glycine max* (L); Manejo de culturas; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Due to adverse environmental effects and the variable efficacy of chemical control methods, there has been a growing development of products derived from biocontrol agents for plant health management, with particular emphasis on growth-promoting rhizobacteria of the *Bacillus* genus. Accordingly, the objective of this study was to investigate the use of *Bacillus* as a management strategy for soybean seed treatment through a bibliometric analysis, and to evaluate the physiological potential of soybean seeds and the biostimulant effects of commercial formulations based on *Bacillus* spp. in relation to storage duration and environmental conditions. For this purpose, an exploratory bibliometric analysis was conducted over a 25-year period (2000 to 2024) on the topic of soybean seed treatment with *Bacillus* spp., and experimental trials were carried out with five seed treatments (*B. amyloliquefaciens* PTA 4838; *B. subtilis* CNPSo 2657; *B. firmus* I1582; abamectin; imidacloprid + thiodicarb) plus a control, under two storage durations (initial analysis and 180 days). For the latter period, the effects of storage in a chamber under controlled conditions (10°C and 40% relative humidity) and under uncontrolled conditions were analyzed. The results of the bibliometric analysis revealed a diversification of applications starting in 2014, with a growing trend in the use of these microorganisms for the management of fungal diseases and nematodes, with *B. subtilis* being the most extensively studied species. Regarding the second line of investigation, the application of commercial products based on *Bacillus* spp. resulted in significant reductions in the incidence of *Aspergillus* spp., improved final seedling germination, germination speed index, laboratory emergence speed, and biostimulant effects, including increases in root system length and dry matter of both shoots and roots, across both storage periods and under controlled environmental conditions. Moreover, under simulated water deficit conditions, *Bacillus* spp. was able to maintain the physiological potential of seeds in terms of germination variables and root system length. Temperature and humidity control were decisive factors in preserving the physiological potential of the seeds. The information regarding the effects of *Bacillus* spp.-based products on seed physiological performance may support integrated management programs in achieving better seedling development outcomes while aligning with the environmental requirements of sustainable production systems.

Keywords: Biological control; Physiology; *Glycine max* (L); Crop management; Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma para a identificação da literatura e estratégia de pesquisa para identificar o uso de <i>Bacillus</i> spp. como solução de manejo no tratamento de sementes de soja.....	23
Figura 2. Sistematização dos testes realizados em sementes de soja, cultivar BMX POTÊNCIA, tratadas com produtos á base de <i>Bacillus</i> spp., em diferentes períodos e ambientes de armazenamento.....	27
Figura 3. Disposição dos tratamentos no campo para o teste de emergência e velocidade de emergência de plântulas de soja, cultivar BMX POTÊNCIA, tratadas com produtos à base de <i>Bacillus</i> spp.....	30
Figura 4. Frequência absoluta da produção científica mundial referente ao uso de <i>Bacillus</i> spp. para o tratamento de sementes de soja.	36
Figura 5. Número de publicações por país, originadas de 45 artigos relacionados ao uso de <i>Bacillus</i> spp. para o tratamento de sementes de soja.	37
Figura 6. Representação da participação relativa de cada um dos 12 países indexados pelo número de publicações com <i>Bacillus</i> spp. para o tratamento de sementes de soja. Fonte: Web of Science e Scopus (2024).....	38
Figura 7. Periódicos com maior número de publicações com <i>Bacillus</i> spp. para o tratamento de sementes de soja, no período de 2000 a 2024.....	39
Figura 8. Nuvem de palavras representando os termos frequentemente utilizados nas publicações com <i>Bacillus</i> spp. para o tratamento de sementes de soja. Quanto maior a palavra na nuvem, maior a frequência em que ela aparece nas publicações.	40
Figura 9. Dez artigos mais citados sobre a utilização de <i>Bacillus</i> spp. para o tratamento de sementes de soja.....	41
Figura 10: Número de publicações com uso de espécies de <i>Bacillus</i> spp. para controle de patógenos fúngicos e bacterianos em soja dentre os 17 estudos enquadrados na categoria	47
Figura 11. Número de publicações com uso de espécies de <i>Bacillus</i> spp. para controle de nematoides dentre os 11 estudos enquadrados na categoria.....	51
Figura 13. Número de publicações que utilizaram as principais espécies de <i>Bacillus</i> spp. utilizadas com finalidade de promoção de crescimento em plantas de soja.....	51
Figura 14. Estruturas dos fungos (A) <i>Aspergillus</i> spp., (B) <i>Fusarium</i> spp. e (C) <i>Penicillium</i> spp. em sementes de soja, cultivar POTÊNCIA, avaliadas em lupa (40x) durante o teste de sanidade pelo método “ <i>Blotter test</i> ”.	57

Figura 15. Boxplots da porcentagem de ocorrência de (A) <i>Aspergillus</i> spp., (B) <i>Fusarium</i> spp. e (C) <i>Penicillium</i> spp. em sementes de soja identificados pelo teste de sanidade em análise inicial, seguindo as características exibidas pelos patógenos no método “ <i>Blotter test</i> ”	58
Figura 16. Teste de emergência de plântulas em bandeja, aos sete dias após instalação	73
Figura 17. Boxplots da porcentagem de ocorrência de (A) <i>Aspergillus</i> spp., (B) <i>Fusarium</i> spp. e (C) <i>Penicillium</i> spp. em sementes de soja identificados pelo teste de sanidade em sementes armazenadas durante 180 dias, seguindo as características exibidas pelos patógenos no método “ <i>Blotter test</i> ”	79
Figura 18. Classes de vigor de acordo com o teste do tetrazólio. Classes 1 e 2: alto vigor; Classe 3: vigor médio; Classe 4: baixo vigor; Classe 5: muito baixo vigor. Não viável: englobando classes 6, 7 e 8. Região externa (superior) e interna (inferior) da semente.	81
Figura 19. Primeira contagem de germinação (P.C.G.) de sementes de soja submetidas a diferentes potenciais hídricos induzidos por PEG 6000, após armazenamento de 180 dias em ambiente climatizado (AC) e não climatizado (NC).	83
Figura 20. Germinação final de sementes de soja submetidas a diferentes potenciais hídricos induzidos por PEG 6000, após armazenamento de 180 dias em ambiente climatizado (AC) e não climatizado (NC).	87
Figura 21. Comprimento da parte aérea (esquerda) e sistema radicular (direita) de plântulas de soja submetidas a diferentes potenciais hídricos induzidos por PEG 6000, após armazenamento de 180 dias em ambiente climatizado (AC) e não climatizado (NC).	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tratamentos testados nos ensaios de potencial fisiológico e efeito bioestimulante de produtos à base de <i>Bacillus</i> spp. em sementes de soja.....	26
Tabela 2. Concentração de PEG 6000 usada para obtenção de diferentes potenciais osmóticos no teste de estresse hídrico, a 25°C, em sementes de soja, cultivar BMX POTÊNCIA, tratadas com produtos à base de <i>Bacillus</i> spp.....	33
Tabela 3. Categorização dos 45 artigos analisados quanto aos fins de aplicação de <i>Bacillus</i> spp. na cultura da soja, número total de artigos e porcentagem por categoria.	42
Tabela 4. Efeitos dos tratamentos de sementes de soja com <i>Bacillus</i> spp. e nematicidas químicos na primeira contagem de germinação (cinco dias após semeadura) e germinação final (sete dias após a semeadura) no ensaio laboratorial, em plântulas de soja em análise inicial.	59
Tabela 5. Efeitos dos tratamentos de sementes de soja com <i>Bacillus</i> spp. e nematicidas químicos no índice de velocidade de germinação (IVG) para o período de sete dias em sementes em análise inicial.....	62
Tabela 6. Efeito dos tratamentos de sementes de soja com <i>Bacillus</i> spp. e nematicidas químicos na emergência de plântulas e no índice de velocidade de emergência em laboratório e campo.	64
Tabela 7. Efeito dos tratamentos de sementes com <i>Bacillus</i> spp. e nematicidas químicos no comprimento e massa da matéria seca da parte aérea e sistema radicular de plântulas de soja.	66
Tabela 8. Efeitos dos tratamentos de sementes de soja com <i>Bacillus</i> spp. e nematicidas químicos na primeira contagem de germinação (cinco dias após semeadura) e germinação final (sete dias após a semeadura) no ensaio laboratorial, em plântulas de soja após 180 dias de armazenamento das sementes.....	68
Tabela 9. Efeitos dos ambientes de armazenamento de sementes de soja na primeira contagem de germinação (cinco dias após semeadura) e germinação final (sete dias após a semeadura) no ensaio laboratorial, após 180 dias de armazenamento das sementes. .	70
Tabela 10. Efeitos dos tratamentos de sementes de soja com <i>Bacillus</i> spp. e nematicidas químicos no índice de velocidade de germinação (IVG) para o período de sete dias em ensaio laboratorial em método de papel filtro, após 180 dias de armazenamento das sementes.	71

Tabela 11. Efeitos dos ambientes de armazenamento de sementes de soja no índice de velocidade de germinação, após 180 dias de armazenamento das sementes em ambiente climatizado e não climatizado.	72
Tabela 12. Efeito dos tratamentos de sementes de soja com <i>Bacillus</i> spp. e nematicidas químicos na emergência final (%) e índice de velocidade de emergência de plântulas em laboratório, após 180 dias de armazenamento das sementes em ambiente climatizado e não climatizado.....	73
Tabela 13. Efeitos dos tratamentos de sementes de soja com <i>Bacillus</i> spp. e nematicidas químicos na emergência final de plântulas (%) e no índice velocidade de emergência de plântulas em campo, após 180 dias de armazenamento das sementes.	75
Tabela 14. Efeitos dos ambientes de armazenamento de sementes de soja na emergência final de plântulas (%) e no índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas em campo, após 180 dias de armazenamento das sementes.....	76
Tabela 15. Efeito dos tratamentos de sementes com <i>Bacillus</i> spp. e nematicidas químicos no comprimento e massa da matéria seca da parte aérea e sistema radicular de plântulas de soja, após 180 dias de armazenamento das sementes.	77
Tabela 16. Efeitos dos ambientes de armazenamento de sementes de soja no comprimento e massa da matéria seca da parte aérea e sistema radicular de plântulas de soja, após 180 dias de armazenamento das sementes.....	78
Tabela 17. Efeitos dos ambientes de armazenamento de sementes de soja na incidência de patógenos observados no teste de sanidade, após 180 dias de armazenamento das sementes.	80
Tabela 18. Efeito dos tratamentos de sementes com <i>Bacillus</i> spp. e nematicidas químicos na viabilidade (%) e no vigor (%) de plântulas de soja determinados pelo teste de tetrazólio, após 180 dias de armazenamento das sementes.	81
Tabela 19. Efeitos dos ambientes de armazenamento de sementes de soja na viabilidade (%) e vigor (%) determinadas pelo teste de tetrazólio, após 180 dias de armazenamento das sementes.	82
Tabela 20. Efeito dos tratamentos de sementes com <i>Bacillus</i> spp. e nematicidas químicos na primeira contagem de germinação de plântulas de soja, submetidas a diferentes potenciais hídricos (MPa) e armazenadas em ambiente climatizado durante 180 dias..	85
Tabela 21. Efeito dos tratamentos de sementes com <i>Bacillus</i> spp. e nematicidas químicos na primeira contagem de germinação de plântulas de soja, submetidas a diferentes	

potenciais hídricos (MPa) e armazenadas em ambiente não climatizado durante 180 dias.	86
Tabela 22. Efeito dos tratamentos de sementes com <i>Bacillus</i> spp. e nematicidas químicos na germinação final de plântulas de soja, submetidas a diferentes potenciais hídricos (MPa) e armazenadas em ambiente climatizado e não climatizado durante 180 dias....	88
Tabela 23. Efeito dos tratamentos de sementes com <i>Bacillus</i> spp. e nematicidas químicos comprimento da parte aérea de plântulas de soja, submetidas a diferentes potenciais hídricos (MPa) e armazenadas em ambiente climatizado durante 180 dias.	91
Tabela 24. Efeito dos tratamentos de sementes com <i>Bacillus</i> spp. e nematicidas químicos comprimento do sistema radicular de plântulas de soja, submetidas a diferentes potenciais hídricos (MPa) e armazenadas em ambiente climatizado durante 180 dias.	92
Tabela 25. Efeito dos tratamentos de sementes com <i>Bacillus</i> spp. e nematicidas químicos comprimento da parte aérea de plântulas de soja, submetidas a diferentes potenciais hídricos (MPa) e armazenadas em ambiente não climatizado durante 180 dias.	93
Tabela 26. Efeito dos tratamentos de sementes com <i>Bacillus</i> spp. e nematicidas químicos comprimento do sistema radicular de plântulas de soja, submetidas a diferentes potenciais hídricos (MPa) e armazenadas em ambiente não climatizado durante 180 dias.	94
Tabela 27. Efeito dos tratamentos de sementes com <i>Bacillus</i> spp. e nematicidas químicos na massa da matéria seca da parte aérea de plântulas de soja, submetidas a diferentes potenciais hídricos (MPa) e armazenadas em ambiente climatizado e não climatizado durante 180 dias.	95
Tabela 28. Efeito dos tratamentos de sementes com <i>Bacillus</i> spp. e nematicidas químicos na massa da matéria seca do sistema radicular de plântulas de soja, submetidas a diferentes potenciais hídricos (MPa) e armazenadas em ambiente climatizado e não climatizado durante 180 dias.	98

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. REVISÃO TEÓRICA	6
2.1 Cultura da Soja.....	6
2.2 <i>Bacillus</i> spp.....	8
2.3 Nematoides na agricultura	10
2.4 Desafios fitossanitários e estratégias de controle	12
2.5 Efeitos bioestimulantes de <i>Bacillus</i> spp.....	14
2.6 Tratamento de sementes.....	15
2.7 Potencial fisiológico de sementes.....	17
3. OBJETIVOS	19
3.1 Objetivo Geral.....	19
3.2 Objetivos Específicos	19
4. MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1 Revisão bibliométrica sobre o uso de <i>Bacillus</i> no tratamento de sementes de soja.....	21
4.1.1 Definição das fontes de dados utilizadas na pesquisa bibliométrica	21
4.1.2 Identificação da literatura e estratégia de pesquisa adotada	22
4.1.3 Análises bibliométrica quantitativa e qualitativa	23
4.1.4 Limitações do estudo da análise bibliométrica	24
4.2 Avaliação dos tratamentos de sementes no desempenho fisiológico em sementes de soja e efeito bioestimulante	25
4.2.1 Caracterização da área de estudo para realização dos ensaios de laboratório e de campo	25
4.2.2 Avaliação de sanidade de sementes.....	27
4.2.3 Avaliação do efeito do tratamento de sementes com <i>Bacillus</i> spp. na germinação e vigor de sementes de soja	28
4.2.3.1 Teste de germinação	28
4.2.3.2 Primeira contagem de germinação e índice de velocidade de germinação (IVG).....	28
4.2.3.3 Teste de emergência de plântulas em bandejas	29
4.2.3.4 Índice de velocidade de emergência da plântula em bandejas (IVE)	29
4.2.3.5 Teste de emergência e velocidade de emergência de plântulas em campo.....	30

4.2.4 Avaliação das sementes de soja em função da aplicação de <i>Bacillus</i> spp.	31
4.2.4.1 Comprimento da parte aérea (CPA) e comprimento do sistema radicular (CSR)	31
4.2.4.2 Determinação da massa seca de parte aérea e sistema radicular.....	32
4.2.5 Teste de estresse hídrico	32
4.2.6 Análises estatísticas	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
5.1 Revisão bibliométrica sobre o uso de <i>Bacillus</i> para o tratamento de sementes de soja	35
5.1.1. Análise quantitativa da produção científica de <i>Bacillus</i> spp. para o tratamento de sementes de soja (2000-2024).....	35
5.1.2. Análise qualitativa dos 45 artigos sobre a utilização de <i>Bacillus</i> spp. para o tratamento de sementes de soja no período (2000-2024)	41
5.2 Avaliação dos tratamentos de sementes na sanidade, no desempenho fisiológico e efeito bioestimulante em sementes de soja antes do armazenamento	56
5.3 Avaliação dos tratamentos de sementes no desempenho fisiológico e efeito bioestimulante em sementes de soja submetidas a 180 dias de armazenamento em ambientes climatizado e não climatizado	67
5.4 Avaliação dos tratamentos de sementes de soja submetidas à déficit hídrico, com 180 dias armazenamento em ambientes climatizado e não climatizado	83
6. CONCLUSÕES	101
7. REFERÊNCIAS	102

1. INTRODUÇÃO

Analisando a atividade agrícola mundial, a soja representa a principal oleaginosa produzida e a quarta maior cultura em área cultivada (STANIAK et al., 2023). Com R\$ 265,9 bilhões gerados diretamente pela cadeia produtiva no PIB em 2024 (CEPEA, 2025), a soja é a principal cultura do agronegócio brasileiro, sendo alicerce para programas robustos de pesquisa, desenvolvimento, inovação, e transferência de tecnologia, permitindo a geração e difusão de conhecimentos e tecnologias que visam incrementar o potencial produtivo das lavouras (HIRAKURI, 2021). Nesse cenário, estresses abióticos, tais como déficit hídrico, altas temperaturas, radiação solar, e bióticos, como insetos-pragas, doenças, plantas daninhas e nematoides, são fatores passíveis de afetar o rendimento da cultura.

Dentre os fatores bióticos, a presença de nematoides parasitas de plantas caracteriza um ponto de extrema atenção para o cultivo da soja, tanto para a manutenção da sua produção como visando aumentar o seu rendimento. Os principais nematoides que causam danos à cultura da soja no Brasil são *Heterodera glycines* (nematoide-do-cisto-da-soja), *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* (nematoides-das-galhas), *Pratylenchus brachyurus* (nematoide-das-lesões) e *Rotylenchulus reniformis* (nematoide-reniforme) (MACHADO, 2014). Acrescenta-se, ainda, que espécies como *Scutellonema brachyurus* e *Helicotylenchus dihystera* representam novas potenciais ameaças à cultura (MACHADO, 2019).

Nesse cenário, o uso de agentes de biocontrole pode ser uma alternativa ambientalmente segura e economicamente viável (SIKORA, 1992; BRENNAN et al., 2020) para o manejo de nematoides, apresentando como vantagens a redução da toxicidade ambiental e segurança para organismos não-alvos (KUMAR e SINGH, 2015).

Sob a ótica da aplicação do controle biológico, diversos são os potenciais organismos, dentre os quais se incluem fungos nematófagos, bactérias nematófagas, ácaros, fungos micorrízicos arbusculares, nematoides predadores e rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (ASKARY e MARTINELLI, 2015). No que tange a este último grupo, o gênero *Bacillus* spp. é composto por bactérias promotoras de crescimento que apresentam efeito nematicida e desempenham interessantes funções na fisiologia das plantas, à exemplo da melhora na fixação de nitrogênio, solubilização de nutrientes e aumento da síntese hormonal (LOPES et al., 2018; LUO et al., 2018;

HUANG et al., 2021), sendo capazes de se replicar e colonizar os tecidos radiculares das plantas rapidamente (PATEL et al., 2018).

Além disso, efeitos benéficos da aplicação de *Bacillus* spp. são constatados quanto à capacidade de tolerar ambientes hostis pela fácil formação de endósporos e auxiliar na adaptação a estresses abióticos (VACHERON et al., 2013). Já no que concerne aos efeitos bioestimulantes, diversos estudos detectaram respostas significativas de *Bacillus* spp. em espécies vegetais, como, por exemplo, aumentos na concentração de nutrientes em morango (GUNES et al., 2009) e soja (ARIF et al., 2017), melhores parâmetros de qualidade de frutos em macieira (RYU et al., 2011), tolerância sistêmica induzida ao estresse em pepino (WANG et al., 2012), aumento no comprimento da raiz e parte aérea e peso seco em pimenta (LIM e KIM, 2013) e milho (WANG et al., 2025) e crescimento vegetal em soja (KONDO et al., 2023; QIU et al., 2025).

Dessa maneira, intrinsecamente espera-se que a aplicação de *Bacillus* spp. em sementes de soja, independente de sua finalidade primária, possa resultar em efeitos bioestimulantes que representem uma maior expressão do potencial fisiológico das sementes, uma vez que este refere-se ao conjunto de informações sobre a viabilidade e vigor das sementes, a partir das quais é possível identificar lotes de sementes que possuem capacidade de apresentar um alto desempenho no campo após o armazenamento (MARCOS-FILHO, 2013).

Diante disso, explicita-se excelentes características de espécies de *Bacillus* sob a ótica de formulação de produtos comerciais para bioestimulação de plantas e biocontrole de fitopatógenos. Na atual estruturação mercadológica, diversas empresas estão fomentando produtos à base de *Bacillus* spp. focados em seus efeitos bionematicidas e promotores de crescimento diferenciados em concentração, formulação/inertes, espectro de controle, tecnologia de aplicação e cepas dos microrganismos utilizados.

Como exemplo, pode-se citar o uso de *Bacillus amyloliquefaciens* (Vinemco, Nemacontrol), *B. velezensis* (Quorum, Protege), *B. firmus* (VotivoPrime), *B. subtilis* (Rizos OG), *B. licheniformis* (Nimaxxa), e *B. methyilotrophicus* (Onix OG) (AGROFIT, 2023), os quais são predominantemente voltados à modalidade de aplicação via tratamento de sementes.

Por definição, o tratamento de sementes é um método de revestimento das sementes com produtos formulados que contenham ingredientes ativos para proteger os estágios iniciais de desenvolvimento das plantas contra pragas e doenças (AFZAL et al.,

2020). Em perspectiva ampla, esse tratamento consiste na aplicação de fungicidas, inseticidas, compostos biológicos, polímeros, micronutrientes, dentre outros produtos (CATÃO e HURTADO, 2022).

Segundo Munkvold et al. (2014), as vantagens do uso de tratamento de sementes perante aplicações convencionais no solo incluem: (i) redução da quantidade de ingrediente ativo aplicado por hectare, uma vez que os produtos entram em contato apenas com as áreas relativas à linha de semeadura; (ii) capacidade de adicionar diferentes tratamentos na mesma semente; e (iii) efeitos reduzidos dos pesticidas em organismos não-alvos, além da diminuição da pressão fitossanitária.

Nesse contexto, incorporar via tratamento de sementes o uso de produtos biológicos à base de *Bacillus* spp., seguros para o desenvolvimento vegetal e saúde humana, tende a ser uma estratégia ambientalmente adequada para a agricultura moderna. Entretanto, os efeitos quanto ao potencial fisiológico de sementes tratadas e a ação bioestimulante destes produtos formulados ainda são pouco evidenciados fora do âmbito comercial, necessitando-se de maior investigação.

Em vista disso, o objetivo deste estudo foi estabelecido mediante duas frentes de trabalho. A primeira teve como objetivo investigar o uso de *Bacillus* como uma solução de manejo para tratamento de sementes de soja por meio de uma análise bibliométrica, avaliando tanto a produção científica global (perspectiva quantitativa) quanto suas aplicações práticas em cenários de manejo (perspectiva qualitativa). A segunda teve como intuito avaliar como formulações comerciais baseadas em *Bacillus* spp. podem afetar o potencial fisiológico de sementes de soja tratadas, e quais são os possíveis efeitos bioestimulantes gerados a partir desses produtos em condições ótimas e de estresse induzido.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1 Cultura da Soja

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é a leguminosa mais cultivada em escala mundial, e a quarta cultura global em área plantada, estando na vanguarda da economia agrícola mundial em produção e geração de valor (STANIAK et al., 2023). Sendo uma importante fonte de proteína e óleo vegetal para alimentação humana, animal e fins industriais (KOESTER et al., 2014; SUN et al., 2018), seus produtos estão amplamente presentes na indústria alimentícia, como farinha, farelo de proteína texturizada, óleo e rações, além do processamento do grão gerar subprodutos significativos, como resíduos de secagem, casca de soja, fubá de soja (MATEUS et al., 2018), biodiesel (CHURASIA et al., 2016), dentre outros.

Apresentando como centro de origem a região nordeste da China, a soja tem seu primeiro relato no Brasil datado de 1882 (LEAL, 1967). Entretanto, o crescimento e importância nacional da cultura teve início a partir da década de 1970, passando pelo êxito de implantação de cultivares importadas do Sul dos Estados Unidos no estado do Rio Grande do Sul, a partir do qual progressivamente houve a expansão do cultivo de soja para outras latitudes, em função da movimentação de agricultores para outras regiões do país e o desenvolvimento de cultivares adaptadas às condições edafoclimáticas de outros estados (GAZZONI e DALL'AGNOL, 2017). Hoje, a soja é cultivada em todas as regiões do Brasil, com destaque para os estados de Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás (CONAB, 2025).

Nesse cenário, na safra 2024/2025, o Brasil apresentou produção de 168,3 milhões de toneladas de soja em 47,612 milhões de hectares plantados, com produtividade média de 3.536 kg ha⁻¹ (CONAB, 2025). Segundo dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos – USDA (2025a), a safra mundial 2024/2025 de soja correspondeu à produção de 422,5 milhões de toneladas, sendo o Brasil o maior produtor mundial da oleaginosa, representando 40% da produção mundial, seguido dos Estados Unidos (118,84 milhões de toneladas) e da Argentina (49,0 milhões de toneladas).

Dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA (2025), demonstram que a cadeia produtiva da soja no Brasil gerou R\$ 650,4 bilhões em 2024, sendo R\$ 265,9 bilhões diretamente e R\$ 384,5 bilhões em agrosserviços. Assim,

diante da presença do cultivo de soja no Brasil e no mundo e sua notável importância econômica, diversos são os investimentos visando garantir altos rendimentos na cultura.

Abordando suas características gerais, a soja é uma eudicotiledônea, autógama, herbácea, com variabilidade morfológica entre cultivares, e pertencente à família Fabaceae. É uma planta anual com ciclo variável em função das condições ambientais, apresentando genótipos precoces até tardios (MULLER, 1981). O hábito de crescimento da soja varia de acordo com os genótipos em: (i) determinado: plantas que não emitem novos nós na haste principal após o florescimento; (ii) indeterminado: plantas que continuam a emitir novos nós na haste principal após o florescimento; e (iii) semideterminado: plantas com características intermediárias, com um número de nós determinado após o florescimento (THSENG e HOSOKAWA, 1972).

No que diz respeito ao ciclo da soja, da germinação até o ponto de colheita, considerando umidade adequada em torno de 13 a 15%, este pode variar de 75 a 200 dias, havendo a classificação de grupos de maturação em cultivares precoces, semiprecoces, médias e tardias. Além disso, suas etapas fenológicas são divididas em vegetativa e reprodutiva, com índices numéricos que identificam os estágios específicos (FARIAS et al., 2007).

A soja é uma planta sensível ao fotoperíodo, isto é, necessita de um número mínimo de 11 horas de noite/escuro (ausência de luz) para deflagrar seu florescimento, o que a caracteriza como uma planta de dias curtos. O Brasil apresenta cinco macrorregiões sojícolas (MRS 1 - Sul, MRS 2 - Centro-Sul, MRS 3 - Sudeste, MRS 4 - Centro-Oeste, MRS 5 - Norte/Nordeste), determinadas em função da latitude (fotoperíodo e temperatura) e regime de chuvas, e 20 regiões edafoclimáticas distintas quanto à altitude (temperatura) e tipo de solo (KASTER e FARIAS, 2012).

Dessa maneira, a adaptabilidade de cada cultivar ocorre em função da latitude, sendo adotado o sistema de classificação de cultivares por Grupos de Maturidade Relativa (GMR), o qual considera a divisão do país em faixas de latitude, iniciando o grupo de maturação 4 no Sul e terminando no grupo de maturação 9 no Norte. Assim, cada faixa de latitude apresenta um intervalo ideal de GMR, sendo que quanto maior a numeração do GMR dentro da faixa, maior é o ciclo da cultivar (EMBRAPA, 2019). Diante disso, com o melhoramento genético e disponibilidade de cultivares com diferentes GMRs para as macrorregiões sojícolas, verifica-se uma ampla possibilidade de cultivares existentes para cultivo em toda área produtora de soja do Brasil, com ciclos que vão desde precoces a tardios, e diversas características agrônômicas distintas como peso de grãos, porte de

plantas, eventos de modificação genética, rusticidade do sistema radicular, potencial produtivo, exigência de fertilidade, dentre outros (EMBRAPA, 2019).

Frente a abrangência da soja no país, vários são os fatores limitantes ao rendimento da cultura, como estresses bióticos gerados pela presença de pragas, doenças e competição com plantas infestantes, ou abióticos como temperaturas adversas, déficit hídrico, salinidade e poluição (STANIAK et al., 2022).

Juhász et al. (2013) destacam como problemas comuns na cultura da soja, que limitam decisivamente o rendimento e produtividade, doenças fúngicas, especialmente a ferrugem-asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*), nematoides-das-galhas (*Meloidogyne incognita* e *M. javanica*), nematoide-dos-cistos (*Heterodera glycines*), nematoide-das-lesões (*Pratylenchus brachyurus*), nematoide-reniforme (*Rotylenchulus reniformis*) e a qualidade fisiológica e sanitária das sementes produzidas. Ademais, o ataque de pragas, principalmente pelo complexo de lagartas e percevejos que afetam a cultura (PEREIRA et al., 2022) e a competição com plantas daninhas por água, nutrientes e luz (AGOSTINETTO et al., 2017), também são fatores críticos que demandam manejo para obtenção de altos rendimentos da cultura da soja.

2.2 *Bacillus* spp.

O gênero *Bacillus* é caracterizado por bactérias Gram-positivas, em formato de bastonetes, aeróbicas ou anaeróbicas, móveis, rodeadas de flagelos, com característica de formação de endósporos resistentes a fatores físicos nocivos, como temperatura elevada, radiação e desidratação, além de fatores químicos como pH, pesticidas, fertilizantes, dentre outros. Essas bactérias apresentam distribuição onipresente, sendo encontradas no solo, poeira, ambientes aquáticos, vegetação, alimentos e no trato gastrointestinal de vários organismos (NICHOLSON et al., 2002).

Fenotípica e genotipicamente, as espécies do gênero *Bacillus* são heterogêneas, exibindo propriedades fisiológicas diversas. Por exemplo, algumas espécies de *Bacillus* apresentam ação como nitrificadores heterotróficos, desnitrificadores, fixadores de nitrogênio, precipitadores de ferro, oxidantes de selênio, oxidantes e redutores de manganês, acidófilos, quimiolitotróficos facultativos, entre outros comportamentos (SLEPECKY e HEMPHILL, 2006).

Em vista disto, muitas rizobactérias promotoras de crescimento são do gênero *Bacillus*, as quais podem se replicar e colonizar os tecidos radiculares das plantas rapidamente (PATEL et al., 2018), tolerar ambientes hostis pela fácil formação de endósporos, promover o crescimento da planta, auxiliar na adaptação a estresses abióticos (VACHERON et al., 2013), parasitar ovos de nematoides pela produção enzimática (JIN et al., 2017), além de afetar um amplo espectro de patógenos de plantas como vírus, bactérias, fungos e nematoides parasitas de plantas (SHAFI et al., 2017). Diante disso, explicita-se excelentes características de espécies de *Bacillus* sob a ótica de formulação de produtos comerciais para bioestimulação de plantas e biocontrole de fitopatógenos.

Devido a sua robustez e versatilidade, diversos são os produtos à base de *Bacillus* comercializados como nematicidas microbiológicos e produtos promotores de crescimento em plantas, sendo diferenciados em concentração, formulação/inertes, espectro de controle, tecnologia de aplicação e cepas dos microrganismos utilizados. Como exemplo, pode-se citar o uso de *Bacillus amyloliquefaciens* (Vinemco, Nemacontrol), *B. velezensis* (Quorum, Protege), *B. firmus* (VotivoPrime), *B. subtilis* (Rizos OG), *B. licheniformis* (Nimaxxa), e *B. methylophilus* (Onix OG) (AGROFIT, 2023).

Entre as espécies de *Bacillus*, diversos trabalhos relatam a eficácia no controle de nematoides a partir desses microrganismos, tais como *B. cereus* (XIAO et al., 2013; HU et al., 2016), *B. firmus* (GENG et al., 2016; MARIN-BRUZOS e GRAYSTON, 2019), *B. subtilis* (LIU et al., 2014), *B. licheniformis* (DU et al., 2022) e *B. megaterium* (HUANG et al., 2010), aspecto que justifica o aumento da aplicação de produtos comerciais à base desses microrganismos em áreas produtivas, ao mesmo passo que, além do controle fitossanitário, carregam diversos efeitos passíveis de maior exploração no potencial fisiológico das plantas.

Com múltiplas funções ecológicas e elevada capacidade de adaptação ambiental, diversas espécies de *Bacillus* têm sido extensivamente exploradas no âmbito da agricultura, abrangendo finalidades distintas, desde o controle fitossanitário, o qual pode ser oriundo de mecanismos como a produção de metabólitos antimicrobianos, proteínas cristalinas, compostos voláteis ou enzimas de defesa, até a redução do uso de fertilizantes minerais pela fixação de nitrogênio, solubilização de fósforo e melhoria na absorção de potássio pelas plantas (SAXENA et al., 2019). Assim, em virtude da ação ampla do gênero bacteriano na interface planta-solo, os resultados obtidos pela inserção de espécies de *Bacillus* em um sistema produtivo podem não ser totalmente explicitados quando estes

são analisados unicamente pelo seu foco primário de aplicação, uma vez que, por exemplo, a introdução de uma espécie de *Bacillus* com finalidade de biocontrole pode intrinsecamente gerar benefícios fisiológicos às plantas, dada a caracterização dos organismos e a série de interações que eles serão capazes de deflagar nesse sistema.

Recentemente, verifica-se que muitos dos produtos à base de *Bacillus* possuem posicionamento de aplicação via tratamento de sementes, sendo essa uma estratégia conveniente para propiciar ação de proteção nas plantas desde o momento da semeadura. Não obstante, com o aumento de uso de *Bacillus* em sistemas produtivos e a expansão das tecnologias de aplicação, cada vez mais se faz importante a busca pelo entendimento pleno dos efeitos que esses microrganismos podem ocasionar em interação com as plantas, a fim de se obter progressivamente uma perspectiva integrada de insumos na produção agrícola. Contudo, ainda há necessidade de maiores estudos e desdobramentos sobre os efeitos fisiológicos gerados a partir destes formulados comerciais de *Bacillus* no desempenho fisiológico das plântulas, sobretudo, quando aplicados via tratamento de sementes.

2.3 Nematoides na agricultura

Os nematoides (Filo: Nematoda) são os organismos metazoários (eucariontes, móveis e heterotróficos) mais abundantes da Terra. Estimam-se grandezas na ordem de 1 a 100×10^6 indivíduos por m² no solo, os quais são encontrados na matéria orgânica, raízes de plantas e outros substratos em formas de vida livre ou parasitando plantas, insetos e animais (PETERSON e LUXON, 1982; FEYISA, 2021). Estes organismos são adaptados a diversos ambientes do planeta e estão presentes em ecossistemas aquáticos, regiões polares e de altas temperaturas (MENDOZA-DE-GIVES, 2022).

Nematoides de vida livre podem contribuir com o sistema produtivo, por meio da ciclagem de nutrientes (HOLAJJDER et al., 2016), manejo de patógenos (KHAN e KIM, 2005) e estímulos à atividade de microrganismos (JIANG et al., 2018). Contudo, em função desta diversidade, os nematoides podem ser considerados problemáticos ou benéficos para as atividades humanas, uma vez que, por exemplo, determinadas espécies de nematoides são parasitas entomopatogênicos, enquanto outras são parasitas gastrointestinais ou parasitas de plantas (KENNEY e ELEFThERIANOS, 2016).

No que diz respeito aos nematoides na agricultura, o tema circunda os efeitos e danos relativos aos denominados nematoides parasitas de plantas (NPP). De acordo com Kumar et al. (2020), as perdas resultantes dos danos de NPP a nível mundial são estimadas em 173 bilhões de dólares por ano. Diante do exposto, abrangendo quase a totalidade de NPP, adota-se a classificação destes organismos de acordo com seu ciclo de vida e comportamento em endoparasitas, ectoparasitas ou semiendoparasitas (LAMBERT e BEKAI, 2002).

Os nematoides endoparasitas são aqueles que penetram no interior da planta, onde completam parcial ou totalmente o seu ciclo de vida. Geralmente, estes são nematoides extremamente patogênicos, que afetam o crescimento e produtividade das plantas em função do seu comportamento alimentar dentro dos tecidos, interferindo na absorção de água e nutrientes (FOSU-NYARKO e JONES, 2016). Nematoides endoparasitas são aqueles atualmente considerados os mais danosos às culturas agrícolas, como: *Meloidogyne* spp. (nematóide-das-galhas), *Heterodera* spp. e *Globodera* spp. (nematóides-do-cisto), *Pratylenchus* spp. (nematóides-das-lesões), *Hirschmanniella* spp. e *Radopholus* spp. (nematóide cavernícola), *Ditylenchus* spp. (nematóide do caule e bulbos) e *Bursaphelenchus xylophilus* (nematóide-da-madeira-do-pinheiro).

Por outro lado, os nematoides ectoparasitas são aqueles cujo ciclo de vida ocorre integralmente fora da planta, e sua alimentação se dá pela perfuração da epiderme ou camadas superficiais do córtex das radículas das plantas pelo estilete. Desse modo, após a alimentação, os nematoides migram para outras plantas e, conseqüentemente, estão mais expostos a flutuações ambientais do que os endoparasitas (ANKROM et al., 2020). Ademais, estes são encontrados principalmente no solo, contudo, também podem ocorrer em sementes, caules ou parte aérea, e podem ser vetores de doenças. Exemplos de nematoides ectoparasitas são *Xiphinema* spp., *Trichodorus* spp., *Paratrichoduros* spp., *Helycotylenchus* spp. (nematóide-espiralado) e *Hoplolaimus* spp. (MESA-VALE et al., 2020).

Por fim, os nematoides semiendoparasitas são aqueles que possuem comportamento de penetrar parcialmente na planta, estabelecendo uma célula de alimentação permanente em conjunto com a planta e abdicando da sua mobilidade, realizando apenas a oviposição para o exterior (PALOMARES-RIUS et al., 2017). Como exemplo de nematóide semiendoparásita de alta importância agrícola têm-se *Rotylenchulus reniformis* (nematóide-reniforme) e *Sphaeronema* spp.

Acrescenta-se, ainda, que na cultura da soja há cinco principais espécies de fitonematoides altamente patogênicos presentes nas áreas produtivas, sendo elas: *Heterodera glycines* (nematóide-do-cisto-da-soja), *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* (nematóides-das-galhas), *Pratylenchus brachyurus* (nematóide-das-lesões) e *Rotylenchulus reniformis* (nematóide-reniforme) (MACHADO, 2014). Além disso, *Scutellonema brachyurus* e *Helicotylenchus dihystera* (nematóide-espiralado) têm sido consideradas espécies emergentes nos cultivos, com disseminação e densidade populacional crescente em áreas de soja (MACHADO, 2019), de forma que em altas densidades populacionais, todos demandam intervenções para se estabelecer uma estratégia de manejo, idealmente composta por diversos métodos de controle.

2.4 Desafios fitossanitários e estratégias de controle

Perante a atual perspectiva de manejo de nematoides em grandes culturas, verifica-se que este manejo é realizado majoritariamente com o uso de agrotóxicos químicos, os quais são ambientalmente perigosos e prejudiciais para a saúde humana, não obstante, representando apenas 2,5% dos produtos disponíveis no mercado global de agrotóxicos (CASTAÑEDA-ALVAREZ e ABALAY, 2016). Os nematicidas inorgânicos e sintéticos apresentam uma eficácia variável, principalmente perante aplicações repetidas, nas quais podem alcançar níveis satisfatórios. Entretanto, seus princípios ativos possuem alto custo, disponibilidade limitada em muitos países, elevada toxicidade ao meio ambiente, aos mamíferos e à massa microbiana da rizosfera, além de serem os maiores fatores de seleção de nematoides resistentes (KHALIL, 2013).

Nesse cenário, o uso de nematicidas químicos já demonstrou inconsistências sob diversas perspectivas. Por exemplo, moléculas nematicidas mais antigas caracterizadas como fumegantes, a exemplo do brometo de metila e dibromocloropropano (DBCP), foram utilizadas por vários anos na agricultura, as quais, por apresentarem um perfil toxicológico extremamente nocivo, resultaram em efeitos adversos no ambiente e a organismos não-alvos, levando a proibição de produtos à base desses ingredientes ativos (FULLER et al., 2008). Além disso, moléculas mais modernas como as avermectinas já demonstraram instabilidade de controle e estão associadas ao aumento de casos de resistência (D'ERRICO et al., 2017). Assim, a adoção de estratégias mais seguras e eficazes se mostra imprescindível (HUANG et al., 2019).

Frente a tais limitações, o uso de bioprodutos, isto é, produtos comerciais compostos por microrganismos como componente ativo, sejam eles bactérias, fungos, vírus, protozoários ou outros, se caracteriza como uma alternativa com resultados promissores no controle de nematoides (RADWAN et al., 2012). Além disso, a especificidade quanto ao hospedeiro e aumento do espectro de controle tendem a torná-los cada vez mais adequados às estratégias de manejo integrado.

Diante do exposto, estudos nas últimas décadas demonstraram que bactérias e fungos possuem notáveis aplicações para controle biológico de nematoides, porém, com uso ainda limitado em função de requisitos como estabilidade de formulação e métodos ideais de aplicação, os quais são passíveis de alterar significativamente a eficácia desses produtos (VASSILEV et al., 2020).

Em revisão realizada por Furmanczyk e Malusa (2023) destacaram-se diversos organismos com efeitos constatados para controle de nematoides, tais como: bactérias (bactérias de parasitismo direto: *Pasteuria penetrans*; bactérias promotoras de crescimento: *Bacillus* spp., *Agrobacterium* spp., *Azotobacter* spp. e *Pseudomonas* spp.; bactérias fixadoras de nitrogênio: *Azotobacter chroococcum* e *Azospirillum brasilense*), fungos nematófagos (*Arthrobotrys oligospora*, *Drenchslerella dactyloides*, *Myzocytiopsis* spp.), fungos multifuncionais (*Purpureocillium lilacinum*, *Pochonia chlamydosporia*, além dos amplamente utilizados para controles de artrópodes *Metarhizium anisopliae* e *Beauveria bassiana* com potencial para biocontrole de nematoides), e nematoides entomopatogênicos.

