



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

**INTERATIVIDADE ENTRE BIOINSUMOS E GENÓTIPOS DE
MILHO: ADAPTAÇÃO AO ESTRESSE HÍDRICO**

LUCAS ALEXANDRE DOS SANTOS ROCHA

2024



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

LUCAS ALEXANDRE DOS SANTOS ROCHA

**INTERATIVIDADE ENTRE BIOINSUMOS E GENÓTIPOS DE MILHO:
ADAPTAÇÃO AO ESTRESSE HÍDRICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Mestre em Ciências”.

Orientadora
Profa. Dra. Renata Silva Mann

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL
2024

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

R672i Rocha, Lucas Alexandre dos Santos.
Interatividade entre bioinsumos e genótipos de milho:
adaptação ao estresse hídrico / Lucas Alexandre dos Santos
Rocha; orientadora Renata Silva-Mann. – São Cristóvão, SE,
2024.
58 f.: il.

Dissertação (mestrado em Agricultura e Biodiversidade) –
Universidade Federal de Sergipe, 2024.

1. Milho. 2. Sustentabilidade. 3. Milhos – Solo. 4. Solos –
Salinidade. I. Silva-Mann, Renata, orient. II. Título.

CDU 633.15

LUCAS ALEXANDRE DOS SANTOS ROCHA

**INTERATIVIDADE ENTRE BIOINSUMOS E GENÓTIPOS DE MILHO:
ADAPTAÇÃO AO ESTRESSE HÍDRICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Mestre em Ciências”.

APROVADA em 16 de julho de 2024.

Dra. Heloisa Oliveira dos Santos (UFLA)

Dra. Aline de Almeida Vasconcelos (UFS)

Profª. Dra. Renata Silva Mann
(Orientadora)

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL

*A minha mãe, Maria José,
que me proporcionou o ambiente
necessário para minhas conquistas.*
Dedico

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho e para meu crescimento pessoal e profissional ao longo deste mestrado.

Um agradecimento à minha orientadora, Profa. Dra. Renata Silva Mann, que me apresentou o caminho da pesquisa e que me acompanhou nesse caminho desde a minha graduação.

Também sou grato à pós-doutoranda Dra. Valdinete Vieira Nunes pelo apoio prático e técnico na execução deste trabalho e muitos outros ao longo da minha carreira acadêmica. A experiência compartilhada por ela foi fundamental para a qualidade dos experimentos realizados.

Agradeço profundamente a Isac Pereira Soares Martins, diretor da Biomulti, e a Wallison Oliveira Vieira, engenheiro de pesquisa da mesma instituição, pelo fornecimento dos bioinsumos essenciais para a realização dos experimentos. Seu apoio não apenas facilitou o desenvolvimento prático deste trabalho, mas também enriqueceu a qualidade da pesquisa realizada.

Meu reconhecimento também ao Prof. Paulo Roberto Gagliardi, do Departamento de Engenharia Agrônômica da UFS, pela disponibilidade de infraestrutura laboratorial e apoio técnico ao longo deste projeto.

À minha família, meu eterno obrigado por todo amor, paciência e apoio incondicional. Vocês foram minha fortaleza e motivação diária para seguir em frente e superar todos os desafios.

Aos meus colegas do GENAPLANT agradeço o apoio e companheirismo, em especial, mas não limitado, a Sara, Matheus, Jaqueline, Suzana, Natali e Crislaine, os quais ajudaram a criar um ambiente produtivo e leve durante toda minha formação.

Aos meus colegas do PPGAGRI, agradeço pela camaradagem, pelo ambiente colaborativo e por todos os momentos de aprendizado e troca de experiências que tanto enriqueceram minha jornada acadêmica.

À CAPES, expresso minha gratidão pela concessão da bolsa de mestrado, que foi essencial para a realização deste projeto. Agradeço também à Universidade Federal de Sergipe (UFS) pela infraestrutura e suporte contínuos, que proporcionaram um ambiente propício para minha formação e pesquisa.