Dentre estes grupos, há um notável destaque para as rizobactérias promotoras de crescimento. Estas são organismos não patogênicos que melhoram o crescimento e desenvolvimento de plantas em condições com ou sem estresse por meio de mecanismos diretos (produção de compostos que promovem crescimento e aumentam a absorção de nutrientes) e indiretos (biocontrole de nematoides parasitas de plantas pela produção de antibióticos, quelantes sideróforos e enzimas que hidrolisam a parede celular do patógeno) (VAN LOON et al., 1998; LUGTENBERG et al., 2009).

Ademais, ressalta-se que muitos dos produtos comerciais formulados à base de bactérias promotoras de crescimento possuem como principal componente um (ou mais) organismos do gênero *Bacillus*, os quais estão progressivamente ganhando adesão nos sistemas produtivos e carregam, por característica intrínseca, uma série de possíveis efeitos fisiológicos às plantas, os quais, contudo, ainda são passíveis de maior estudo e elucidação.

2.5 Efeitos bioestimulantes de *Bacillus* spp.

No abrangente grupo de bactérias promotoras de crescimento, verifica-se organismos que se interrelacionam com as culturas, os quais podem aumentar a aptidão da planta por mecanismos diretos ou indiretos, fornecendo nutrientes antes não disponíveis para as raízes, afetando a morfologia e biomassa das plantas e a resistência a fitopatógenos e estresses abióticos (ANTOSZEWSKI et al., 2022). Os mecanismos diretos de promoção de crescimento vegetal incluem a produção de fitohormônios e atividades que aumentam a disponibilidade e absorção de nutrientes, enquanto os mecanismos indiretos são representados em atividades que proporcionam proteção contra patógenos e tolerância a fatores abióticos, como acidez/alcalinidade, salinidade, seca, radiação excessiva, dentre outros (GLICK e GAMARELO, 2022).

Em função dos efeitos benéficos no crescimento de plantas, as bactérias promotoras de crescimento são consideradas uma promissora fonte para bioestimulantes, sobretudo, em análise quanto à produção agrícola sustentável (ROUPHAEL e COLLA, 2020). Sendo assim, espécies bacterianas do gênero *Bacillus* cada vez mais são destacadas na pesquisa e desenvolvimento de inóculos microbianos com fins bioestimulantes, em virtude de o gênero apresentar vasta diversidade funcional e característica formação de endósporos, resultando em produtos de longa vida útil (QIAO et al., 2014; AMARESAN et al., 2019).

Diversos estudos já detectaram efeitos bioestimulantes de *Bacillus* spp. em espécies vegetais. Gunes et al. (2009) verificaram aumento das concentrações de nutrientes em folhas e frutos de morango tratados com *Bacillus* sp. FS-3. Ryu et al. (2011) observaram maior crescimento de folhas e melhores parâmetros de qualidade de frutos em macieiras tratadas com *Bacillus* sp. Wang et al. (2012) constataram que o consócio microbiano (*Bacillus cereus* AR156, *Bacillus subtilis* SM21 e *Serratia* sp. XY21) em pepino gerou efeitos bioestimulantes de tolerância sistêmica induzida ao estresse, bem como aumento de atividades antioxidantes. Lim e Kim (2013) verificaram aumento no comprimento da raiz e da parte aérea e peso seco em condições de estresse hídrico em pimenta tratada com *Bacillus licheniformis* K11A.

No que concerne às culturas de grande importância econômica a nível mundial, verifica-se extensa exploração científica relativa ao uso de *Bacillus* nos sistemas produtivos. Por exemplo, na cultura da soja observa-se constatações de *B. velezensis* S141

promovendo o crescimento e nodulação de plantas, assim como simbiose com organismos fixadores de nitrogênio (KONDO et al., 2023), *B. cereus* GS6 como fator de aumento significativos na absorção de nutrientes pelas plantas e disponibilidade de N, P e K no solo (ARIF et al., 2017) e *B. megaterium* GXU087 como secretor de hormônios vegetais que promovem o crescimento e nodulação de plantas de soja (QIU et al., 2025).

Em milho, o uso de *B. subtilis* A3 em sementes revestidas gerou aumentos significativos em altura, diâmetro do caule e peso fresco, além de reduzir lesões ocasionadas por *Fusarium* spp. (WANG et al., 2025). Em espectro similar, a aplicação de *B. velezensis* YM1 como agente de degradação de micotoxinas em amostras de milho (FENG et al., 2025) e *B. subtilis* na inibição do fungo *Sclerotium rolfsii* (LONGORIA-ESPINOZA et al., 2024), são exemplos de aplicações recentes do gênero *Bacillus* na cultura, como potencial agente de controle fitopatogênico, ao passo que, concomitantemente, promove o crescimento vegetal da cultura de interesse.

Frente ao crescente interesse de uso de bioprodutos na agricultura, carreado principalmente pela pressão em tornar os sistemas produtivos mais sustentáveis, verifica-se o intenso desenvolvimento científico e comercial para a criação de novas soluções nesse mercado, o qual, não obstante, estima-se que movimentará 3,5 bilhões de dólares até o final do ano de 2025 (BASU et al., 2021).

2.6 Tratamento de sementes

O tratamento de sementes consiste na aplicação de determinados agentes químicos, biológicos ou físicos que são utilizados para tornar as sementes livres de patógenos, possibilitar o controle de pragas e doenças durante a germinação, emergência e desenvolvimento inicial, e potencializar o desempenho fisiológico das plantas em seu crescimento (FORSBERG et al., 2003; ZINSMEISTER et al., 2020).

Desse modo, o tratamento de sementes é uma prática interessante sob a ótica de formação de plantas vigorosas e saudáveis, uma vez que fornece proteção às sementes desde seu contato inicial com o solo e germinação, até o estabelecimento da cultura. Contudo, é importante ressaltar que diversos fatores afetam o desempenho do tratamento de sementes, como tipo de semente, condições físicas e fisiológicas do lote a ser tratado, tamanho da semente, formulação do produto, princípio ativo e taxa de aplicação (MACHADO, 2000).

Em revisão sobre o tratamento de sementes com inseticidas, Vojvodic e Bazok (2021) analisaram que a aplicação de agrotóxicos via tratamento de sementes tem como vantagens o uso de uma menor quantidade de ingredientes ativos por unidade de área quando comparado a pulverizações, menor área aplicada com agrotóxicos, e redução de riscos de manuseio de produtos para os agricultores. Além disso, os autores destacam os menores custos para proteção de cultivos em decorrência da menor quantidade de ingredientes ativos aplicados. Entretanto, ressalta-se também desvantagens, como necessidade de alto rigor para realização do tratamento, o uso de inseticidas sistêmicos com maior frequência, a real necessidade de aplicação de agrotóxicos perante o conceito de manejo integrado e os potenciais efeitos em organismos não-alvos.

No atual mercado de tratamento de sementes, há ampla gama de produtos utilizados, como bioestimulantes, nutrientes para as plantas, protetores de plantas (fungicidas, inseticidas, nematicidas, bactericidas e microrganismos), inoculantes, corantes, adjuvantes, surfactantes, ligantes, aglutinantes, pós secantes e materiais de preenchimento (peletização) (AFZAL et al., 2020). Assim, verifica-se a dimensão deste mercado para a agricultura moderna, o qual contempla aplicações em diversos cultivos de grande porte tais como soja, milho, algodão, arroz e trigo.

No que tange as modalidades de aplicação de tratamento de sementes, a operação pode ser realizada por meio de dois diferentes procedimentos. O primeiro é caracterizado como tratamento *On Farm*, no qual a aplicação é realizada na propriedade agrícola com supervisão do agricultor e/ou assistência técnica, através de equipamentos menos precisos e com menor capacidade operacional. Desse modo, usualmente o tratamento *On Farm* apresenta diferentes resultados de qualidade do tratamento de sementes, em decorrência da variabilidade dos equipamentos, tecnologia e condução da operação (LUDWIG et al., 2011).

A segunda modalidade de aplicação de tratamento de sementes é o denominado tratamento de sementes industrial (TSI). Nesse caso, o tratamento é realizado por empresas de sementes (sementeiras e cooperativas) em máquinas de alta tecnologia e elevados padrões de qualidade, objetivando alta eficácia de dosagem, uniformidade e prevenção de danos às sementes (BRZEZINSKI et al., 2015). Nessa modalidade, as sementes são tratadas na própria linha de beneficiamento, ensacadas e armazenadas até o momento da semeadura (SILVA et al., 2020). Além disso, o tratamento de sementes industrial explora formulações combinadas de fungicidas, inseticidas, nematicidas,

micronutrientes, biológicos e outros compostos, visando alcançar eficiência agrônômica aliada à adequação ambiental e segurança operacional.

Sendo assim, frente ao contexto de realização deste trabalho, o uso do tratamento de sementes industrial como modalidade de aplicação para produtos à base de *Bacillus* spp., demonstra uma combinação pertinente no que concerne à busca pelo aumento do potencial produtivo das culturas agrícolas em consonância com a manutenção dos recursos naturais. Tal argumento é apoiado pela busca em obter melhorias fisiológicas ao desenvolvimento das plantas pelo uso de bioprodutos, os quais intrinsecamente desempenham papéis significativos no potencial fisiológico das sementes, através do tratamento de sementes como uma modalidade de inserção de agrotóxicos que busca minimizar os efeitos adversos para os organismos não alvos e aos recursos naturais.

2.7 Potencial fisiológico de sementes

O potencial fisiológico de sementes refere-se ao conjunto de informações sobre a viabilidade e vigor das sementes, a partir das quais é possível identificar lotes de sementes que possuem capacidade de apresentar um alto desempenho no campo após o armazenamento (MARCOS-FILHO, 2013).

Frente a essa caracterização, a produção de sementes de alta qualidade depende de inúmeros fatores que se estendem desde a instalação da lavoura até a pós-colheita, na qual os cuidados com processamento, secagem e armazenamento são imprescindíveis (OLIVEIRA et al., 2021). Além disso, ressalta-se que a qualidade de sementes não pode ser melhorada durante o armazenamento, de tal modo que a preservação dessa característica se faz mandatória, sobretudo, com a presença de condições favoráveis. Diversos são os fatores que influenciam a qualidade das sementes, tais como flutuações das condições de umidade e temperatura, deficiências nutricionais nas plantas, operações inadequadas de colheita, secagem e armazenamento, além de ataques entomológicos e patogênicos que resultarão na deterioração da semente (KRZYZANOWSKI et al., 2008).

Sendo assim, estando o potencial fisiológico ligado a capacidade da plântula em se desenvolver de maneira plena, este é comumente mensurado a partir de testes relativos à germinação, vigor e longevidade. Não obstante, a diminuição da qualidade da semente, frequentemente está atrelada à redução da porcentagem de germinação, aumento no número de plântulas anormais e redução no vigor das plântulas (TOLEDO et al., 2009).

Com isso, estima-se o potencial fisiológico de sementes a partir de testes de germinação e de vigor, estes caracterizados como ferramentas de uso habitual na indústria de sementes (SANTOS et al., 2011), tais como teste de envelhecimento acelerado, teste de condutividade elétrica, teste a frio, tetrazólio e teste de emergência, amplamente executados a partir de protocolos consistentes, visando obter informações acerca do desempenho de um lote de sementes, e de que maneira essas sementes poderão se desempenhar no campo para a formação de *stand* uniforme, prospectando altas produtividades.

Ademais, além do tempo de armazenamento ser um componente determinante na manutenção ou decréscimo do potencial fisiológico de sementes, a prática de tratamentos de sementes também se apresenta como um fator passível de afetar o potencial fisiológico, uma vez que a interação entre os produtos aplicados na semente, assim como o próprio período entre o tratamento em sementeiras/cooperativas até a semeadura, o qual pode chegar a meses, podem gerar condições desfavoráveis para o desempenho ótimo das sementes no campo (CARVALHO et al., 2020).

Com isso, compreender de que maneira diferentes produtos aplicados via tratamentos de sementes podem afetar o potencial fisiológico, caracteriza um ponto de grande valia para o planejamento de uma lavoura, uma vez que tais informações agregam na tomada de decisão sobre como as sementes podem ser afetadas positiva ou negativamente pós-tratamento, e como o potencial fisiológico na formação de plantas vigorosas afetará a densidade de semeadura, número de plantas finais e a produtividade.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

O objetivo deste estudo foi estabelecido mediante duas frentes de trabalho. A primeira teve como objetivo investigar o uso de *Bacillus* como uma solução de manejo para tratamento de sementes de soja por meio de uma análise bibliométrica, avaliando tanto a produção científica global (perspectiva quantitativa) quanto suas aplicações práticas em cenários de manejo (perspectiva qualitativa). A segunda teve como intuito avaliar como formulações comerciais baseadas em *Bacillus* spp. podem afetar o potencial fisiológico de sementes de soja tratadas, e quais são os possíveis efeitos bioestimulantes gerados a partir desses produtos em condições ótimas e de estresse induzido.

3.2 Objetivos Específicos

- Investigar quantitativamente o uso de *Bacillus* como solução de manejo para o tratamento de semente de soja, compreendendo a produção científica da área nos últimos 25 anos pela evolução anual de publicações, países responsáveis pelas publicações, periódicos mais produtivos, e autores mais citados;
- Precisar qualitativamente as aplicações de *Bacillus* para o tratamento de sementes de soja em cenários de manejo da cultura;
- Avaliar e comparar o efeito de produtos à base de *Bacillus* spp. e nematicidas químicos via tratamento de sementes na sanidade, germinação, primeira contagem de germinação, emergência de plântulas em bandejas e em campo, índices de velocidade de germinação e emergência;
- Investigar o potencial efeito bioestimulante de produtos à base de *Bacillus* spp. via tratamento de sementes na biomassa seca e no comprimento de plântulas de soja (parte aérea, sistema radicular e total);
- Avaliar e comparar o efeito de produtos à base de *Bacillus* spp. e nematicidas químicos via tratamento de sementes, em sementes armazenadas durante 180 dias em ambientes climatizado e não climatizado, através de testes de sanidade,

germinação, emergência, índices de velocidade de germinação e emergência, tetrazólio, comprimento e biomassa seca de plântulas;

- Avaliar e comparar o efeito de produtos à base de *Bacillus* spp. e nematicidas químicos via tratamento de sementes, em sementes armazenadas durante 180 dias em ambientes climatizado e não climatizado, submetidos ao estresse hídrico induzido por PEG, quanto a primeira contagem de germinação, germinação, comprimento e matéria seca de plântulas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Revisão bibliométrica sobre o uso de *Bacillus* no tratamento de sementes de soja

4.1.1 Definição das fontes de dados utilizadas na pesquisa bibliométrica

O presente trabalho adotou como bases para coletas de dados dois bancos amplamente utilizados para pesquisa e divulgação de trabalhos científicos, sendo eles a *Web of Science* e Scopus (Elsevier).

A coleção principal da plataforma *Web of Science* engloba mais de 20.000 periódicos indexados, além de livros e anais referentes a produção científica global (cinco bancos de dados de citações: *Science Citation Index Expanded* – SCI-EXPANDED, *Social Sciences Citation Expanded*, *Arts and Humanities Citation Index*, *Conference Proceedings Citation Index-Science* – CPCI-S e *Conference Proceedings Citation Index-Social Science & Humanities* – CPCI-SSH), sendo o índice de citação mais antigo para as ciências, introduzido comercialmente em 1964 e perdurando, em virtude de sua abrangência, como a principal fonte para o desenvolvimento de pesquisas bibliométricas (BIRKLE et al., 2020).

No que se refere a Scopus (Elsevier), este é caracterizado como um dos maiores bancos de dados referente às ciências médicas, técnicas e sociais com curadoria, indexado por rigorosa seleção pelo Conselho Consultivo e de Seleção de Conteúdo Independente, possibilitando a consulta de registros abrangentes de artigos científicos e seu posicionamento como uma das principais fontes de dados bibliométricos (BASS et al., 2020).

Frente a recomendação de busca por mais de uma base, dada que nenhuma fonte cobre todas as áreas científicas em sua totalidade (WALTMAN, 2016), no presente trabalho optou-se pela pesquisa unificada em ambos os bancos de dados citados, objetivando captar conteúdos exclusivos de um determinado acervo e gerar maior significância quanto à produção científica em tratamento de sementes de soja com *Bacillus*.

A coleta de dados para pesquisa bibliométrica foi realizada considerando a produção científica dos últimos 25 anos, isto é, para o período de 2000 a 2024. Foi

utilizado o software R (R CORE TEAM, 2023) e o pacote Bibliometrix para coleta, unificação, tratamento e análise dos dados.

4.1.2 Identificação da literatura e estratégia de pesquisa adotada

Para seleção dos conteúdos frente ao objetivo de identificar o uso de *Bacillus* como solução de manejo para o tratamento de sementes, foram estabelecidos os termos base “seed treatment”, “seed dressing”, “seed priming”, “Bacillus” e “soybean”, visando unificar as áreas de interesse da cultura da soja, tratamento de sementes e uso de *Bacillus*. Desse modo, após testes preliminares utilizando os termos base que conduziam a mais resultados, foi elaborado o termo final de busca em conjunto com operadores de truncagem e operador lógico booleano, o qual foi definido como: “seed* treatment*” and “Bacillus” and “soybean*”. Nesse sentido, o operador de truncagem aspas (“”) limita a busca para termos que estiverem adjacentes no texto, fixando sequência e ordem, e o operador asterisco (*) permite a fixação de prefixo, ação que visa potencializar os resultados da pesquisa nos bancos de dados. No que tange ao operador lógico booleano “AND”, este permite a combinação de dois ou mais termos, sendo usado para restringir a aplicação de *Bacillus* à cultura da soja em tratamento de sementes.

O termo final de busca “seed* treatment*” and “Bacillus” and “soybean*” foi empregado em pesquisa computadorizada em ambas as fontes de dados, *Web of Science* e Scopus, na função de busca em “título, resumo e palavras-chave”, sendo essa uma ação consolidada para buscas direcionadas ao conteúdo científico. Com essa estruturação, foram encontradas 49 publicações indexadas na *Web of Science* e 53 na base Scopus. A partir desses dados, realizou-se a restrição da busca a artigos originais publicados em periódicos, excluindo artigos de revisão e anais de reuniões científicas, sob a ótica das publicações revisadas em pares na premissa de preservar a qualidade dos trabalhos, com confiabilidade ao método experimental, reprodutibilidade e significância (OHLER, 2010; MATSUI et al., 2021).

Após a restrição da busca a artigos originais, foram selecionados 47 e 49 publicações para as bases *Web of Science* e Scopus, respectivamente. Sendo assim, os bancos de dados para ambas as bases foram exportados em formato .CSV, convertidos em *dataframes* no software R e unidos pela função *mergeDb* presente no pacote Bibliometrix do R. Posteriormente, artigos duplicados foram

excluídos pela função *remove.duplicated* considerando o DOI como caractere de diferenciação, atingindo 53 artigos. Finalmente, o conjunto final de artigos alcançado para análise bibliométrica após triagem individual dos dados anteriores, foi de 45 publicações únicas, dado que oito artigos foram excluídos por não se enquadrarem à aplicação estudada no tema, isto é, não se relacionarem ao uso de *Bacillus* spp. para sementes de soja. A estratégia de pesquisa adotada está apresentada na Figura 1. A busca foi realizada em agosto de 2024.

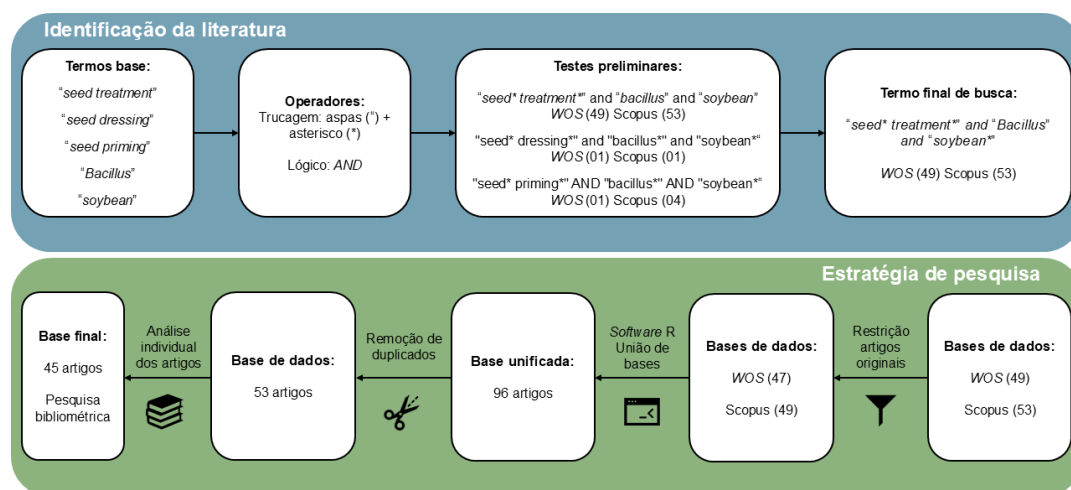


Figura 1. Fluxograma para a identificação da literatura e estratégia de pesquisa para identificar o uso de *Bacillus* spp. como solução de manejo no tratamento de sementes de soja.

4.1.3 Análises bibliométrica quantitativa e qualitativa

Com a base de dados estabelecida, a revisão bibliométrica foi realizada sob duas frentes de análise, uma quantitativa e outra qualitativa.

No que se refere à análise quantitativa, esta foi desenvolvida com intuito de identificar a produção científica referente ao uso de *Bacillus* spp. no tratamento de sementes de soja, a partir das variáveis de evolução anual da produção científica, países, periódicos atrelados às publicações, palavras-chave mais utilizadas, artigos mais citados e os principais autores, considerando os 45 artigos finais obtidos nas bases de dados. As análises foram realizadas com auxílio da função *biblioshiny* do pacote Bibliometrix no *software* R, sendo o *biblioshiny* o aplicativo de interface *web* para o Bibliometrix, por meio do qual há facilidade para a importação de dados e análise gráficas.

Já no que concerne à análise qualitativa, todos os artigos foram avaliados individualmente e, através dessa triagem, foi realizada a categorização das publicações de acordo com o objetivo do uso dos *Bacillus* spp. na cultura da soja, sendo: (1) manejo de nematoides; (2) proteção contra fitopatógenos; (3) efeito promotor de crescimento; (4) auxílio em condições adversas; (5) melhoria nutricional e (6) aplicações pontuais. Nesse sentido, é válido ressaltar que diversos trabalhos possuem sobreposições quanto às categorias aqui definidas, podendo ser enquadrados em duas ou mais categorias, contudo, aqui buscando realizar uma classificação de acordo com o contexto experimental e o objetivo explicitado em cada publicação. Logo, cada artigo se enquadrou em uma única classe.

Com isso, a ótica de análise qualitativa denota, dentro do recorte da produção científica aqui estabelecido, as aplicações de bactérias promotoras de crescimento do gênero *Bacillus* no contexto produtivo da cultura da soja, discorrendo sobre as potencialidades e prováveis desdobramentos de tais pesquisas quanto ao desenvolvimento de ferramentas alinhadas à construção de uma agricultura ainda mais sustentável, sobretudo, frente as demandas de aumento produtivo e mitigação de danos para perenidade dos recursos naturais na produção de alimentos.

4.1.4 Limitações do estudo da análise bibliométrica

Em relação à abordagem bibliométrica, é necessário destacar que a indexação de termos de pesquisa, mesmo que executada perante a análise de palavras e termos que melhor reflitam a segmentação da área de estudo, podem não abranger a totalidade de estudos pertinentes ao tema, uma vez que termos similares podem ter sido utilizados em outras publicações para indexação, e estes não sejam captados pelos termos de busca estabelecidos (TEIXEIRA e RODRIGUES, 2022). Em consonância com tal aspecto, é válido ressaltar que nenhuma base de dados apresenta cobertura mundial da produção científica e a escolha da base afeta a precisão dos resultados pela forma de cobertura e indexação (GEOK e ALI, 2021), aspecto que justifica a busca por mais de uma base de dados. Entretanto, mesmo com a combinação de diferentes fontes, é essencial explicitar que trabalhos bibliométricos são recortes, de maior ou menor proporção, de cenários mais amplos, com intuito de

identificar e compreender a produção científica em determinada área e as tendências a serem exploradas a partir dos conhecimentos específicos.

4.2 Avaliação dos tratamentos de sementes no desempenho fisiológico em sementes de soja e efeito bioestimulante

4.2.1 Caracterização da área de estudo para realização dos ensaios de laboratório e de campo

A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Agricultura Orgânica - LAO e em casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, campus Araras, SP. A primeira etapa compreendeu o estudo dos efeitos de produtos comerciais à base de *Bacillus* spp., aplicados via tratamento de sementes, no potencial fisiológico das sementes de soja. A segunda etapa foi caracterizada pela avaliação dos efeitos bioestimulantes dos produtos à base de *Bacillus* spp. em plantas de soja.

Os ensaios foram realizados com lotes de sementes de soja com alto nível de vigor e germinação superior a 80%, segundo certificação comercial, definida mediante disponibilidade para o ensaio. Foram utilizadas sementes da cultivar BMX POTÊNCIA RR, obtidas comercialmente da empresa Sementes Guará, multiplicadora certificada de sementes Bramax, sendo essa uma cultivar com tolerância moderada aos principais nematoides que atacam a cultura da soja e utilizada na região agrícola do Centro-Sul do Brasil, a qual possui crescentes índices de problemas com esses fitoparasitas.

Foram avaliados seis tratamentos de sementes, sendo três produtos à base de *Bacillus* spp., dois nematicidas químicos registrados, e sementes que não receberam nenhum tratamento, definidas como controle. Os nematicidas químicos foram adotados como tratamento padrão, simulando um contexto recorrente a nível produtivo. Seguindo as especificações técnicas da bula de cada produto comercial, os tratamentos testados foram caracterizados segundo a Tabela 1.

O tratamento de sementes foi realizado por princípio de centrifugação em equipamento *Wintersteiger hege* 11, dispositivo laboratorial para simulação de tratamento de sementes industrial, no centro de pesquisas da Corteva Agriscience em Mogi Mirim/SP, no dia 10 de outubro de 2024. Após o tratamento, as sementes foram dispostas

em bandejas de plástico em ambiente de laboratório para secagem e armazenadas em sacos de papel kraft identificados até a realização do experimento.

Tabela 1. Tratamentos testados nos ensaios de potencial fisiológico e efeito bioestimulante de produtos à base de *Bacillus* spp. em sementes de soja.

Tratamento	Nome comercial	Bactéria / Ingrediente ativo	Número de células	Dose (mL p.c Kg ⁻¹)
T0	Controle	-	-	-
T1	Lumialza	<i>B. amyloliquefaciens</i> PTA-4838	6,1 x 10 ¹⁰ UFC mL ⁻¹	0,2 mL
T2	Furatrop	<i>B. subtilis</i> CNPSO 2657	1,9 x 10 ⁹ UFC mL ⁻¹	5,0 mL
T3	Votivo®Prime	<i>B. firmus</i> I-1582	4,0 x 10 ⁹ UFC g ⁻¹	1,0 mL
T4	AVICTA 500 FS®	Abamectina	500g L ⁻¹	5,0 mL
T5	CropStar®	Imidaclopride + Tiodicarbe	150g L ⁻¹ + 450 g L ⁻¹	7,0 mL

UFC: unidades formadoras de colônia; p.c Kg⁻¹: produto comercial por quilograma de sementes.

Os testes para determinar a qualidade das sementes de soja e efeito bioestimulante foram realizados imediatamente após o tratamento e após 180 dias de armazenamento. Para o fator armazenamento, dois ambientes foram analisados, sendo eles: (1) armazenamento em câmara fria com temperatura (10°C) e umidade relativa do ar (40%) e (2) armazenamento em ambiente de galpão, sem controle de temperatura e umidade do ar. O fluxograma para ilustração dos testes realizados em cada período de ambiente de armazenamento está apresentado na Figura 2.

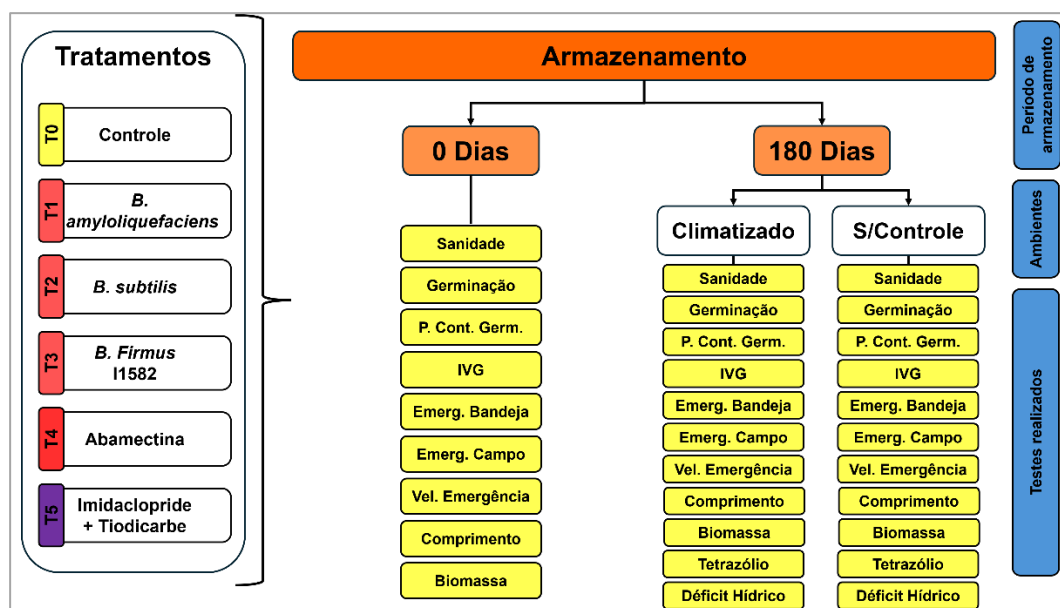


Figura 2. Sistematização dos testes realizados em sementes de soja, cultivar BMX POTÊNCIA, tratadas com produtos à base de *Bacillus* spp., em diferentes períodos e ambientes de armazenamento.

4.2.2 Avaliação de sanidade de sementes

Previamente aos ensaios, foi realizado o teste de sanidade de sementes pelo método do papel de filtro (*blotter test*) descrito no Manual de Análise Sanitária de Sementes (BRASIL, 2009a). Para cada tratamento, foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes dispostas em três discos de papel filtro, umedecidos com volume de água destilada 2,5 vezes a massa do papel, colocadas em placas de Petri esterilizadas e mantidas em incubadora BOD com fotoperíodo de 12 h durante sete dias a $20 \pm 2^\circ\text{C}$, com transição de 24 horas de congelamento a -18°C . As sementes foram analisadas individualmente com auxílio de um estereomicroscópio de resolução 30-80X, examinando a ocorrência de frutificações típicas do crescimento de fungos, e os corpos de frutificação com conídios foram analisados em microscópio ótico 400X para confirmar a identidade dos fungos. Os resultados foram expressos em percentual de ocorrência de fungos.

4.2.3 Avaliação do efeito do tratamento de sementes com *Bacillus* spp. na germinação e vigor de sementes de soja

A avaliação da aplicação dos produtos nas sementes de soja foi realizada por meio da germinação, primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação, teste de emergência de plântulas em bandejas e em campo, velocidade de emergência e teste de tetrazólio. Todos os testes foram realizados para os tempos zero e 180 dias de armazenamento em ambos os ambientes, climatizado e não climatizado, e o teste de tetrazólio apenas para 180 dias de armazenamento em ambos os ambientes, visando a presença de um fator estressor para caracterizar diferenças no vigor e viabilidade das sementes tratadas.

4.2.3.1 Teste de germinação

O teste de germinação foi realizado com quatro repetições com 50 sementes por tratamento. Para cada tratamento, as sementes foram distribuídas em duas folhas de papel umedecidas com água destilada na proporção de 2,5 vezes sua massa. Após a semeadura, os rolos foram mantidos em câmara de germinação regulada a 25°C por um período de sete dias, sendo a primeira contagem realizada no quinto dia. Os resultados foram expressos em porcentagem média de plântulas normais, isto é, indivíduos com sistema radicular bem desenvolvido, parte aérea bem desenvolvida com hipocótilo reto, dois cotilédones bem desenvolvidos, folhas primárias verdes em expansão e gema apical íntegra, adaptado da RAS (BRASIL, 2009b).

4.2.3.2 Primeira contagem de germinação e índice de velocidade de germinação (IVG)

Os dados para os cálculos da primeira contagem de germinação e do índice de velocidade de germinação (IVG) foram obtidos do teste de germinação. A primeira contagem de germinação de plântulas normais foi realizada no quinto dia após a instalação do teste, objetivando estimar o vigor das sementes, expressa em porcentagem. O índice de velocidade de germinação (IVG) foi composto por contagens diárias de plântulas normais, no mesmo horário, até o sétimo dia após a instalação do teste de germinação. O cálculo do IVG foi realizado pela equação proposta por Maguire (1962):

$$IVG = \frac{G_1}{N_1} + \frac{G_2}{N_2} + \dots + \frac{G_n}{N_n},$$

em que G_i representa o número de plântulas normais germinadas no i -ésimo dia, $i = 1, \dots, n$; e $N_1, N_2, \dots, N_n$ representam o número de dias decorridos da semeadura à primeira, segunda e última contagem, respectivamente.

4.2.3.3 Teste de emergência de plântulas em bandejas

A emergência de plântulas em bandejas foi conduzida com quatro repetições de 50 sementes para cada tratamento. As unidades amostrais foram constituídas por bandejas de plástico com dimensões de 43,5 cm x 29,6 cm x 7,5 cm (C-L-A) com capacidade volumétrica de 7,5 litros. A terra foi previamente homogeneizada. A semeadura foi realizada com auxílio de gabarito de 50 sementes em cada bandeja, com profundidade de 3 cm e espaçados 4 cm entre si, colocando cinco sementes por linhas paralelas, dez linhas por bandeja.

O teste foi realizado em laboratório com molhamento manual diário de 200 mL de água por bandeja. Foram avaliadas diariamente o número de plântulas emergidas, definido como plântulas com os cotilédones completamente visíveis acima da terra, até que esse número se mantivesse constante ou até sete dias após a semeadura. Após sete dias, foi avaliado o número final de plântulas emergidas e o resultado foi expresso em porcentagem, de acordo com as prescrições das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009b).

4.2.3.4 Índice de velocidade de emergência da plântula em bandejas (IVE)

O cálculo do índice de velocidade de emergência em bandejas (IVE) foi obtido por meio da avaliação diária descrita no item 4.2.3.3. As contagens do número de plântulas emergidas, com cotilédones completamente visíveis acima da terra, foram realizadas diariamente no mesmo horário durante sete dias após a instalação do ensaio, sem descarte de plantas emergidas. Desse modo, o IVE foi calculado pela fórmula proposta por Maguire (1962):

$$IVE = \frac{E_1}{N_1} + \frac{E_2}{N_2} + \dots + \frac{E_n}{N_n},$$

em que IVE é a velocidade de emergência expressa em dias; $E_1, E_2, \dots, E_n$ representam o número de plântulas normais emergidas no n-ésimo dia; e $N_1, N_2, \dots, N_n$ representam o número de dias da semeadura na primeira, segunda até a última contagem, respectivamente.

4.2.3.5 Teste de emergência e velocidade de emergência de plântulas em campo

O ensaio foi conduzido em área experimental de 30,25 m², com 25 cm de cada extremidade como área de borda, caracterizando uma área útil de 25 m² (5,0 m x 5,0 m). Linhas longitudinais de 5,0 m espaçadas 0,20 m entre si foram abertas e semeadas com 100 sementes por linha. O ensaio foi conduzido com seis tratamentos com quatro repetições cada, em que cada linha caracterizava uma repetição, compondo 24 linhas totais (Figura 3). Diariamente, o número de plântulas emergidas foi avaliado para cada tratamento até sete dias após a semeadura. Os dados foram expressos em porcentagem final de plantas emergidas por tratamento. A velocidade de emergência em campo foi avaliada assim como os métodos descritos no item 4.2.3.4.

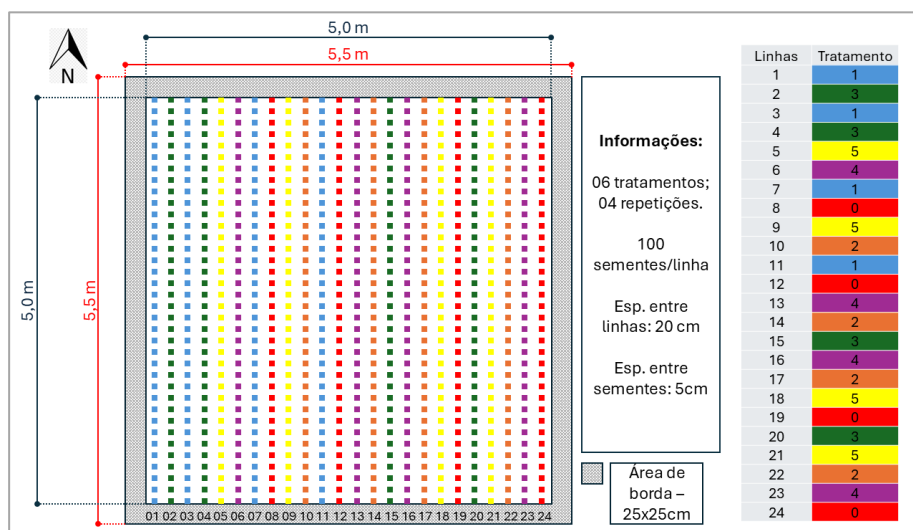


Figura 3. Disposição dos tratamentos no campo para o teste de emergência e velocidade de emergência de plântulas de soja, cultivar BMX POTÊNCIA, tratadas com produtos à base de *Bacillus* spp.

4.2.3.6 Teste de tetrazólio

Para o teste de tetrazólio foram utilizadas 200 sementes de cada tratamento divididas em quatro subamostras de 50 sementes cada. Previamente, as sementes foram hidratadas em papel de germinação umedecidos 2,5 vezes sua massa, durante 18 horas, em câmara de germinação a 25°C. Após esse período, as sementes foram transferidas para frascos de vidro contendo solução de tetrazólio a 0,075%, onde permaneceram durante aproximadamente 120 minutos em estufa a 41°C. Após esse período, as sementes foram lavadas em água corrente e mantidas submersas em água em um refrigerador até o momento da avaliação. As sementes foram avaliadas seguindo os critérios estabelecidos por França Neto et al. (2018), levando em consideração a viabilidade, vigor, ocorrência de danos e anomalias embrionárias, resultados expressos em porcentagem.

4.2.4 Avaliação das sementes de soja em função da aplicação de *Bacillus* spp.

A avaliação do efeito bioestimulante do tratamento de sementes com *Bacillus* spp. em sementes de soja foi realizada por meio das variáveis de biomassa seca de plântulas (parte aérea, sistema radicular e total) e comprimento de plântulas (parte aérea, sistema radicular e total). Esses testes foram realizados para todos os períodos (avaliação inicial e 180 dias) e ambientes de armazenamento (climatizado e não climatizado).

4.2.4.1 Comprimento da parte aérea (CPA) e comprimento do sistema radicular (CSR)

Para determinar o comprimento da parte aérea e do sistema radicular foram utilizadas quatro repetições de 20 sementes cada, totalizando 80 sementes para cada tratamento. As sementes foram distribuídas em duas folhas de papel umedecidas com água destilada na proporção de 2,5 vezes sua massa. Posteriormente, os rolos de papel foram mantidos em germinador de sementes a 25°C por cinco dias. Em seguida, os rolos foram abertos e foi realizada a separação da parte aérea e da raiz, adotando como critério de separação das partes a região imediatamente acima da raiz primária da plântula, retirando também o tegumento restante da semente, mantendo os cotilédones. O comprimento da parte aérea (CPA) e o comprimento do sistema radicular (CSR) foram

determinados com auxílio de uma régua milimetrada e os resultados expressos em centímetros por plântula.

4.2.4.2 Determinação da massa seca de parte aérea e sistema radicular

Este teste foi realizado em conjunto com a determinação do comprimento da parte aérea e da raiz. As sementes foram distribuídas em duas folhas de papel umedecidas com água destilada na proporção de 2,5 vezes sua massa. Posteriormente, os rolos de papel foram mantidos em germinador de sementes a 25°C por cinco dias.

Após a separação de parte aérea e sistema radicular descrita no item 4.2.4.1, as respectivas partes separadas foram acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 60°C±5, até a obtenção de massa constante (NAKAGAWA, 1999). Atingido este ponto, a massa de matéria seca foi determinada em balança de precisão de 0,0001 g e os resultados expressos em gramas.

4.2.5 Teste de estresse hídrico

Para o ensaio de estresse hídrico, foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes cada, totalizando 200 sementes para cada tratamento. As sementes foram distribuídas em duas folhas de papel umedecidas com soluções aquosas de polietilenoglicol (PEG 6000) na proporção de 2,5 vezes sua massa. Posteriormente, os rolos de papel foram mantidos em germinador de sementes a 25°C por cinco dias. Em seguida, os rolos foram abertos e foram avaliadas a porcentagem de plântulas normais, a matéria seca e o comprimento de plântulas, assim como descrito nos tópicos 4.2.3.2, 4.2.4.1 e 4.2.4.2, respectivamente. Após sete dias da instalação, foi realizada a avaliação de germinação final.

O cálculo da quantidade de PEG 6000 adicionada para obtenção de cada potencial osmótico foi realizado de acordo com a fórmula proposta por Michel e Kaufmann (1973), expressa por:

$$\psi_w = -(1,18 \times 10^{-2})C - (1,18 \times 10^{-4}) C^2 + (2,67 \times 10^{-4}) CT + (8,39 \times 10^{-7}) C^2T$$

em que ψ_w é o potencial osmótico em bar, C é a concentração do agente osmótico (g de PEG 6000/litro de água) e T é a temperatura.

Adotando como temperatura 25°C das condições estabelecidas na câmara de germinação, as concentrações de PEG 6000 em g L⁻¹ de água utilizadas para obtenção de cada potencial são expressas na Tabela 2.

Tabela 2. Concentração de PEG 6000 usada para obtenção de diferentes potenciais osmóticos no teste de estresse hídrico, a 25°C, em sementes de soja, cultivar BMX POTÊNCIA, tratadas com produtos à base de *Bacillus* spp.

Potencial osmótico (MPa) ¹	Concentração PEG 6000 (g L ⁻¹ de água)
0,00	0,000
-0,04	35,550
-0,10	78,472
-0,20	119,544
-0,40	178,302

¹ 1 MPa = 10 bar.

4.2.6 Análises estatísticas

Os ensaios para o período inicial de armazenamento foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado com seis tratamentos e quatro repetições. Os dados obtidos pelas avaliações descritas anteriormente foram submetidos inicialmente à análise de variância (ANOVA). Posteriormente, as médias dos tratamentos foram comparadas entre si pelo teste de Scott-Knott.

Para os ensaios referentes a 180 dias de armazenamento, o delineamento foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 6 x 2, sendo seis tratamentos de sementes e dois ambientes de armazenamento (climatizado e não climatizado). Os dados obtidos foram submetidos à ANOVA e, constatada interação significativa entre os tratamentos e os ambientes, foi calculado o desdobramento da interação utilizando-se do teste de Scott-Knott. Quando a interação não foi significativa, foram analisados os efeitos primários de maneira individual, pelo mesmo teste para comparação das médias.

Por fim, para o teste de estresse hídrico o delineamento foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 2 x 5, sendo cinco tratamentos mais o controle, dois ambientes de armazenamento (climatizado e não climatizado) e cinco potenciais osmóticos (0, -0,04; -0,10, -0,20 e -0,40 MPa). Mais uma vez os dados obtidos foram

submetidos inicialmente à ANOVA e, posteriormente, constatada interação significativa entre os fatores, o desdobramento da interação pelo teste de Scott-Knott. Para os potenciais osmóticos, a análise de regressão também foi realizada.

Para todas as análises estatísticas foi utilizado o *software* R (R CORE TEAM, 2025), e o nível de significância adotado em todas as análises foi o de 5%. Ainda, as pressuposições de normalidade e homogeneidade de variâncias foram verificadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Revisão bibliométrica sobre o uso de *Bacillus* para o tratamento de sementes de soja

5.1.1. Análise quantitativa da produção científica de *Bacillus* spp. para o tratamento de sementes de soja (2000-2024)

No que concerne a análise quantitativa para as publicações relacionadas à aplicação de *Bacillus* spp. no tratamento de sementes de soja, inicialmente é possível observar que a produção científica no recorte em análise (2000-2024) inexistiu para os quatro primeiros anos do período, além de apresentar marcante inconstância até o ano de 2015, a partir do qual verifica-se um aumento considerável no número de publicações que culmina no maior índice de produção alcançado em 2018, 2022 e 2023, com seis artigos em cada ano (Figura 4).

Discorrendo sobre a baixa atividade de publicações no período inicial em análise, verifica-se que para os dez primeiros anos do intervalo, os estudos com o uso de *Bacillus* spp. em tratamento de sementes estavam direcionados majoritariamente a esforços contínuos em elucidar o potencial desse gênero bacteriano como uma ferramenta adicional para o manejo de fitopatógenos, sobretudo para doenças fúngicas e bacterianas que acometem a cultura da soja. Tal cenário é claramente explicitado a partir de diversas aplicações de *Bacillus* spp. no contexto fitopatológico, a exemplo do emprego de *Bacillus subtilis* para o complexo de podridões causados por *Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *Rhizoctonia solani* (JENSEN et al. 2004) e *F. graminearum* (ZHANG et al., 2009); *B. pumilus* para o controle de *R. solani* (XUE et al., 2006; BRADLEY, 2008), *Fusarium* spp. (BRADLEY, 2008; MERTZ, 2009) e *Phomopsis* spp. (MERTZ, 2009); além de *B. amyloliquefaciens* como alternativa de manejo de *Xanthomonas axonopodis*, sendo essa a bactéria causadora de pústula bacteriana na soja (BUENSANTEAI et al., 2009). Ademais, análises pontuais quanto ao efeito da aplicação de *Bacillus* na comunidade de microrganismos da rizosfera (CORREA et al., 2009), controle de nematoides (NUNES et al., 2010) e na promoção de crescimento em plantas (ARAUJO, 2007), foram desenvolvidas na primeira década do recorte em análise.

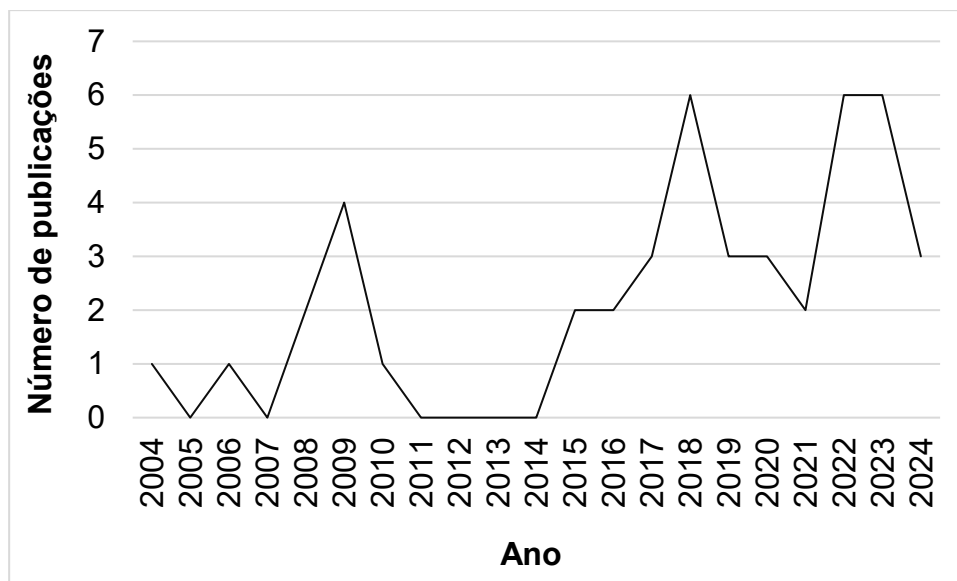


Figura 4. Frequência absoluta da produção científica mundial referente ao uso de *Bacillus* spp. para o tratamento de sementes de soja.

Fonte de dados: *Web of Science* e *Scopus* (2024).

Diante do exposto, é notável que aplicações de bactérias promotoras de crescimento do gênero *Bacillus* como agentes de biocontrole, há tempos são exploradas como ferramentas alternativas, ou então aditivas, no manejo de diversos patógenos, não obstante, sendo caracterizadas como o gênero mais estudado da classe *Bacilli* no tocante ao biocontrole de doenças de plantas (SERRÃO et al., 2024). Nesse contexto de busca por estratégias de controle que apresentem a consonância entre eficácia e adequação ambiental, aspecto frequentemente atrelado à exploração do controle biológico, a exploração do gênero *Bacillus* como agente de biocontrole reforça a afloração de preocupações relativas à manutenção sustentável dos sistemas produtivos, especialmente frente às mudanças climáticas e ao aumento de pressões fitossanitárias. Não obstante, verifica-se como reflexo direto de tais mudanças bióticas e abióticas, dificuldades climáticas severas e crescentes, atreladas à aceleração de casos de resistência de patógenos a diversos ingredientes ativos que ameaçam a sustentabilidade, a longo prazo, de inúmeras culturas agrícolas, incluindo a soja (BEVERS et al., 2023), e traz à tona a necessidade de novas ferramentas de manejo.

Frente à exploração inicial dos resultados, verificou-se que para os 45 artigos englobados na análise, 12 são os países indexados pelas suas publicações. Dentre eles, os países com maior participação na produção científica foram Estados Unidos (35

publicações), Brasil (10 publicações), e Argentina e Canadá com três publicações cada. Além disso, China, Indonésia, Sérvia, Tailândia e Egito foram responsáveis por duas publicações cada, e outros três países por uma única publicação (Figura 5). Nesse quesito, é válido ressaltar que uma mesma publicação é passível de ser desenvolvida pela contribuição de dois ou mais países, em decorrência da rede de colaboradores que compõe a produção científica, sendo este o aspecto que explica o valor de participação dos países somados ultrapassarem o limite de 45 publicações que caracterizam o banco de dados analisado.

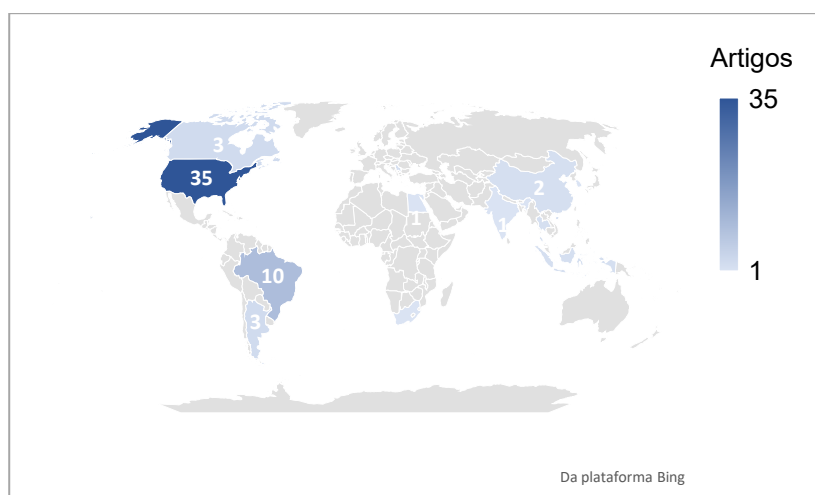


Figura 5. Número de publicações por país, originadas de 45 artigos relacionados ao uso de *Bacillus* spp. para o tratamento de sementes de soja.

Fonte de dados: *Web of Science* e *Scopus* (2024).

A representação de países como Estados Unidos e Brasil como os principais produtores científicos para o uso de *Bacillus* spp. na cultura da soja, pode facilmente estar relacionado à relevância de ambas as nações como maiores produtores mundiais da cultura, os quais, na safra 2024/2025, representaram 28 e 40% da produção global de soja, respectivamente (USDA, 2025a). Somado a esse aspecto, é de fundamental importância salientar que estudos bibliométricos em sua natureza possuem limitações quanto aos termos que representam um determinado campo científico e usabilidade em diferentes países, e em função disso são pautados em técnicas de bibliografia estatística e no uso de bases de indexação relevantes, objetivando a melhor padronização de informações que representem a realidade, a fim de evitar a designação tendenciosa de resultados (PIMENTA et al., 2017).

Dessa forma, ressalta-se que a presente análise compõe um recorte da ampla área tipificada como a aplicação de microrganismos para a cultura da soja, e que as definições de busca aqui adotadas foram conduzidas sob testes preliminares, justamente com intuito de encontrar dados próximos da realidade científica, a partir dos quais acredita-se estarem alinhados com o atual contexto produtivo, ainda assim, reconhecendo que são passíveis de não abranger a produção científica do segmento em sua integralidade.

Ademais, ao comparar a participação em porcentagem dos países na contribuição para as publicações (Figura 6), ressalta-se a predominância de Estados Unidos e Brasil como principais produtores de publicações na área, os quais juntos englobam 71,4% das publicações.

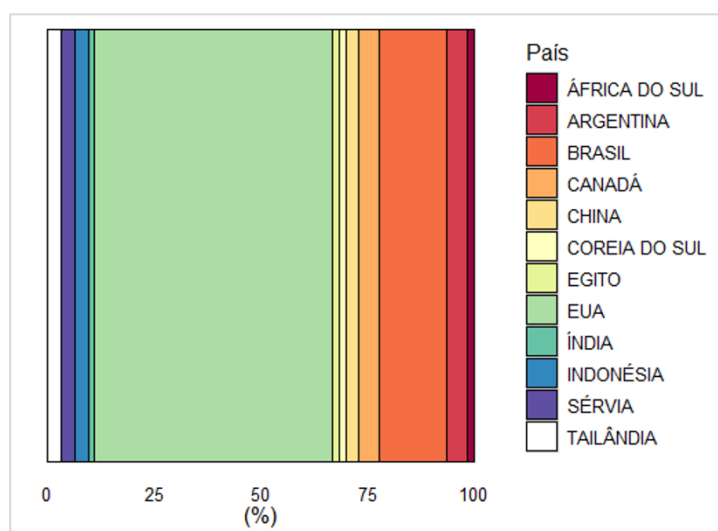


Figura 6. Representação da participação relativa de cada um dos 12 países indexados pelo número de publicações com *Bacillus* spp. para o tratamento de sementes de soja. **Fonte de dados:** *Web of Science* e *Scopus* (2024).

Quanto aos periódicos mais relevantes, a análise explicitou seis periódicos com maior número de publicações para o período (Figura 7), dentre as 33 revistas nas quais os artigos foram publicados. A revista de maior destaque foi *Plant Disease*, com sete publicações, e 27 revistas tiveram apenas uma publicação indexada (dados não mostrados). Nesse sentido, verifica-se que as revistas mais produtivas possuem escopo com no mínimo um objetivo voltado ao estudo de fitopatógenos, o que denota novamente a aplicação de *Bacillus* spp. para o controle de doenças. Em perspectivas amplas de abordagem, essa constatação pode estar atrelada à alta diversidade de patossistemas já

estudados, em que *Bacillus* spp. foi eficaz e apresentou resultados consistentes (ANCKAERT et al., 2022).

Além disso, estes resultados demonstram similaridade com as tendências encontradas pela análise qualitativa, uma vez que dos 45 artigos analisados, 62,1% foram enquadrados ou como fins de aplicação para o manejo de nematoides ou na proteção contra patógenos fúngicos e bacterianos (Tabela 3).

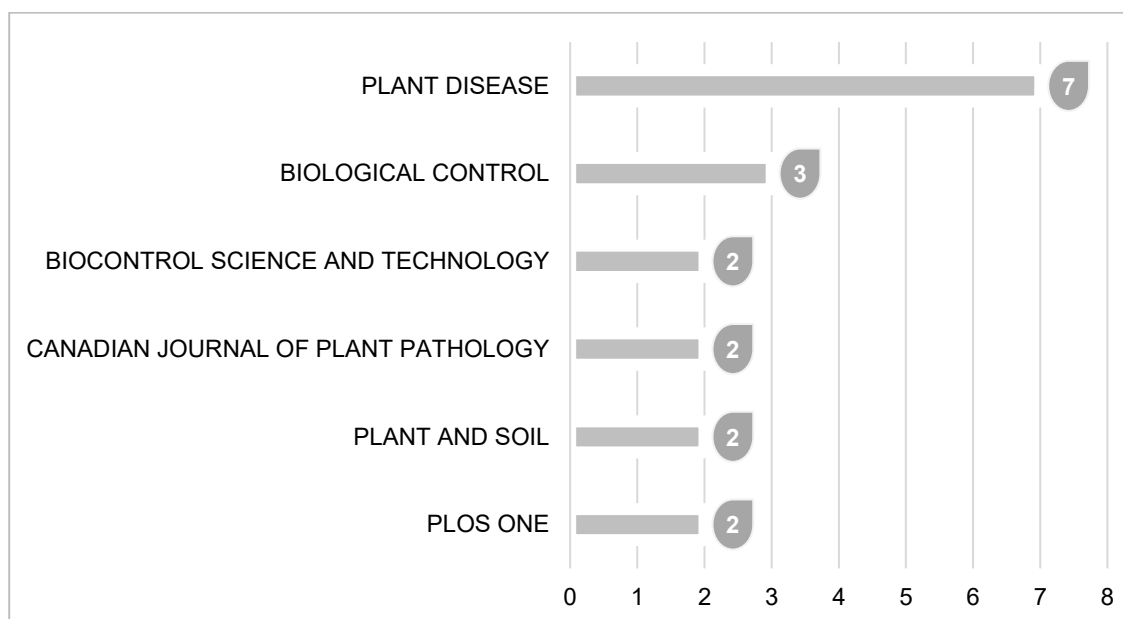


Figura 7. Periódicos com maior número de publicações com *Bacillus* spp. para o tratamento de sementes de soja, no período de 2000 a 2024.

Fonte de dados: *Web of Science* e *Scopus* (2024).

Em prosseguimento à análise, os termos mais utilizados nas publicações como palavras-chave, excluindo-se aqueles intrínsecos aos mecanismos de busca aqui utilizados, como “*soybean*” e “*Glycine max*”, ambos em referência à cultura agrícola em questão, e “*seed treatment*” como denotação para a modalidade de aplicação desses agrotóxicos, são compostos por uma grande quantidade de microrganismos citados, com destaque para as espécies de *Bacillus firmus*, *B. amyloliquefaciens*, *B. pumilus*, *B. thurigiensis* e, principalmente, *B. subtilis*, além de termos que se referem ao controle e estudo de doenças em plantas como “*disease control*”, “*prevention and control*” e “*plant disease*” (Figura 8).

Não obstante, a maior parte dos estudos envolvendo a avaliação de produtos comerciais ou linhagens de microrganismos pertencentes ao gênero *Bacillus* circundam a

específica dos microrganismos, isto é, o uso de *Bacillus* spp. para calibração de um método, apresentou notável influência no segmento gerando um protocolo que permite rastreabilidade e avaliação de bioinsumos com maior assertividade.

Além disso, destacam-se os estudos realizados por Correa et al. (2009) avaliando a cepa BNM122 de *Bacillus amyloliquefaciens* como agente de biocontrole, e Bradley (2008) testando fungicidas e *Bacillus pumilus* GB34 em diversas condições de campo, os quais foram citados 72 e 71 vezes, respectivamente.

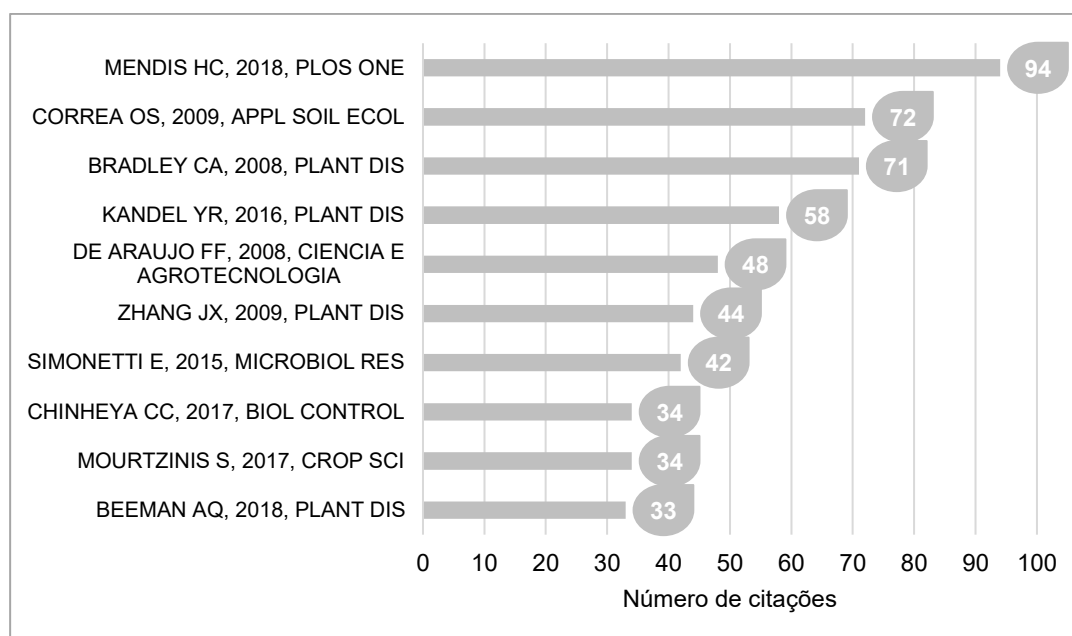


Figura 9. Dez artigos mais citados sobre a utilização de *Bacillus* spp. para o tratamento de sementes de soja.

Fonte de dados: Biblioshiny (2024).

5.1.2. Análise qualitativa dos 45 artigos sobre a utilização de *Bacillus* spp. para o tratamento de sementes de soja no período (2000-2024)

A presente seção aborda os principais resultados obtidos nos 45 artigos que compõem o conjunto de dados desta análise bibliométrica. A designação de aplicação de cada um dos artigos é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Categorização dos 45 artigos analisados quanto aos fins de aplicação de *Bacillus* spp. na cultura da soja, número total de artigos e porcentagem por categoria.

Categoria	Identificação da literatura			(n)	(%)
Proteção contra patógenos	Xue et al. (2006) Buensanteai et al. (2009) Weems et al. (2015) Vosberg et al. (2017) Parikh e Adesemoye (2018) Nurcahyanti et al. (2023)	Bradley (2008) Zhang et al. (2009) Kandel et al. (2016) Miao et al. (2018) Sjarpe et al. (2020) Putri et al. (2023)	Mertz et al. (2008) Simonetti et al. (2015) Reznikov et al. (2016) Parikh et al. (2018) Borges et al. (2022)	17	37,7
Manejo de nematoides	Nunes et al. (2010) Beeman et al., (2018) Zhaoa et al. (2020) Oliveira et al. (2023)	Chinheya et al. (2017) Beeman et al., (2019) Gardiano-Link et al. (2022) Bissonnette et al. (2024)	Mourtzinis et al. (2017) Bissonnette et al. (2020) Nascimento et al. (2022)	11	24,4
Efeito promotor crescimento	Jensen et al. (2004) Kangsopaet al. (2022) Silva et al. (2023)	Araujo (2007) Miljaković et al. (2022) Solanki et al. (2023)	Tavanti et al. (2020) Senger et al. (2022) Miljakovic et al. (2024)	9	20,0
Melhoria nutricional	Costa et al. (2019)	Adesemoye et al. (2021)	Li et al. (2021)	3	6,6
Aplicações pontuais	Correa et al. (2009)	Barlow et al. (2018)	Mendis et al. (2018)	3	6,6
Auxílio em condições adversas	Kim e Sang (2023)	Al-Shammari et al. (2024)		2	4,4
Total				45	100

* Os artigos foram classificados de acordo com a principal aplicação explorada nos estudos, ressaltando-se que em análise geral seria plausível classificar um mesmo artigo em duas ou mais categorias.

Para os artigos desenvolvidos sob foco da aplicação de *Bacillus* spp. para proteção contra fitopatógenos, foram verificadas 17 publicações bem distribuídas pelo período de análise, sendo essa a categoria com maior número de artigos.

Sendo assim, grande parte dos estudos buscaram avaliar a aplicação de cepas específicas de *Bacillus* spp. para redução de doenças causadas pelo complexo de *Fusarium* na cultura da soja. Mertz et al. (2008) correspondem ao primeiro artigo desse segmento, com ensaios realizados com tratamentos químicos de Carboxina + Thiram,

Difenoconazole + Metalaxil, e diferentes concentrações de *Trichoderma* spp. e *Bacillus pumilus* em sementes de soja. Em suma, os autores não constataram efeitos significativos do uso de bioinsumos na emergência de plantas no campo e na sanidade das sementes, sobretudo no que se refere a *Fusarium* spp. e *Phomopsis* spp., enquanto os tratamentos químicos difeririam estatisticamente do controle, com aumento na emergência e redução da incidência de patógenos. Salienta-se, também, que para o teste de sanidade, os autores não aplicaram o tratamento composto por *B. pumilus*, não havendo dados concretos sobre o efeito deste tratamento quanto à severidade dos fungos detectados.

Diante do exposto, aqui vale a observação de que uma das maiores dificuldades de se encontrar resultados consistentes da aplicação de bioinsumos via tratamento de sementes no passado se caracterizava pela formulação pouco eficaz dos produtos comerciais, como turfas de baixa estabilidade ou preparos não padronizados produzidos dentro da propriedade agrícola. Entretanto, tal ponto de dificuldade foi amplamente superado pelo desenvolvimento de produtos em formulação FS, isto é, uma formulação caracterizada como modificações em suspensões concentradas com aditivos suplementares para adesão específica à superfície de sementes, além de coloração típica para indicação de segurança (BRASIL, 2017), a qual gerou acréscimo notável na qualidade de produtos formulados específicos para o tratamento de sementes.

Em continuidade aos estudos voltados a doenças causadas pelos complexos *Fusarium* spp., Zhang et al. (2009) avaliaram 22 cepas de *B. subtilis* isoladas de raízes de soja e milho na inibição de *Fusarium oxysporum* e *F. graminearum* e no potencial de crescimento de plantas, observando redução significativa do crescimento micelial do fungo em testes *in vitro*, e redução da severidade da doença e aumentos em emergência, altura e massa seca das plantas, quando submetidas à aplicação de *B. subtilis* via tratamento de sementes ou via solo. Para as mesmas espécies de *Fusarium*, um estudo focado no desenvolvimento de métodos de inoculação e na elucidação de alternativas para aplicação de produtos biológicos, foi realizado utilizando como agentes de biocontrole os microrganismos *B. simplex* R180, *Trichoderma gamsii* W494 e *Burkholderia ambifaria* C628 em soja, milho e trigo, alcançando, no que tange aos efeitos de *B. simplex* R180 aplicados em soja, reduções na incidência da doença de 29, 35,2 e 31,5% quando *Bacillus* foi aplicado via tratamento de sementes, aplicação em sulco e a combinação de ambos os métodos, respectivamente (PARIKH e ADESEMOYE, 2018).

Além disso, compostos antifúngicos recuperados da cepa CR.9 de *B. subtilis* foram testados quanto à patogenicidade de *Fusarium oxysporum* f.sp. *glycines* em plantas

de soja, entregues via nanoemulsão, a partir da qual verificou-se efeitos significativos na inibição da atividade fúngica *in vitro* e supressão da doença em plantas em níveis de 41, 61 e 54% quando o composto foi ministrado via aplicação nas sementes, aplicação nas mudas e via solo, respectivamente (PUTRI et al., 2023).

Esses dados demonstram o potencial do gênero *Bacillus* na supressão de doença e como o fornecimento dos microrganismos via tratamento de sementes e aplicações no sulco podem melhorar a eficácia de controle para podridões radiculares, deflagrando ainda potencialidades amplas de exploração, como a prospecção de compostos produzidos por *Bacillus* spp. biofungicidas de alta tecnologia, oriundos de metabólitos secundários.

Para o controle de *Fusarium virguliforme*, agente causal da síndrome da morte súbita da soja, alguns estudos se debruçaram quanto à aplicação de fungicidas e microrganismos para o manejo da doença, todavia, efeitos resultantes de *Bacillus* spp. no controle da doença, como *B. firmus* i-1582 (KANDEL et al., 2016) e *B. pumilus* (WEEMS et al., 2015) não foram relatados, os quais indicaram resultados mais promissores para controle do patógeno a partir da aplicação de fungicidas químicos.

Ademais, o complexo de podridões causadas por *Fusarium* spp. também foi submetido a ensaios com 14 cepas de microrganismos dos gêneros *Burkholderia*, *Bacillus* e *Trichoderma*, nos quais foram encontradas, *in vitro* e *in vivo*, reduções dos níveis da doença, sendo que *B. simplex* R180 apresentou resultados superiores a 60% de inibição para seis cepas de *Fusarium* spp. *in vitro*, e proteção significativa contra os patógenos em cenários *in vivo*, reduzindo até 2,6 pontos do *score* de severidade (PARIKH et al., 2018).

Para estudos relacionados ao controle de *Macrophomina phaseolina* em soja, agente causal da podridão cinzenta do caule, Reznikov et al. (2016) testaram tratamentos químicos (tiofanato metílico + piraclostrobina) e biológicos (*Trichoderma viride* e *B. subtilis*) de sementes em duas cultivares de soja. Nesse contexto, o tratamento com *B. subtilis* apresentou resultados de aumento da produtividade em 634,3 e 433,4 kg ha⁻¹ em relação a testemunha inoculada (3.456,1 e 1.304,2 kg ha⁻¹) para cultivar Munasqa RR em duas safras analisadas, além de neutralizar a redução de emergência causada pela doença em ambas as cultivares. Acrescenta-se que, mesmo que o resultado tenha sido inferior ao constatado para o tratamento químico, analisando pela ótica de auxílio ao manejo de doenças, o *B. subtilis* testado apresentou um efeito significativo para o manejo de *M. phaseolina* no sistema.

Em continuidade ao patógeno, Simonetti et al. (2015) testaram 11 isolados bacterianos selvagens, dentre os quais dois, *Pseudomonas fluorescens* e *B. subtilis*, foram avaliados quanto à inibição contra *M. phaseolina* em condições *in vitro* e *in vivo*. Dessa maneira, os autores constataram que *B. subtilis* gerou redução de 64% da gravidade da doença quando aplicado isoladamente nas sementes e 82% quando combinado com indutor de resistência fosfito, em condições de estufa.

Já para patógenos bacterianos, a resistência induzida em plantas de soja pelo tratamento de sementes com *Bacillus* foi testada para *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* (Xag), em que sementes tratadas com *B. amyloliquefaciens* KPS46 frente a pústula bacteriana demonstraram resultados contundentes de redução da severidade dos danos causados pelo patógeno em mais de 50% em comparação com sementes não tratadas. Ainda, verificou-se aumento da atividade de enzimas atreladas a resistência, como peroxidase e b-1,3-glucanase, produção de compostos fenólicos que desempenham funções de defesa nas plantas e ativação de vias de sinalização de ácido salicílico e ácido jasmônico, contribuindo para a resistência induzida (BUENSANTEAI et al., 2009).

Em escopo similar, a indução de resistência por *B. subtilis* JB12 e *B. velezensis* ST32 para *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* (Xag) em sementes de soja foi estudada por Nurcahyanti et al. (2023). No estudo, a aplicação de *Bacillus*, feita via tratamento de semente e pulverização, demonstrou que as plantas tratadas com os microrganismos apresentaram acúmulo de compostos fenólicos, aspecto relacionado à resistência da planta quando submetida a infecções patogênicas, e aumento da atividade da peroxidase, grupo de enzimas envolvidas nos mecanismos de defesa da planta. Contudo, esse efeito ocorreu em tempo limitado e não resultou na redução da severidade dos danos causados por *X. axonopodis* em curto período após a inoculação.

Além dos patógenos abordados, estudos pontuais foram constatados para *Colletotrichum truncatum*, *Rhizoctonia solani* e *Pythium aphanidermatum*.

Visando induzir mecanismos de defesa em plantas de soja, Borges et al. (2022) realizaram tratamentos com três agentes de biocontrole (*B. amyloliquefaciens* BV03, *B. subtilis* BV02 e *Trichoderma asperellum* BV10) em sementes de soja expostas ao agente patogênico da antracnose, *C. truncatum*. Nesse cenário, foi observado que o tratamento com *B. amyloliquefaciens* BV03 apresentou um aumento da atividade de peroxidase, o que indica um aspecto de indução de resistência, contudo, para todos os demais parâmetros não foram constatadas diferenças significativas em relação à testemunha.

Quando analisado para controle de *Rhizoctonia solani*, *B. pumilus* cepa GB34 não apresentou resultados consistentes quanto à redução da severidade da doença ou melhora da emergência de plântulas, entretanto, constatou-se que a associação do bioagente com um fungicida comercial composto por metalaxil e trifloxistrobina, o qual isoladamente também não apresentou resultados consistentes, gerou aumento de 19,5% na emergência e 29% na produtividade (XUE et al., 2006).

Tais resultados trazem à tona uma característica de sinergismo que a aplicação de *Bacillus* pode apresentar com produtos já utilizados via tratamento de sementes, aspecto que compõe grande parte das soluções aplicadas no tratamento de sementes industrial e *on farm* que compreendem a construção de combinações robustas de fungicidas, inseticidas, nematicidas, micronutrientes, enraizadores, polímeros e outros compostos visando o melhor aporte sanitário e nutricional para o desenvolvimento inicial das culturas.

Além disso, mesmo não realizando teste diretamente em sementes de soja, um estudo com a cepa HS-2 de *B. simplex* em tabaco demonstrou que a aplicação do microrganismo via imersão das raízes caracteriza um processo de resistência induzida contra o patógeno *Pythium aphanidermatum*, o qual foi constatado pelo aumento da produção de espécies reativas de oxigênio e deposição de calose nas raízes, polímero de glicose multifuncional em plantas, dentre as quais se enquadra a defesa mecânica, e sinalização das vias de ácido jasmônico e salicílico (MIAO et al., 2018), conhecidas como vias de sinalização relativas a resistência sistêmica induzida por bactérias (PIETERSE et al., 2014).

Por fim, sob foco da aplicação do tratamento de sementes para doenças de início de ciclo para soja, Bradley (2008) avaliou três tratamentos de sementes de soja, sendo eles T1 (azoxistrobina + metalaxil), T2 (fludioxonil + mefenoxam) e T3 (*B. pumilus* GB34), além de uma testemunha não tratada. Sendo assim, o tratamento com *B. pumilus* GB34 apresentou alguns resultados positivos como a diminuição do comprimento de lesões nas raízes, proteção contra perda de estande e um retorno econômico positivo em relação a testemunha, contudo, em um panorama geral, os tratamentos químicos apresentaram um conjunto de resultados mais favorável, em termos de estabelecimento de plantas, redução de lesões, rendimento e retorno econômico.

Outros ensaios tiveram aplicação de *Bacillus* no tratamento de sementes contra patógenos para a cultura da soja, mas não avaliaram seus efeitos isolados, mas sim os que continham o microrganismo como componente de misturas amplas de tratamentos com

fungicidas, inseticidas e outros agroquímicos (VOSBERG et al., 2017; SJARPE et al., 2020). A distinção de uso de espécies de *Bacillus* para os patógenos relatados é expressa na Figura 10.

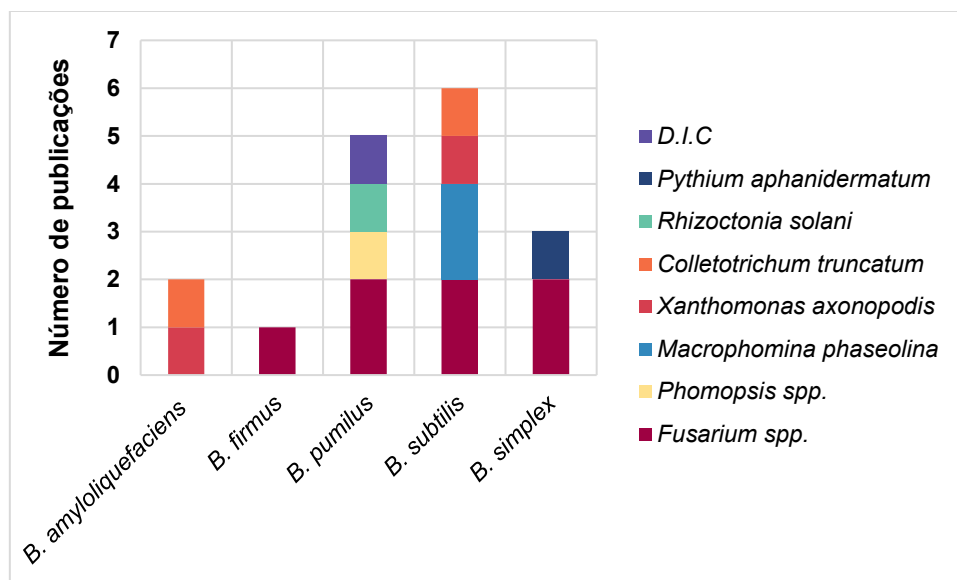


Figura 10: Número de publicações com uso de espécies de *Bacillus* spp. para controle de patógenos fúngicos e bacterianos em soja dentre os 17 estudos enquadrados na categoria.
* D.I.C.: doenças de início de ciclo.

Fonte de dados: *Web of Science* e *Scopus* (2024).

Discorrendo sobre os artigos com categorização para o manejo de nematoides, é possível observar que as publicações enquadradas nesse grupo são datadas a partir de 2010 e majoritariamente indexadas nos últimos sete anos do período em análise, uma vez que 10 das 11 publicações aplicadas com esse fim foram publicadas a partir de 2017. Sob uma perspectiva ampla, é possível observar uma escalada de interesse quanto à intensificação do controle biológico para o manejo de nematoides. Por exemplo, diante das constatações dos danos ocasionados por esses fitoparasitas, atreladas aos prejuízos econômicos em bilhões de dólares/ano que diminuem a rentabilidade dos agricultores e a possível abordagem eficaz e sustentável a ser obtida via controle biológico, o uso de microrganismos para o manejo de nematoides tende a auxiliar a promoção de práticas agrícolas sustentáveis e a segurança alimentar a nível global (AFZAL e MUKHTAR, 2024), tornando a exploração de novos organismos para esse fim mais frequente.

Sendo assim, em estudos voltados ao nematoide do cisto da soja, *Heterodera glycines*, conhecido por causar danos à cultura, a aplicação de *Bacillus* spp. via tratamento de sementes apresentou efeitos diversos quanto à eficácia de controle, muitas vezes relacionados ao ambiente de produção, mistura com outros produtos e intensidade de infestação.

Por exemplo, Mourtzinis et al. (2017) avaliaram o uso de nematicidas químico (abamectina) e biológico (*Bacillus firmus* i-1582) e não constatarem diferenças significativas nas populações de *H. glycines* e nas produtividades de soja e milho em três safras consecutivas, quando analisados os efeitos isolados dos tratamentos em sistemas de rotação de culturas e preparo do solo. Nesse sentido, destaca-se que a aplicação do tratamento de sementes, mesmo sendo um recurso adequado em programas de manejo integrado, não se justificava no contexto produtivo, sobretudo, perante o histórico da área. Tal fato traduz a análise de que a aplicação de ferramentas de manejo em quaisquer sistemas produtivos possui como fator imperativo uma análise multifatorial que compõe a sua aplicabilidade.

Em concordância com tais resultados, a aplicação da mesma cepa i-1582 de *B. firmus* em associação ao fungicida nematostático fluopiram, não demonstrou efeito de controle de *H. glycines* nas imediações da semente, assim como para os exsudatos na movimentação dos nematoides no perfil de solo (BEEMAN et al., 2019). Resultados semelhantes foram encontrados para o mesmo organismo, com ausência de efeitos sólidos pela aplicação da cepa i-1582 quanto à reprodução, eclosão, motilidade e penetração da raiz por *H. glycines* (BEEMAN et al., 2018). Ademais, em Bissonnete et al. (2020), com foco do estudo delimitado aos efeitos do fungicida fluopiram, *B. firmus* i-1582 foi adotado apenas como componente dos tratamentos testados, inviabilizando qualquer conclusão sobre efeitos provenientes de produtos à base de *Bacillus*.

Por outro lado, testes com 19 isolados de *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *B. methylotrophicus* demonstraram que a aplicação de soluções compostas por *Bacillus* spp. via sulco e tratamento de sementes têm potencial como ferramenta de manejo para *H. glycines*, dada a redução de 76,12% da densidade média de nematoides, 56,6% no número de cistos, 32,9% de cistos recuperados do solo, além de maior crescimento de plantas (NASCIMENTO et al., 2022). Em aspecto similar, um estudo com *B. arybhatai* cepa Sneb517 para o controle de *H. glycines* demonstrou que o microrganismo aplicado nas sementes reduziu em 40,1% o número de cistos do nematoide em condições de casa de

vegetação, e em campo a redução de número de juvenis dentro da raiz em duas safras foi de 75,3 e 72,2% e no número de cistos no solo de 64,5 e 65,4% (ZHAOA et al., 2020).

Somada a variação de resultados, na avaliação de 51 áreas experimentais quanto ao efeito de tratamentos de sementes com nematicidas para *H. glycines* e controle de *Fusarium virguliforme*, causador da síndrome da morte súbita em plantas de soja, Bissonnette et al. (2024) testaram sete combinações de tratamentos de sementes com base de fungicida e inseticida, dos quais dois continham produtos comerciais à base de *Bacillus* em sua composição, sendo eles o AveoEZ (*B. amyloliquefaciens* PTA-4838) e Trunemco (*B. amyloliquefaciens* MBI600). Nesse cenário, os tratamentos caracterizados por *Bacillus* spp. em sua composição não apresentaram eficácia quanto ao controle significativo de *H. glycines*, obtiveram rendimentos abaixo dos manejos químicos com fluopiram e pydiflumetofen e não auxiliaram no manejo de *F. virguliforme*.

Sendo assim, verifica-se que resultados consistentes obtidos pelo uso desses microrganismos podem ser pontos de partida sólidos para projetos que visam a obtenção de um bioinsumo eficaz voltado a programas de manejo integrado de nematoides. Entretanto, tratando-se do uso de microrganismos para finalidade de controle, cabe ressaltar que condições climáticas, interações com solo e a microbiota local, assim como o desenvolvimento de formulações, são fatores determinantes para obtenção de resultados significativos provenientes da aplicação de produtos biológicos (BARDIN et al., 2015), o que torna a determinação consistente de ganhos obtidos pelo uso de *Bacillus* spp. como controle biológico uma tarefa complexa.

No que tange ao manejo de um dos complexos de nematoides mais importantes para a cultura da soja, *Meloidogyne* spp., os resultados obtidos por *Bacillus* spp. denotam um cenário promissor. Por exemplo, em ensaio com dois isolados de *Bacillus* spp., obtidos de raízes de gramíneas de pastagens e denominados de BC27 e BC29, verificou-se elevado potencial de controle para o nematoide das galhas, com reduções superiores a 83 e 86% na formação de galhas e massa de ovos, respectivamente, e mortalidade de juvenis após 24 h igual a 100% em condições *in vitro* (CHINHEYA et al., 2017). Tais dados apontam, mesmo que de forma inicial, em um processo de desenvolvimento de produtos, o extenso potencial de aplicação de *Bacillus* spp. para o manejo de nematoide e promoção de um crescimento saudável para a cultura da soja.

Para o mesmo patógeno, Nunes et al. (2010) testaram a aplicação de fungos (*Paecilomyces lilacinus* e *Pochonia chlamydosporia*), um nematicida químico (aldicarbe) e um produto comercial a base de *Bacillus* spp., com espécie/cepa não especificada, para

controle do nematoide das galhas em soja. Nesse caso, mesmo não resultando no controle mais efetivo dentro do estudo, *Bacillus* sp. gerou redução no número de ovos de *M. incognita*, sendo este um dado que não pode ser desprezado, uma vez que apenas o controle químico com aldicarbe gerou resultados expressivos de diminuição de juvenis, produto este pouco plausível de aplicação frente ao atual cenário produtivo, tanto devido a sua proibição no Brasil, como em decorrência de seu ultrapassado perfil ecotoxicológico, responsável por numerosos casos de intoxicação humana e ambiental (ANVISA, 2012).

No tocante ao controle de *Pratylenchus brachyurus* e *Helicotylenchus dihystera* na cultura da soja, testes com culturas de inverno associadas a diferentes tratamentos nematicidas, químicos e biológicos, demonstraram que a aplicação de *B. subtilis* combinado com *B. licheniformis* não demonstraram resultados conclusivos quanto ao controle desses nematoides, diferentemente do efeito de nematicidas químicos como abamectina que resultaram em uma redução do fator de reprodução de *P. brachyurus* em aproximadamente 38% (GARDIANO-LINK et al., 2022). Nesse sentido, há uma clara fundamentação de que produtos químicos apresentam efeito pronunciado a curto prazo por serem caracterizados como ingredientes prontamente disponíveis, diferentemente dos produtos biológicos, que em linhas gerais demandam um intervalo de tempo maior para que seus efeitos de controle sejam pronunciados (LENGAI et al., 2020).