Por fim, mas não menos importante, agradeço a todos aqueles que, mesmo indiretamente, contribuíram para a conclusão desta etapa da minha vida. Cada palavra de incentivo e cada gesto de apoio tiveram um impacto significativo nesta caminhada.

Aos membros da banca Dra. Heloisa Oliveira dos Santos (UFLA) e Dra. Aline de Almeida Vasconcelos (UFS) pela disponibilidade e contribuições.

Este trabalho não seria possível sem a colaboração e o apoio de cada um de vocês. Meu sincero muito obrigado!

BIOGRAFIA

Lucas Alexandre dos Santos Rocha é um engenheiro agrônomo, formado pela Universidade Federal de Sergipe, com especialização em fitotecnia. Durante sua graduação, destacou-se como Bolsista de Iniciação Científica do CNPq, onde desenvolveu pesquisas significativas na área de agronomia sobre o desenvolvimento do pinhão-manso, conservação de sementes de mangaba e melhoramento de milho sob a orientação da Dra. Renata Silva Mann.

Reconhecido por sua excelência acadêmica, Lucas foi laureado com prêmios por suas contribuições inovadoras no campo, evidenciando seu compromisso com a pesquisa e desenvolvimento agrícola. Atualmente, ele é um membro ativo do Grupo de Pesquisa Genaplant, onde continua a explorar novas fronteiras em agronomia e contribuir para avanços no setor, especialmente na busca por uma agricultura sustentável.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	ii
LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Milho	3
2.2. Bioinsumos	3
2.3. Tratamentos pré-germinativos	4
2.4. Uso dos bioinsumos na cultura do milho	4
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	10
4. ARTIGO 1: INTERAÇÃO ENTRE BIOINSUMOS E HÍBRIDOS DE MILHO NO DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO	17
Resumo	17
4.1. Introdução	18
4.2. Material e Métodos	18
4.3. Resultados e Discussão	20
4.4. Conclusões	29
4.5. Referências Bibliográficas	29
4.6. Anexo	31
5. ARTIGO 2: RESPOSTA DE GENÓTIPOS DE MILHO A BIOINSUMOS SOB CONDIÇÕES DE RESTRIÇÃO HÍDRICA	33
Resumo	33
5.1. Introdução	34
5.2. Material e Métodos	35
5.3. Resultados	36
5.4. Discussão	39
5.5. Conclusões	40
5.6. Referências Bibliográficas	40
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	45

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

Figura		Página
1.1	Sementes de milho submetidas a tratamentos de Hidro e biopriming.	19
1.2	Box plots para germinação (GERM) por genótipo (GEN), para germinação por bioinsumos (BIO), e germinação (GERM) por tempo de tratamento (TEM) em sementes de milho. P3707VY (H1), NS45 VIP3 (H2) e AS1850PRO4 (H3).	20
1.3	Germinação de sementes de milho tratadas com diferentes bioinsumos (<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (Ba), <i>B. subtilis</i> (Bs), <i>B. pumilus</i> (Bp) e água (Hidro)) em diferentes tempos de tratamento (h).	21
1.4	Tamanho do hipocótilo (TH) de plântulas de milho tratadas com diferentes bioinsumos (<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (Ba), <i>B. subtilis</i> (Bs), <i>B. pumilus</i> (Bp) e água (Hidro)) em diferentes tempos de tratamento (h).	23
1.5	Tamanho total (TT) de plântulas tratadas de milho tratadas com diferentes bioinsumos (<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (Ba), <i>B. subtilis</i> (Bs), <i>B. pumilus</i> (Bp) e água (Hidro)) em diferentes tempos de tratamento (h).	26
1.6	Mapa de calor da matriz de correlação das variáveis Germinação (GERM), Área (Area), Número de Ramificações das Raízes (NR), Razão Raiz-Hipocótilo (RRH), Tamanho do Hipocótilo (TH), Tamanho da Raiz Primária (TRP) e Tamanho Total (TT), visualizando a força e direção das relações de plântulas tratadas de milho tratadas com diferentes bioinsumos (<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (Ba), <i>B. subtilis</i> (Bs), <i>B. pumilus</i> (Bp) e água (Hidro)) em diferentes tempos de tratamento (h).	27