Acrescenta-se ainda, em estudo envolvendo métodos de aplicação (sulco, tratamentos de sementes, imersão de mudas), resistência genética e a comparação entre tratamentos químicos e biológicos para o manejo de *Pratylenchus brachyurus* em soja, que o uso de produtos químicos como abamectina e imidaclopride + tiodicabe, e biológicos, *Trichoderma atroviride* ou *B. subtilis*, são indicados para o controle do nematoide das lesões, não havendo diferença quanto ao método de aplicação (OLIVEIRA et al., 2023). Nesse contexto, é válido ressaltar que não havendo diferença entre métodos de aplicação, a escolha pelo tratamento de sementes se mostra como uma possibilidade interessante para redução da quantidade de ingredientes ativos na área, aliado ao fato de ser uma modalidade de baixo custo.

A designação dos microrganismos aplicados para o manejo de diferentes fitonematoides é apresentada na Figura 11.

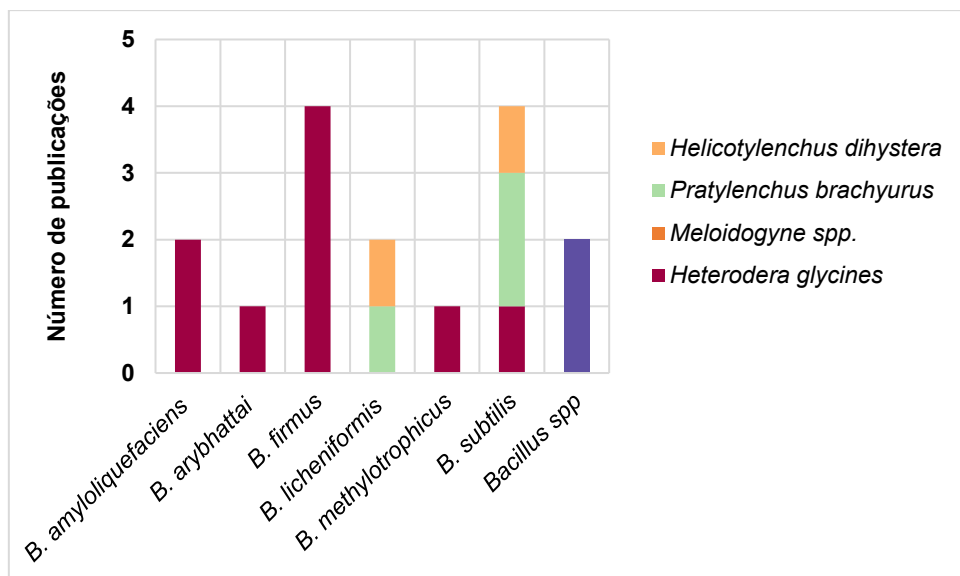


Figura 11. Número de publicações com uso de espécies de *Bacillus* spp. para controle de nematoides dentre os 11 estudos enquadrados na categoria.

Fonte de dados: *Web of Science* e *Scopus* (2024).

Passando para os artigos direcionados à promoção de crescimento em plantas, *B. subtilis* foi a espécie de *Bacillus* mais explorada com esse fim de aplicação (Figura 12), alcançando resultados altamente positivos.

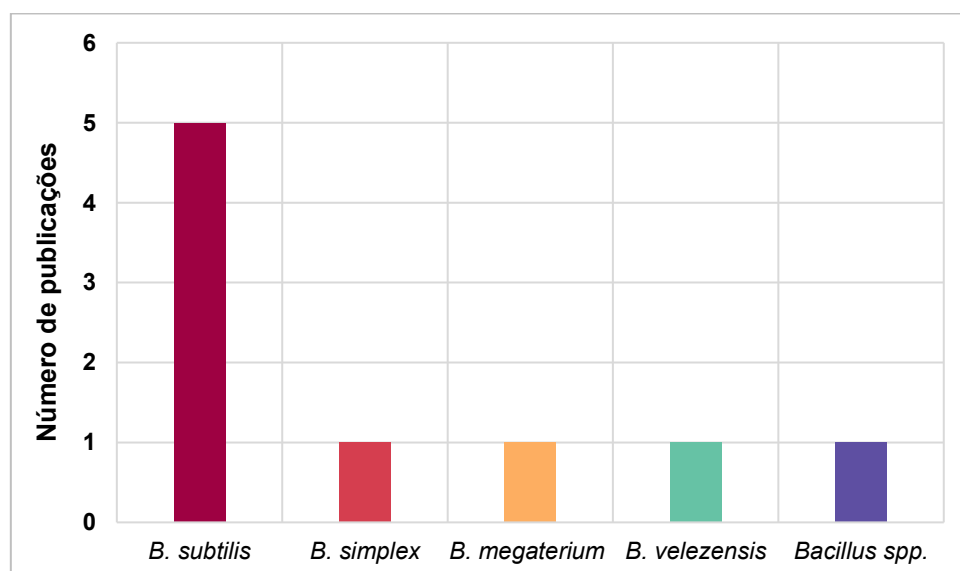


Figura 12. Número de publicações que utilizaram as principais espécies de *Bacillus* spp. utilizadas com finalidade de promoção de crescimento em plantas de soja.

Fonte de dados: *Web of Science* e *Scopus* (2024).

Sendo assim, Araujo (2007) estudou o potencial de aplicação da estirpe PRBS-1 de *B. subtilis* como promotora de crescimento para soja, milho e algodão, no qual, resumidamente, a aplicação de compostos orgânicos de *B. subtilis* aplicados em sementes resultaram em incrementos de 30% na emergência de plantas de soja da cultivar BRS 185, além de efeitos positivos para milho em variáveis como área foliar, altura de plantas e disponibilidade de nutrientes. Em sentido de acréscimos fisiológicos, estudando a interface entre práticas de cultivo, manejo de patógenos e efeitos de promoção de crescimento, Jensen et al. (2004) constataram que a aplicação de *B. subtilis* MBI600 e *Bradyrhizobium japonicum* RCR407 em soja resultou em aumentos de rendimento de 818 Kg ha⁻¹, representando 37% de acréscimo em comparação a sementes não tratadas.

Nesses artigos iniciais, é interessante observar que além da capacidade de promoção de crescimento frequentemente atrelada a cepas de *B. subtilis* como a principal representante do gênero para essa finalidade, o estudo e aplicação desses microrganismos sob a ótica de promoção de crescimento há tempos vem sendo explorada, uma vez que se tratam de trabalhos desenvolvidos há mais de 20 anos, sendo constatações válidas e concretas quanto à potencialidade do gênero *Bacillus* como ferramenta para a promoção de crescimento de plantas.

Nessa continuidade, um trabalho desenvolvido perante o consórcio entre microrganismos fixadores de nutrientes, nutrição mineral e bactérias promotoras de crescimento, verificou que o uso de *B. subtilis* e *B. megaterium* gerou aumentos significativos na abundância total de bactérias fixadoras de nitrogênio e actinobactérias na rizosfera, tanto aplicados de forma isolada ou em mistura com *Bradyrhizobium* nas sementes, e *B. subtilis* isolado e em consórcio com *B. megaterium* resultaram em efeitos positivos em variáveis como altura de planta, peso e número de plantas, peso e número de vagens, e peso e número de sementes, alcançando melhores produtividades (MILJAKOVIC et al., 2024).

Desse modo, ao encontrar resultados positivos com o consórcio de *Bacillus* com outros microrganismos, como *Bradyrhizobium* e *Azobacter*, o efeito sinérgico de uso de bactérias promotoras de crescimento com práticas de manejo já bem estruturadas se torna cada vez mais validado, objetivando o alcance de sistemas produtivos mais harmônicos, integrados e eficientes quanto a suas práticas produtivas. Acrescenta-se, ainda, que o potencial de compatibilidade e ausência de antagonismo entre os microrganismos, contribuem para adesão de estratégias que possam levar ao aumento de aplicação de bactérias promotoras de crescimento no cultivo de soja, associado a redução de aplicações

de fertilizantes sintéticos e, em uma análise ampla, economias em insumos sem perda de qualidade da produção.

Ainda para *B. subtilis*, cepas da bactéria isoladas de ambiente florestal na Índia e testadas como efeito promotor de crescimento em soja e grão de bico, apresentaram aumentos de 11% no comprimento do broto, 7% no comprimento da raiz e 12% no peso seco das plantas, em comparação com sementes não tratadas em ensaios em casa de vegetação. Em campo, maior nodulação, aumento do peso de nódulos e maior conteúdo fotossintético em plantas tratadas com a cepa MPS15 também foram relatadas (SOLANKI et al., 2023). Ademais, em ensaios voltados à qualidade de sementes de soja utilizando diferentes concentrações da cepa Pant001 (0, 2, 3, 4 e 5 mL Kg⁻¹ sementes) e da cepa QST713 (2 mL Kg⁻¹ sementes) de *B. subtilis* em duas cultivares de soja, foi observado que inoculações de 2 mL Kg⁻¹ de QST713 e de 2 mL Kg⁻¹ de Pant001 geraram incrementos de produtividade de 25 e 18% na cultivar Desafio e inoculações de 2 e 3 mL Kg⁻¹ de Pant001 incrementos de 17,5 e 15% na cultivar M7110, respectivamente (TAVANTI et al., 2020).

Além de *B. subtilis*, diferentes estirpes de *B. velezensis* foram avaliadas quanto ao tratamento de sementes de soja, associado ao fornecimento de carbono via casca de laranja. Assim, verificou-se que *B. velezensis* AP191 demonstrou resultados positivos no crescimento de brotos, raízes, nodulação e produtividade, com estimativas de aumentos de 15,9 e 9,4% no que tange ao aumento do peso de vagens e produtividade, respectivamente, quando associado ao substrato fornecedor de carbono (SILVA et al., 2023).

Senger et al. (2022) testaram cinco concentrações de *B. simplex* cepa SYM00260 em cultivares de soja e milho em quatro localidades diferentes, encontrando que a aplicação deste microrganismo via tratamento de sementes aumentou significativamente a produtividade de ambas as culturas, atingindo para soja aumentos de 423, 436 e 501 Kg ha⁻¹ em comparação com sementes sem tratamento, o que corresponde a aumentos de 16 a 22% da produtividade em três das quatro localidades analisadas.

Em experimento voltado à constatação de efeitos promotores de crescimento de cepas recém isoladas de *B. megaterium* e à coinoculação do *Bradyrhizobium japonicum*, Miljaković et al. (2022) observaram que sementes de soja tratadas com *B. megaterium* apresentaram aumento de 3,5% na germinação final, 8,9% no comprimento da raiz, 18,9% em peso seco do broto e 12,5% no índice de vigor de plantas quando comparado ao tratamento controle. Em condições de estresse por teste a frio e envelhecimento acelerado,

também foram constatados efeitos positivos da aplicação de *B. megaterium* em relação ao controle.

Além disso, com bactérias isoladas do rizosfera de sementes de couve, Kangsopa e Atnaseo (2022) testaram sementes de soja tratadas com isolados de *Stenotrophomonas* spp. e *Bacillus* spp. em quatro concentrações, variando de 1×10^5 a 1×10^8 UFC mL⁻¹ para cada microrganismo. Nesse cenário, mesmo não sendo observados acréscimos quanto à taxa de germinação, os tratamentos com *Bacillus* spp. resultaram em maior peso fresco e seco de mudas e acúmulo de biomassa.

Passando a abordar a categoria de auxílio em condições adversas em sementes de soja tratadas com *Bacillus* spp., Al-Shammari et al. (2024) estudaram a aplicação de *B. thuringiensis* via tratamento de sementes em condições de estresse hídrico, buscando avaliar a indução dos mecanismos de tolerância de plantas de soja por caracteres morfológicos, fisiológicos e anatômicos. Dessa maneira, verificou-se respostas benéficas nas três esferas analisadas, como, em resumo, efeitos morfológicos positivos para número de folhas, ramos e nódulos em condições de seca; fisiológicos de melhora na eficiência fotossintética e redução de espécies reativas de oxigênio, isto é, auxiliando no pleno funcionamento fotossintético e reduzindo estresse oxidativo em condições de seca; e efeitos anatômicos de melhoria no diâmetro do caule, vasos do xilema e número de vasos, pela síntese de metabólitos secundários, hormônios e antioxidantes, que por sua vez aumentam a fixação de nitrogênio e produção de sideróforos que melhoram as características anatômicas das plantas.

Quanto ao estresse osmótico, ensaios realizados com extratos de *B. butanolivorans* KJ40, *B. siamensis* H30-3 e *B. aryabhathai* H26-2 aplicados a sementes de soja submetidas a estresse osmótico simulado, demonstraram que em concentrações de 100 µg mL⁻¹ de H30-3 e 1 µg mL⁻¹ de KJ40 a porcentagem final de germinação das sementes foi aproximadamente 20% superior ao tratamento controle, atingindo 89,3 e 85,3%, respectivamente. Além disso, verificou-se aumento das atividades de enzimas antioxidantes, como catalase, glutathione peroxidase e glutathione reductase, sugerindo que os extratos auxiliam na regulação do estresse oxidativo, e a interação dos extratos com a biossíntese hormonal da planta, através do ácido giberélico e atuação de genes de resposta ao ácido abscísico (KIM e SANG, 2023).

Ambos os estudos elucidam a capacidade de *Bacillus* em aliviar estresses de natureza abiótica, influenciando a síntese hormonal, mudanças anatômicas e eficiência fisiológica para melhor desenvolvimento vegetal.

Como última categoria específica, sob a ótica de gerar melhorias nutricionais, Adesemoye et al. (2021) estudaram a interação de sementes tratadas com fungicidas, inseticida e nematicida, conjuntamente com a inoculação de *B. simplex* R180 e *Burkholderia ambifaria* C628 em cenários de infestação de um complexo patogênico de *Fusarium* spp., nos quais verificou-se que as parcelas tratadas com bactérias promotoras de crescimento obtiveram teores mais altos de nutrientes como P e K, o que pode promover um crescimento mais robusto para as plantas e gerar melhorias na disponibilidade de nutrientes para as plantas.

E no mesmo contexto de melhora nutricional, acréscimos de assimilação de P via tratamento de sementes com microrganismos solubilizadores foram estudados por Li et al. (2021). Os autores avaliaram a absorção de P radiomarcado em plantas de soja tratadas com *B. velezensis* EX180863, na qual observou-se aumento de 31% na assimilação de P pelo tratamento com *B. velezensis* EX180863 e 22% no tratamento químico + biológico, enquanto o tratamento químico isolado apresentou 41% menos assimilação do que o grupo controle. Acrescenta-se, ainda, que o tratamento de químico + *Bacillus* gerou aumento na biomassa radicular e maior ação de enzimas responsáveis pela mobilização de P no solo, com atividade 64% mais elevada do que a testemunha, expressando a capacidade sinérgica do tratamento de sementes com *Bacillus* e químicos na mineralização do P orgânico e acréscimos nutricionais. Além disso, em pH baixo notou-se reduções de 0,2 unidades no pH, sugerindo ação de acidificação mediada pelas rizobactérias e indicando que o nível de resposta do *Bacillus* depende da faixa de pH adequada.

Ademais, testes com duas cepas de *B. subtilis* (pant001 e QST713) e diferentes concentrações, constatarem efeitos positivos nas sementes tratadas em parâmetros como índice de clorofila e incremento de massa seca da parte aérea e raiz para concentrações de 2 mL Kg⁻¹ (COSTA et al., 2019), corroborando com a ação de promotor fisiológico proveniente do uso de *Bacillus* spp. em sementes de soja.

Quanto às aplicações pontuais, visando determinar quais interações entre herbicidas pré-emergentes, cultivares e tratamento de sementes podem levar a perda de rendimento da cultura da soja, Barlow et al. (2018) avaliaram duas cultivares de soja quanto aos efeitos de aplicações de herbicidas pré-emergentes em três misturas de tratamentos de sementes, as quais todas apresentaram em sua composição *B. subtilis* e *B. pumilis*. Contudo, considerando que todos os tratamentos continham no mínimo quatro

compostos diferentes além dos *Bacillus*, não é possível atribuir tais resultados aos efeitos das bactérias promotoras de crescimento.

Quanto aos efeitos da aplicação de *Bacillus* na comunidade de microrganismos da rizosfera e do solo, Correa et al. (2009) avaliaram o efeito do tratamento de sementes de soja com *B. amyloliquefaciens* BNM122 na estrutura e função das comunidades microbianas e o contraste com tratamento químico com thiram e carbendazim. Os autores verificaram que sementes tratadas com *B. amyloliquefaciens* BNM122 geraram efeito não significativo na comunidade microbiana e em seus perfis fisiológicos, assim como não afetaram a nodulação de plantas induzidas por *Bradyrhizobium japonicum*, diferentemente das sementes tratadas com fungicidas, que ocasionaram mudanças nesses mesmos parâmetros, demonstrando interessante adequação ambiental desse microrganismo para construção de manejos mais sustentáveis nos sistemas produtivos de soja.

Por fim, em estudo desenvolvido com *B. firmus* i-1582 e *B. amyloliquefaciens* QSR713 para o desenvolvimento de protocolos baseados em PCR para medição da colonização bacteriana nas raízes de plantas, foi possível observar que a quantificação da colonização das raízes de milho em câmara de crescimento, solo estéril e campo, e soja para condições de campo com elevada assertividade, caracterizam um protocolo para estudo da dinâmica de colonização amplo e aplicável sem grandes entraves (MENDIS et al., 2018).

5.2 Avaliação dos tratamentos de sementes na sanidade, no desempenho fisiológico e efeito bioestimulante em sementes de soja antes do armazenamento

O teor de água das sementes foi determinado previamente e variou de 6,3 a 6,7%. Discorrendo inicialmente sobre o efeito dos tratamentos na sanidade das sementes de soja que não foram submetidas a períodos de armazenamento (análise inicial), constatou-se a incidência de três gêneros de fungos patogênicos, sendo eles *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp. e *Penicillium* spp. (Figura 13). É válido ressaltar que diversos outros patógenos fúngicos/oomicetos podem acometer sementes e plântulas de soja, tais como *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Phomopsis sojae*, *Macrophomina phaseolina* entre outros, entretanto, sua ocorrência varia de acordo com as diferentes condições de produção, origem e armazenamento das sementes (BARBOSA et al., 2024).

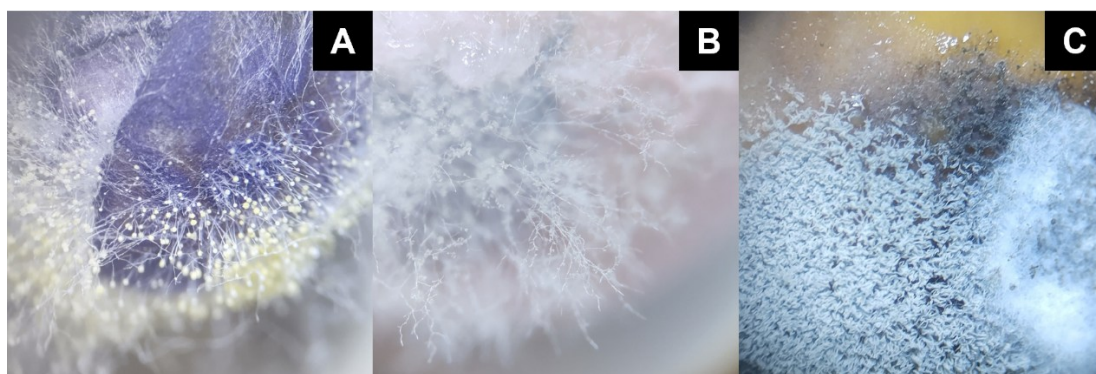


Figura 13. Estruturas dos fungos (A) *Aspergillus* spp., (B) *Fusarium* spp. e (C) *Penicillium* spp. em sementes de soja, cultivar POTÊNCIA, avaliadas em lupa (40x) durante o teste de sanidade pelo método “*Blotter test*”. Resultados expressos em porcentagem de incidência.

Nesse sentido, a Figura 14 explicita a porcentagem de incidência dos patógenos para cada tratamento de semente, sendo que observou-se diferenças significativas dos tratamentos quanto a presença de *Aspergillus* spp., em que T0 (controle) e T4 (abamectina) foram caracterizados como os de maior incidência, com médias de 27 e 34%, respectivamente, enquanto os tratamentos com *Bacillus* spp. (T1, T2 e T3) assim como imidaclopride + tiodicarbe (T5) apresentaram incidência menor, com médias variando de 1 a 15%, e não diferindo estatisticamente entre si.

Diante do exposto, no que concerne a menor incidência de *Aspergillus* spp. para os tratamentos com *Bacillus* spp., tal constatação é coerente com o uso elevado destes microrganismos como fontes produtoras de compostos bioativos ou antimicrobianos capazes de eliminar *Aspergillus* spp. de grãos armazenados (PÉREZ-GARCIA et al., 2011), não obstante, caracterizando diversas espécies do gênero *Bacillus* como eficazes produtoras de compostos bioativos inibidores da proliferação de *Aspergillus flavus* e da contaminação de toxinas produzidas pelo fungo (APHAISO et al., 2024). Por exemplo, Shifa et al. (2016) demonstraram que *Bacillus subtilis* G1 inibiu significativamente *A. flavus* no solo e o conteúdo de aflatoxina B1 em sementes de amendoim. Resultados similares são relatados em vastos estudos com outras espécies do gênero, como *B. megaterium* em amendoim (KONG et al., 2010), *B. flexus* em milho e amendoim (GONG et al., 2023) e *B. velezensis* em nível laboratorial (LI, 2024).

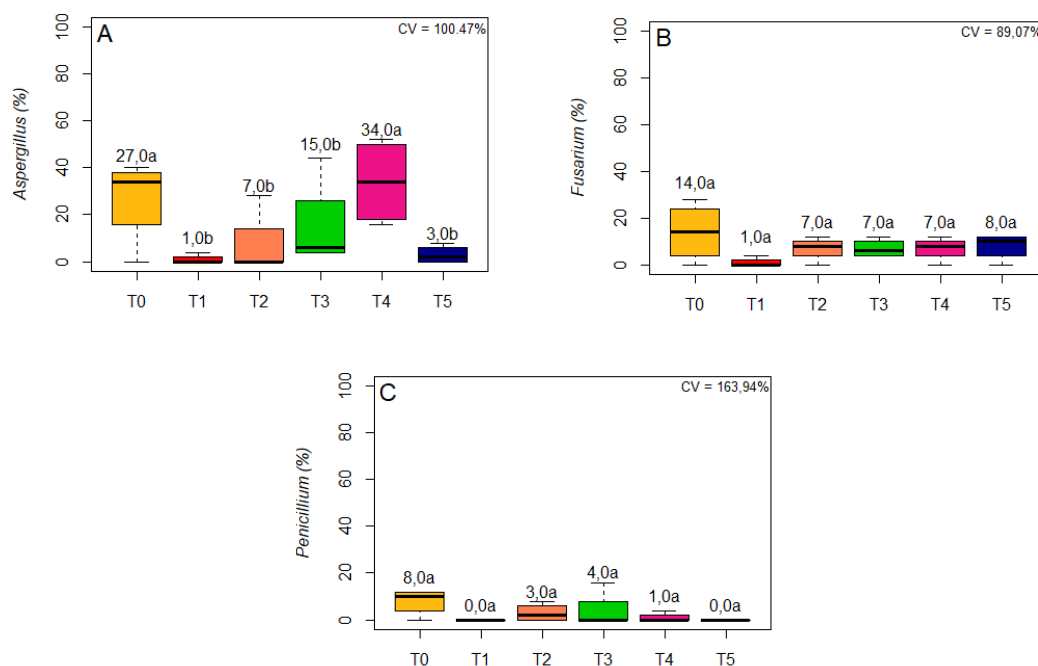


Figura 14. Boxplots da porcentagem de ocorrência de (A) *Aspergillus* spp., (B) *Fusarium* spp. e (C) *Penicillium* spp. em sementes de soja identificados pelo teste de sanidade em análise inicial, seguindo as características exibidas pelos patógenos no método “*Blotter test*”. T0: Controle, T1: *Bacillus amyloliquefaciens* PTA4838, T2: *Bacillus subtilis* CNPSO 2657, T3: *Bacillus firmus* i-1582, T4: Abamectina, T5: Imidaclopride + Tiodicarbe. CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$). Valores indicados em cada boxplot representam a média de cada tratamento.

Por outro lado, a maior incidência de *Aspergillus* spp. para o tratamento controle e abamectina, são plausíveis a partir da análise de suscetibilidade intrínseca da cultura da soja ao patógeno, sobretudo, em momentos de pós-colheita, que podem resultar na produção das aflatoxinas (LIANG e ZHOU, 2023), o que fundamenta a elevada incidência no tratamento controle. Ademais, a abamectina, molécula pertencente à família das avermectinas, é aplicada na agricultura com diferentes finalidades, as quais relacionam-se ao uso da molécula com foco acaricida, inseticida e/ou nematicida (AGROFIT, 2023), portanto, não observar um efeito de controle eficaz da molécula para um patógeno fúngico condiz com seu espectro de uso voltado majoritariamente ao controle de nematoides, insetos e ácaros.

Para *Fusarium* spp. e *Penicillium* spp. não foram constatadas diferenças significativas entre os tratamentos. Além disso, é válido destacar que no presente ensaio,

constatou-se elevada variabilidade dos dados, expressa pelos coeficientes de variação de 89,07%, 100,47% e 163,94% para os patógenos *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp., respectivamente. Desse modo, verifica-se que a elevada variabilidade dos dados é uma característica inerente ao teste de sanidade, no qual comumente encontram-se valores superiores a 90% para o coeficiente de variação (MELO et al., 2017; FELIX et al., 2023), uma vez que se faz recorrente a presença de repetições em que não se observa incidência de patógenos, somado ao fato que cada observação reconhecida representa 4% de incidência na média final, tornando o desvio padrão amostral elevado, o que por fim acarreta em um coeficiente de variação mais alto do que o preconizado como normal para os ensaios experimentais em ciências agrárias.

Abordando os resultados relativos ao efeito dos tratamentos na germinação de sementes, observou-se que para a primeira contagem realizada aos cinco dias após a instalação do ensaio, os tratamentos T0 (controle), T1 (*B. amyloliquefaciens* PTA4838) e T2 (*B. subtilis* CNPSO 2657) apresentaram as maiores porcentagens de germinação, atingindo 81, 82 e 79%, respectivamente, denotando efeito significativo em relação aos demais, os quais por sua vez não diferiram entre si (Tabela 4).

Tabela 4. Efeitos dos tratamentos de sementes de soja com *Bacillus* spp. e nematicidas químicos na primeira contagem de germinação (cinco dias após semeadura) e germinação final (sete dias após a semeadura) no ensaio laboratorial, em plântulas de soja em análise inicial.

Tratamento	P.C.Germinação (%)	Germinação final (%)
T0	81,00 a	87,00 b
T1	82,00 a	89,00 a
T2	79,00 a	92,00 a
T3	77,00 b	88,00 a
T4	74,00 b	82,00 b
T5	76,00 b	80,00 b
CV (%)	4,16	4,25

T0: Controle, T1: *Bacillus amyloliquefaciens* PTA4838, T2: *Bacillus subtilis* CNPSO 2657, T3: *Bacillus firmus* i-1582, T4: Abamectina, T5: Imidaclopride + Tiodicarbe. CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Assim, sendo a primeira contagem de germinação utilizada como um teste de vigor, isto é, na qual amostras com maior porcentagem de plântulas normais na primeira contagem podem ser consideradas vigorosas (NAKAGAWA, 1999), é possível inferir que para este parâmetro, os tratamentos de semente não apresentaram efeitos benéficos, uma vez que três tratamentos (T3, T4 e T5) foram estatisticamente inferiores ao controle e dois tratamentos (T1 e T2) foram estatisticamente iguais, isto é, apresentando no melhor cenário uma igualdade à condição padrão.

Por outro lado, na contagem de germinação final realizada sete dias após a instalação do ensaio, as sementes tratadas com *Bacillus* spp. constituíram os tratamentos com resultados mais elevados, em que T2 (*B. subtilis* CNPSO 2657) atingiu germinação de 92%, T1 (*B. amyloliquefaciens* PTA4838) 89% e T3 (*B. firmus* i-1582) 88%, sendo eles significativamente diferentes dos demais. Os tratamentos com nematicidas químicos (T4 e T5) não diferiram estatisticamente do tratamento controle (T0) (Tabela 4), estando todos acima do limiar de 80% estabelecido como mínimo exigido em sementes certificadas de primeira geração pela instrução normativa de comercialização de sementes de soja no Brasil (BRASIL, 2013), refletindo a qualidade exigida por sementes certificadas e a ausência de decréscimo oriundos dos tratamentos.

Sendo assim, em um primeiro momento é de grande valia analisar que o aumento de 1 a 4% na germinação final oriundo dos tratamentos de sementes, os quais poderiam ser vistos como índices modestos, representam acréscimos significativos no que tange ao planejamento de uma área produtiva, uma vez que a germinação é o fator mais utilizado para definir a taxa de semeadura antes do plantio, de tal forma que quanto maior o valor desta variável, maior a quantidade de plantas finais e a formação de um *stand* adequado com crescimento e desenvolvimento uniforme (COLET et al., 2023).

Assim, a maior expressão do potencial fisiológico das sementes pela interação com tratamentos à base de *Bacillus* spp., pode resultar em benefícios econômicos também sob a ótica de otimização de insumos, ainda mais no que diz respeito ao uso de sementes, dado que as sementes de soja são um dos insumos de maior custo no planejamento produtivo, acumulando aumentos superiores a 25% na última década (USDA, 2025b). Logo, a obtenção de maiores porcentagens de germinação pelo uso de tratamentos de sementes pode auxiliar na economia quanto à quantidade de sementes para obter a densidade de plantas desejada, reduzindo os custos com o insumo e, concomitantemente, mantendo a produtividade.

Nesse sentido, diversos podem ser os mecanismos ativados pela ação de *Bacillus* spp. responsáveis pelo aumento da germinação de sementes e crescimento da planta, como a produção de ácido indol-3-acético, citocininas e giberelinas como sinalização para o crescimento de plantas (VERBON e LIBERMAN, 2016), solubilização de fosfato (MINAXI et al., 2012), prevenção ao crescimento e infecção de patógenos e diversas outras vias que resultam em estímulos diretos ou indiretos ao processo germinativo (KHANG et al., 2014). A título de exemplificação para espécies do gênero *Bacillus*, Rashid et al. (2022) demonstraram que a produção do ácido indol-3-acético, o qual atua diretamente no desenvolvimento celular, foi prontamente ativada por *B. megaterium* e *B. licheniformis* produtores de AIA e resultaram em aumentos de 11 a 46% na germinação de trigo. Em perspectiva semelhante, a secreção de uma série de giberelinas por *B. methylotrophicus* levou ao aumento da porcentagem de germinação em sementes de alface, melão, mostarda e soja (RADHAKRISHNAM e LEE, 2016).

Dessa maneira, o potencial de estímulo à germinação resultante da aplicação de *Bacillus* spp. em sementes de soja compõe apenas mais um argumento para uma série de constatações que convergem à finalidade de aplicar em maiores extensões e assertividade tais microrganismos na agricultura, com intuito de minimizar fragilidades intrínsecas ao sistema produtivo como perdas de *stand* por fatores operacionais, limitações pela qualidade de insumos, pressões fitossanitárias e/ou entraves de natureza financeira. No presente estudo, comparando com o controle, o incremento observado na germinação pelo tratamento de sementes com diferentes espécies de *Bacillus* foi de 1 a 4%, os quais são índices baixos considerando aumentos na germinação em até 84% pelo uso de *B. amyloliquefaciens* (GOWTHAM et al., 2018), por exemplo.

Contudo, é de fundamental importância destacar que além de se tratar de uma variável isolada, a descoberta e aprimoramento de produtos à base de *Bacillus* com cepas mais adequadas a determinadas condições de produção e o melhor esclarecimento dos diversos efeitos desses microrganismos nas culturas podem resultar não apenas em uma ferramenta sólida de manejo com menor impacto em comparação aos métodos químicos, mas também um entendimento sistêmico sobre como atender a demanda pela produção de alimentos em melhor harmonia com a preservação dos recursos naturais e geração de menores danos possíveis, enquanto, por exemplo, o manejo de microbiomas não se aplica com adequada precisão.

Em continuidade à análise relativa ao fenômeno da germinação, a Tabela 5 expressa o efeito dos tratamentos de sementes quanto ao índice de velocidade de

germinação (IVG). Desse modo, verificou-se maiores valores de IVG obtidos pelas sementes tratadas com produtos comerciais à base de *Bacillus* spp. (T1, T2 e T3), os quais foram estatisticamente iguais entre si, e 8,3%, 9,9% e 8,13% mais elevados em relação ao controle (T0), respectivamente. Sendo assim, discorrendo quanto a uma interpretação direta desta variável, quanto maior o valor de IVG, maior a velocidade de germinação de um grupo de sementes, caracterizando-as como de maior vigor (NAKAGAWA, 1999).

Tabela 5. Efeitos dos tratamentos de sementes de soja com *Bacillus* spp. e nematicidas químicos no índice de velocidade de germinação (IVG) para o período de sete dias em sementes em análise inicial.

Tratamento	Índice de Velocidade de Germinação	
T0	12,77	B
T1	13,83	A
T2	14,04	A
T3	13,81	A
T4	12,83	B
T5	11,55	C
CV (%)	3,74	

T0: Controle, T1: *Bacillus amyloliquefaciens* PTA4838, T2: *Bacillus subtilis* CNPSO 2657, T3: *Bacillus firmus* i-1582, T4: Abamectina, T5: Imidaclopride + Tiodicarbe. CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Diante dessa caracterização, o aumento do índice de velocidade de germinação induzido pela presença de *Bacillus* spp. caracteriza uma vantagem produtiva quanto à redução do período de alta suscetibilidade das plântulas que leva ao menor potencial de danos ocasionados por patógenos por antecipar a emergência, resultando em aumento da atividade fotossintética e em última instância aumento da produtividade (SOUZA et al., 2023), aspectos que nem sempre são elucidados pela análise da porcentagem final de germinação. Sob essa ótica, Figueredo et al. (2023) observaram que mesmo em um cenário no qual todos os tratamentos de sementes resultaram em germinação final igual a 100%, sementes tratadas com cepas RZ2MS9 e Δ ipdC de *Bacillus thuringiensis*

alcançaram maiores valores de IVG em relação ao controle. Souza et al. (2023) detectaram aumentos no IVG em sementes de arroz em seis isolados de *Bacillus* spp. em comparação ao controle, o que sugere a possibilidade em obter um acréscimo em vigor associado a aplicação de bactérias promotoras de crescimento no sistema produtivo.

Frente a esse cenário, o rápido desenvolvimento da plântula pode condicionar ao alcance da fase adulta de maneira mais rápida, reduzindo seu tempo de maior suscetibilidade no campo, atrelada também a maior resistência às condições adversas de origens bióticas ou abióticas que o sistema produtivo está sujeito (FILHO et al., 2010).

O tratamento T5 (imidaclopride + tiodicarbe) apresentou redução de 9,6% do IVG em relação a T0 (controle), sendo este o menor índice encontrado. Esses dados corroboram com constatações de fitotoxicidade passíveis de afetar negativamente a eficiência germinativa das sementes e índices de vigor, a exemplo de Hatamleh et al. (2022), que observaram reduções de até 58% na germinação de sementes de tomate submetidas a doses crescentes de imidaclopride. Contudo, faz-se de grande importância destacar que tais doses superavam as recomendações de bula para a cultura. Por outro lado, Miranda et al. (2023) verificaram reduções significativas da velocidade de germinação de sementes de alho, quando submetidas a concentrações baixas, médias e altas de imidaclopride, as quais reduziram o IVG em valores superiores a 50% em comparação ao controle.

Quanto à emergência, a Tabela 6 apresenta os resultados dos tratamentos em condições de laboratório e campo e as respectivas velocidades de emergência para cada ambiente. Abordando inicialmente os dados para condição de laboratório, observa-se que não houve diferença significativa na emergência final entre os tratamentos ($p > 0,05$), em que todos apresentaram valores de emergência superiores a 80%, com exceção de T3 (*B. firmus* i-1582). Esses dados diferem dos encontrados por Tavanti et al. (2020), em que a aplicação de diferentes doses de formulados de *B. subtilis* em sementes de soja resultaram em aumentos superiores a 20% na emergência de plântulas, e Araujo (2007), que constatou incrementos de 30% na emergência de sementes de soja tratadas com *Bacillus subtilis*, ambos em casa de vegetação.

Tabela 6. Efeito dos tratamentos de sementes de soja com *Bacillus* spp. e nematicidas químicos na emergência de plântulas e no índice de velocidade de emergência em laboratório e campo.

Tratamento	Laboratório (Bandeja)		Campo	
	EF (%)	IVE	EF (%)	IVE
T0	88,90 a	8,79 b	74,00 a	7,81 a
T1	82,00 a	9,03 b	77,00 a	8,06 a
T2	81,00 a	10,67 a	69,00 b	7,12 a
T3	79,00 a	10,00 a	68,00 b	8,62 a
T4	83,00 a	8,62 b	68,00 b	7,47 a
T5	83,00 a	8,08 b	58,00 c	5,89 a
CV (%)	8,43	5,82	5,74	19,58

EF: Emergência final (%); IVE: Índice de velocidade de emergência; * Valores padronizados para melhor comparação entre bandeja e campo. T0: Controle, T1: *Bacillus amyloliquefaciens* PTA4838, T2: *Bacillus subtilis* CNPSo 2657, T3: *Bacillus firmus* i-1582, T4: Abamectina, T5: Imidaclopride + Tiodicarbe. CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Frente a estes dados, considerando que os ensaios foram conduzidos em condições de laboratório que pouco variaram entre os níveis ótimos de temperatura e umidade para a cultura, é plausível que a observação de nenhuma diferença estatística entre os tratamentos esteja atrelada a ausência de estresses determinantes para discriminação dos efeitos de acréscimo ou decréscimo resultante dos tratamentos. Por exemplo, diversos ensaios demonstram que melhorias na emergência de plântulas de soja atreladas ao uso de *Bacillus* spp. ocorreram em condições de estresse bem evidenciadas, as quais podem ser representadas pelas pressões resultantes da presença de patógenos, como *Fusarium* spp., em contexto de aplicação de *B. subtilis* resultando em aumentos superiores a 15% na emergência (ZHANG et al., 2009), *Macrophomina phaseolina*, em que de *B. subtilis* neutralizou a redução de emergência causada pela doença (REZNIKOV et al., 2016), e *Rhizoctonia solani*, cenário no qual a associação de *B. pumilus* e fungicidas gerou aumento de 19,5% na emergência de plântulas de soja (XUE et al., 2006).

No que concerne a velocidade de emergência, os tratamentos T2 (*B. subtilis* CNPSO 2657) e T3 (*B. firmus* i-1582) diferiram estatisticamente dos demais, apresentando melhor desempenho, com valores de 10,67 e 10,00, respectivamente (Tabela 6). Tal variável, assim como discutido para o índice de velocidade de germinação, indica por valores maiores um grau de vigor mais elevado para determinado grupo de sementes. De forma similar, Custodio et al. (2013), ao avaliarem o efeito da inoculação de *Bacillus subtilis* em sementes de feijão, observaram velocidades de emergência até quatro vezes maiores para sementes tratadas em comparação ao controle. Por outro lado, Kober et al. (2021) não observaram diferenças significativas na velocidade de emergência entre sementes de soja inoculadas com *B. amyloliquefaciens*, *B. subtilis* e *B. pumilus*, o que sugere que as interações entre a cultivar adotada, cepa bacteriana e condições edafoclimáticas são determinantes para obtenção de efeitos significativos da aplicação desses microrganismos.

Já em condições de campo, apenas o tratamento T1 (*B. amyloliquefaciens* PTA4838) foi estatisticamente igual ao controle T0 para a emergência final, de tal modo que os demais apresentaram porcentagens de emergência inferiores a 70%, com destaque inferior a T5 (Imidaclopride + Tiodicarbe) com 58%. Valores inferiores ao controle para sementes tratadas com Imidaclopride + Tiodicarbe também foram encontrados para lotes de sementes de soja de alto e baixo vigor, com decréscimos de 12 e 13% na emergência, respectivamente (SANTOS et al., 2021). Tal constatação possivelmente está associada a algum efeito fitotóxico dos ingredientes ativos na semente, uma vez que moléculas inseticidas, como imidaclopride e o tiodicarbe, afetam a germinação e emergência com maior fitotoxicidade em comparação a outras moléculas comumente utilizadas no tratamento de sementes (ROCHA et al., 2020). Ademais, os valores de IVE para a condição de campo não diferiram estatisticamente entre os tratamentos.

Por fim, no que concerne a análise do efeito bioestimulante de *Bacillus* spp., é possível observar que para as medições de comprimento do sistema radicular, matéria seca da parte aérea e matéria seca do sistema radicular, os tratamentos de sementes com produtos à base de *Bacillus* spp. (T1, T2 e T3) resultaram em ganhos significativos para essas três variáveis, diferindo estatisticamente do controle (T0) e dos nematicidas químicos (T4 e T5) (Tabela 7).

Tabela 7. Efeito dos tratamentos de sementes com *Bacillus* spp. e nematicidas químicos no comprimento e massa da matéria seca da parte aérea e sistema radicular de plântulas de soja.

Tratamento	Comprimento (cm)		Massa da matéria seca (g)	
	Parte aérea	Raiz	Parte aérea	Raiz
T0	6,4783 a	8,4500 b	0,1358 b	0,0038 c
T1	6,6133 a	11,1075 a	0,1516 a	0,0059 a
T2	6,5366 a	10,6125 a	0,1454 a	0,0053 a
T3	6,7792 a	10,1650 a	0,1487 a	0,0062 a
T4	6,4494 a	9,3525 b	0,1288 b	0,0047 b
T5	4,7811 b	8,3075 b	0,1321 b	0,0050 b
CV (%)	9,43	9,65	6,21	11,39

T0: Controle, T1: *Bacillus amyloliquefaciens* PTA4838, T2: *Bacillus subtilis* CNPSO 2657, T3: *Bacillus firmus* i-1582, T4: Abamectina, T5: Imidaclopride + Tiodicarbe. CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Sumarizando os acréscimos constatados, os tratamentos T1, T2 e T3 tiveram aumentos em relação ao controle de 31, 26 e 20% para comprimento do sistema radicular, 11, 7 e 9% para matéria seca da parte aérea de raiz, e 54, 41 e 67% para matéria seca do sistema radicular, respectivamente. Esses dados corroboram com os estudos em que aplicações de diferentes concentrações de *Bacillus* spp. resultaram no aumento do peso seco da parte aérea de plântulas de soja e milho (SENGER, 2022) e aumentos no comprimento de plantas e biomassa de soja avaliada 25 e 55 dias após a semeadura (JÚNIOR et al., 2021).

Quanto aos acréscimos no comprimento e biomassa seca do sistema radicular aqui constatados, os dados parecem estar de acordo com a caracterização de que *Bacillus* spp. contribuem para a melhoria do enraizamento, comprimento da raiz e teor de matéria seca em diversas culturas vegetais (SAHARAN e NEHRA, 2011). Bavaresco et al. (2020) verificaram que sementes de soja inoculadas com *B. subtilis* tiveram alteração em sua arquitetura radicular, apresentando aumento significativo na superfície e comprimento da raiz. Sendo assim, os principais mecanismos que sugerem a explicação de acréscimos significativos no sistema radicular pela presença de *Bacillus* spp. circundam a capacidade

de produção de fitohormônios que aumentam a área superficial do sistema radicular (HASHEM et al., 2019), como resultado da colonização das raízes pelas bactérias e uso de exsudatos radiculares como fonte de carbono, a produção de compostos orgânicos voláteis que modificam a arquitetura da raiz (BAVARESCO et al., 2020). Em condições de campo, vale destacar como mecanismos que resulta em efeitos bioestimulantes, a maior disponibilidade de nutrientes e eficiência de absorção gerada pela interação das raízes com *Bacillus* spp. (AHMAD et al., 2018).

Portanto, além de microrganismos indicados para o manejo de nematoides, o qual por si só já compõe um segmento de alta complexidade e desafios, a aplicação de produtos à base de *Bacillus* spp. para sementes de soja apresenta um potencial de grande valia quanto à obtenção de maior desempenho produtivo na cultura, seja pela superação de condições limitantes relativas à fitossanidade, estresses abióticos ou pela própria potencialização da capacidade fisiológica das sementes, sendo uma estratégia passível de ser empregada não apenas sob a ótica de fomentar o controle biológico como uma vertente menos danosa na agricultura, mas também como uma ferramenta que agregue aos sistemas produtivos capacidade de obter maiores rendimentos ao passo que se explore com responsabilidade os recursos naturais destinados à produção agrícola.

5.3 Avaliação dos tratamentos de sementes no desempenho fisiológico e efeito bioestimulante em sementes de soja submetidas a 180 dias de armazenamento em ambientes climatizado e não climatizado

Passando a abordar os dados referentes às sementes de soja tratadas com produtos à base de *Bacillus* e armazenadas durante 180 dias, o teor de água das sementes variou de 6,3 a 6,8% em ambiente climatizado e 10,7 a 11,3% em ambiente sem controle. No que concerne as variáveis de primeira contagem e germinação final, verificou-se inicialmente que a interação entre os fatores tratamentos de sementes e ambientes de armazenamento não foi significativa ($p > 0,05$), de tal modo que os efeitos principais foram analisados de forma isolada.

Sendo assim, foi observado que para primeira contagem de germinação, os melhores resultados alcançados foram provenientes de T0 e T1, os quais apresentaram 53 e 57%, respectivamente, e não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 8). Tal constatação é corroborada com dados encontrados por Araújo et al. (2023), que

verificaram maiores porcentagens de germinação para sementes de soja quando não tratadas ou apenas com inoculante via TS, em comparação com sementes tratadas com fungicidas e/ou inseticidas ao longo de períodos de armazenamento. Diante tal caracterização, ressalta-se que o processo de deterioração das sementes e seu efeito no potencial fisiológico é inevitável ao longo do armazenamento (CARDOSO et al., 2012), e em linhas gerais há um período limitado em que o uso de agrotóxicos via tratamento de sementes não afetará negativamente a qualidade fisiológica das sementes de soja.

Tabela 8. Efeitos dos tratamentos de sementes de soja com *Bacillus* spp. e nematicidas químicos na primeira contagem de germinação (cinco dias após semeadura) e germinação final (sete dias após a semeadura) no ensaio laboratorial, em plântulas de soja após 180 dias de armazenamento das sementes.

Tratamento	P.C.Germinação (%)	Germinação final (%)
T0	53,00 a	66,00 b
T1	57,00 a	75,00 a
T2	45,00 b	76,00 a
T3	45,00 b	68,00 b
T4	40,00 b	55,00 c
T5	33,00 c	49,00 c
CV (%)	15,89	13,37

T0: Controle, T1: *Bacillus amyloliquefaciens* PTA4838, T2: *Bacillus subtilis* CNPSo 2657, T3: *Bacillus firmus* i-1582, T4: Abamectina, T5: Imidaclopride + Tiodicarbe. CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Portanto, a observação de que um tratamento de sementes à base de *Bacillus* spp. T1 (*B. amyloliquefaciens* PTA4838) se equiparou a primeira contagem de germinação do tratamento controle T0, demonstra um efeito pertinente quanto a utilização desse microrganismo na cadeia logística de produção de sementes, na qual a prática de realizar o tratamento e manter as sementes armazenadas por alguns meses é frequente visando atender as demandas logísticas e de praticidade da cadeia (HUNGRIA et al., 2020), sobretudo, em cooperativas e sementeiras que fornecem o insumo e realizam o tratamento a nível industrial.

Por outro lado, os tratamentos T2, T3 e T4 apresentaram respostas intermediárias, sendo todos estatisticamente iguais, enquanto o tratamento T5 foi o de menor desempenho, apresentando valor de 33,00% para primeira contagem de germinação e diferindo estatisticamente dos demais. Nesse sentido, destaca-se que o tratamento de sementes atrelado a longos períodos de armazenamento pode reduzir a qualidade fisiológica das sementes em decorrência de potenciais efeitos fitotóxicos de determinados ingredientes ativos, os quais são passíveis de reduzir a germinação, vigor e emergência das plântulas, até dificultando o estabelecimento da cultura e, consequentemente, afetando sua produtividade (SARTORI et al., 2023).

Já, no que diz respeito à germinação final, verificou-se que os tratamentos T1 e T2 alcançaram índices de 75 e 76%, respectivamente, apresentando as melhores respostas para a variável e diferindo estatisticamente da testemunha e demais tratamentos. Nesse sentido, destaca-se que diversos fatores ao longo do armazenamento são determinantes quanto à sobrevivência microbiana em sementes tratadas, tais como temperatura, umidade, revestimento do material e presença de contaminantes (DEAKER et al., 2012). Assim, é notável observar que mesmo sob condições de armazenamento prolongado, as quais são passíveis de afetar o potencial fisiológico das sementes, assim como a própria viabilidade dos microrganismos ao longo do tempo, *B. amyloliquefaciens* PTA4838 (T1) e *B. subtilis* CNPSO 2657 (T2) foram capazes de permanecer biologicamente ativos e mitigar a perda de germinação intrínseca ao período prolongado de armazenamento, sendo esse um fator interessante quando ao tempo em que o produto permanece biologicamente ativo pós tratamento. Não obstante, a vida útil dos produtos caracteriza-se como um fator primordial para o sucesso comercial do tratamento de sementes (BASHAN et al., 2014).

Ademais, aqui é observado que todos os tratamentos tiveram germinação final inferior a 80%, nível mínimo exigido para sementes certificadas, contudo, tal resultado é plausível se tratando de um conjunto de sementes que permaneceu armazenado por 180 dias, ultrapassando consideravelmente o período em que sementes são armazenadas até a semeadura.

Quanto aos efeitos dos ambientes de armazenamento na primeira contagem de germinação e na germinação final de sementes de soja tratadas, constatou-se que o ambiente climatizado apresentou, em média, 31 e 25% mais sementes germinadas para ambas as variáveis em comparação com o ambiente não climatizado, respectivamente (Tabela 9).

Tabela 9. Efeitos dos ambientes de armazenamento de sementes de soja na primeira contagem de germinação (cinco dias após semeadura) e germinação final (sete dias após a semeadura) no ensaio laboratorial, após 180 dias de armazenamento das sementes.

Ambiente	P.C.Germinação (%)	Germinação final (%)
Climatizado	61,00 a	77,00 a
Não climatizado	30,00 b	52,00 b
CV (%)	15,89	13,37

CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Perante tal constatação, há um extenso acervo bibliográfico que discorre sob o efeito do armazenamento na qualidade das sementes. Em perspectiva ampla, condições de armazenamento não adequadas resultam em perda de viabilidade em sementes de soja em decorrência do aumento da atividade metabólica, a qual reduz a qualidade fisiológica das sementes (MYLONA et al., 2012). Dubal et al. (2024) demonstraram que condições inadequadas de armazenamento, tais como temperatura e umidade, levam a um declínio considerável na qualidade fisiológica de sementes de soja, afetando sua viabilidade. Além disso, quanto ao tempo de armazenamento, verifica-se como aspecto comum que seu prolongamento é outro fator de grande relevância na deterioração das sementes. Forti et al. (2010) constataram que o ambiente de armazenamento não controlado resultou em maior perda do potencial fisiológico de sementes de soja. Abati et al. (2020) verificaram que para diferentes volumes de caldas no tratamento de sementes, o aumento do período de armazenamento gerou reduções na germinação, índice de velocidade e emergência de plântulas de soja, sendo este efeito mitigado em ambiente climatizado em comparação com ambiente sem controle de temperatura e umidade.

Diante do exposto, é possível inferir que independentemente do tratamento de sementes associado, para manutenção do potencial fisiológico das sementes em maior integridade possível, faz-se mandatória o controle das condições ambientais durante o armazenamento, uma vez que a redução da germinação com o armazenamento se caracteriza como um fenômeno intrínseco ao tempo.

Passando a abordar os dados referentes ao índice de velocidade de germinação, verificou-se que a interação entre os fatores tratamentos e ambientes de armazenamento não foi significativa ($p > 0,05$), logo, os efeitos primários foram analisados

individualmente (Tabelas 10 e 11). No que se refere ao efeito dos diferentes tratamentos de sementes, observou-se que o tratamento T1 obteve o melhor resultado para esta variável, diferindo estatisticamente dos demais. Em seguida, o tratamento controle T0 e os outros dois à base de *Bacillus* spp., T2 e T3, demonstraram respostas intermediárias, e T4 e T5 resultaram em menores índices, diferindo estatisticamente de todos os outros tratamentos (Tabela 10).

Tabela 10. Efeitos dos tratamentos de sementes de soja com *Bacillus* spp. e nematicidas químicos no índice de velocidade de germinação (IVG) para o período de sete dias em ensaio laboratorial em método de papel filtro, após 180 dias de armazenamento das sementes.

Tratamento	Índice de Velocidade de Germinação	
T0	9,27	b
T1	10,62	a
T2	8,97	b
T3	8,81	b
T4	8,18	c
T5	7,33	c
CV (%)	11,04	

T0: Controle, T1: *Bacillus amyloliquefaciens* PTA4838, T2: *Bacillus subtilis* CNPSo 2657, T3: *Bacillus firmus* i-1582, T4: Abamectina, T5: Imidaclopride + Tiodicarbe. CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Tal resultado é similar ao observado para sementes com zero dias de armazenamento (Tabela 5), em que o tratamento com *B. amyloliquefaciens* PTA4838 resultou em acréscimos no IVG, aspecto importante quanto a redução da fase crítica de desenvolvimento das plantas, reduzindo seu período de maior suscetibilidade ao ataque de pragas, doenças e a estresses de ordem abiótica (FILHO et al., 2010), sendo este um ponto desejável sob a ótica de obtenção de plantas vigorosas e altamente produtivas. Por outro lado, quanto aos resultados obtidos pelos tratamentos químicos T4 e T5, tais dados corroboram com os encontrados por Bortolletto et al. (2017), que observaram redução de

47,9% do IVG quando sementes tratadas com imidaclopride + tiodicarbe foram armazenadas durante 90 dias. Em sentido similar, Toni et al. (2024) observaram reduções do IVG em sementes tratadas com fungicidas (metalaxil-M, tiabendazol e fludioxonil) e inseticidas (tiametoxam e ciantraniliprole) desde 60 até 180 dias de armazenamento. Dessa maneira, é importante ressaltar que a redução da qualidade fisiológica das sementes em decorrência do tratamento de sementes é potencializada pelo armazenamento, sendo recomendado o tratamento o mais próximo possível da semeadura (DAN et al., 2012).

Quanto ao efeito dos ambientes de armazenamento no índice de velocidade de germinação (Tabela 11), verificou-se que o ambiente climatizado proporcionou em média respostas 30% maiores do que o ambiente sem controle, demonstrando a importância do controle de temperatura e umidade visando manter o potencial fisiológico das sementes. Em estudo com sementes de dez cultivares de soja armazenadas em câmara fria e ambiente não climatizado, todos os resultados apresentaram maiores índices de velocidade de germinação em câmara fria, além de respostas positivas para expressão outras variáveis de potencial fisiológico como germinação, primeira contagem de germinação e comprimento de plântulas (ROSA et al., 2017).

Tabela 11. Efeitos dos ambientes de armazenamento de sementes de soja no índice de velocidade de germinação, após 180 dias de armazenamento das sementes em ambiente climatizado e não climatizado.

Ambiente	Índice de Velocidade de Germinação
Climatizado	10,62 a
Não climatizado	7,11 b
CV (%)	11,04

CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Com interação significativa entre os fatores tratamentos de sementes e ambientes de armazenamento ($p < 0,05$), a Tabela 12 apresenta os efeitos dos tratamentos de sementes na emergência final e velocidade de emergência em condição de laboratório, para os ambientes de armazenamento climatizado e não climatizado. A Figura 15 refere-se aos tratamentos de sementes em cada ambiente no último dia de avaliação.

Tabela 12. Efeito dos tratamentos de sementes de soja com *Bacillus* spp. e nematicidas químicos na emergência final (%) e índice de velocidade de emergência de plântulas em laboratório, após 180 dias de armazenamento das sementes em ambiente climatizado e não climatizado.

Tratamentos	Emergência final (%)		Índice de Velocidade de emergência	
	Climatizado	Não climatizado	Climatizado	Não climatizado
T0	41,00 Ba	13,00 Ab	4,18 Ba	1,15 Ab
T1	67,00 Aa	22,00 Ab	6,80 Aa	1,95 Ab
T2	35,00 Ba	21,00 Aa	3,02 Ba	1,76 Aa
T3	69,00 Aa	20,00 Ab	8,01 Aa	1,90 Ab
T4	13,00 Ca	22,00 Aa	1,17 Ba	1,74 Aa
T5	35,00 Ba	24,00 Aa	3,00 Ba	2,11 Aa

T0: Controle, T1: *Bacillus amyloliquefaciens* PTA4838, T2: *Bacillus subtilis* CNPSO 2657, T3: *Bacillus firmus* i-1582, T4: Abamectina, T5: Imidaclopride + Tiodicarbe. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).



Figura 15. Teste de emergência de plântulas em bandeja, aos sete dias após instalação. T0: Controle, T1: *B. amyloliquefaciens* PTA4838, T2: *B. subtilis* CNPSO 2657, T3: *B. firmus* i-1582, T4: Abamectina, T5: Imidaclopride + Tiodicarbe. AC: ambiente controlado; NC: ambiente não controlado.

Sendo assim, é possível observar que para emergência final o ambiente de armazenamento foi determinante para os tratamentos T0, T1 e T3, os quais apresentaram melhores índices de emergência em ambiente climatizado. Já os demais tratamentos, não diferiram estatisticamente entre os ambientes, apresentando porcentagens baixas de emergência para ambos os cenários. Quanto aos tratamentos de sementes em ambiente climatizado, foi constatado que os tratamentos T1 e T3 foram os que resultaram nos maiores valores de emergência, correspondentes a 67 e 69%, respectivamente, e diferindo estatisticamente de todos os demais. No ambiente não climatizado, os tratamentos não diferiram estatisticamente entre si.

Aqui, observa-se um resultado diferente do constatado para sementes tratadas com zero dias de armazenamento (Tabela 6), em que não houve diferença significativa entre os tratamentos na emergência final. Logo, tais dados corroboram Tavanti et al. (2020) e Araujo (2007), em que a aplicação de *Bacillus* spp. gerou aumentos superiores a 20 e 30% na emergência de plântulas de soja, respectivamente, possivelmente explicitados pela caracterização de um fator estressor bem delimitado pelo elevado tempo de armazenamento das sementes. Sob essa perspectiva, nota-se que em cenários de armazenamento prolongado, comumente constatados na cadeia logística do tratamento de sementes industrial, a escolha de produtos com perfil de se manterem biologicamente ativos por maior tempo não gerando decréscimo no potencial fisiológico das sementes constitui um fator de grande importância para a construção de sistemas produtivos eficientes.

De forma similar, o comportamento para velocidade de emergência também demonstrou maiores valores em ambiente climatizado em comparação com o não climatizado para os tratamentos T0, T1 e T3, enquanto T2, T4 e T5 não diferiram estatisticamente entre os níveis do fator ambiente de armazenamento. Já no que concerne ao efeito dos tratamentos, em ambiente climatizado melhores respostas gerais foram obtidas por T1 e T3, diferindo estatisticamente dos demais, enquanto no ambiente não climatizado não houve diferença estatística entre os tratamentos de sementes.

Nesse sentido, ressalta-se que os acréscimos pareados em emergência final e velocidade de emergência resultantes da aplicação via tratamento de sementes de *Bacillus* spp., mesmo após um longo período de armazenamento, compõe um resultado valioso frente a busca por ferramentas que gerem incrementos produtivos a partir da combinação harmoniosa com a adequação ambiental (TAVANTI et al., 2020), ao mesmo passo que o armazenamento prolongado de sementes tratadas com agrotóxicos, sejam eles químicos

ou biológicos, é passível de prejudicar o potencial fisiológico das sementes (FERREIRA et al., 2016), sendo de grande importância a busca por elucidações das interações do efeito dos tratamentos ao longo do tempo.

Para os dados referentes a emergência final e velocidade de emergência em campo, não houve efeito significativo da interação tratamentos de sementes e ambientes de armazenamento ($p > 0,05$), portanto, os efeitos de cada fator foram analisados de forma isolada (Tabelas 13 e 14).

A Tabela 13 apresenta os efeitos dos tratamentos de sementes na emergência final e na velocidade de emergência após 180 dias de armazenamento das sementes, na qual constata-se que os melhores resultados de emergência final foram caracterizados pelos tratamentos T0, T1 e T3, os quais diferiram estatisticamente dos demais. Frente a tais dados, não é possível inferir efeitos significativos benéficos dos tratamentos de sementes na emergência final em campo, uma vez que os melhores resultados dos tratamentos, isto é, T1 e T3, com 36 e 34%, respectivamente, se equipararam ao controle T0, o qual teve emergência de 31%.

Tabela 13. Efeitos dos tratamentos de sementes de soja com *Bacillus* spp. e nematicidas químicos na emergência final de plântulas (%) e no índice velocidade de emergência de plântulas em campo, após 180 dias de armazenamento das sementes.

Tratamento	Emergência final (%)	IVE
T0	31,00 a	5,88 b
T1	36,00 a	6,83 a
T2	29,00 b	5,57 b
T3	34,00 a	6,27 a
T4	29,00 b	5,47 b
T5	25,00 b	4,80 b
CV (%)	18,23	19,51

T0: Controle, T1: *Bacillus amyloliquefaciens* PTA4838, T2: *Bacillus subtilis* CNPSo 2657, T3: *Bacillus firmus* i-1582, T4: Abamectina, T5: Imidaclopride + Tiodicarbe. CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Assim, é válido ressaltar que durante o armazenamento a qualidade fisiológica da semente não melhora, sendo sua manutenção ao longo do tempo o grande objetivo do controle (SILVA et al., 2020). Com isso, foram observados decréscimos significativos na emergência final em campo de sementes armazenadas durante 180 dias (Tabela 13) em comparação com sementes não armazenadas (Tabela 6), com valores médios incluindo todos os tratamentos passando de 70% em zero dias, para 30% após o armazenamento. Não obstante, se faz crucial examinar como os agrotóxicos podem impactar a qualidade das sementes em decorrência de efeitos fitotóxicos que contribuam/acelerem o processo de deterioração (SILVA et al., 2019).

Para a velocidade de emergência, de maneira similar às observadas para condições de laboratório, os tratamentos T1 e T3 apresentaram os melhores resultados com índices de 6,83 e 6,27, respectivamente, sendo estatisticamente iguais e diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, demonstrando efeitos benéficos relativos ao vigor, uma vez que a maior velocidade de emergência propicia rápido desenvolvimento das plantas e início das atividades fotossintéticas em menor tempo.

Além disso, a Tabela 14 apresenta os efeitos dos ambientes de armazenamento na emergência final e velocidade de emergência em condições de campo, através da qual fica evidente, para as duas variáveis, que o armazenamento em condições adequadas, neste caso a câmara fria, proporciona melhor qualidade fisiológica das sementes. Dessa maneira, verifica-se que o controle do ambiente, principalmente no que tange à temperatura e umidade relativa, caracteriza um fator determinante na manutenção da qualidade das sementes por um longo período, sobretudo, reduzindo as chances de acelerar o processo de deterioração (CORADI et al., 2019).

Tabela 14. Efeitos dos ambientes de armazenamento de sementes de soja na emergência final de plântulas (%) e no índice de velocidade de emergência (IVE) de plântulas em campo, após 180 dias de armazenamento das sementes.

Ambiente	Emergência final (%)	IVE (%)
Climatizado	56,00 a	10,70 a
Não climatizado	6,00 b	0,91 b
CV (%)	18,23	19,51

CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

No tocante aos efeitos bioestimulantes, mensurados a partir dos testes de comprimento e biomassa seca, inicialmente verificou-se que não houve interação significativa entre os fatores tratamento de sementes e ambientes de armazenamento ($p > 0,05$), prosseguindo-se com a análise dos efeitos primários isoladamente. Dessa forma, é possível observar que os tratamentos de sementes demonstraram efeitos bioestimulantes significativos apenas para o sistema radicular, tanto no que concerne ao comprimento como para matéria seca, com os três tratamentos à base de *Bacillus* spp. apresentando os melhores resultados e diferindo significativamente do controle T0 e dos nematicidas químicos T4 e T5 (Tabela 15). Para comprimento e matéria seca da parte aérea nenhum tratamento foi superior ao controle. Novamente, os resultados alcançados para essas variáveis foram menores após 180 dias de armazenamento (Tabela 15) em comparação às sementes com zero dias de armazenamento (Tabela 7), sendo esse um dado esperado, assim como Silva et al. (2019) observaram redução do comprimento e biomassa de plântulas de soja tratadas com inseticidas e fungicidas ao longo de 180 dias.

Tabela 15. Efeito dos tratamentos de sementes com *Bacillus* spp. e nematicidas químicos no comprimento e massa da matéria seca da parte aérea e sistema radicular de plântulas de soja, após 180 dias de armazenamento das sementes.

Tratamento	Comprimento (cm)				Massa da matéria seca (g)			
	Parte aérea		Raiz		Parte aérea		Raiz	
T0	4,8483	a	6,4231	b	0,1110	a	0,0029	b
T1	5,0359	a	8,7472	a	0,1302	a	0,0048	a
T2	4,8673	a	7,3217	a	0,1305	a	0,0041	a
T3	4,6317	a	7,1151	a	0,1365	a	0,0043	a
T4	4,7186	a	6,3552	b	0,1168	a	0,0034	b
T5	3,6812	b	5,6886	b	0,1259	a	0,0032	b
CV (%)	14,91		17,93		17,44		23,47	

T0: Controle, T1: *Bacillus amyloliquefaciens* PTA4838, T2: *Bacillus subtilis* CNPSO 2657, T3: *Bacillus firmus* i-1582, T4: Abamectina, T5: Imidaclopride + Tiodicarbe. CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Ademais, a Tabela 16 apresenta os resultados do efeito do ambiente de armazenamento no comprimento e na matéria seca, na qual observa-se, novamente, que condições ideais de armazenamento preservam com maior consistência o potencial fisiológico das sementes após um período prolongado de armazenamento.

Tabela 16. Efeitos dos ambientes de armazenamento de sementes de soja no comprimento e massa da matéria seca da parte aérea e sistema radicular de plântulas de soja, após 180 dias de armazenamento das sementes.

Tratamento	Comprimento (cm)		Massa da matéria seca (g)	
	Parte aérea	Raiz	Parte aérea	Raiz
Climatizado	5,3710 a	8,9122 a	0,1311 a	0,0047 a
Não climatizado	3,8900 b	4,7714 b	0,1192 a	0,0029 b
CV (%)	14,91	17,93	17,44	23,47

CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

No que diz respeito ao teste de sanidade de sementes, a interação entre os fatores tratamentos de sementes e ambientes de armazenamento não foi significativa ($p > 0,05$), prosseguindo-se com a análise individual de cada fator. Nessa perspectiva, os mesmos patógenos observados para sementes com zero dias de armazenamento foram constatados para as sementes com 180 dias, sendo que apenas para *Aspergillus* spp. os tratamentos diferiram estatisticamente entre si (Figura 16).

Sendo assim, constatou-se que para a incidência de *Aspergillus* spp. os tratamentos à base de *Bacillus* spp., isto é, T1, T2 e T3, foram os que apresentaram melhores respostas com menor porcentagem de incidência, diferindo estatisticamente do tratamento controle e dos nematicidas químicos (Figura 16). Tal resposta é pareada com o observado para os dados referentes às sementes com zero dias de armazenamento (Figura 14), em que o uso de *Bacillus* spp. foi eficaz na diminuição da incidência do patógeno, aspecto relacionado à caracterização deste gênero bacteriano como fonte produtora de compostos bioativos inibidores da proliferação de *Aspergillus* spp. em grãos armazenados (PÉREZ-GARCIA et al., 2011; APHAISO et al., 2024).

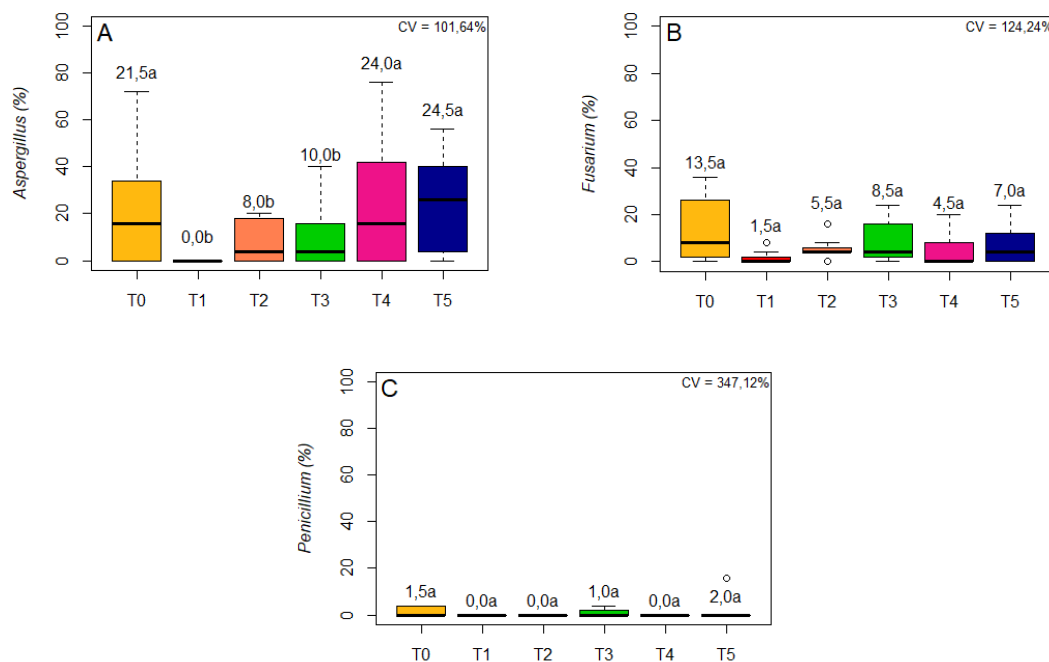


Figura 16. Boxplots da porcentagem de ocorrência de (A) *Aspergillus* spp., (B) *Fusarium* spp. e (C) *Penicillium* spp. em sementes de soja identificados pelo teste de sanidade em sementes armazenadas durante 180 dias, seguindo as características exibidas pelos patógenos no método “Blotter test”. T0: Controle, T1: *Bacillus amyloliquefaciens* PTA4838, T2: *Bacillus subtilis* CNPSO 2657, T3: *Bacillus firmus* i-1582, T4: Abamectina, T5: Imidaclopride + Tiodicarbe. CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Frente a esta observação, é notório que dentre os fungos mais frequentes acometendo grãos armazenados, *Aspergillus* spp., assim como *Penicillium* spp., são caracterizados como os gêneros de maior incidência (SOUSA et al., 2014), e historicamente a proteção contra a contaminação por esses microrganismos é realizada a partir de fungicidas, os quais possuem problemas relativos à toxicidade e atividade residual, o que destaca a demanda por alimentos seguros que concomitantemente sejam ambientalmente sustentáveis (GONG et al., 2023). Dessa maneira, a constatação de efeito duradouro de *Bacillus* spp. na inibição desses patógenos fúngicos durante um período prolongado de armazenamento, contribui tecnicamente para aplicação de possíveis conservantes biológicos que estejam em conformidade com as necessidades demandadas

pelo setor produtivo, tanto a nível de eficácia para o controle de patógenos como para adequação ambiental dos processos adotados na cadeia produtiva.

Em continuidade, a Tabela 17 apresenta os efeitos dos ambientes de armazenamento na incidência de *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp. e *Penicillium* spp., através da qual é possível observar para *Aspergillus* spp. que a ausência de condições controladas de temperatura e umidade no armazenamento das sementes gerou uma incidência do patógeno aproximadamente 4,8 vezes maior em comparação com o ambiente climatizado. Não obstante, a umidade e temperatura possuem grandes efeitos no crescimento de *Aspergillus* spp., de tal forma que durante o armazenamento de longo prazo, a presença de condições inadequadas dessas variáveis pode resultar em expressivas contaminações por *Aspergillus* spp. e alta produção de aflatoxinas nos grãos (GONG et al., 2024).

Tabela 17. Efeitos dos ambientes de armazenamento de sementes de soja na incidência de patógenos observados no teste de sanidade, após 180 dias de armazenamento das sementes.

Ambiente	<i>Aspergillus</i> spp. (%)	<i>Fusarium</i> spp. (%)	<i>Penicillium</i> spp. (%)
Climatizado	4,33 b	8,83 a	1,50 a
Não climatizado	25,00 a	4,67 a	0,00 a
CV (%)	124,24	101,64	347,12

CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Por fim, no que tange aos resultados obtidos a partir do teste de tetrazólio, a interação entre tratamentos de sementes e ambientes de armazenamento não foi significativa ($p > 0,05$), de tal maneira que os efeitos primários de cada fator foram analisados separadamente. Sendo assim, estes dados são apresentados quanto à caracterização de viabilidade e vigor das sementes de acordo com as classificações estabelecidas pelo teste, em que a viabilidade reúne sementes dos grupos 1, 2, 3, 4 e 5, e o vigor por sua vez apenas os grupos 1, 2 e 3 (Figura 17).

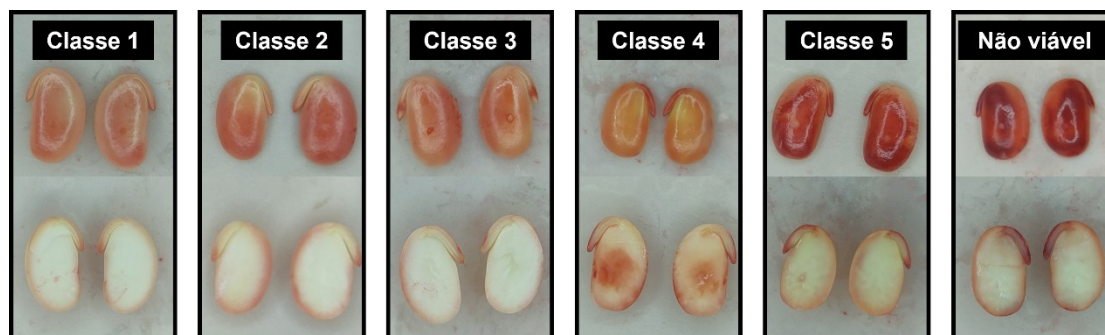


Figura 17. Classes de vigor de acordo com o teste do tetrazólio. Classes 1 e 2: alto vigor; Classe 3: vigor médio; Classe 4: baixo vigor; Classe 5: muito baixo vigor. Não viável: englobando classes 6, 7 e 8. Região externa (superior) e interna (inferior) da semente.

Dessa forma, foi possível observar que o tratamento T2 (*B. subtilis* CNPSO 2657) foi o que apresentou maiores porcentagens de viabilidade, com 91,25%, e diferindo estatisticamente dos demais. T1 e T3 apresentaram respostas intermediárias, com 86,75 e 85,50%, respectivamente, enquanto o controle T0 e os tratamentos T4 e T5 tiveram as menores respostas para viabilidade, sendo estatisticamente iguais (Tabela 18).

Tabela 18. Efeito dos tratamentos de sementes com *Bacillus* spp. e nematicidas químicos na viabilidade (%) e no vigor (%) de plântulas de soja determinados pelo teste de tetrazólio, após 180 dias de armazenamento das sementes.

Tratamento	Viabilidade (%)*	Vigor (%)**
T0	83,25 c	63,25 B
T1	86,75 b	66,25 A
T2	91,25 a	73,00 A
T3	85,50 b	68,75 A
T4	81,00 c	60,75 B
T5	80,75 c	56,25 B
CV (%)	5,24	12,63

T0: Controle, T1: *Bacillus amyloliquefaciens* PTA4838, T2: *Bacillus subtilis* CNPSO 2657, T3: *Bacillus firmus* i-1582, T4: Abamectina, T5: Imidaclopride + Tiodicarbe. CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$). * Viabilidade é a soma das classes 1, 2, 3, 4 e 5. ** Vigor é a soma das classes 1, 2 e 3 (alto e médio vigor).

Em relação ao vigor, os três tratamentos à base de *Bacillus* spp., T1, T2 e T3, apresentaram as maiores respostas, sendo estatisticamente iguais. Nesse sentido, a constatação de benefícios para o vigor de sementes oriundos da aplicação de *Bacillus* spp. também foi observada por outros autores, como Tavanti et al. (2020), em que a inoculação de *B. subtilis* em sementes de soja gerou aumentos em porcentagem de emergência e vigor analisado pelo teste a frio, e Miljakovic et al. (2024b), que constatarem aumentos no índice de vigor de mudas de pepino com a inoculação de *B. subtilis* e *B. amyloliquefaciens*.

Tais dados são interessantes a partir do ponto de vista que a aplicação de *Bacillus* spp. via tratamento de sementes não afetou negativamente a qualidade fisiológica das sementes de soja, mesmo após um período de 180 dias. Assim, mesmo com a estruturação do ensaio visando observar possíveis diferenças de vigor que a priori não seriam explicitadas no tempo zero de armazenamento, a presença do *Bacillus* spp. se mostrou positiva para essas variáveis.

Já para os efeitos dos ambientes de armazenamento na viabilidade de vigor das sementes observadas via teste de tetrazólio, verificou-se que para ambas as variáveis o ambiente climatizado gerou maiores índices, que diferiram estatisticamente do ambiente não climatizado (Tabela 19). Tais dados são corroborados por outros autores que observaram maior conservação da viabilidade e do vigor quando sementes de soja foram armazenadas em câmara climática (ABATI et al., 2021; TEIXEIRA et al. 2024).

Tabela 19. Efeitos dos ambientes de armazenamento de sementes de soja na viabilidade (%) e vigor (%) determinadas pelo teste de tetrazólio, após 180 dias de armazenamento das sementes.

Ambiente	Viabilidade (%)	Vigor (%)
Climatizado	88,08 a	74,08 A
Não climatizado	81,42 b	55,33 B
CV (%)	5,24	12,63

CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Por exemplo, Teixeira et al. (2024) ao analisarem a qualidade de sementes de soja quanto a presença de rachaduras no tegumento ao longo de 270 dias, observaram que a viabilidade medida por meio do teste de tetrazólio em sementes armazenadas à 15°C foi

afetada somente a partir de 225 dias, enquanto sementes armazenadas à 28°C tiveram reduções significativas na viabilidade aos 180 dias. Em conclusão similar para esse aspecto, Abati et al. (2021) verificaram queda na qualidade fisiológica de oito cultivares de soja ao longo de seis meses de armazenamento, com menores índices de vigor e viabilidade em ambiente natural em comparação com câmara climática.

5.4 Avaliação dos tratamentos de sementes de soja submetidas à déficit hídrico, com 180 dias armazenamento em ambientes climatizado e não climatizado

Passando a discorrer sobre os resultados obtidos pelo teste de déficit hídrico, em um primeiro momento verificou-se que para a variável de primeira contagem de germinação não houve interação tripla significativa entre os fatores tratamentos de sementes, ambientes de armazenamento e potenciais hídricos ($p > 0,05$), de tal modo que prosseguiu-se com o desdobramento da interação dupla significativa dos fatores tratamentos de sementes e potenciais hídricos para cada um dos ambientes de armazenamento ($p < 0,05$). De maneira geral, observa-se que para a variável de primeira contagem de germinação, o efeito do estresse hídrico gerou decréscimos progressivos de porcentagem de germinação para todos os tratamentos de sementes, independente do ambiente de armazenamento, com comportamentos decrescentes em todas as regressões estimadas (Figura 18).

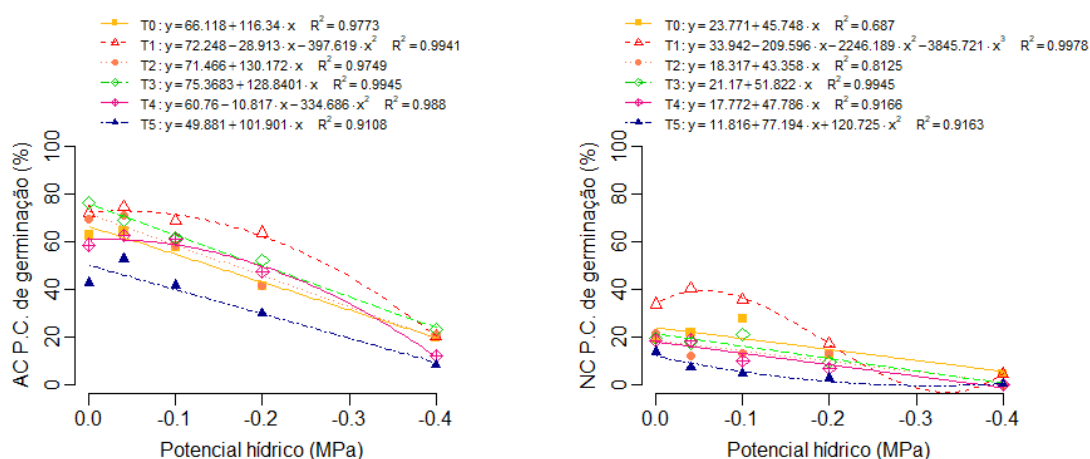


Figura 18. Primeira contagem de germinação (P.C.G.) de sementes de soja submetidas a diferentes potenciais hídricos induzidos por PEG 6000, após armazenamento de 180 dias em ambiente climatizado (AC) e não climatizado (NC).

Somado a este fator estressante, a Figura 18 explicita que no ambiente climatizado os índices de primeira contagem de germinação obtidos foram consideravelmente superiores em comparação ao ambiente não climatizado, com valores médios próximos a 50% para todos os tratamentos até o potencial hídrico de -0,10 MPa. Por outro lado, em ambiente não climatizado, todos os tratamentos apresentaram índices menores do que 40% já em 0 MPa, demonstrando o efeito de deterioração acelerada ocorrido pela ausência de controle de temperatura e umidade durante os 180 dias de armazenamento.

Frente a tais dados, é válido ressaltar que decréscimos oriundos de um armazenamento não controlado são esperados, sobretudo, no manejo de organismos vivos com metabolismo ativo, a exemplo das sementes. Assim, a elucidação da proporção desse decréscimo se faz importante ao passo que contribui para reforçar os cuidados necessários para manter a qualidade dos insumos utilizados na produção agrícola.

Quanto aos efeitos dos tratamentos de sementes para o ambiente climatizado (Tabela 20), constatou-se para o potencial de 0 MPa que apenas o tratamento T5 diferiu estatisticamente dos demais, apresentando um resultado inferior, assim como observado em cenários de armazenamento de zero dias (Tabela 4) e 180 dias (Tabela 8), entretanto, desta vez, sendo isoladamente o de menor desempenho. No potencial de -0,10 MPa, respostas similares dos tratamentos foram observadas, com T5 sendo o único tratamento estatisticamente diferente e com menor resultado. Já para o potencial de -0,04 MPa, os três tratamentos à base de *Bacillus* spp. foram os melhores, com T1, T2 e T3 apresentando 75, 71 e 69% de germinação, respectivamente, sendo estatisticamente iguais e diferindo dos demais. Ademais, em -0,20 MPa o tratamento T1 foi o melhor, e ao estresse hídrico induzido de -0,40 MPa, todos os tratamentos à base de *Bacillus* spp. foram iguais ao controle T0.

No que diz respeito ao efeito dos níveis do fator potencial hídrico em cada tratamento, verificou-se sempre o mesmo padrão, no qual os potenciais de 0 e -0,04 MPa foram estatisticamente iguais. A partir deste potencial, todos os demais diferiram entre si, passando a uma situação de menor desempenho em -0,10 MPa, que se torna mais estressora em -0,20 MPa, até a concretização do pior cenário para a germinação em -0,40 MPa.

Tabela 20. Efeito dos tratamentos de sementes com *Bacillus* spp. e nematicidas químicos na primeira contagem de germinação de plântulas de soja, submetidas a diferentes potenciais hídricos (MPa) e armazenadas em ambiente climatizado durante 180 dias.