ARTIGO 2

Figura		Página
2.1	A. Germinação aos 10 dias em sementes de milho sem estresse e submetidas à estresse hídrico. B. Germinação aos 14 dias em sementes de milho sem estresse e submetidas à estresse hídrico.	36
2.2	A. Germinação aos 10 dias em sementes de milho tratadas com bioinsumos e submetidas à estresse hídrico. B. Germinação aos 14 dias em sementes de milho tratadas com bioinsumos e submetidas à estresse hídrico.	37
2.3	A. Tamanho do hipocótilo das plântulas de milho dos tratamentos com bioinsumos submetidos à estresse hídrico. B. Tamanho da raiz principal das plântulas de milho dos tratamentos com bioinsumos submetidos à estresse hídrico. C. Tamanho total das plântulas de milho dos tratamentos com bioinsumos submetidos à estresse hídrico.	38
2.4	A. Número de ramificações das raízes entre os tratamentos. B. Número de ramificações das raízes entre os genótipos.	39

LISTA DE TABELAS**REVISÃO DE LITERATURA**

Tabela		Página
1	Microrganismos, origem, efeitos e referências das publicações analisadas para o tema uso de microrganismos em sementes de milho.	7

ARTIGO 1

Tabela		Página
1	Capacidade Geral de Combinação (CGC) e Capacidade Específica de Combinação (CEC) dos genótipos com os bioinsumos para área da plântula (Area), tamanho do hipocótilo (TH), desenvolvimento da raiz primária (DRP) e germinação (GERM).	28

ANEXO 1

Tabela		Página
1	Germinação dos tratamentos nos 3 genótipos avaliados.	31

LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS

TH	Tamanho do hipocótilo
TRP	Tamanho da raiz primária
TRS	Tamanho da raiz secundária
TT	Tamanho total da plântula
EA	Emissão da parte aérea
RH	Rompimento do hipocótilo
ER	Emissão de radícula
NR	Número de ramificações das raízes
G	Sementes germinadas
Area	Área de plântulas
RRH	Razão Raiz Hipocótilo

RESUMO

ROCHA, Lucas Alexandre dos Santos. **Interatividade entre bioinsumos e genótipos de milho: adaptação ao estresse hídrico**. São Cristóvão: UFS, 2024. 46p. (Dissertação – Mestrado). *

A intensificação da agricultura tem causado pressões significativas sobre o uso da terra, resultando em salinização do solo, desertificação, eutrofização de corpos hídricos e perda da diversidade microbiana do solo. Esses processos comprometem a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola, exigindo inovações que aumentem a produtividade sem prejudicar os recursos naturais. Essa busca por alternativas sustentáveis é especialmente importante para as grandes culturas de significativa importância econômica e social, como é o caso do milho. Entre as diversas alternativas possíveis para atender essa necessidade, o uso de microrganismos tem ganhado espaço no setor agrícola. No primeiro artigo se investigou a eficácia de diferentes métodos de condicionamento fisiológico sem e com bioinsumos na promoção do crescimento inicial de três cultivares híbridas de milho recomendadas para Sergipe (AS1850PRO4, P3707VY e NS45 VIP3). Na utilização do bioinsumo foram empregados inóculos à base de *Bacillus amyloliquefaciens*, *B. subtilis*, *B. pumilus*, nos tempos de 0, 2, 4 e 6h. Houve variações significativas entre os tratamentos e os genótipos. As variáveis analisadas incluíram germinação, área da plântula, número de ramificações da raiz, razão raiz-hipocótilo, tamanho do hipocótilo, tamanho da raiz, tamanho total da plântula e Capacidade Geral de Combinação (CGC) e a Capacidade Específica de Combinação (CEC). No genótipo AS1850PRO4, nenhum dos tratamentos superou o controle no que se refere ao tamanho do hipocótilo, indicando que os bioinsumos não ofereceram vantagens para este parâmetro. Entretanto, o tratamento com *B. pumilus* mostrou-se superior no desenvolvimento da raiz primária em todos os tempos testados, sugerindo um potencial específico para a melhoria do sistema radicular. Embora os bioinsumos possam não influenciar significativamente o crescimento total das plântulas, eles têm o potencial de melhorar aspectos específicos do desenvolvimento inicial das plantas, como o sistema radicular. Com os resultados da CGC observou-se que o genótipo NS45 VIP3 apresentou a maior CGC para o desenvolvimento da raiz primária, indicando que este genótipo tem um forte impacto genético positivo sobre esta característica. No segundo artigo foram avaliados 4 genótipos compostos por 3 cultivares híbridas (P3707VYH, NS45 VIP3, AS1850 PRO4) e a variedade crioula “Pé-de-boi”. Avaliaram-se as interações com os tratamentos dos bioinsumos com *B. aryabhatai*, *B. pumilus*, *B. amyloliquefaciens*, *B. subtilis* e o controle. O tratamento com *B. amyloliquefaciens* foi efetivo na promoção de crescimento das plântulas do genótipo AS1850PRO4, com performance superior ao estresse, proporcionando um incremento de 87% no comprimento da parte aérea da plântula. Para AS1850PRO4 houve ganhos de 32,62% no tamanho total da plântula, esse efeito, entretanto, não foi observado em nenhum dos demais genótipos. Para o genótipo NS45VIP3 obteve-se performance inferior ao estresse, com o tratamento com *B. aryabhatai* 23% menor que o tratamento com o estresse no tamanho da raiz principal. O tratamento com *B. amyloliquefaciens* foi o único a apresentar melhorias significativas no desenvolvimento das plântulas quando comparado aos tratamentos com estresse. Somente o genótipo AS1850PRO4 apresentou interações significativas positivas com os bioinsumos.

Palavras-chave: Bibliometrix, *Zea mays*, Rizosfera, *Bacillus*, Genótipo, Análise de imagem.

* Comitê Orientador: Renata Silva Mann – UFS (Orientadora), Paulo Roberto Gagliardi – UFS (Coorientador), Valdinete Vieira Nunes – UFS (Coorientadora).

ABSTRACT

ROCHA, Lucas Alexandre dos Santos. **Interactions between bioinputs and maize genotypes: adaptation to water stress.** São Cristóvão: UFS, 2024. 46p. (Master's degree dissertation).