Tratamento	Primeira contagem de germinação (%)				
	Disponibilidades hídricas (MPa)				
	0	-0,04	-0,10	-0,20	-0,40
T0	62,0 Aa	64,0 Ba	58,0 Ab	41,0 Cc	20,0 Ad
T1	72,0 Aa	75,0 Aa	66,0 Ab	64,0 Ac	20,0 Ad
T2	70,0 Aa	71,0 Aa	58,0 Ab	42,0 Cc	21,0 Ad
T3	76,0 Aa	69,0 Aa	62,0 Ab	52,0 Bc	23,0 Ad
T4	59,0 Aa	63,0 Ba	64,0 Ab	47,0 Cc	12,0 Bd
T5	43,0 Ba	53,0 Ca	42,0 Bb	30,0 Dc	8,0 Bd

T0: Controle, T1: *Bacillus amyloliquefaciens* PTA4838, T2: *Bacillus subtilis* CNPSO 2657, T3: *Bacillus firmus* i-1582, T4: Abamectina, T5: Imidaclopride + Tiodicarbe. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Nesse sentido, é interessante observar que *Bacillus* spp. possibilitou a expressar o potencial máximo para germinação mesmo sob condições de estresse hídrico, aspecto constatado por Rashid et al. (2022) em que a inoculação de *B. megaterium* MU2 e *B. licheniformis* MU8 isolados de condições áridas e semiáridas resultou em plantas de trigo tolerantes à seca em função do controle aprimorado do conteúdo relativo de água, pigmentos osmóticos e diminuição da peroxidação lipídica. Em perspectiva ampla, a aplicação de *Bacillus* spp. é passível de ajudar plantas de soja a superar estresse relativos à seca em decorrência da melhora de caracteres morfológicos, diminuição da perda de eletrólitos e redução na formação de espécies reativas de oxigênio induzidas pelo estresse (AL-SHAMMARI et al., 2024), ou seja, auxiliando a planta em desempenhar de forma plena suas funções fisiológicas.

Com isso, ao extrapolar tais dados para situações de manejo, e ponderando frente às mudanças climáticas que vem alterando o regime de chuvas e expondo as culturas agrícolas a situações mais desafiadoras (SPINONI et al. 2018), o uso de *Bacillus* spp. via tratamento de sementes pode ser uma ferramenta adicional nos sistemas produtivos na busca em contornar tais dificuldades emergentes, auxiliando as plantas a superar possíveis

estresses induzidos pela seca. Obviamente, outros fatores possuem um peso maior no enfrentamento de tais problemas, a exemplo da seleção de cultivares mais tolerantes e a possibilidade de fornecimento de água via irrigação, contudo, dado o baixo custo do tratamento de sementes no planejamento agrícola e a presença de agrotóxicos biológicos com essa caracterização, a aplicação desses microrganismos via tratamento de sementes é valiosa como ferramenta adicional.

Para o ambiente não controlado, todas as respostas para primeira contagem de germinação foram baixas. O tratamento T1 destacou-se com melhores índices até o estresse de -0,10 MPa, a partir do qual as porcentagens se tornam consideravelmente baixas e não há diferenciação dos tratamentos à base de *Bacillus* spp. com o controle T0 (Tabela 21).

Tabela 21. Efeito dos tratamentos de sementes com *Bacillus* spp. e nematicidas químicos na primeira contagem de germinação de plântulas de soja, submetidas a diferentes potenciais hídricos (MPa) e armazenadas em ambiente não climatizado durante 180 dias.

Tratamento	Primeira contagem de germinação (%)				
	Disponibilidades hídricas (MPa)				
	0	-0,04	-0,10	-0,20	-0,40
T0	19,0 Ba	22,0 Ba	28,0 Ba	13,0 Ab	5,0 Ab
T1	34,0 Aa	40,0 Aa	36,0 Aa	17,0 Ab	5,0 Ab
T2	22,0 Ba	12,0 Ca	13,0 Ca	13,0 Aa	0,0 Ab
T3	20,0 Ba	18,0 Ba	21,0 Ba	10,0 Ab	0,0 Ab
T4	19,0 Ba	19,0 Ba	10,0 Cb	7,0 Ab	0,0 Ab
T5	14,0 Ba	8,0 Ca	5,0 Ca	3,0Aa	0,0 Ab

T0: Controle, T1: *Bacillus amyloliquefaciens* PTA4838, T2: *Bacillus subtilis* CNPSO 2657, T3: *Bacillus firmus* i-1582, T4: Abamectina, T5: Imidaclopride + Tiodicarbe. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Quanto aos efeitos dos potenciais hídricos, os tratamentos T0, T1 e T3 apresentaram respostas que foram estatisticamente iguais em 0, -0,04 e -0,10 MPa. Passando para -0,20 e -0,40 MPa, os quais foram estatisticamente iguais, estes tratamentos demonstraram menor desempenho para primeira contagem de germinação.

Já para os tratamentos T2 e T5, os potenciais não diferiram entre si até -0,20 MPa, sendo que a disponibilidade hídrica de -0,40 constituiu o cenário mais estressante. Por fim, o tratamento T4 teve comportamento em que 0 e -0,04 MPa foram os níveis de melhor desenvolvimento, e os demais não diferiram estatisticamente para o potencial hídrico.

Aqui, verificou-se um cenário em que um dos tratamentos com *Bacillus* spp., especificamente T1 (*B. amyloliquefaciens* PTA4838), demonstrou um acréscimo na porcentagem de germinação até -0,10 MPa, o que vai de acordo com as constatações do gênero bacteriano em auxiliar o desempenho fisiológico das plantas em condições estressantes (RASHID et al., 2022; AL-SHAMMARI et al., 2024). Entretanto, a caracterização de estresse em alta intensidade, pela combinação do período prolongado de armazenamento em condições não ideais de temperatura e umidade aliada ao estresse hídrico, torna esse efeito mais plausível sob ótica do *Bacillus* spp. em evitar grandes decréscimo resultantes da deterioração da semente do que um acréscimo notável para a plena expressão do potencial fisiológico das sementes.

No que diz respeito a germinação final, a interação tripla entre os fatores tratamentos de sementes, ambientes de armazenamento e potenciais hídricos foi significativa ($p < 0,05$), assim, os dados foram apresentados a partir do desdobramento dessa interação. Analisando inicialmente o comportamento geral dos dados, verificou-se uma tendência similar à encontrada para primeira contagem de germinação, com decréscimos em porcentagem da variável resposta em decorrência do aumento de estresse por déficit hídrico em ambos os ambientes (Figura 19).

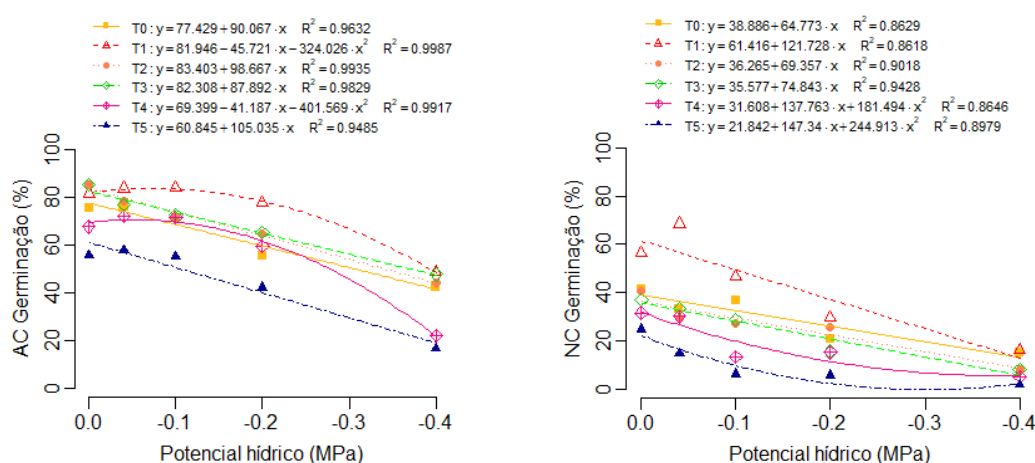


Figura 19. Germinação final de sementes de soja submetidas a diferentes potenciais hídricos induzidos por PEG 6000, após armazenamento de 180 dias em ambiente climatizado (AC) e não climatizado (NC).

Tal resultado é corroborado na literatura por Mut e Akay (2010), que constatarem diminuição progressiva da germinação de sementes de aveia à medida que o estresse hídrico se tornava mais severo, e Kizilgeçi et al. (2017), que observaram reduções na germinação final de sementes de trigo com diminuição do potencial hídrico, e ainda em Hellal et al. (2018), que observaram significativas reduções da porcentagem de germinação de 10 cultivares de cevada com aumento do déficit hídrico induzido por PEG.

Partindo para o desdobramento da interação tripla entre os fatores, a Tabela 22 apresenta o efeito dos tratamentos de sementes em cada um dos cinco níveis de potencial hídrico e a diferença entre os ambientes de armazenamento.

Tabela 22. Efeito dos tratamentos de sementes com *Bacillus* spp. e nematicidas químicos na germinação final de plântulas de soja, submetidas a diferentes potenciais hídricos (MPa) e armazenadas em ambiente climatizado e não climatizado durante 180 dias.

Ambiente	Tratamento	Germinação final (%)				
		Disponibilidades hídricas (MPa)				
		0,00	-0,04	-0,10	-0,20	-0,40
Climatizado	T0	76,0 Aaα	76,0 Aaα	71,0 Aaα	56,0 Cbα	43,0 Aca
	T1	82,0 Aaα	84,0 Aaα	84,0 Aaα	78,0 Aaα	49,0 Abα
	T2	85,0 Aaα	79,0 Aaα	72,0 Abα	65,0 Bbα	44,0 Aca
	T3	85,0 Aaα	77,0 Aaα	73,0 Abα	65,0 Bbα	48,0 Aca
	T4	68,0 Baα	72,0 Aaα	72,0 Aaα	60,0 Baα	22,0 Bbα
	T5	56,0 Caα	58,0 Baα	55,0 Baα	42,0 Dbα	17,0 Bca
Não climatizado	T0	42,0 Baβ	33,0 Baβ	37,0 Aaβ	21,0 Abβ	15,0 Abβ
	T1	57,0 Abβ	69,0 Aaβ	47,0 Abβ	30,0 Acβ	16,0 Adβ
	T2	41,0 Baβ	29,0 Bbβ	27,0 Bbβ	26,0 Abβ	8,0 Acβ
	T3	37,0 Baβ	34,0 Baβ	29,0 Baβ	16,0 Bbβ	8,0 Abβ
	T4	32,0 Baβ	30,0 Baβ	13,0 Cbβ	15,0 Bbβ	5,0 Abβ
	T5	25,0 Caβ	15,0 Caβ	6,0 Cbβ	6,0 Bbβ	2,0 Abβ

T0: Controle, T1: *Bacillus amyloliquefaciens* PTA4838, T2: *Bacillus subtilis* CNPSO 2657, T3: *Bacillus firmus* i-1582, T4: Abamectina, T5: Imidaclopride + Tiodicarbe. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, minúscula na linha, e grega dentro dos níveis de ambiente não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Sendo assim, em um primeiro momento torna-se explícito que para todos os tratamentos em todos os potenciais hídricos as respostas obtidas em ambiente climatizado foram superiores em relação ao ambiente não climatizado, diferindo estatisticamente entre si. Para o ambiente climatizado, observou-se que até o potencial de -0,10 MPa, nenhum tratamento à base de *Bacillus* spp. se destacou positivamente, uma vez que o controle T0 foi estatisticamente igual a T1, T2, T3, e também a T4 em -0,04 e -0,10 MPa. Já em -0,20 MPa, o tratamento T1 se destacou, com germinação final de 78% e sendo estatisticamente superior a todos os demais. Em -0,40 MPa, os tratamentos à base de *Bacillus* spp. foram estatisticamente iguais a testemunha, e T4 e T5 apresentaram respostas inferiores aos demais. Ademais, quanto aos efeitos do potencial hídrico, nota-se que até -0,04 MPa não houve diferença entre os potenciais para nenhum tratamento. Em -0,10 MPa, apenas T2 e T3 apresentaram decréscimo significativo, que para esses tratamentos foram estatisticamente iguais ao nível de -0,20 MPa. De maneira geral, o potencial de -0,40 MPa foi o pior para todos os tratamentos, sendo estatisticamente diferente que os demais potenciais em todos os tratamentos.

Além disso, para o ambiente não climatizado T1 foi o tratamento de melhor desempenho até -0,04 MPa, diferindo estatisticamente dos demais, e permaneceu igual ao controle ao longo dos demais níveis do gradiente do potencial hídrico, sendo que em -0,40 MPa nenhum tratamento diferiu estatisticamente entre si. Para o efeito dos níveis de potencial, de maneira geral as diferenças são deflagradas a partir de -0,10 MPa, com exceção de T1 e T2, em que o primeiro teve comportamento atípico em apresentar como melhor cenário o potencial hídrico de -0,04 MPa, e o segundo que apresentou decréscimos estatisticamente consideráveis a partir de -0,04 MPa.

Efeitos benéficos da presença de *Bacillus* spp. na germinação final frente ao estresse hídrico induzido por PEG também foram testados por Kim e Sang (2023). Os autores, ao testarem extratos bacterianos de três espécies de *Bacillus*, sendo elas *B. butanolivorans* KJ40, *B. siamensis* H30-3 e *B. aryabhathai* H26-2, constataram que a germinação final de sementes de soja sob condições de estresse por seca foi promovida pela presença dos extratos, com ganhos superiores a 20% em relação ao controle. Assim, os autores sugerem que o aumento das atividades de enzimas antioxidantes caracteriza a via de regulação para o estresse oxidativo que favorece a germinação.

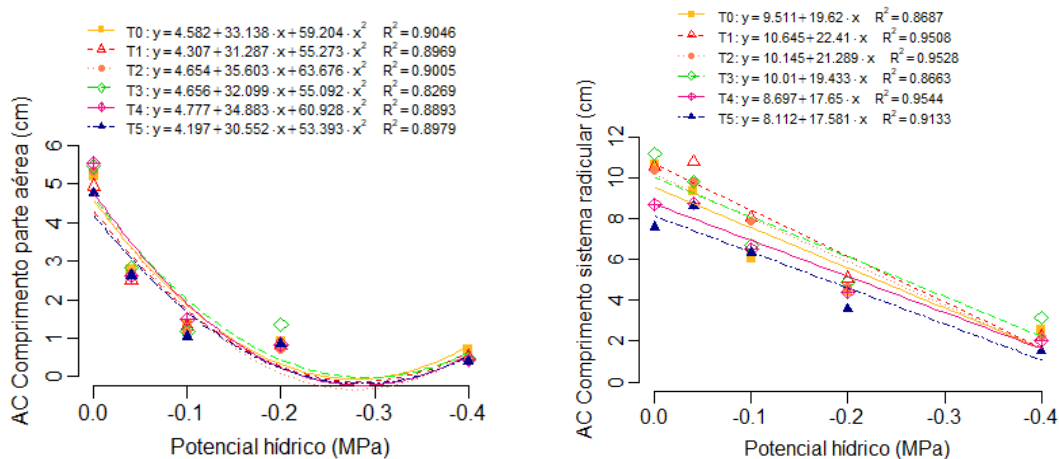
Não obstante, com menor estresse oriundo da produção de espécies reativas de oxigênio, o pleno desenvolvimento da germinação tende a ocorrer de forma menos custosa, uma vez que a exposição das plantas ao estresse intrinsecamente induz a

alterações metabólicas, gerando, por exemplo, uma germinação restrita em situações em que as sementes são expostas a estresses severos (SWIGONSKA e WEIDNER, 2013).

Dessa forma, tais dados constroem em linha tênue com a primeira contagem de germinação que os benefícios resultantes da aplicação de *Bacillus* spp. em situações de estresse hídrico tendem a contribuir para superação dessas condições adversas, em que diante níveis de estresse em que sementes sem tratamento já apresentam perdas consideráveis, a exemplo de -0,20 MPa em ambiente climatizado e -0,04 MPa para não climatizado, a presença de *Bacillus* spp. contribui em frear decréscimos elevados de germinação.

Para os dados de comprimento de plântulas, não houve interação tripla significativa entre os fatores tratamentos de sementes, ambientes de armazenamento e potenciais hídricos ($p > 0,05$), de tal modo que se prosseguiu com o desdobramento da interação dupla significativa dos fatores tratamentos de sementes e potenciais hídricos para cada um dos ambientes de armazenamento ($p < 0,05$).

Sob tal ótica, a Figura 20 apresenta as regressões estimadas para o comprimento de plântulas da parte aérea e do sistema radicular, em ambiente climatizado e não climatizado de armazenamento. Dessa maneira, verifica-se que, de modo geral, para as duas variáveis, isto é, comprimento da parte aérea e comprimento do sistema radicular, em ambos os ambientes de armazenamento, se tem uma relação de diminuição do comprimento de plântulas com o aumento do estresse hídrico. Ademais, nestas variáveis houve padrões de regressão muito claros, em que independentemente do ambiente de armazenamento, o comprimento da parte aérea demonstrou um decréscimo quadrático com o aumento do déficit hídrico para todos os tratamentos, enquanto o comprimento do sistema radicular foi descrito de forma satisfatória através de regressões lineares.



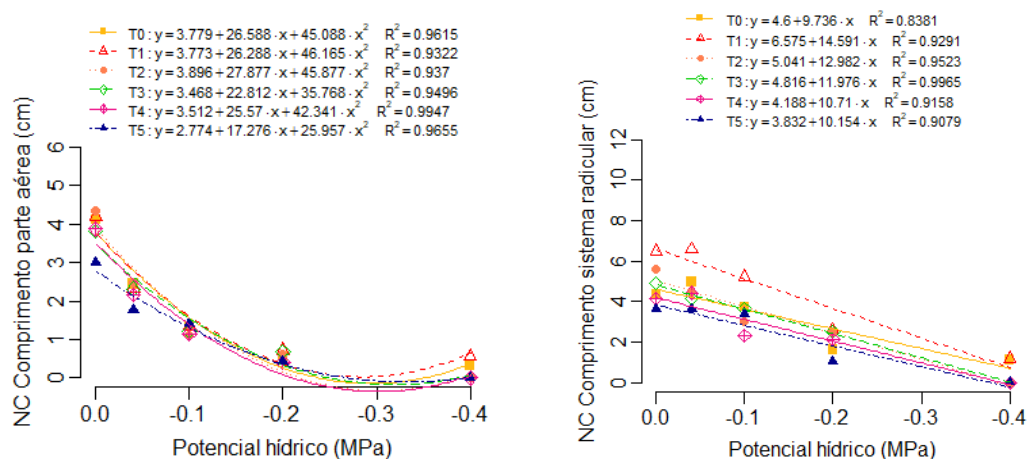


Figura 20. Comprimento da parte aérea (esquerda) e sistema radicular (direita) de plântulas de soja submetidas a diferentes potenciais hídricos induzidos por PEG 6000, após armazenamento de 180 dias em ambiente climatizado (AC) e não climatizado (NC).

Assim, é possível observar que para o ambiente climatizado, houve padrões bem definidos quanto aos efeitos dos níveis do fator potencial hídrico, em que para parte aérea todos os potenciais diferiram estatisticamente, sendo 0 MPa o com melhores resultados e -0,40 MPa o mais estressante, com um gradiente bem definido entre eles (Tabela 23).

Tabela 23. Efeito dos tratamentos de sementes com *Bacillus* spp. e nematicidas químicos comprimento da parte aérea de plântulas de soja, submetidas a diferentes potenciais hídricos (MPa) e armazenadas em ambiente climatizado durante 180 dias.

Tratamento	Comprimento da parte aérea (cm)				
	Disponibilidades hídricas (MPa)				
	0	-0,04	-0,10	-0,20	-0,40
T0	5,1938 Aa	2,7625 Ab	1,3600 Ac	0,9100 Bd	0,6900 Ae
T1	4,9888 Aa	2,4900 Ab	1,3025 Ac	0,8175 Bd	0,5300 Ae
T2	5,3250 Aa	2,6850 Ab	1,1800 Ac	0,7250 Bd	0,4800 Ae
T3	5,4525 Aa	2,8400 Ab	1,0650 Ac	1,3625 Ad	0,4600 Ae
T4	5,5403 Aa	2,6250 Ab	1,5000 Ac	0,8425 Bd	0,4538 Ae
T5	4,7469 Aa	2,6225 Ab	1,0475 Ac	0,8500 Bd	0,4050 Ae

T0: Controle, T1: *Bacillus amyloliquefaciens* PTA4838, T2: *Bacillus subtilis* CNPSO 2657, T3: *Bacillus firmus* i-1582, T4: Abamectina, T5: Imidaclopride + Tiodicarbe. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Quanto aos efeitos dos tratamentos para cada potencial, para o comprimento da parte aérea o tratamento T3 variou estatisticamente dos demais apenas em -0,20 MPa, representando um acréscimo de 48,6% do comprimento em relação ao controle, mas sendo uma única resposta isolada, sendo que para todos os outros potenciais os tratamentos foram estatisticamente iguais (Tabela 23).

Já para o sistema radicular, os potenciais de 0 e -0,04 MPa foram estatisticamente iguais, apresentando as maiores médias de comprimento, que passou a diminuir para os demais potenciais, atingindo o cenário mais estressor em -0,40 MPa. Nenhum tratamento diferiu estatisticamente para nenhum potencial hídrico para o sistema radicular (Tabela 24).

Tabela 24. Efeito dos tratamentos de sementes com *Bacillus* spp. e nematicidas químicos comprimento do sistema radicular de plântulas de soja, submetidas a diferentes potenciais hídricos (MPa) e armazenadas em ambiente climatizado durante 180 dias.

Tratamento	Comprimento do sistema radicular (cm)				
	Disponibilidades hídricas (MPa)				
	0	-0,04	-0,10	-0,20	-0,40
T0	10,6550 Aa	9,3225 Aa	6,0700 Ab	4,4425 Ac	2,5450 Ad
T1	10,5475 Aa	10,7675 Aa	8,0375 Ab	5,0750 Ac	2,2150 Ad
T2	10,3950 Aa	9,8400 Aa	7,8525 Ab	4,6475 Ac	2,2350 Ad
T3	11,1600 Aa	9,8050 Aa	6,6675 Ab	4,8925 Ac	3,1450 Ad
T4	8,7125 Aa	8,7525 Aa	6,5075 Ab	4,4000 Ac	2,0500 Ad
T5	7,5800 Aa	8,6050 Aa	6,3300 Ab	3,5425 Ac	1,4925 Ad

T0: Controle, T1: *Bacillus amyloliquefaciens* PTA4838, T2: *Bacillus subtilis* CNPSO 2657, T3: *Bacillus firmus* i-1582, T4: Abamectina, T5: Imidaclopride + Tiodicarbe. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Com isso, a constatação de acréscimo no comprimento é corroborada com dados encontrados na literatura, por exemplo, em sementes de milho inoculadas com cepas de *B. albus* que apresentaram acréscimos no comprimento da raiz e da parte aérea na ordem de 13,5 e 25,2% para a cepa LRS2 e 12,2 e 13,2% para cepa LRS23, respectivamente, quando submetidas a um potencial hídrico de -0,45 MPa induzido por PEG (RAJKUMAR

et al., 2024), sementes de trigo com isolados bacterianos de *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp. e *Staphylococcus* sp. que tiveram aumentos na ordem de 11% para comprimento da raiz e 28% da parte aérea em relação ao controle em déficit hídrico simulado de sete dias (SATI et al., 2023), e em sementes de linhaça inoculadas com *B. subtilis* PM49, que obtiveram aumentos de 56% no comprimento da raiz e 35,1% no comprimento da parte aérea em relação ao controle em estresse induzido por PEG (RUKH et al., 2025).

Contudo, é de suma importância destacar que os resultados obtidos com a presente pesquisa convergem a uma pontualidade, que necessita ser analisada como tal, uma vez que a inferência de acréscimos no comprimento de plântulas em cenários de estresse hídrico pelo uso de T1, feita somente a partir de um dado único, compõe uma tomada de decisão frágil que necessita de maiores corroborações, sobretudo, pensando na interação entre a cepa do microrganismo utilizado com a cultura/cultivar em questão.

Ao analisar os dados de comprimento referente ao ambiente não climatizado, verificou-se para a parte aérea (Tabela 25) e sistema radicular (Tabela 26) que o efeito dos potenciais também apresentou um gradiente bem definido, começando com 0 e -0,04 MPa sendo estatisticamente iguais, e os potenciais de -0,10; -0,20 e -0,40 MPa diferindo estatisticamente, sendo -0,40 MPa o cenário que levou às menores médias.

Tabela 25. Efeito dos tratamentos de sementes com *Bacillus* spp. e nematicidas químicos comprimento da parte aérea de plântulas de soja, submetidas a diferentes potenciais hídricos (MPa) e armazenadas em ambiente não climatizado durante 180 dias.

Tratamento	Comprimento da parte aérea (cm)				
	Disponibilidades hídricas (MPa)				
	0	-0,04	-0,10	-0,20	-0,40
T0	4,1138 Aa	2,4429 Aa	1,3417 Ab	0,5617 Ac	0,3021 Bd
T1	4,2057 Aa	2,3284 Aa	1,3500 Ab	0,7225 Ac	0,5750 Ad
T2	4,3300 Aa	2,4823 Aa	1,1225 Ab	0,6225 Ac	0,0000 Cd
T3	3,8056 Aa	2,3200 Aa	1,2042 Ab	0,6963 Ac	0,0000 Cd
T4	3,8708 Aa	2,1711 Aa	1,1594 Ab	0,3938 Ac	0,0000 Cd
T5	2,9983 Aa	1,7646 Aa	1,4000 Ab	0,4167 Ac	0,0000 Cd

T0: Controle, T1: *Bacillus amyloliquefaciens* PTA4838, T2: *Bacillus subtilis* CNPSO 2657, T3: *Bacillus firmus* i-1582, T4: Abamectina, T5: Imidaclopride + Tiodicarbe. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Quanto ao efeito dos tratamentos, para parte aérea houve apenas uma diferença estatística constatada entre eles no potencial de -0,40 MPa, em que o tratamento T1 foi superior aos demais (Tabela 25). Já para o sistema radicular, T1 e T2 foram estatisticamente melhores em 0 MPa, e T1 permaneceu sendo estatisticamente superior até -0,10 MPa. Para -0,20 Mpa, não houve diferenças entre os tratamentos e, em -0,40 MPa, o controle T0 e T1 diferiram dos demais, sendo essa uma resposta esperada dada a não sobrevivência de plântulas de T2, T3, T4 e T5 nesse nível de estresse hídrico em ambiente não climatizado (Tabela 26).

Tabela 26. Efeito dos tratamentos de sementes com *Bacillus* spp. e nematicidas químicos comprimento do sistema radicular de plântulas de soja, submetidas a diferentes potenciais hídricos (MPa) e armazenadas em ambiente não climatizado durante 180 dias.

Tratamento	Comprimento do sistema radicular (cm)				
	Disponibilidades hídricas (MPa)				
	0	-0,04	-0,10	-0,20	-0,40
T0	4,3600 Ba	4,9675 Ba	3,7250 Bb	1,6250 Ac	1,1200 Ad
T1	6,4850 Aa	6,5725 Aa	5,2375 Ab	2,6050 Ac	1,1750 Ad
T2	5,6000 Aa	4,4625 Ba	3,0225 Bb	2,5125 Ac	0,0000 Bd
T3	4,9250 Ba	4,1550 Ba	3,6400 Bb	2,4975 Ac	0,0000 Bd
T4	4,1350 Ba	4,4325 Ba	2,3375 Bb	2,1075 Ac	0,0000 Bd
T5	3,6250 Ba	3,6150 Ba	3,3875 Bb	1,0200 Ac	0,0000 Bd

T0: Controle, T1: *Bacillus amyloliquefaciens* PTA4838, T2: *Bacillus subtilis* CNPSo 2657, T3: *Bacillus firmus* i-1582, T4: Abamectina, T5: Imidaclopride + Tiodicarbe. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Sendo assim, os dados novamente demonstram respostas pontuais de como *Bacillus* spp. pode auxiliar na superação de condições de estresse induzidas pela seca para as variáveis de comprimento da parte aérea e do sistema radicular. Tais dados podem estar atrelados à capacidade intrínseca de bactérias promotoras de crescimento em produzir metabólitos e compostos voláteis que promovem interações planta-microrganismos, as quais influenciam tanto no crescimento da planta, como na supressão de doenças e na capacidade de suportar e resistir a uma série de estresses abióticos (MAYAK et al., 2004).

Contudo, novamente, aponta-se para a cautela em extrapolar tais descobertas para as variáveis de comprimento de plântulas, dada as pontualidades e ausência de um padrão aqui observadas.

Por fim, como última variável analisada dentro do ensaio de déficit hídrico tem-se os resultados que concernem a massa da matéria seca da parte aérea e do sistema radicular, em que houve interação tripla significativa entre tratamentos de sementes, ambientes de armazenamento e potenciais hídricos ($p < 0,05$), de tal maneira que se prosseguiu com o desdobramento desta interação. A Tabela 27 apresenta os dados de massa matéria seca da parte aérea para as sementes tratadas submetidas ao déficit hídrico e ao período de armazenamento de 180 dias em ambientes climatizado e não climatizado.

Tabela 27. Efeito dos tratamentos de sementes com *Bacillus* spp. e nematicidas químicos na massa da matéria seca da parte aérea de plântulas de soja, submetidas a diferentes potenciais hídricos (MPa) e armazenadas em ambiente climatizado e não climatizado durante 180 dias.

Ambiente	T*	Massa da matéria seca da parte aérea (g)				
		Disponibilidades hídricas (MPa)				
		0,00	-0,04	-0,10	-0,20	-0,40
Climatizado	T0	0,1236 Aaα	0,1314 Aaα	0,1306 Aaα	0,1350 Aaα	0,0987 Aaα
	T1	0,1231 Aaα	0,1277 Aaα	0,1273 Aaα	0,1285 Aaα	0,1274 Aaα
	T2	0,1229 Aaα	0,1232 Aaα	0,1262 Aaα	0,1300 Aaα	0,1221 Aaα
	T3	0,1499 Aaα	0,1240 Aaα	0,1260 Aaα	0,1301 Aaα	0,1229 Aaα
	T4	0,1278 Aaα	0,1274 Aaα	0,1181 Aaα	0,1332 Aaα	0,1341 Aaα
	T5	0,1277 Aaα	0,1304 Aaα	0,1239 Aaα	0,1235 Aaα	0,1374 Aaα
Não climatizado	T0	0,1272 Aaα	0,1320 Aaα	0,1308 Aaα	0,0924 Bbβ	0,0714 Bbα
	T1	0,1298 Aaα	0,1294 Aaα	0,1347 Aaα	0,1314 Aaα	0,1106 Aaα
	T2	0,1233 Aaα	0,1304 Aaα	0,1280 Aaα	0,1338 Aaα	0,0000 Cbβ
	T3	0,1364 Aaα	0,1340 Aaα	0,1243 Aaα	0,1399 Aaα	0,0000 Cbβ
	T4	0,1257 Aaα	0,1269 Aaα	0,1465 Aaα	0,0924 Bbβ	0,0000 Ccβ
	T5	0,1109 Aaα	0,1284 Aaα	0,1248 Aaα	0,0595 Cbβ	0,0000 Ccβ

T0: Controle, T1: *Bacillus amyloliquefaciens* PTA4838, T2: *Bacillus subtilis* CNPSO 2657, T3: *Bacillus firmus* i-1582, T4: Abamectina, T5: Imidaclopride + Tiodicarbe. *T: tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, minúscula na linha, e grega dentro dos níveis de ambiente não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Aqui, discorrendo sobre os ambientes de armazenamento, é possível observar que diferenças estatísticas foram constadas apenas para os potenciais de -0,20 e -0,40 MPa, em que apenas T0, T4 e T5 diferiram entre os ambientes para -0,20 MPa, e T2, T3, T4 e T5 diferiram entre os ambientes para -0,40 MPa. Sendo assim, evidencia-se que a ausência de condições adequadas de armazenamento só foi deflagrante para a variável massa da matéria seca em conjunto com os maiores níveis de déficit hídrico aqui testados.

No que tange ao efeito dos tratamentos para cada potencial hídrico em ambiente climatizado, verificou-se que não houve nenhuma diferença estatística entre os tratamentos para nenhum dos potenciais, não sendo possível destacar efeitos de ganhos ou decréscimo oriundos dos tratamentos de sementes. Tais dados são contrários aos observados na literatura, em que a presença de diferentes espécies e cepas de *Bacillus* foram determinantes para melhorar a massa seca em condições de estresse hídrico para trigo (ASLAM et al., 2018; SATI et al., 2023), alfafa (KANG et al., 2021), arroz (KARMAKAR et al., 2021), e linhaça (RUKH et al., 2025).

Considerando a presença das condições de temperatura e umidade controladas ao longo do armazenamento, é possível inferir que a não deflagração de efeitos significativos dos tratamentos de sementes para a matéria seca demonstra a priori que condições ótimas de armazenamento prevalecem frente aos efeitos estressores do déficit hídrico, sendo que os dados apresentados de matéria seca da parte aérea em condição de estresse hídrico (Tabela 27), são numericamente próximos aos observados para sementes armazenadas durante 180 dias sem a presença do estresse hídrico (Tabela 15).

Entretanto, independente do armazenamento, é válido ressaltar que constatações em diferentes espécies de plantas corroboram amplamente que o uso de bactérias promotores de crescimento caracteriza uma importante ferramenta para resistência e adaptação das plantas ao estresse hídrico, em virtude da promoção hormonal, disponibilidade de nutrientes e ativação de vias metabólicas de defesa, sendo uma estratégia valiosa que solucionar problemas decorrentes das mudanças climáticas na manutenção da segurança alimentar (VURUKONDA et al., 2016).

De forma similar, a comparação dos potenciais para cada tratamento demonstrou ausência de efeito significativo, em que todos os potenciais foram estatisticamente iguais em todos os tratamentos.

Já para o ambiente não climatizado, é possível observar que para o potencial de -0,20 MPa os tratamentos diferiram entre si, em que os três tratamentos à base de *Bacillus* spp. foram estatisticamente superiores aos demais, enquanto T5 apresentou o menor

desempenho para a matéria seca, sendo estatisticamente inferior que a testemunha T0 e T4, que apresentaram resultado intermediário. Além disso, para o potencial de -0,40 MPa, T1 foi o tratamento com melhores respostas, diferindo estatisticamente da resposta de T0, que por sua vez diferiu dos demais tratamentos que não apresentaram plântulas vivas passíveis de mensuração da variável nesse potencial. Sob essa perspectiva, é válido destacar que a combinação do período prolongado de armazenamento em condições não controladas somada ao déficit hídrico induzido, compõe um cenário de elevado estresse para as sementes, de tal modo que acréscimos oriundos dos tratamentos de sementes, como em T1, T2 e T3 em -0,20 MPa e T1 em -0,40 MPa são significativos para atenuar esse efeito estressor.

Ademais, quanto aos efeitos dos potenciais em cada tratamento, para T1 todos os potenciais foram estatisticamente iguais, para T2 e T3 só houve diferença no potencial de maior estresse hídrico de -0,40 MPa, e para T0, T4 e T5, os potenciais de 0; -0,04 e -0,10 MPa foram estatisticamente iguais, diferindo de -0,20 e -0,40 MPa, sendo estes iguais entre si no tratamento T0.

Quanto à massa da matéria seca do sistema radicular representada na Tabela 28, o efeito do ambiente de armazenamento foi mais variável, de tal modo que para o potencial de 0 MPa, T0, T1, T2 e T3 diferiram estatisticamente entre ambiente climatizado – com melhores respostas – e não climatizado. Para -0,04 MPa, nenhum tratamento diferiu quanto ao ambiente de armazenamento. Em -0,10 MPa, foram constatadas diferenças para T0, T2 e T3, e em -0,20 MPa apenas T1 diferiu estatisticamente entre os ambientes. Ademais, para -0,40 MPa, assim como observado para matéria seca da parte aérea, os tratamentos em que não houve sobrevivência de plântulas diferiram estatisticamente entre os ambientes de armazenamento.

Aqui, torna-se claro pelos dados, assim como observado para as demais variáveis estudadas no presente ensaio envolvendo o déficit hídrico, que a ausência e controle de temperatura e umidade durante o armazenamento tende a afetar negativamente o potencial fisiológico das sementes. Não obstante, a manutenção da qualidade das sementes por um longo período, visando reduzir as chances de acelerar seu processo intrínseco de deterioração, é substancialmente influenciada pela temperatura e umidade relativa do ambiente de armazenamento (CORADI et al., 2019).

Tabela 28. Efeito dos tratamentos de sementes com *Bacillus* spp. e nematicidas químicos na massa da matéria seca do sistema radicular de plântulas de soja, submetidas a diferentes potenciais hídricos (MPa) e armazenadas em ambiente climatizado e não climatizado durante 180 dias.

Ambiente	T*	Massa da matéria seca do sistema radicular (g)				
		Disponibilidades hídricas (MPa)				
		0,00	-0,04	-0,10	-0,20	-0,40
Climatizado	T0	0,0056 Aaα	0,0057 Aaα	0,0048 Aaα	0,0032 Abα	0,0015 Bcα
	T1	0,0066 Aaα	0,0052 Aaα	0,0049 Aaα	0,0047 Aaα	0,0027 Bbα
	T2	0,0063 Aaα	0,0058 Aaα	0,0048 Abα	0,0042 Abα	0,0040 Abα
	T3	0,0061 Aaα	0,0055 Aaα	0,0048 Abα	0,0036 Abα	0,0045 Abα
	T4	0,0047 Baα	0,0036 Baα	0,0040 Aaα	0,0034 Aaα	0,0034 Aaα
	T5	0,0040 Baα	0,0034 Baα	0,0031 Aaα	0,0030 Aaα	0,0029 Baα
Não climatizado	T0	0,0030 Abβ	0,0056 Aaα	0,0020 Abβ	0,0023 Abα	0,0018 Abα
	T1	0,0037 Abβ	0,0051 Aaα	0,0033 Abα	0,0030 Abβ	0,0026 Abα
	T2	0,0033 Aaβ	0,0046 Aaα	0,0023 Aaβ	0,0036 Aaα	0,0000 Bbβ
	T3	0,0035 Aaβ	0,0046 Aaα	0,0030 Aaβ	0,0034 Aaα	0,0000 Bbβ
	T4	0,0047 Aaα	0,0039 Aaα	0,0035 Aaα	0,0035 Aaα	0,0000 Bbβ
	T5	0,0034 Aaα	0,0047 Aaα	0,0019 Abα	0,0017 Abα	0,0000 Bcβ

T0: Controle, T1: *Bacillus amyloliquefaciens* PTA4838, T2: *Bacillus subtilis* CNPSO 2657, T3: *Bacillus firmus* i-1582, T4: Abamectina, T5: Imidaclopride + Tiodicarbe. T: tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna, minúscula na linha, e grega dentro dos níveis de ambiente não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

Para o ambiente climatizado, foram constadas diferenças entre os tratamentos nos potenciais de 0; -0,04 e -0,40 MPa. Para 0 e -0,04 MPa, as melhores respostas foram obtidas por T0, T1, T2 e T3, os quais foram estatisticamente iguais entre si e diferiram estatisticamente de T4 e T5. Logo, efeitos significativos positivos dos tratamentos não são discutíveis, em decorrência da igualdade estatística com o controle. Para -0,40 MPa, os melhores resultados foram obtidos a partir de T2, T3 e T4, que apresentaram acréscimos de 166,6; 200,0 e 126,7% no peso do sistema radicular em relação ao controle, respectivamente. Efeitos de acréscimos na matéria seca do sistema radicular em sementes tratadas com *Bacillus* spp. também são observadas na literatura. Yadav et al. (2022) verificaram que a inoculação de *B. paramycoides* DT-113 em plântulas de trigo gerou

acréscimos de 144,44% no peso da raiz. De forma similar, Devi et al. (2023) constataram aumentos de 91,8% do peso seco da raiz pela inoculação de duas cepas de *Bacillus* spp. em sementes de arroz. Assim, tais dados reforçam a ideia de que a utilização de bactérias promotoras de crescimento para auxiliar na superação de estresses induzidos pela seca caracteriza uma opção viável para a agricultura moderna. Não obstante, a presença de diversos produtos à base de *Bacillus* spp. no mercado de agrotóxicos expõe essa possibilidade e coloca em xeque a busca por elucidações dos possíveis efeitos que cada cepa comercializada pode propiciar aos sistemas produtivos.

Quanto ao efeito dos potenciais hídricos em cada tratamento, constatou-se que para T4 e T5, todos os potenciais do gradiente foram estatisticamente iguais. Para T0 foi observada diferença estatística para -0,20 e -0,40 Mpa, enquanto para T1 apenas em -0,40 Mpa. Para T2 e T3, 0 e -0,04 MPA foram iguais entre si e diferiram estatisticamente dos potenciais de -0,10, -0,20 e -0,40 MPa.

Por fim, quanto aos dados de matéria seca do sistema radicular para ambiente não climatizado, observa-se que os tratamentos de sementes apresentaram diferenças estatísticas apenas para o potencial de -0,40 MPa, em que T0 e T1 foram os melhores em comparação aos demais tratamentos, estes que por sua vez não apresentaram plântulas vivas para estimação da variável. Quanto aos efeitos dos potenciais em cada tratamento, constatou-se que em T2, T3 e T4 houve diferença entre os potenciais apenas para -0,40 MPa, com menor desempenho para este cenário, T5 teve os potenciais de 0 e -0,04 MPa como estatisticamente iguais, diferindo das respostas inferiores de -0,10 e -0,20 MPa até chegar a -0,40 MPa como o cenário de menor desempenho para a variável. E como resposta não esperada, T0 e T1 tiveram no potencial de -0,04 MPa a única resposta estatisticamente superior aos demais, de tal modo que para esses tratamentos os potenciais de 0; -0,10; - 0,20 e -0,40 MPa foram estatisticamente iguais.

Assim, nota-se que a explícita condição de alto estresse, caracterizada pela associação do longo período de armazenamento sem controle de temperatura e umidade acrescida do estresse hídrico induzido por PEG, tornaram as inferências sobre efeitos positivos dos tratamentos para a matéria seca pouco consistentes. Não obstante, diversas mudanças fisiológicas e bioquímicas em sementes de soja ocorrem em condições de armazenamento, sobretudo, em cenários em que variáveis como temperatura e duração do armazenamento são mantidas fora do intervalo ideal (VERGARA et al., 2019). Sendo assim, destaca-se para além da temperatura e umidade, que a duração do armazenamento e fatores ambientais são determinantes na deterioração das sementes, os quais podem

levar a degradação enzimática, oxidação lipídica e desnaturação de proteínas, limitando o pleno desenvolvimento dos grãos e gerando decréscimos no valor nutricional das sementes de soja (WILSON et al., 2008; KIBAR e SOYDEMİR, 2025).