Agricultural intensification is causing significant pressure on land use, resulting in soil salinization, desertification, eutrophication of water bodies and the loss of soil microbial diversity. These processes affect the sustainability of agricultural production systems, and require innovations to increase productivity without harming natural resources. This search for sustainable alternatives is particularly necessary for large economically and socially important crops, such as maize. Among the various possible alternatives to meet this need, the use of microorganisms in the agricultural sector is on the rise. Our first article investigated the effectiveness of different physiological conditioning methods, with and without bioinputs, in promoting early growth of three hybrid maize cultivars recommended for Sergipe (AS1850PRO4, P3707VY and NS45 VIP3). Inocula based on *Bacillus amyloliquefaciens*, *B. subtilis* and *B. pumilus* were used as bioinputs, during inoculation periods of 0, 2, 4 and 6h. The variations between treatments and genotypes were significant. The studied variables were germination, seedling area, number of root branches, root-hypocotyl ratio, hypocotyl size, root size, total seedling size, and general (GCA) and specific combining ability (SCA). None of the treatments with genotype AS1850PRO4 outperformed the control group in hypocotyl size, indicating that the bioinputs were not beneficial for this parameter. However, in the *B. pumilus* treatment, primary root development was better at all times tested, suggesting a specific potential to improve the root system. Although bioinputs may not significantly influence overall seedling growth, they can improve specific aspects of early plant development, e.g., of the root system. For GCA for primary root development, genotype NS45 VIP3 achieved the best results, indicating a strong positive genetic impact of this genotype on the trait. In the second article, four genotypes (three hybrid cultivars, P3707VYH, NS45 VIP3, AS1850 PRO4, and the landrace variety “Pé-de-boi”) were evaluated. The interactions of these genotypes with the bioinputs containing *B. aryabhatai*, *B. pumilus*, *B. amyloliquefaciens*, *B. subtilis* and the control treatment were evaluated. The *B. amyloliquefaciens* treatment was effective in promoting seedling growth of genotype AS1850PRO4. The treatment resulted in better performance under stress, with an increase of 87% in seedling shoot length. For AS1850PRO4, gains of 32.62% in total seedling size were reported, although this effect was not observed in any of the other genotypes. For genotype NS45VIP3, performance under stress was poorer, and the main root size in the *B. aryabhatai* treatment was 23% shorter than in the stress treatment. Significant improvements in seedling development were only observed in the *B. amyloliquefaciens* treatment, compared to the stress treatments. Significant and positive interactions with the bioinputs were only observed for genotype AS1850PRO4.

Keywords: Bibliometrix, *Zea mays*, Rhizosphere, *Bacillus*, Genotype, Image analysis.

* Advisory Committee: Renata Silva Mann - UFS (Advisor), Paulo Roberto Gagliardi - UFS (Co-Advisor), Valdinete Vieira Nunes - UFS (Co-Advisor).

1. INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura intensiva tem levado a uma alta pressão no uso da terra, podendo ocasionar a salinização dos solos, desertificação em áreas sujeitas ao processo, eutrofização de corpos hídricos e perda da diversidade microbiana do solo. Tais processos não possibilitam a garantia de sustentabilidade desse sistema de produção agrícola, necessitando da utilização de inovações que permitam o crescimento da produtividade sem o comprometimento dos recursos naturais (FAO, 2018; Villarreal *et al.*, 2020).

Um dos recursos naturais incluídos na sustentabilidade é a água, esse recurso básico para vida e atividade agrícola muitas vezes tem seu custo esquecido na agropecuária. É estimado que entre as quatro culturas básicas que representam 57% das calorias consumidas no mundo, o milho possui o segundo maior custo de irrigação na América do Sul, ficando somente atrás do arroz (D’Odorico *et al.*, 2020).

Esse dado é preocupante, especialmente para o Brasil, pois o país possui 22,03% de suas terras agrícolas em zonas com déficit hídrico, podendo chegar a 32,80% das áreas agrícolas em 2050, configurando o segundo maior aumento no mundo (Rosa *et al.*, 2020). As culturas nessas áreas podem sofrer estresse hídrico, o que pode ocasionar alterações significativas no crescimento, na atividade fotossintética, na taxa de transpiração, na produção e na atividade das enzimas catalase, peroxidase, superóxido dismutase e ascorbato peroxidase (Azeem *et al.*, 2022; Balbaa *et al.*, 2022; Laskari *et al.*, 2022).

A expansão das áreas irrigáveis pode ser uma das alternativas para viabilizar o cultivo de milho em regiões que poderiam se tornar inviáveis ou não recomendadas para o cultivo ao longo do tempo (Król-Badziak; Kozyra; Rozakis, 2024). Contudo, essa alternativa apresenta dificuldades relacionadas ao custo, à disponibilidade e à qualidade da água na região. Devido a isso, alternativas têm sido estudadas para atender essa demanda, entre elas, o uso de bioinsumos tem se mostrado promissor.