6. CONCLUSÕES

- Quantitativamente, a produção científica na área de tratamento de sementes com *Bacillus* spp. em soja intensificou-se partir de 2014, com destaque para publicações do Brasil e Estados Unidos, em periódicos voltados ao controle de fitopatógenos e inovações metodológicas;
- Qualitativamente, as aplicações de *Bacillus* para o tratamento de sementes de soja concentram-se no controle de fitopatógenos fúngicos e bacterianos, manejo de nematoides e na promoção de crescimento vegetal;
- Produtos à base de *Bacillus* spp. demonstraram efeitos fisiológicos significativos com acréscimos na germinação final, índice de velocidade de germinação e velocidade de emergência das plântulas;
- Para efeitos bioestimulantes, constatou-se acréscimo oriundos da aplicação de *Bacillus* spp. no comprimento do sistema radicular, massa seca da parte aérea e das raízes;
- Em sementes armazenadas por 180 dias, o ambiente climatizado foi substancial para obtenção de respostas positivas, sendo que *Bacillus* spp. destacou-se positivamente para todas as variáveis, com maior consistência de *B. amyloliquefaciens* PTA4838 (T1);
- Em déficit hídrico, *Bacillus* spp. foram consistentes na manutenção da germinação. Para acréscimo em comprimento e biomassa, as respostas foram pontuais e fortemente influenciadas pelo ambiente de armazenamento.

7. REFERÊNCIAS

- ABATI, J.; BRZEZINSKI, C. R.; BERTUZZI, E. C.; HENNING, F. A.; ZUCARELI, C. Physiological response of soybean seeds to spray volumes of industrial chemical treatment and storage in different environments. **Journal Of Seed Science**, [Online], v. 42, p. 1-12, 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v42221062>.
- ABATI, J.; ZUCARELI, C.; BRZEZINSKI, C. R.; KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. de B.; HENNING, F. A. Metabolites of the phenylpropanoid pathway and physiological quality of soybean seeds in storage. **Journal Of Seed Science**, [Online], v. 43, p. 1-14, 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v43253585>.
- ADESEMOYE, A.; PERVAIZ, Z. H.; PARIKH, L.; KODATI, S.; ZHANG, Q.; STEPANOVIĆ, S.; SALEEM, M. Rhizobacterial, *Fusarium* Complex, and Fungicide Seed Treatments Regulate Shoot and Root Traits of Soybean Plants. **Journal Of Soil Science And Plant Nutrition**, [Online], v. 21, n. 4, p. 3502-3513, 1 out. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s42729-021-00623-9>.
- AFZAL, I.; JAVED, T.; AMIRKHANI, M.; TAYLOR, A.G. Modern Seed Technology: seed coating delivery systems for enhancing seed and crop performance. **Agriculture**, [Online], v.10, n.11, p.1-20, 5 nov. 2020. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture10110526>.
- AFZAL, A.; MUKHTAR, T. Revolutionizing nematode management to achieve global food security goals - An overview. **Heliyon**, [Online], v. 10, n. 3, fev. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25325>.
- AGOSTINETTO, D.; SILVA, D.R.O.; VARGAS, L. Soybean yield loss and economic thresholds due to glyphosate resistant hairy fleabane interference. **Arquivos do Instituto Biológico**, [Online], v.84, p.1-8, 1 fev. 2018. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1808-1657000022017>.
- AGROFIT - Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. 2023. MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 26 set. 2023.
- AHMAD, M.; AHMAD, I.; HILGER, T. H.; NADEEM, S. M.; AKHTAR, M. F.; JAMIL, M.; HUSSAIN, A.; ZAHIR, Z. A. Preliminary study on phosphate solubilizing *Bacillus subtilis* strain Q3 and *Paenibacillus* ssp. strain Q6 for improving cotton growth under alkaline conditions. **PeerJ**, [Online], v. 6, p. 1-22, 4 jul. 2018. PeerJ. <http://dx.doi.org/10.7717/peerj.5122>.
- AL-SHAMMARI, W. B.; AL-HUQUIL, A. A.; ALSHAMMERY, K.; LOTFI, S.; ALTAMIMI, H.; ALSHAMMARI, A.; AL-HARBI, N. Awad; RASHED, A. A.; ABDELAAL, K. Alleviation of drought stress damages by melatonin and *Bacillus thuringiensis* associated with adjusting photosynthetic efficiency, antioxidative system,

and anatomical structure of *Glycine max* (L.). **Heliyon**, [Online], v. 10, n. 14, p. 1-12, jul. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34754>.

AMARESAN, N.; JAYAKUMAR, V.; KUMAR, K.; THAJUDDIN, N. Biocontrol and plant growth-promoting ability of plant-associated bacteria from tomato (*Lycopersicum esculentum*) under field condition. **Microbial Pathogenesis**, [Online], v.136, p.1-5, nov. 2019. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103713>.

ANCKAERT, A.; ARIAS, A. A.; HOFF, G.; CALONNE-SALMON, M.; DECLERCK, S.; ONGENA, M. The use of *Bacillus* spp. as bacterial biocontrol agents to control plant diseases. In: KÖHL, J.; RAVENSBERG, W. (ed.). **Microbial bioprotectants for plant disease management**. Cambridge, UK: Burleigh Dodds Science Publishing, 2022. p. 1-54. ISBN: 978 1 78676 813 1. Disponível em: https://www.bdspublishing.com/_webedit/uploaded-files/All%20Files/Open%20Access/9781801462518.pdf. Acesso em: 17 dez. 2024.

ANKROM, K.E.; FRANCO, A.L.C.; FONTE, S.J.; GHERARDI, L.A.; TOMASEL, C.M. de; ANDRIUZZI, W.S.; SHAW, E.A.; SALA, O.E.; WALL, D.H. Ecto- and endoparasitic nematodes respond differently across sites to changes in precipitation. **Oecologia**, [Online], v.193, n.3, p.761-771, jul. 2020. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00442-020-04708-7>.

ANTOSZEWSKI, M.; MIEREK-ADAMSKA, A.; DABROWSKA, G.B. The Importance of Microorganisms for Sustainable Agriculture—A Review. **Metabolites**, [Online], v.12, n.11, p.1-47, 11 nov. 2022. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/metabo12111100>.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Relatório de Gestão da Anvisa - 2012**. 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/gestao/relatorios-de-gestao/relatorio-de-gestao-da-anvisa-2012.pdf/view>. Acesso em: 05 jan. 2024.

APHAISO, P.; MAHAKHAN, P.; SAWAENGKAEW, J. *Bacillus siamensis* 3BS12-4 Extracellular Compounds as a Potential Biological Control Agent against *Aspergillus flavus*. **Journal Of Microbiology And Biotechnology**, [Online], v. 34, n. 8, p. 1671-1679, 30 jun. 2024. Korean Society for Microbiology and Biotechnology. <http://dx.doi.org/10.4014/jmb.2402.02053>.

ARAUJO, F. F. de. INOCULAÇÃO DE SEMENTES COM *Bacillus subtilis*, FORMULADO COM FARINHA DE OSTRAS E DESENVOLVIMENTO DE MILHO, SOJA E ALGODÃO. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 456-462, 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542008000200017. Acesso em: 17 dez. 2024.

ARAÚJO, R. S.; SILVA, G. C.; TEIXEIRA, I. R.; SILVA, G. R.; SOUZA, B. M. F.; DEVILLA, I. A.; ARAÚJO, M. E. V.; CORRÊA, P. C. Effect of Pesticides and a Long-Life Inoculant on Nodulation Process and Soybean Seed Quality during Storage. **Agronomy**, [Online], v. 13, n. 9, p. 1-10, 5 set. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy13092322>.

ARIF, M. S.; RIAZ, M.; SHAHZAD, S. M.; YASMEEN, T.; ALI, S.; AKHTAR, M. J. Phosphorus-Mobilizing Rhizobacterial Strain *Bacillus cereus* GS6 Improves Symbiotic Efficiency of Soybean on an Aridisol Amended with Phosphorus-Enriched Compost. **Pedosphere**, [Online], v. 27, n. 6, p. 1049-1061, dez. 2017. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s1002-0160\(17\)60366-7](http://dx.doi.org/10.1016/s1002-0160(17)60366-7).

ASKARY, T.H.; MARTINELLI, P.R.P. **Biocontrol Agents of Phytonematodes**. Wallingford, UK: CAB International, 2015. 480p.

ASLAM, A.; ZAHIR, Z. A.; ASGHAR, H. N.; SHAHID, M. Effect of carbonic anhydrase-containing endophytic bacteria on growth and physiological attributes of wheat under water-deficit conditions. **Plant Production Science**, [S.I.], v. 21, n. 3, p. 244-255, 3 jul. 2018. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/1343943x.2018.1465348>.

BAAS, J.; SCHOTTEN, M.; PLUME, A.; CÔTÉ, G.; KARIMI, R. Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quantitative science studies. **Quantitative Science Studies**, [Online], v. 1, n. 1, p. 377-386, fev. 2020. MIT Press. http://dx.doi.org/10.1162/qss_a_00019.

BARBOSA, D. M. C. do R.; ROCHA, F. da S.; COSTA, C. A. da; NASCIMENTO, W. M.; MIZOBUTSI, E. H.; CATÃO, H. C. R. M. Genotypic reaction of chickpea to *Fusarium oxysporum* and seed sanitary quality. **Bioscience Journal**, [Online], v. 40, p. 1-13, 17 jul. 2024. PPUFU - Portal de Periódicos da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/bj-v40n0a2024-71926>.

BARDIN, M.; AJOUZ, S.; COMBY, M.; LOPEZ-FERBER, M.; GRAILLOT, B.; SIEGWART, M.; NICOT, P. C. Is the efficacy of biological control against plant diseases likely to be more durable than that of chemical pesticides? **Frontiers In Plant Science**, [Online], v. 6, 27 jul. 2015. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2015.00566>.

BARLOW, B. R.; SHERGILL, L. S.; BISH, M. D.; BRADLEY, K. W. Investigations of the Potential Interactions Between Pre-emergence Residual Herbicides, Variety, and Seed Treatments in Soybean. **Weed Technology**, [Online], v. 32, n. 5, p. 570-578, 24 set. 2018. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/wet.2018.44>.

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E.; PRABHU, S. R.; J.P.HERNANDEZ. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998-2013). **Plant And Soil**, [Online], v. 378, n. 1-2, p. 1-33, 19 nov. 2013. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-013-1956-x>.

BASU, A.; PRASAD, P.; DAS, S.N.; KALAM, S.; SAYYED, R.Z.; REDDY, M.S.; ENSHASY, H. El. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) as Green Bioinoculants: recent developments, constraints, and prospects. **Sustainability**, [Online], v.13, n.3, p.1-20, 22 jan. 2021. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su13031140>.

BAVARESCO, L. G.; OSCO, L. P.; ARAUJO, A. S. F.; MENDES, L. W.; BONIFACIO, A.; ARAËJO, F. F. *Bacillus subtilis* can modulate the growth and root architecture in soybean through volatile organic compounds. **Theoretical And Experimental Plant**

Physiology, [Online], v. 32, n. 2, p. 99-108, 21 abr. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40626-020-00173-y>.

BEEMAN, A. Q.; TYLKA, G. L. Assessing the Effects of ILeVO and VOTiVO Seed Treatments on Reproduction, Hatching, Motility, and Root Penetration of the Soybean Cyst Nematode, *Heterodera glycines*. **Plant Disease**, [Online], v. 102, n. 1, p. 107-113, jan. 2018. Scientific Societies. <http://dx.doi.org/10.1094/pdis-04-17-0585-re>.

BEEMAN, A. Q.; NJUS, Z. L.; PANDEY, S.; TYLKA, G. L. The Effects of ILeVO and VOTiVO on Root Penetration and Behavior of the Soybean Cyst Nematode, *Heterodera glycines*. **Plant Disease**, [Online], v. 103, n. 3, p. 392-397, mar. 2019. Scientific Societies. <http://dx.doi.org/10.1094/pdis-02-18-0222-re>.

BEVERS, N.; SIKORA, E. J.; HARDY, N. B. Soybean disease identification using original field images and transfer learning with convolutional neural networks. **Computers And Electronics In Agriculture**, [Online], v. 203, dez. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2022.107449>.

BIRKLE, C.; PENDLEBURY, D. A.; SCHNELL, J.; ADAMS, J. Web of Science as a data source for research on scientific and scholarly activity. **Quantitative Science Studies**, [Online], v. 1, n. 1, p. 363-376, fev. 2020. MIT Press - Journals. http://dx.doi.org/10.1162/qss_a_00018.

BISSONNETTE, K. M.; MARETT, C. C.; MULLANEY, M. P.; GEBHART, G. D.; KYVERYGA, P. M.; MUELLER, T. A.; TYLKA, G. L. Effects of ILeVO Seed Treatment on *Heterodera glycines* Reproduction and Soybean Yield in Small-Plot and Strip-Trial Experiments in Iowa. **Plant Disease**, [Online], v. 104, n. 11, p. 2914-2920, nov. 2020. Scientific Societies. <http://dx.doi.org/10.1094/pdis-06-19-1132-re>.

BISSONNETTE, K. M. *et al.* Management of Soybean Cyst Nematode and Sudden Death Syndrome with Nematode-Protectant Seed Treatments Across Multiple Environments in Soybean. **Plant Disease**, [Online], v. 108, n. 6, p. 1729-1739, 1 jun. 2024. Scientific Societies. <http://dx.doi.org/10.1094/pdis-02-23-0292-re>.

BORGES, N. O.; SOLINO, A. J. da S.; FRANSCISCHINI, R.; CAMPOS, H. D.; OLIVEIRA, J. S. B.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F. INDUCTION OF SOYBEAN RESISTANCE MECHANISMS TO ANTHRACNOSE BY BIOCONTROL AGENTS. **Revista Caatinga**, [Online], v. 35, n. 2, p. 265-275, jun. 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252022v35n203rc>.

BORTOLETTO, W. V.; MACEDO, W. R.; OLIVEIRA, T. C. de; SOUZA, D. S. Agrochemicals and storage times on soybean seed vigor. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [Online], v. 52, n. 2, p. 129-132, fev. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2017000200007>.

BRADLEY, C. A. Effect of Fungicide Seed Treatments on Stand Establishment, Seedling Disease, and Yield of Soybean in North Dakota. **Plant Disease**, [Online], v. 92, n. 1, p. 120-125, jan. 2008. Scientific Societies. <http://dx.doi.org/10.1094/pdis-92-1-0120>. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PDIS-92-1-0120>.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Manual de Análise Sanitária de Sementes**. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009a. 200 p. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/publicacoes-sementes-e-mudas/manual-de-analise-sanitaria-de-sementes>. Acesso em: 08 out. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009b. 398p. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise_sementes.pdf. Acesso em: 22 set. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Instrução Normativa Nº 45, de 17 de setembro de 2013**. Padrões para a produção e comercialização de sementes. Brasília, DF Diário Oficial da União, 20 set. 2013. Seção 1. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/publicacoes-sementes-e-mudas/copy_of_INN45de17desetembrode2013.pdf. Acesso em: 03 dez. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Tipos de Formulações de Agrotóxicos e Afins**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/arquivos/tipos-de-formulacoes-de-agrotoxicos-e-afins.xls/view>. Acesso em: 17 dez. 2024.

BRENNAN, R.J.B.; GLAZE-CORCORAN, S.; WICK, R.; HASHEMI, M. Biofumigation: an alternative strategy for the control of plant parasitic nematodes. **Journal Of Integrative Agriculture**, [Online], v.19, n.7, p.1680-1690, jul. 2020. Elsevier BV. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s2095-3119\(19\)62817-0](http://dx.doi.org/10.1016/s2095-3119(19)62817-0).

BRZEZINSKI, C.R.; HENNING, A.A.; ABATI, J.; HENNING, F.A.; FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; ZUCARELI, C. Seeds treatment times in the establishment and yield performance of soybean crops. **Journal Of Seed Science**, [Online], v.37, n.2, p.147-153, jun. 2015. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v37n2148363>.

BUENSANTEAI, N.; YUEN, G. Y.; PRATHUANGWONG, S. Priming, signaling, and protein production associated with induced resistance by *Bacillus amyloliquefaciens* KPS46. **World Journal Of Microbiology And Biotechnology**, [Online], v. 25, n. 7, p. 1275-1286, 25 abr. 2009. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11274-009-0014-6>.

CARDOSO, R. B.; BINOTTI, F. F. da S.; CARDOSO, E. D. Potencial fisiológico de sementes de crambe em função de embalagens e armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [Online], v. 42, n. 3, p. 272-278, set. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-40632012000300006>.

CARVALHO, E. R.; ROCHA, D. K.; ANDRADE, D. B. de; PIRES, R. M. de O.; PENIDO, A. C.; REIS, L. V. Phytotoxicity in soybean seeds treated with phytosanitary products at different application times. **Journal Of Seed Science**, [Online], v. 42, p. 1-12, 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v42237847>.

CASTANEDA-ALVAREZ, C.; ABALLAY, E. Rhizobacteria with nematicide aptitude: enzymes and compounds associated. **World Journal Of Microbiology And Biotechnology**, [Online], v.32, n.12, p.1-7, 1 nov. 2016. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11274-016-2165-6>.

CATÃO, H.C.R.M.; HURTADO, S.M.C. Chemical treatment and storage of sorghum seeds produced in different management zones. **Journal Of Seed Science**, [Online], v.45, p.1-14, jan. 2023. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v45265644>.

CEPEA, Centro de Avançados em Economia Aplicada. **Cadeia da soja e do biodiesel**: PIB, empregos e comércio exterior. PIB. 2025. Centro de Avançados em Economia Aplicada - Cepea & Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais - ABIOVE. Disponível em: [https://www.cepea.org.br/upload/kceditor/files/Relat%C3%B3rio%20-%20Cadeia%20da%20Soja%20e%20biodiesel%20-%204T2024_final\(2\).pdf](https://www.cepea.org.br/upload/kceditor/files/Relat%C3%B3rio%20-%20Cadeia%20da%20Soja%20e%20biodiesel%20-%204T2024_final(2).pdf). Acesso em: 18 mai. 2025.

CHINHEYA, C. C.; YOBO, K. S.; LAING, M. D. Biological control of the rootknot nematode, *Meloidogyne javanica* (Chitwood) using *Bacillus* isolates, on soybean. **Biological Control**, [Online], v. 109, p. 37-41, jun. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.03.009>.

CHURASIA, A.; SINGH, J.; KUMAR, A. Production of biodiesel from soybean oil biomass as renewable energy source. **Journal Of Environmental Biology**, [Online], v.37, n.1, p.1303-1307, nov. 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29261252/>. Acesso em: 07 out. 2023.

COLET, F.; LINDSEY, A. J.; LINDSEY, L. E. Soybean planting date and seeding rate effect on germinability and vigor of harvested seed. **Crop Science**, [Online], v. 64, n. 2, p. 903-913, 3 jan. 2024. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/csc2.21156>.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Safra Brasileira de Grãos**. 2023. Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 18 mai. 2025.

CORADI, P. C.; SOUZA, A. H. S. de; CAMILO, L. J.; LEMES, Â. F. C.; MILANE, L. V. Analysis of the physical quality of genetically modified and conventional maize grains in the drying and wetting processes. **Revista Ciência Agronômica**, [Online], v. 50, n. 3, p. 370-377, 2019. GN1 Sistemas e Publicacoes Ltd.. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20190044>.

CORREA, O. S.; MONTECCHIA, M. S.; BERTI, M. F.; FERRARI, M. C. Fernández; PUCHEU, N. L.; KERBER, N. L.; GARCÍA, A. F. *Bacillus amyloliquefaciens* BNM122, a potential microbial biocontrol agent applied on soybean seeds, causes a minor impact on rhizosphere and soil microbial communities. **Applied Soil Ecology**, [Online], v. 41, n. 2, p. 185-194, fev. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.10.007>.

COSTA, L. C.; TAVANTI, R. F. R.; TAVANTI, T. R.; PEREIRA, C. S. DESENVOLVIMENTO DE CULTIVARES DE SOJA APÓS INOCULAÇÃO DE ESTIRPES DE *Bacillus subtilis*. **Nativa**, [Online], v. 7, n. 2, p. 126-132, 11 mar. 2019. Nativa. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i2.6261>.

CUSTÓDIO, C. C.; ARAÚJO, F. F. de; RIBEIRO, A. M.; S. FILHO, N. V. de; MACHADO-NETO, N. B. Seed treatment of *Bacillus subtilis* OR BUTYRIC ACID: germination and early development of bean seedlings. **Interciencia**, [Online], v. 38, n. 4, p. 273-279, abr. 2013. Disponível em: <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2017/12/273-c-1%C2%BA-BARBOSA-7.pdf>. Acesso em: 04 jan. 2025.

D'ERRICO, G.; MARRA, R.; VINALE, F.; LANDI, S.; ROVERSI, P.F.; WOO, S.L. NEMATICIDAL EFFICACY OF NEW ABAMECTIN-BASED PRODUCTS USED ALONE AND IN COMBINATION WITH INDOLEBUTYRIC ACID AGAINST THE ROOT-KNOT NEMATODE *MELOIDOGYNE INCOGNITA*. **Redia**, [Online], p.95-101, 15 dez. 2017. CREA - DC. DOI: <http://dx.doi.org/10.19263/redia-100.17.12>.

DAN, L. G. de M.; DAN, H. de A.; BRACCINI, A. de L. e; BARROSO, A. L. de L.; RICCI, T. T.; PICCININ, G. G.; SCAPIM, C. A. Insecticide Treatment and Physiological Quality of Seeds. In: PERVEEN, F. (ed.). **Insecticides: advances in integrated pest management**. Online: Intech, 2012. Cap. 14. p. 327-342. Disponível em: https://cdn.intechopen.com/pdfs/25680/InTech-Insecticide_treatment_and_physiological_quality_of_seeds.pdf. Acesso em: 12 jun. 2025.

DEAKER, R.; HARTLEY, E.; GEMELL, G. Conditions Affecting Shelf-Life of Inoculated Legume Seed. **Agriculture**, [Online], v. 2, n. 1, p. 38-51, 6 fev. 2012. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture2010038>.

DEVI, S.; SHARMA, S.; TIWARI, A.; BHATT, A. K.; SINGH, N. K.; SINGH, M.; KAUSHALENDRA; KUMAR, A. Screening for Multifarious Plant Growth Promoting and Biocontrol Attributes in *Bacillus* Strains Isolated from Indo Gangetic Soil for Enhancing Growth of Rice Crops. **Microorganisms**, [S.I.], v. 11, n. 4, p. 1-15, 21 abr. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/microorganisms11041085>.

DU, J.; GAO, Q.; JI, C.; SONG, X.; LIU, Y.; LI, H.; LI, C.; ZHANG, P.; LI, J.; LIU, X. *Bacillus licheniformis* JF-22 to Control *Meloidogyne incognita* and Its Effect on Tomato Rhizosphere Microbial Community. **Frontiers In Microbiology**, [Online], v.13, p.1-9, 7 abr. 2022. Frontiers Media SA. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2022.863341>.

DUBAL, I. T. P.; CORADI, P. C.; BILHALVA, N. dos S.; BIDUSKI, B.; LUTZ, E.; MALLMANN, C. A.; ANSCHAU, K. F.; FLORES, E. M. M. Monitoring of carbon dioxide and equilibrium moisture content for early detection of physicochemical and morphological changes in soybeans stored in vertical silos. **Food Chemistry**, [Online], v. 436, p. 1-13, mar. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137721>.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **CULTIVARES DE SOJA: macrorregiões 1, 2, 3 e rec 401 centro-sul do brasil**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2019. 34 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/206337/1/Catalogo-4-Soja-2019-OL.pdf>. Acesso em: 07 out. 2023.

FAN, B.; BLOM, J.; KLENK, H-P.; BORRISS, R. *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus velezensis*, and *Bacillus siamensis* Form an “Operational Group *B. amyloliquefaciens*”

within the *B. subtilis* Species Complex. **Frontiers In Microbiology**, [Online], v. 8, 20 jan. 2017. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2017.00022>.

FARIAS, J.R.B.; NEPOMUCENO, A.L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa, 2007. 9 p. (Embrapa Soja). Circular Técnica nº48. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/470308/ecofisiologia-da-soja>. Acesso em: 07 out. 2023.

FELIX, F. C.; DEMARTELAERE, A. C. F.; MEDEIROS, J. A. D. de; PACHECO, M. V.; PEREIRA, M. D. A condição climática de origem das árvores afeta a incidência de fungos e a qualidade de sementes de *Pityrocarpa moniliformis*? **Ciência Florestal**, [Online], v. 33, n. 2, p. 1-20, 13 jul. 2023. Universidade Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509871378>.

FENG, J.; DU, X.; ZHANG, Y.; XIE, Y.; CONG, Y.; HE, J.; ZHANG, W. Isolation and characterization of *Bacillus velezensis* YM1 and its mechanism for zearalenone degradation. **Lwt**, [Online], v. 224, p. 1-11, maio 2025. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2025.117810>.

FERREIRA, T. F.; OLIVEIRA, J. A.; CARVALHO, R. A. de; RESENDE, L. S.; LOPES, C. G. M.; FERREIRA, V. de F. Quality of soybean seeds treated with fungicides and insecticides before and after storage. **Journal Of Seed Science**, [Online], v. 38, n. 4, p. 278-286, dez. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v38n4161760>.

FEYISA, B. Survey and Identification of Plant Parasitic Nematodes on Faba bean Crop in Ethiopia. **Journal Of Plant Pathology & Microbiology**, [Online], v.16, n.1, p.1-5, 30 jun. 2021. Disponível em: <https://www.walshmedicalmedia.com/open-access/survey-and-identification-of-plant-parasitic-nematodes-on-faba-bean-crop-in-ethiopia.pdf>. Acesso em: 26 set. 2023.

FIGUEREDO, E. F.; CRUZ, T. A. da; ALMEIDA, J. R. de; BATISTA, B. D.; MARCON, J.; ANDRADE, P. A. M. de; HAYASHIBARA, C. A. de A.; ROSA, M. S.; AZEVEDO, J. L.; QUECINE, M. C. The key role of indole-3-acetic acid biosynthesis by *Bacillus thuringiensis* RZ2MS9 in promoting maize growth revealed by the ipdC gene knockout mediated by the CRISPR-Cas9 system. **Microbiological Research**, [Online], v. 266, p. 1-10, jan. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.micres.2022.127218>.

FILHO, R. L.; FERRO, H. M.; PINHO, R. S. C. de. Controle biológico mediado por *Bacillus subtilis*. **Revista Trópica**, [Online], v. 4, n. 2, p. 12-20, 2010. Disponível em: <https://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/ccatropica/article/view/145/96>. Acesso em: 03 jan. 2025.

FORSBERG, G.; KRISTENSEN, L.; EIBEL, P.; TITONE, P.; HARTL, W. Sensitivity of cereal seeds to short duration treatment with hot, humid air. **Journal Of Plant Diseases And Protection**, [Online], v.110, n.1, p.1-16, 2003. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/43226866>. Acesso em: 07 out. 2023.

FORTI, V. A.; CICERO, S. M.; PINTO, T. L. F. Avaliação da evolução de danos por "umidade" e redução do vigor em sementes de soja, cultivar TMG113-RR, durante o armazenamento, utilizando imagens de raios x e testes de potencial fisiológico. **Revista**

Brasileira de Sementes, [Online], v. 32, n. 3, p. 123-133, set. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-31222010000300014>.

FOSU-NYARKO, J.; JONES, M.G.K. Advances in Understanding the Molecular Mechanisms of Root Lesion Nematode Host Interactions. **Annual Review Of Phytopathology**, [Online], v.54, n.1, p.253-278, 4 ago. 2016. Annual Reviews. DOI: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-phyto-080615-100257>.

FRANÇA-NETO, J. de B.; KRZYZANOWSKI, F. C. **Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de soja**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2018. 108 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1098452/1/Doc406OL.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2024.

FULLER, V.L.; LILLEY, C.J.; URWIN, P.E. Nematode resistance. **New Phytologist**, [Online], v.180, n.1, p.27-44, 2 set. 2008. Wiley. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02508.x>.

FURMANCZYK, E.M.; MALUSÀ, E. Control of Nematodes in Organic Horticulture Exploiting the Multifunctional Capacity of Microorganisms. **Horticulturae**, [Online], v.9, n.8, p.2-19, 12 ago. 2023. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/horticulturae9080920>.

GARDIANO-LINK, C. G.; SANTANA-GOMES, S. de M.; KLUGE, E. R.; FEKSA, H. R.; KLUGE, F. T. da R.; DIAS-ARIEIRA, C. R. Management systems for nematode control in soybean fields in south-central Paraná, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [Online], v. 57, p. 1-10, 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2022.v57.02526>.

GAZZONI, D.L.; DALL'AGNOL, A. **A saga da soja**: de 1050 a.C. a 2050 d.D. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 199 p. (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Soja). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1093166/a-saga-da-soja-de-1050-ac-a-2050-dc>. Acesso em: 07 out. 2023.

GLICK, B.R.; GAMALERO, E. Recent Developments in the Study of Plant Microbiomes. **Microorganisms**, [Online], v.9, n.7, p.1-18, 19 jul. 2021. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/microorganisms9071533>.

GENG, C.; NIE, X.; TANG, Z.; ZHANG, Y.; LIN, J.; SUN, M.; PENG, D. A novel serine protease, Sep1, from *Bacillus firmus* DS-1 has nematocidal activity and degrades multiple intestinal-associated nematode proteins. **Scientific Reports**, [Online], v.6, n.1, p.1-12, 27 abr. 2016. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/srep25012>.

GEOK, S. W.; ALI, M. B. B. Bibliometric Analysis of Learning Organization. **Journal Of Contemporary Issues In Business And Governmen**, [Online], v. 1, n. 27, 2021. Disponível em: <https://cibgp.com/au/index.php/1323-6903/article/view/600/567>. Acesso em: 01 ago. 2024.

GONG, A.-Dong; SONG, M.-Ge; WANG, H.-Ling; WANG, G.-Zhan; WANG, J.-Hua; ZHANG, J.-Bo. Inhibitory effect of volatile organic compounds from *Bacillus flexus* TR-

1 against *Aspergillus flavus* and aflatoxins in grains during storage. **Biocontrol**, [Online], v. 68, n. 2, p. 181-190, 15 fev. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10526-023-10187-5>.

GONG, A.; SONG, M.; ZHANG, J. Current Strategies in Controlling *Aspergillus flavus* and Aflatoxins in Grains during Storage: a review. **Sustainability**, [Online], v. 16, n. 8, p. 1-17, 10 abr. 2024. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su16083171>.

GOWTHAM, H.G.; MURALI, M.; SINGH, S. Brijesh; LAKSHMEESHA, T.R.; MURTHY, K. Narasimha; AMRUTHESH, K.N.; NIRANJANA, S.R. Plant growth promoting rhizobacteria - *Bacillus amyloliquefaciens* improves plant growth and induces resistance in chilli against anthracnose disease. **Biological Control**, [Online], v. 126, p. 209-217, nov. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.05.022>.

GUNES, A.; ATAOGU, N.; TURAN, M.; ESITKEN, A.; KETTERINGS, Q.M. Effects of phosphate-solubilizing microorganisms on strawberry yield and nutrient concentrations. **Journal Of Plant Nutrition And Soil Science**, [Online], v.172, n.3, p.385-392, jun. 2009. Wiley. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/jpln.200800121>.

HATAMLEH, A. A.; DANISH, M.; AL-DOSARY, M. A.; EL-ZAIDY, M.; ALI, S. Physiological and oxidative stress responses of *Solanum lycopersicum* (L.) (tomato) when exposed to different chemical pesticides. **Rsc Advances**, [Online], v. 12, n. 12, p. 7237-7252, 2022. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/d1ra09440h>.

HASHEM, A.; TABASSUM, B.; ABD_ALLAH, E. F. *Bacillus subtilis*: a plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. **Saudi Journal Of Biological Sciences**, [Online], v. 26, n. 6, p. 1291-1297, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.05.004>.

HELLAL, F.A.; EL-SHABRAWI, H.M.; EL-HADY, M. Abd; KHATAB, I.A.; EL-SAYED, S.A.A.; ABDELLY, C. Influence of PEG induced drought stress on molecular and biochemical constituents and seedling growth of Egyptian barley cultivars. **Journal Of Genetic Engineering And Biotechnology**, [Online], v. 16, n. 1, p. 203-212, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jgeb.2017.10.009>.

HIRAKURI, M.H. **Perdas econômicas geradas por estresses bióticos e abióticos na produção brasileira de soja no período 2016-2020**. Londrina, PR: Embrapa, 2021. 8p. (CIRCULAR TÉCNICA 169). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/223151/1/Circ-Tec-169.pdf>. Acesso em: 07 out. 2023.

HOLAJJER, P. INFLUENCE OF NEMATODE-BACTERIAL INTERACTIONS ON N AND P MINERALISATION IN SOIL AND ON DECOMPOSITION OF CROP RESIDUES DURING AEROBIC COMPOSTING. **Applied Ecology And Environmental Research**, [Online], v.14, n.2, p.283-299, 2016. ALOKI Ltd. DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1402_283299.

HU, H.J.; CHEN, Y.L.; WANG, Y.F.; TANG, Y.Y.; CHEN, S.L.; YAN, S.Z. Endophytic *Bacillus cereus* Effectively Controls *Meloidogyne incognita* on Tomato Plants Through Rapid Rhizosphere Occupation and Repellent Action. **Plant Disease**, [Online], v.101,

n.3, p.448-455, mar. 2017. Scientific Societies. DOI: <http://dx.doi.org/10.1094/pdis-06-16-0871-re>.

HUANG, Y.; XU, C.; MA, L.; ZHANG, K.; DUAN, C.; MO, M. Characterisation of volatiles produced from *Bacillus megaterium* YFM3.25 and their nematocidal activity against *Meloidogyne incognita*. **European Journal Of Plant Pathology**, [Online], v.126, n.3, p.417-422, 21 out. 2009. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10658-009-9550-z>.

HUANG, B.; WANG, Q.; GUO, M.X.; FANG, W.S.; WANG, X.N.; WANG, Q.X.; YAN, D.D.; OUYANG, C.B.; LI, Y.; CAO, A.C. The synergistic advantage of combining chloropicrin or dazomet with fosthiazate nematicide to control root-knot nematode in cucumber production. **Journal Of Integrative Agriculture**, [Online], v.18, n.9, p.2093-2106, set. 2019. Elsevier BV. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s2095-3119\(19\)62565-7](http://dx.doi.org/10.1016/s2095-3119(19)62565-7).

HUANG, M.; BULUT, A.; SHRESTHA, B.; MATERA, C.; GRUNDLER, F.M.W.; SCHLEKER, A.S.S. *Bacillus firmus* I-1582 promotes plant growth and impairs infection and development of the cyst nematode *Heterodera schachtii* over two generations. **Scientific Reports**, [Online], v.11, n.1, p.1-15, 8 jul. 2021. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-021-93567-0>.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; CAMPOS, L. J. M.; MENNA, P.; BRANDI, F.; RAMOS, Y. G. Seed pre-inoculation with *Bradyrhizobium* as time-optimizing option for large-scale soybean cropping systems. **Agronomy Journal**, [Online], v. 112, n. 6, p. 5222-5236, 22 set. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/agj2.20392>.

JENSEN, C. E. de; KURLE, J. E.; PERCICH, J. A. Integrated management of edaphic and biotic factors limiting yield of irrigated soybean and dry bean in Minnesota. **Field Crops Research**, [Online], v. 86, n. 2-3, p. 211-224, mar. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2003.08.012>.

JIANG, Y.; ZHOU, H.; CHEN, L.; YUAN, Y.; FANG, H.; LUAN, L.; CHEN, Y.; WANG, X.; LIU, M.; LI, H.; PENG, X.; SUN, B. Nematodes and Microorganisms Interactively Stimulate Soil Organic Carbon Turnover in the Macroaggregates. **Frontiers In Microbiology**, [Online], v.9, p.1-12, 26 nov. 2018. Frontiers Media SA. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2018.02803>.

JIN, N.; XUE, H.; LI, W.J.; WANG, X.Y.; LIU, Q.; LIU, S.S.; LIU, P.; ZHAO, J.L.; JIAN, H. Field evaluation of *Streptomyces rubrogriseus* HDZ-9-47 for biocontrol of *Meloidogyne incognita* on tomato. **Journal Of Integrative Agriculture**, [Online], v.16, n.6, p.1347-1357, jun. 2017. Elsevier BV. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s2095-3119\(16\)61553-8](http://dx.doi.org/10.1016/s2095-3119(16)61553-8).

JUHÁSZ, A.C.P.; PÁDUA, G.P.; WRUCK, D.S.M.; FAVORETO, L.; RIBEIRO, N.R. Desafios fitossanitários para a produção de soja. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.34, n.276, p.66-75, set./out. 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/96308/1/cpamt-wruck-0100-3364-2013.pdf>. Acesso em: 07 out. 2023.

JUNIOR, G. M. B.; C. JUNIOR, A. F.; CHAGAS, L. F. B.; MARTINS, A. L. L.; OLIVEIRA, R. S. de; LIMA, C. A.; BEZERRA, A. C. C.; MILLER, L. de O. *Bacillus*

subtilis as a growth promoter inoculant on soybean plants in field / *Bacillus subtilis* como inoculante promotor de crescimento em plantas de soja em campo. **Brazilian Journal Of Development**, [Online], v. 7, n. 11, p. 107220-107237, 22 nov. 2021. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n11-384>.

KANDEL, Y. R.; WISE, K. A.; BRADLEY, C. A.; CHILVERS, M. I.; TENUTA, A. U.; MUELLER, D. S. Fungicide and Cultivar Effects on Sudden Death Syndrome and Yield of Soybean. **Plant Disease**, [Online], v. 100, n. 7, p. 1339-1350, jul. 2016. Scientific Societies. <http://dx.doi.org/10.1094/pdis-11-15-1263-re>.

KANG, S-M.; RADHAKRISHNAN, R.; YOU, Y-H.; JOO, G-J.; LEE, I-J.; LEE, K-E.; KIM, J-H. Phosphate Solubilizing *Bacillus megaterium* mj1212 Regulates Endogenous Plant Carbohydrates and Amino Acids Contents to Promote Mustard Plant Growth. **Indian Journal Of Microbiology**, [Online], v. 54, n. 4, p. 427-433, 4 jun. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12088-014-0476-6>.

KANG, S-M.; KHAN, M. A.; HAMAYUN, M.; KIM, L. Rang; KWON, E. H.; KANG, Y.; KIM, K. Y.; PARK, J. J.; LEE, I. J. Phosphate-Solubilizing *Enterobacter ludwigii* AFFR02 and *Bacillus megaterium* Mj1212 Rescues Alfalfa's Growth under Post-Drought Stress. **Agriculture**, [S.I], v. 11, n. 6, p. 1-16, 24 maio 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture11060485>.

KANGSOPA, J.; ATNASEO, C. Seed coating application of endophytic and rhizosphere bacteria for germination enhancement and seedling growth promotion in soybeans. **International Journal Of Agricultural Technology**, [Online], v. 18, n. 1, p. 215-230, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/358692198_Seed_coating_application_of_endophytic_and_rhizosphere_bacteria_for_germination_enhancement_and_seedling_growth_promotion_in_soybeans. Acesso em: 17 dez. 2024.

KARMAKAR, J.; GOSWAMI, S.; PRAMANIK, K.; MAITI, T. K.; KAR, R. K.; DEY, N. Growth promoting properties of *Mycobacterium* and *Bacillus* on rice plants under induced drought. **Plant Science Today**, [S.I], v. 8, n. 1, p. 49-57, 1 jan. 2021. Horizon E-Publishing Group. <http://dx.doi.org/10.14719/pst.2021.8.1.965>.

KASTER, M.; FARIAS, J.R.B. **Regionalização dos testes de Valor de Cultivo e Uso e da indicação de cultivares de soja: terceira aproximação**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2012. 70p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54939/1/Doc-330-OL1.pdf>. Acesso em: 07 out. 2023.

KENNEY, E.; ELEFThERIANOS, I. Entomopathogenic and plant pathogenic nematodes as opposing forces in agriculture. **International Journal For Parasitology**, [Online], v.46, n.1, p.13-19, jan. 2016. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpara.2015.09.005>.

KHALIL, M.S. Alternative Approaches to Manage Plant Parasitic Nematodes. **Journal Of Plant Pathology & Microbiology**, [Online], v.4, n.1, p.1-2, 2012. OMICS Publishing Group. DOI: <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7471.1000e105>.

KHAN, Z.; KIM, Y.H. The predatory nematode, *Mononchoides fortidens* (Nematoda: diplogasterida), suppresses the root-knot nematode, *Meloidogyne arenaria*, in potted field soil. **Biological Control**, [Online], v.35, n.1, p.78-82, out. 2005. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.05.015>.

KIBAR, H.; SOYDEMIR, H. E. Storage-induced changes in soybean seeds: germination, nutritional value, and bioactive compounds. **Journal Of Stored Products Research**, [Online], v. 111, p. 1-16, maio 2025. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jspr.2025.102578>.

KIM, S. T.; SANG, M. K. Enhancement of osmotic stress tolerance in soybean seed germination by bacterial bioactive extracts. **Plos One**, [Online], v. 18, n. 10, p. 1-12, 12 out. 2023. Public Library of Science (PLOS). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0292855>.

KIZILGEÇİ, F.; TAZEBAY, N.; NAMLI, M.; ALBAYRAK, O.; YILDIRIM, M. The Drought Effect on Seed Germination and Seedling Growth in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.). **International Journal Of Agriculture Environment And Food Sciences**, [Online], v. 1, n. 1, p. 33-37, 20 dez. 2017. International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences. <http://dx.doi.org/10.31015/jaefs.17005>.

KOESTER, R.P.; SKONECZKA, J.A.; CARY, T.R.; DIERS, B.W.; AINSWORTH, E.A. Historical gains in soybean (*Glycine max* Merr.) seed yield are driven by linear increases in light interception, energy conversion, and partitioning efficiencies. **Journal Of Experimental Botany**, [Online], v.65, n.12, p.3311-3321, 30 abr. 2014. Oxford University Press (OUP). DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/eru187>.

KONDO, T.; SIBPONKRUNG, S.; HIRONAO, K-Y.; TITABUTR, P.; BOONKERD, N.; ISHIKAWA, S.; ASHIDA, H.; TEAUMROONG, N.; YOSHIDA, K-I. *Bacillus velezensis* S141, a soybean growth-promoting bacterium, hydrolyzes isoflavone glycosides into aglycones. **The Journal Of General And Applied Microbiology**, [Online], v. 69, n. 3, p. 175-183, 2023. Microbiology Research Foundation. <http://dx.doi.org/10.2323/jgam.2023.02.002>.

KONG, Q.; SHAN, S.; LIU, Q.; WANG, X.; YU, F. Biocontrol of *Aspergillus flavus* on peanut kernels by use of a strain of marine *Bacillus megaterium*. **International Journal Of Food Microbiology**, [Online], v. 139, n. 1-2, p. 31-35, abr. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.01.036>.

KORBER, L. P. P.; KORBER, Â. H. C.; GRANGE, L.; KLAHOLD, C. A. Eficiência de produtos biológicos na coinoculação de sementes de soja. **South American Sciences Issn 2675-7222**, [Online], v. 2, n. 2, p. 1-17, 30 set. 2021. South American Sciences. <http://dx.doi.org/10.52755/sas.v2i2.109>.

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA NETO, J. de B.; HENNING, A. A.; COSTA, N. P. da. **O controle de qualidade agregando valor à semente de soja**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2008. 12 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/466877>. Acesso em: 19 maio 2025.

KUMAR, S.; SINGH, A. Biopesticides: present status and the prospects. **Journal Of Fertilizers & Pesticides**, [Online], v.6, n.2, p.1-2, 2015. OMICS Publishing Group. DOI: <http://dx.doi.org/10.4172/2471-2728.1000e129>.

KUMAR, V.; KHAN, M.R.; WALIA, R.K. Crop Loss Estimations due to Plant-Parasitic Nematodes in Major Crops in India. **National Academy Science Letters**, [Online], v.43, n.5, p.409-412, 29 jan. 2020. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s40009-020-00895-2>.

LAMBERT, K.; BEKAL, S. Introduction to Plant-Parasitic Nematodes. **The Plant Health Instructor**, [Online], 2002. Scientific Societies. DOI: <http://dx.doi.org/10.1094/phi-i-2002-1218-01>.

LEAL, J.C. **Plantas da lavoura Sul Rio-grandense**. Porto Alegre: UFRGS, 1967. 274 p.

LENGAI, G. M.W.; MUTHOMI, J. W.; MBEGA, E. R. Phytochemical activity and role of botanical pesticides in pest management for sustainable agricultural crop production. **Scientific African**, [Online], v. 7, p. 1-13, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00239>.

LI, C.; RIPPNER, D. A.; MANAVALAN, L. P; PARIKH, S. J. Evaluation of *Bacillus* seed coatings on soybean phosphorus uptake in an oxisol fertilized with ³²P-labeled hydroxyapatite. **Plant And Soil**, [Online], v. 464, n. 1-2, p. 273-287, 21 abr. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-021-04941-w>.

LI, K.; CHENG, S.; LIU, Z.; PAN, Q.; ZUO, X.; GUO, A.; LV, J. Characteristics of inhibition of *Aspergillus flavus* growth and degradation of aflatoxin B1 by cell-free fermentation supernatant of *Bacillus velezensis* 906. **Food Bioscience**, [Online], v. 61, p. 104954, out. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104954>.

LIANG, Y.; ZHOU, Y. Detection of soybean mildew infection at early stage based on optical coherence tomography and deep learning methods. **Optical Review**, [Online], v. 30, n. 6, p. 626-636, 2 nov. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10043-023-00846-4>.

LIM, J.; KIM, S. Induction of Drought Stress Resistance by Multi-Functional PGPR *Bacillus licheniformis* K11 in Pepper. **The Plant Pathology Journal**, [Online], v.29, n.2, p.201-208, 1 jun. 2013. Korean Society of Plant Pathology. DOI: <http://dx.doi.org/10.5423/ppj.si.02.2013.0021>.

LIU, H.X.; LI, S.M.; LUO, Y.M.; LUO, L.X.; LI, J.Q.; GUO, J.H. Biological control of *Ralstonia* wilt, *Phytophthora* blight, *Meloidogyne* root-knot on bell pepper by the combination of *Bacillus subtilis* AR12, *Bacillus subtilis* SM21 and *Chryseobacterium* sp. R89. **European Journal Of Plant Pathology**, [Online], v.139, n.1, p.107-116, 5 jan. 2014. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10658-013-0369-2>.

LONGORIA-ESPINOZA, R. M.; FÉLIX-GASTÉLUM, R.; ZAMUDIO-AGUILASOCHO, G. M. Endófitos Bacterianos con Potencial Antagónico y Promoción

de Crecimiento Vegetal en Maíz Blanco (*Zea mays* L.). **Revista Terra Latinoamericana**, [Online], v. 42, p. 1-10, 29 nov. 2024. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.. <http://dx.doi.org/10.28940/terra.v42i.1918>.

LOPES, R.; TSUI, S.; GONÇALVES, P.J.R.O.; QUEIROZ, M.V. de. A look into a multifunctional toolbox: endophytic bacillus species provide broad and underexploited benefits for plants. **World Journal Of Microbiology And Biotechnology**, [Online], v.34, n.7, p.1-10, 13 jun. 2018. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11274-018-2479-7>.

LUDWIG, M.P.; LUCCA FILHO, O.A.L.; BAUDET, L.; DUTRA, L.M.C.; AVELAR, S.A.G.; CRIZEL, R.L.; OLIVEIRA, S. Eficiência do recobrimento de sementes de soja em equipamento com sistema de aspersão. **Ciência Rural**, [Online], v.41, n.4, p.557-563, 11 mar. 2011. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782011005000023>.

LUGTENBERG, B.; KAMILOVA, F. Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria. **Annual Review Of Microbiology**, [Online], v.63, n.1, p.541-556, 1 out. 2009. Annual Reviews. DOI: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918>.

LUO, T.; HOU, S.; YANG, L.; QI, G.; ZHAO, X. Nematodes avoid and are killed by *Bacillus mycoides*-produced styrene. **Journal Of Invertebrate Pathology**, [Online], v.159, p.129-136, nov. 2018. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jip.2018.09.006>.

MACHADO, A.C.Z. Current nematode threats to Brazilian agriculture. **Current Agricultural Science And Technology**, [Online], v.20, n.1, p.26-35, 03 dez. 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/CAST/article/view/3737>. Acesso em: 07 out. 2023.

MACHADO, A.C.Z.; AMARO, P.M.; SILVA, S.A. Two novel potential pathogens for soybean. **Plos One**, [Online], v.14, n.8, p.1-13, 22 ago. 2019. Public Library of Science (PLOS). DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0221416>.

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

MAGUIRE, J. D. Speed of Germination - Aid In Selection And Evaluation for Seedling Emergence And Vigor1. **Crop Science**, [Online], v.2, n.2, p.176-177, mar. 1962. Wiley. DOI: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183x000200020033x>.

MARCOS FILHO, J. **Importância do potencial fisiológico da semente de soja**. Londrina, PR: Informativo ABRATES, v.23, n.1, 24 p. 2013.

MARIN-BRUZOS, M.; GRAYSTON, S.J. Biological Control of Nematodes by Plant Growth Promoting Rhizobacteria: secondary metabolites involved and potential applications. **Secondary Metabolites Of Plant Growth Promoting Rhizomicroorganisms**, [Online], p.253-264, 2019. Springer Singapore. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-981-13-5862-3_13.

MATEUS, R.G.; PEREIRA, L.C.; JADOSKI, C.J.; GUILHERME, D.; ALVES, R.T.B. Composição químicobromatológica de diferentes subprodutos da soja. **Revista**

Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias, [Online], v.11, n.1, p.79-85, 2018. GN1 Genesis Network. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/paet.v11.n1.09>.

MATSUI, A.; CHEN, E.; WANG, Y.; FERRARA, E. The impact of peer review on the contribution potential of scientific papers. **PeerJ**, [Online], v. 9, 15 set. 2021. PeerJ. <http://dx.doi.org/10.7717/peerj.11999>.

MAYAK, S.; TIROSH, T.; GLICK, B. R. Plant growth-promoting bacteria that confer resistance to water stress in tomatoes and peppers. **Plant Science**, [S.I.], v. 166, n. 2, p. 525-530, fev. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2003.10.025>.

MELO, L. F.; SILVA, G. Z. da; PANIZZI, R. C.; MARTINS, C. C. Processing on the sanitary quality of seeds of *Panicum maximum* cv. 'Tanzânia'. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [Online], v. 21, n. 10, p. 715-720, out. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n10p715-720>.

MENDIS, H. C.; THOMAS, V. P.; SCHWIENTEK, P.; SALAMZADE, R.; CHIEN, J-T.; WAIDYARATHNE, P.; KLOEPPER, J.; LAFUENTE, L. de. Strain-specific quantification of root colonization by plant growth promoting rhizobacteria *Bacillus firmus* I-1582 and *Bacillus amyloliquefaciens* QST713 in non-sterile soil and field conditions. **Plos One**, [Online], v. 13, n. 2, 15 fev. 2018. Public Library of Science (PLoS). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0193119>.

MENDIS, H. C.; THOMAS, V.P.; SCHWIENTEK, P.; SALAMZADE, R.; J.-T.CHIEN; WAIDYARATHNE, P.; KLOEPPER, J.; LAFUENTE, L. de. Strain-specific quantification of root colonization by plant growth promoting rhizobacteria *Bacillus firmus* I-1582 and *Bacillus amyloliquefaciens* QST713 in non-sterile soil and field conditions. **Plos One**, [Online], v. 13, n. 2, p. 1-12, 15 fev. 2018. Public Library of Science (PLoS). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0193119>.

MENDOZA-DE-GIVES, P. Soil-Borne Nematodes: impact in agriculture and livestock and sustainable strategies of prevention and control with special reference to the use of nematode natural enemies. **Pathogens**, [Online], v.11, n.6, p.1-24, 1 jun. 2022. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/pathogens11060640>.

MERTZI, L. M.; HENNINGI, F. A.; ZIMMERI, P. D. Bioprotetores e fungicidas químicos no tratamento de sementes de soja. **Ciência Rural**, [Online], v. 39, n. 1, p. 13-18, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/XC5Twdzjmjcr5L8GnLHkTt/>. Acesso em: 17 dez. 2024.

MIAO, G.-P.; HAN, J.; WANG, C.-R.; ZHANG, K.-G.; WANG, S.-C. Growth inhibition and induction of systemic resistance against *Pythium aphanidermatum* by *Bacillus simplex* strain HS-2. **Biocontrol Science And Technology**, [Online], v. 28, n. 12, p. 1114-1127, 24 ago. 2018. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/09583157.2018.1514585>.

MICHEL, B. E.; KAUFMANN, M. R. The Osmotic Potential of Polyethylene Glycol 6000. **Plant Physiology**, [Online], v. 51, n. 5, p. 914-916, 1 maio 1973. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1104/pp.51.5.914>.

MILJAKOVIY, D.; MARINKOVIĆ, J.; TAMINDŽIĆ, G.; ĐORĐEVIĆ, V.; TINTOR, B.; MILOLEVIĆ, D.; IGNJATOV, M.; NIKOLIĆ, Z. Bio-Priming of Soybean with *Bradyrhizobium japonicum* and *Bacillus megaterium*: strategy to improve seed germination and the initial seedling growth. **Plants**, [Online], v. 11, n. 15, 25 jul. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/plants11151927>.

MILJAKOVIC, D.; MARINKOVIĆ, J.; ĐORĐEVIĆ, V.; VASILJEVIĆ, M.; TINTOR, B.; JAĆIMOVIĆ, S.; RISTIĆ, Ž. Integrated use of Consortia-based Microbial Inoculants and Nutrient Complex Stimulates the Rhizosphere Microbiome and Soybean Productivity. **Legume Research - An International Journal**, [Online], v. 47, n. 1, 20 out. 2024a. Agricultural Research Communication Center. <http://dx.doi.org/10.18805/lrf-762>.

MILJAKOVIC, D.; MARINKOVIĆ, J.; TAMINDŽIĆ, G.; MILOLEVIĆ, D.; IGNJATOV, M.; KARACIĆ, V.; JAKLIĆ, S. Bio-Priming with *Bacillus* Isolates Suppresses Seed Infection and Improves the Germination of Garden Peas in the Presence of *Fusarium* Strains. **Journal Of Fungi**, [Online], v. 10, n. 5, p. 1-18, 17 maio 2024b. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/jof10050358>.

MINAXI, L. N.; YADAV, R.C.; SAXENA, J. Characterization of multifaceted *Bacillus* sp. RM-2 for its use as plant growth promoting bioinoculant for crops grown in semi arid deserts. **Applied Soil Ecology**, [Online], v. 59, p. 124-135, ago. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.08.001>.

MIRANDA, L. A.; SOUZA, V. V. de; CAMPOS, R. A.; CAMPOS, J. M. S. de; SOUZA, T. da S. Phytotoxicity and cytogenotoxicity of pesticide mixtures: analysis of the effects of environmentally relevant concentrations on the aquatic environment. **Environmental Science And Pollution Research**, [Online], v. 30, n. 52, p. 112117-112131, 12 out. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-023-30100-y>.

MOURTZINIS, S.; MARBURGER, D.; GASKA, J.; DIALLO, T.; LAUER, J.; CONLEY, S. Corn and Soybean Yield Response to Tillage, Rotation, and Nematicide Seed Treatment. **Crop Science**, [Online], v. 57, n. 3, p. 1704-1712, maio 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2016.09.0792>.

MULLER, L. Taxonomia e morfologia. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. **A soja no Brasil**. 1.ed. Instituto de Tecnologia de Alimentos, p.65-104, 1981.

MUNKVOLD, G.P.; WATRIN, C.; SCHELLER, M.; ZEUN, R.; OLAYA, G. Benefits of Chemical Seed Treatments on Crop Yield and Quality. In: GULLINO, M.; MUNKVOLD, G. (ed.). **Global Perspectives on the Health of Seeds and Plant Propagation Material**. 6.ed. Dordrecht: Springer, 2014. (Plant Pathology in the 21st Century). Disponível em: https://doi-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.1007/978-94-017-9389-6_7. Acesso em: 05 set. 2023.

MUT, Z.; AKAY, H. EFFECT OF SEED SIZE AND DROUGHT STRESS ON GERMINATION AND SEEDLING GROWTH OF NAKED OAT (*AVENA SATIVA* L.). **Bulgarian Journal Of Agricultural Science**, [Online], v. 16, n. 4, p. 460-467, 2010. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/266422805_Effect_of_seed_size_and_drought_stress_on_germination_and_seedling_growth_of_Avena_sativa_L. Acesso em: 16 jun. 2025.

MYLONA, K.; SULYOK, M.; MAGAN, N. Relationship between environmental factors, dry matter loss and mycotoxin levels in stored wheat and maize infected with *Fusarium* species. **Food Additives & Contaminants: Part A**, [Online], v. 29, n. 7, p. 1118-1128, jul. 2012. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/19440049.2012.672340>.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p.2-24.

NASCIMENTO, D. D. do; RODRIGUES, M.; FERREIRA, R. J.; MARCHIORO, V.; SILVA, E. M. da; S. JUNIOR, C. A.; KUPPER, K. C.; POLANCZYK, R. A.; SOARES, P. L. M. Soybean growth-promotion and *Heterodera glycines* suppression in two application methods of *Bacillus* strains. **Biological Control**, [Online], v. 175, nov. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105039>.

NICHOLSON, W.L. Roles of *Bacillus* endospores in the environment. **Cellular And Molecular Life Sciences (Cmls)**, [Online], v.59, n.3, p.410-416, 1 mar. 2002. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00018-002-8433-7>.

NUNES, H. T.; MONTEIRO, A. C.; POMELA, A. W. V. Uso de agentes microbianos e químico para o controle de *Meloidogyne incognita* em soja. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [Online], v. 32, n. 3, p. 403-409, 27 ago. 2010. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v32i3.2166>.

NURCAHYANTI, S. D.; WAHYUNI, W. S.; MASNILAH, R.; NURDIKA, A. A. H. Phenol Content and Peroxidase Enzyme Activity in Soybean Infected with *Xanthomonas axonopodis* pv *glycines* with the Application of *Bacillus subtilis* JB12 and *Bacillus velezensis* ST32. **Baghdad Science Journal**, [Online], v. 20, n. 5, p. 1882-1891, 20 mar. 2023. College of Science for Women. <http://dx.doi.org/10.21123/bsj.2023.7406>.

OHLER, L. Escrevendo para publicação: questões éticas. **Texto & Contexto - Enfermagem**, [Online], v. 19, n. 2, p. 214-216, jun. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-07072010000200001>.

OLIVEIRA, J. C. de; CARVALHO, M. A. C. de; RABELO, H. de O.; FERREIRA, P. A.; PIVA, R. P.; OLIVEIRA, L. C. A. de. Genetic, chemical and biological management strategies of control of *Pratylenchus brachyurus* in soybean. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, [Online], v. 16, n. 1, p. 1-15, 10 fev. 2023. Centro Universitario de Maringá. <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2023v16n1e9959>.

OLIVEIRA, J. A.; ROSA, S. D. V. F.; CARVALHO, E. R. SECAGEM DE SEMENTES. In: OLIVEIRA, J. A. (org.). **Processamento pós-colheita de sementes: abordagem agrônômica visando aprimorar a qualidade**. Lavras, MG: UFLA, 2021. Cap. 2. p. 67-93. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1149095>. Acesso em: 19 maio 2025.

PALOMARES-RIUS, J.E.; ESCOBAR, C.; CABRERA, J.; VOVLAS, A.; CASTILLO, P. Anatomical Alterations in Plant Tissues Induced by Plant-Parasitic Nematodes. **Frontiers In Plant Science**, [Online], v.8, p.1-16, 16 nov. 2017. Frontiers Media SA. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2017.01987>.

PARIKH, L.; ADESEMOYE, A. O. Impact of delivery method on the efficacy of biological control agents and the virulence of *Fusarium* root rot pathogens in the greenhouse. **Biocontrol Science And Technology**, [Online], v. 28, n. 12, p. 1191-1202, 11 out. 2018. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/09583157.2018.1520198>.

PARIKH, L.; ESKELSON, M. J.; ADESEMOYE, A. O. Relationship of *in vitro* and *in planta* screening: improving the selection process for biological control agents against *Fusarium* root rot in row crops. **Archives Of Phytopathology And Plant Protection**, [Online], v. 51, n. 3-4, p. 156-169, 25 fev. 2018. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/03235408.2018.1441098>.

PATEL, J.K.; MADAAN, S.; ARCHANA, G. Antibiotic producing endophytic *Streptomyces* spp. colonize above-ground plant parts and promote shoot growth in multiple healthy and pathogen-challenged cereal crops. **Microbiological Research**, [Online], v.215, p.36-45, out. 2018. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.micres.2018.06.003>.

PEREIRA, E.J; FORMENTINI, G.H.; TOMAZELLI, J.; BAGIO, B.Z.; MILAN, C.S.S. Manejo de inseticida para controle de percevejos na cultura da soja / Management of insecticides to control bed bugs in soybean. **Brazilian Journal Of Development**, [Online], v.8, n.3, p.16772-16781, 12 maio 2022. South Florida Publishing LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv8n3-083>.

PÉREZ-GARCÍA, A.; ROMERO, D.; VICENTE, A. de. Plant protection and growth stimulation by microorganisms: biotechnological applications of *bacilli* in agriculture. **Current Opinion In Biotechnology**, [Online], v. 22, n. 2, p. 187-193, abr. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.copbio.2010.12.003>.

PETERSEN, H.; LUXTON, M. A Comparative Analysis of Soil Fauna Populations and Their Role in Decomposition Processes. **Oikos**, [Online], v.39, n.3, p.288-388, dez. 1982. JSTOR. DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/3544689>.

PIETERSE, C. M. J.; ZAMIOUDIS, C.; BERENDSEN, R. L.; WELLER, D. M.; VAN WEES, S. C. M.; BAKKER, P. A. H. M. Induced Systemic Resistance by Beneficial Microbes. **Annual Review Of Phytopathology**, [Online], v. 52, n. 1, p. 347-375, 4 ago. 2014. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102340>.

PIMENTA, A. A; PORTELA, A. R. M. R.; OLIVEIRA, C. B. de; RIBEIRO, R. M. A BIBLIOMETRIA NAS PESQUISAS ACADÊMICAS. **Scientia**, [Online], v. 4, n. 7, p. 1-13, 2017. ISSN 2317-5869. Disponível em: https://flucianofejiao.com.br/flf/wp-content/uploads/2017/12/EDUCAR_PARA_A_CIDADANIA_FINANCEIRA.pdf. Acesso em: 17 dez. 2024.

PUTRI, R. E.; MUBARIK, N. R.; AMBARSARI, L.; WAHYUDI, A. T. The disease suppression of soybean (var. Grobogan) by the implementation of *Bacillus subtilis* strain CR.9 antifungal compounds nanoemulsion. **Journal Of The Saudi Society Of**

Agricultural Sciences, [Online], v. 22, n. 6, p. 384-393, set. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2023.03.004>.

QIAO, J.; WU, H.; HUO, R.; GAO, X.; BORRIS, R. Stimulation of plant growth and biocontrol by *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* FZB42 engineered for improved action. **Chemical And Biological Technologies In Agriculture**, [Online], v.1, n.1, p.1-14, 20 set. 2014. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s40538-014-0012-2>.

QIU, J.; MENG, X.; LI, J.; ZHANG, T.; QIN, S.; LI, Y.; TAN, H. *Bacillus megaterium* GXU087 secretes indole - 3 - lactic acid to promote soybean growth and nodulation. **Frontiers In Plant Science**, [Online], v. 16, p. 1-17, 21 mar. 2025. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2025.1560346>.

R CORE TEAM. **The R Project for Statistical Computing**. 2025. © The R Foundation. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 18 mai. 2025.

RADHAKRISHNAN, R.; LEE, I-J. Gibberellins producing *Bacillus methylotrophicus* KE2 supports plant growth and enhances nutritional metabolites and food values of lettuce. **Plant Physiology And Biochemistry**, [Online], v. 109, p. 181-189, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.09.018>.

RADWAN, M.A.; FARRAG, S.A.A.; ABU-ELAMAYEM, M.M.; AHMED, N.S. Biological control of the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* on tomato using bioproducts of microbial origin. **Applied Soil Ecology**, [Online], v.56, p.58-62, maio 2012. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.02.008>.

RAJKUMAR, M.; NARAYANASAMY, S.; UTHANDI, S. A root-associated *Bacillus albus* LRS2 and its metabolites for plant growth promotion and drought stress tolerance in little millet (*Panicum sumatrense* L.). **Plant Stress**, [S.I.], v. 12, p. 1-12, jun. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.stress.2024.100446>.

RASHID, U. *et al.* Drought-tolerant *Bacillus megaterium* isolated from semi-arid conditions induces systemic tolerance of wheat under drought conditions. **Plant Cell Reports**, [Online], v. 41, n. 3, p. 549-569, 7 jan. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00299-020-02640-x>.

REZNIKOV, S.; VELLICCE, G. R.; GONZÁLEZ, V.; LISI, V. de; CASTAGNARO, A. P.; PLOPER, L. D. Evaluation of chemical and biological seed treatments to control charcoal rot of soybean. **Journal Of General Plant Pathology**, [Online], v. 82, n. 5, p. 273-280, 2 ago. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10327-016-0669-4>.

ROCHA, D. K.; CARVALHO, E. R.; PIRES, R. M. de O.; SANTOS, H. O. dos; PENIDO, A. C.; ANDRADE, D. B. de. Does the substrate affect the germination of soybean seeds treated with phytosanitary products? **Ciência e Agrotecnologia**, [Online], v. 44, p. 1-8, 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1413-7054202044020119>.

ROSA, D. P.; NOBRE, D. A. C.; OLIVEIRA, D. S.; SILVA, F. C. dos S.; BEZERRA, A. R. G.; SILVA, A. F. da; SEDIYAMA, T. Genetic diversity in soybean seed quality

under different storage conditions. **Semina: Ciências Agrárias**, [Online], v. 38, n. 1, p. 57-72, 2 mar. 2017. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n1p57>.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Toward a Sustainable Agriculture Through Plant Biostimulants: from experimental data to practical applications. **Agronomy**, [Online], v.10, n.10, p.1461, 24 set. 2020. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10101461>.

RUKH, M.; KHAN, J.; BIBI, N.; KHAN, M.; PAKER, N. P.; REHMAN, F. Ur; CHAUDHARY, H. J. Characterization of *Bacillus subtilis* PM49 and its Role in Drought Stress Amelioration in *Linum usitatissimum* L. **Plant And Soil**, [S.I], p. 1-17, 2 jun. 2025. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-025-07588-z>.

RYU, C.; SHIN, J.; QI, W.; RUHONG, M.; KIM, E.; PAN, J. Potential for Augmentation of Fruit Quality by Foliar Application of Bacilli Spores on Apple Tree. **The Plant Pathology Journal**, [Online], v.27, n.2, p.164-169, 30 jun. 2011. Korean Society of Plant Pathology. DOI: <http://dx.doi.org/10.5423/ppj.2011.27.2.164>.

SAHARAN, B. S.; NEHRA, V. Plant Growth Promoting Rhizobacteria: a critical review. **Life Sciences And Medicine Research**, [Online], v. 2011, p. 1-30, jan. 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/284340739_Plant_growth_promoting_rhizobacteria_a_critical_review. Acesso em: 03 jan. 2024.

SANTOS, J. F. dos; ALVARENGA, R. O.; TIMÓTEO, T. S.; CONFORTO, E. de C.; M. FILHO, J.; VIEIRA, R. D. Avaliação do potencial fisiológico de lotes de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, [Online], v. 33, n. 4, p. 743-751, 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-31222011000400016>.

SANTOS, R. F. dos; PLACIDO, H. F.; BOSCHE, L. L.; Z. NETO, H.; HENNING, F. A.; BRACCINI, A. L. Accelerated aging methodologies for evaluating physiological potential of treated soybean seeds. **Journal Of Seed Science**, [Online], v. 43, p. 1-10, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jss/a/wsK53NNwmYQJKQpYyXwHvFh/?lang=en&format=pdf>. Acesso em: 04 jan. 2025.

SARTORI, F. F. *et al.* Potentially harmful effects of seed treatment and pre-inoculation on soybean biological nitrogen fixation and yield. **European Journal Of Agronomy**, [Online], v. 142, p. 1-6, jan. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2022.126660>.

SATI, D.; PANDE, V.; SAMANT, M. Plant-beneficial *Bacillus*, *Pseudomonas*, and *Staphylococcus* spp. from Kumaon Himalayas and their drought tolerance response. **Frontiers In Sustainable Food Systems**, [S.I], v. 7, p. 1-11, 10 fev. 2023. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fsufs.2023.1085223>.

SAXENA, A.K.; KUMAR, M.; CHAKDAR, H.; ANUROOPA, N.; BAGYARAJ, D.J. *Bacillus* species in soil as a natural resource for plant health and nutrition. **Journal Of**

Applied Microbiology, [Online], v. 128, n. 6, p. 1583-1594, 21 nov. 2019. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1111/jam.14506>.

SENGER, M.; MORESCO, E.; DALBOSCO, M.; SANTIN, R.; INDERBITZIN, P.; BARROCAS, E. N. Methods to quantify *Bacillus simplex*-based inoculant and its effect as a seed treatment on field-grown corn and soybean in Brazil. **Journal Of Seed Science**, [Online], v. 44, p. 1-13, 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v44263329>.

SERRÃO, C. P.; ORTEGA, J. C. G.; RODRIGUES, P. C.; SOUZA, C. R. de. *Bacillus* species as tools for biocontrol of plant diseases: a meta-analysis of twenty-two years of research, 2000:2021. **World Journal Of Microbiology And Biotechnology**, [Online], v. 40, n. 4, 27 fev. 2024. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11274-024-03935-x>.

SHAFI, J.; TIAN, H.; JI, M. *Bacillus* species as versatile weapons for plant pathogens: a review. **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, [Online], v.31, n.3, p.446-459, 13 fev. 2017. Informa UK Limited. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/13102818.2017.1286950>.

SHIFA, H.; TASNEEM, S.; GOPALAKRISHNAN, C.; VELAZHAHAN, R. Biological control of pre-harvest aflatoxin contamination in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) with *Bacillus subtilis* G1. **Archives Of Phytopathology And Plant Protection**, [Online], v. 49, n. 5-6, p. 137-148, 17 mar. 2016. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/03235408.2016.1160642>.

SIKORA, A.R. Management of the Antagonistic Potential in Agricultural Ecosystems for the Biological Control of Plant Parasitic Nematodes. **Annual Review Of Phytopathology**, [Online], v.30, n.1, p.245-270, set. 1992. Annual Reviews. DOI: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.py.30.090192.001333>.

SILVA, I. L.; CAMARGO, F. R. T. de; SOUZA, R. T. G. de; TEIXEIRA, I. R.; KIKUTI, H. Storage of soybean seeds treated with chemicals. **Semina: Ciências Agrárias**, [Online], v. 40, n. 62, p. 2961-2972, 30 set. 2019. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n6supl2p2961>.

SILVA, M. L. P. da; MOEN, F. S.; LILES, M. R.; FENG, Y.; SANZ-SAEZ, A. Orange peel in combination with selected PGPR strains as seed treatment can improve soybean yield under field conditions. **Plant And Soil**, [Online], v. 491, n. 1-2, p. 401-420, 24 jun. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-023-06121-4>.

SILVA, K.M.J.; PINHO, R.G.V.; PINHO, E.V.R.V.; OLIVEIRA, R.M.; SANTOS, H.O.; SILVA, T.S. Chemical treatment and size of corn seed on physiological and sanitary quality during storage. **Journal Of Seed Science**, [Online], v.42, p.1-9, 2020. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v42219569>.

SIMONETTI, E.; VISO, N. P.; MONTECCHIA, M.; ZILLI, C.; BALESTRASSE, K.; CARMONA, M. Evaluation of native bacteria and manganese phosphite for alternative control of charcoal root rot of soybean. **Microbiological Research**, [Online], v. 180, p. 40-48, nov. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.micres.2015.07.004>.

SJARPE, D. A.; KANDEL, Y. R.; CHILVERS, M. I.; GIESLER, L. J.; MALVICK, D. K.; MCCARVILLE, M. T.; TENUTA, A. U.; WISE, K. A.; MUELLER, D. S. Multi-location evaluation of fluopyram seed treatment and cultivar on root infection by *Fusarium virguliforme*, foliar symptom development, and yield of soybean. **Canadian Journal Of Plant Pathology**, [Online], v. 42, n. 2, p. 192-202, 16 out. 2019. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/07060661.2019.1666166>.

SLEPECKY, R.A.; HEMPHILL, H.E. The Genus *Bacillus*—Nonmedical. **The Prokaryotes**, [Online], p.530-562, 2006. Springer US. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/0-387-30744-3_16.

SOLANKI, A. C.; GURJAR, N. S.; SHARMA, S. Co-Inoculation of Non-Symbiotic Bacteria *Bacillus* and *Paraburkholderia* Can Improve the Soybean Yield, Nutrient Uptake, and Soil Parameters. **Molecular Biotechnology**, [Online], p. 1-13, 22 mar. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12033-023-00719-w>.

SOUSA, F. C. de; ALMEIDA, F. de A. C.; MELO, B. A de. BENEFICIAMENTO E ARMAZENAMENTO DE SEMENTES. In: B. NETO, J. J. da S.; ALMEIDA, F. de A. C.; QUEIROGA, V. de P.; GONÇALVES, C. C. (org.). **Sementes: estudos tecnológicos**. Aracaju: IFS, 2014. p. 120-170. Disponível em: http://www.ifs.edu.br/images/EDIFS/ebooks/2014/Sementes_Estudos_Tecnol%C3%B3gicos.pdf. Acesso em: 12 jun. 2025.

SOUZA, W.; OLIVEIRA, L.; AGUIAR, R. W.; FALCÃO, D.; MACHADO, I. E.; FIDELIS, R. Microbiolization with *Bacillus* sp. in irrigated rice seed positively impacts physiological and phytosanitary quality. **Revista de Ciencias Agrícolas**, [Online], v. 40, n. 3, p. 1-18, 20 dez. 2023. Universidad de Narino. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.20234003.221>.

SPINONI, J.; VOGT, J. V.; NAUMANN, G.; BARBOSA, P.; DOSIO, A. Will drought events become more frequent and severe in Europe? **International Journal Of Climatology**, [S.I], v. 38, n. 4, p. 1718-1736, 9 out. 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.5291>.

STANIAK, M.; SZPUNAR-KROK, E.; KOCIRA, A. Responses of Soybean to Selected Abiotic Stresses—Photoperiod, Temperature and Water. **Agriculture**, [Online], v.13, n.1, p.1-28, 5 jan. 2023. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture13010146>.

SUN, J.; MOONEY, H.; WU, W.; TANG, H.; TONG, Y.; XU, Z.; HUANG, B.; CHENG, Y.; YANG, X.; WEI, D.; ZHANG, F.; LIU, J. Importing food damages domestic environment: evidence from global soybean trade. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [Online], v.115, n.21, p.5415-5419, 7 maio 2018. Proceedings of the National Academy of Sciences. DOI: <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1718153115>.

SWIGONSKA, S.; WEIDNER, S. Proteomic analysis of response to long-term continuous stress in roots of germinating soybean seeds. **Journal Of Plant Physiology**, [Online], v. 170, n. 5, p. 470-479, mar. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2012.11.020>.

TAVANTI, T. R.; TAVANTI, R. F. R.; GALINDO, F. S.; SIMÕES, I.; DAMETO, L. S.; SÁ, M. E. de. Yield and quality of soybean seeds inoculated with *Bacillus subtilis* strains. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [Online], v. 24, n. 1, p. 65-71, jan. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n1p65-71>.

TEIXEIRA, J. F.; RODRIGUES, L. L. Earnings management: a bibliometric analysis. **International Journal Of Accounting & Information Management**, [Online], v. 30, n. 5, p. 664-683, 23 ago. 2022. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/ijaim-12-2021-0259>.

TEIXEIRA, S. B.; ZORATO, M. de F.; MENEGHELLO, G. E. Implications of seed coat cracking on soybean seed quality. **Journal Of Seed Science**, [Online], v. 46, p. 1-19, 2024. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v46288842>.

THSENG, F.; HOSOKAWA, S. Significance of Growth Habit in Soybean Breeding: i. varietal differences in characteristics of growth habit. **Japanese Journal Of Breeding**, [Online], v.22, n.5, p.261-268, 1972. Japanese Society of Breeding. DOI: <http://dx.doi.org/10.1270/jsbbs1951.22.261>.

TOLEDO, M. Z.; FONSECA, N. R.; CÉSAR, M. L.; SORATTO, R. P.; CAVARIANI, C.; CRUSCIOL, C. A. C. QUALIDADE FISIOLÓGICA E ARMAZENAMENTO DE SEMENTES DE FEIJÃO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO TARDIA DE NITROGÊNIO EM COBERTURA. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 2, p. 124–133, 2009. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/3486>. Acesso em: 19 mai. 2025.

TONI, J. R.; RADÜNZ, L. L.; GALON, L.; DIONELLO, R. G.; SCARIOT, M. A. Quality assessment of soybean seeds submitted to industrial seed treatment and stored in a natural and controlled environment. **Journal Of Stored Products Research**, [Online], v. 108, p. 1-7, set. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jspr.2024.102372>.

USDA., United States Department Of Agriculture. **Production**: soybeans. 2025a. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/2222000>. Acesso em: 18 mai. 2025.

USDA., United States Departament Of Agriculture. **Commodity Costs and Returns**. 2025b. Disponível em: <https://www.ers.usda.gov/data-products/commodity-costs-and-returns>. Acesso em: 11 jun. 2025.

VACHERON, J.; DESBROSSES, G.; BOUFFAUD, M.L.; TOURAINE, B.; MOËNNE-LOCCOZ, Y.; MULLER, D.; LEGENDRE, L.; WISNIEWSKI-DYÉ, F.; PRIGENT-COMBARET, C. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. **Frontiers In Plant Science**, [Online], v.4, p.1-19, 2013. Frontiers Media SA. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2013.00356>.

VAN LOON, L.C.; BAKKER, P.A.H.M.; PIETERSE, C.M.J. SYSTEMIC RESISTANCE INDUCED BY RHIZOSPHERE BACTERIA. **Annual Review Of Phytopathology**, [Online], v.36, n.1, p.453-483, set. 1998. Annual Reviews. DOI: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.phyto.36.1.453>.

- VASSILEV, N.; VASSILEVA, M.; MARTOS, V.; MORAL, L.F.G. del; KOWALSKA, J.; TYLKOWSKI, B.; MALUSÁ, E. Formulation of Microbial Inoculants by Encapsulation in Natural Polysaccharides: focus on beneficial properties of carrier additives and derivatives. **Frontiers In Plant Science**, [Online], v.11, p.1-9, 10 mar. 2020. Frontiers Media SA. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2020.00270>.
- VERBON, E. H.; LIBERMAN, L. M. Beneficial Microbes Affect Endogenous Mechanisms Controlling Root Development. **Trends In Plant Science**, [Online], v. 21, n. 3, p. 218-229, mar. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2016.01.013>.
- VERGARA, R.; SILVA, R. N. O. da; NADAL, A. P.; GADOTTI, G. I.; AUMONDE, T. Z.; VILLELA, F. A. Harvest delay, storage and physiological quality of soybean seeds. **Journal Of Seed Science**, [Online], v. 41, n. 4, p. 506-513, out. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v41n4222413>.
- VOJVODIC, M.; BAZOK, R. Future of Insecticide Seed Treatment. **Sustainability**, [Online], v.13, n.16, p.1-15, 6 ago. 2021. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su13168792>.
- VOSBERG, S. K.; MARBURGER, D. A.; SMITH, D. L.; CONLEY, S. P. Planting Date and Fluopyram Seed Treatment Effect on Soybean Sudden Death Syndrome and Seed Yield. **Agronomy Journal**, [Online], v. 109, n. 6, p. 2570-2578, nov. 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2017.04.0232>.
- VURUKONDA, S. S. K. P.; VARDHARAJULA, S.; SHRIVASTAVA, M.; SKZ, A. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. **Microbiological Research**, [S.I], v. 184, p. 13-24, mar. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.micres.2015.12.003>.
- WALTMAN, L. A review of the literature on citation impact indicators. **Journal Of Informetrics**, [Online], v. 10, n. 2, p. 365-391, maio 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joi.2016.02.007>.
- WANG, C.; YANG, W.; WANG, C.; GU, C.; NIU, D.; LIU, H.; WANG, Y.; GUO, J. Induction of Drought Tolerance in Cucumber Plants by a Consortium of Three Plant Growth-Promoting Rhizobacterium Strains. **Plos One**, [Online], v.7, n.12, p.1-10, 28 dez. 2012. Public Library of Science (PLOS). DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0052565>.
- WANG, L.; JIA, S.; DU, Y.; CAO, H.; ZHANG, K.; XING, J.; DONG, J. Biocontrol Potential of *Bacillus subtilis* A3 Against Corn Stalk Rot and Its Impact on Root-Associated Microbial Communities. **Agronomy**, [Online], v. 15, n. 3, p. 1-22, 14 mar. 2025. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy15030706>.
- WEEMS, J. D.; HAUDENSHIELD, J. S.; BOND, J. P.; HARTMAN, G. L.; AMES, K. A.; BRADLEY, C. A. Effect of fungicide seed treatments on *Fusarium virguliforme* infection of soybean and development of sudden death syndrome. **Canadian Journal Of Plant Pathology**, [Online], v. 37, n. 4, p. 435-447, 2 out. 2015. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/07060661.2015.1115781>.

WILSON, R. F. Soybean: market driven research needs. In: JORGENSEN, R. A. (ed.). **Plant Genetics and Genomics: crops and models**. 2. ed. Online: Springer Science+Business Media, Llc, 2008. Cap. 1. p. 3-4. (Electronic ISSN: 2363-961X). Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-387-72299-3_1. Acesso em: 30 jun. 2025.

XIAO, T.J.; CHEN, F.; GAO, C.; ZHAO, Q.Y.; SHEN, Q.R.; RAN, W. *Bacillus cereus* X5 Enhanced Bio-Organic Fertilizers Effectively Control Root-Knot Nematodes (*Meloidogyne* sp.). **Pedosphere**, [S.L.], v.23, n.2, p.160-168, abr. 2013. Elsevier BV. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s1002-0160\(13\)60003-x](http://dx.doi.org/10.1016/s1002-0160(13)60003-x).

XUE, A. G.; COBER, E.; MORRISON, M. J.; VOLDENG, H. D.; MA, B. L. Effect of seed treatments on emergence, yield, and root rot severity of soybean under *Rhizoctonia solani* inoculated field conditions in Ontario. **Canadian Journal Of Plant Science**, [Online], v. 87, n. 1, p. 167-174, 2006. Canadian Science Publishing. <http://dx.doi.org/10.4141/p05-192>.

YADAV, V. K.; BHAGAT, N.; SHARMA, S. K. Modulation in Plant Growth and Drought Tolerance of Wheat Crop upon Inoculation of Drought-tolerant-*Bacillus* Species Isolated from Hot Arid Soil of India. **Journal Of Pure And Applied Microbiology**, [S.I.], v. 16, n. 1, p. 246-262, 10 jan. 2022. Journal of Pure and Applied Microbiology. <http://dx.doi.org/10.22207/jpam.16.1.14>.

ZHANG, J. X.; XUE, A. G.; TAMBONG, J. T. Evaluation of Seed and Soil Treatments with Novel *Bacillus subtilis* Strains for Control of Soybean Root Rot Caused by *Fusarium oxysporum* and *F. graminearum*. **Plant Disease**, [Online], v. 93, n. 12, p. 1317-1323, dez. 2009. Scientific Societies. <http://dx.doi.org/10.1094/pdis-93-12-1317>.

ZHAO, J.; LIU, D.; WANG, Y.; ZHU, X.; CHEN, L.; DUAN, Y. Evaluation of *Bacillus aryabhattai* Sneb517 for control of *Heterodera glycines* in soybean. **Biological Control**, [Online], v. 142, p. 1-6, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104147>.

ZINSMEISTER, J.; LEPRINCE, O.; BUITINK, J. Molecular and environmental factors regulating seed longevity. **Biochemical Journal**, [Online], v.477, n.2, p.305-323, 22 jan. 2020. Portland Press Ltd. DOI: <http://dx.doi.org/10.1042/bcj20190165>.