Entre as estratégias de manejo agrícola sustentável disponíveis, os insumos de origem biológica, também conhecidos como bioinsumos, estão entre os mais interessantes, especialmente para as grandes culturas como o milho. No milho a capacidade desses produtos de promover tolerância ao estresse hídrico tem sido descrita para os mais diversos microrganismos (Kukreti *et al.*, 2020; Mubeen *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, 2020; Siddique *et al.*, 2022; Singh; Sharma; Giri, 2023).

Os bioinsumos também podem gerar outros benefícios para as culturas, entre eles a maior eficiência da fixação de nitrogênio, promoção do crescimento de plantas, resistência a doenças e possível menor frequência de pragas (Aguado *et al.*, 2019; MEYER *et al.*, 2022; Mishra; Mishra; Arora, 2022; Mukherjee *et al.*, 2020; Omomowo *et al.*, 2020).

O uso de bioinsumos no Brasil é incentivado através do Programa Nacional de Bioinsumos, Decreto nº 10.375, instituído no dia 26 de maio de 2020, que possui como objetivo ampliar e fortalecer a utilização de bioinsumos para promoção do desenvolvimento sustentável na agropecuária brasileira (Brasil, 2020). Essa promoção é importante principalmente para culturas com grande importância para o setor agropecuário como o algodão, soja e o milho, buscando atender tanto os presentes desafios quanto os futuros da atividade.

Os benefícios do uso desses agentes microbianos, entretanto, dependem da sua interação com diferentes genótipos e com a forma de sua aplicação. Compreender essas interações é crucial para otimizar o uso de bioinsumos, pois os microrganismos podem ter efeitos variados dependendo do genótipo do milho e do microrganismo inoculado (Nishanth *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2022; Peralta *et al.*, 2021; Prasanna *et al.*, 2021). Devido a isso, estudos sobre a compatibilidade e eficácia dos bioinsumos com diferentes genótipos de milho são necessários para melhorar a eficiência dos sistemas produtivos. A investigação dessas interações pode revelar novas oportunidades para maximizar a produtividade e a

sustentabilidade da agricultura e ajustar as práticas de manejo de acordo com as características específicas das cultivares utilizadas.

Logo, o objetivo deste trabalho foi determinar a interação entre genótipos de milho com bioinsumos, e seus efeitos no desenvolvimento inicial das plântulas de milho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma das principais culturas agrícolas, isso se deve a sua expressiva importância social, econômica e na alimentação humana e animal (Ramos *et al.*, 2020). Em 2021, foi a segunda cultura mais produzida no mundo, perdendo somente para a cana-de-açúcar, possuindo como maiores produtores de milho os Estados Unidos, China e Brasil, com respectivamente 383.943, 272.552 e 88.462 mil toneladas (FAO, 2023). O Brasil em 2021 também se apresentou como um dos maiores exportadores da cultura, em 4º lugar, perdendo somente para os Estados Unidos, Argentina e Ucrânia, que mantiveram o 1º, 2º e 3º lugar, respectivamente (FAO, 2023).

Grande parte da produção brasileira se deve à utilização de cultivares híbridas, em especial híbridos simples e triplos com grande potencial produtivo. Entretanto, esses materiais possuem uma grande dependência da população ideal para maximizar o rendimento, o que reduz a estabilidade da produção quando fatores adversos reduzem o estande da lavoura (Tokatlidis; Koutroubas, 2004). As cultivares híbridas são exigentes nas tecnologias aplicadas para expressão de todo o seu potencial, onde o custo das sementes e dos fertilizantes necessários para seu desenvolvimento chegam a representar 70,84% dos custos totais de produção (Andrade *et al.*, 2024; Emygdio *et al.*, 2008). Devido a essas características, o uso de híbridos necessita de outras ações que garantam as condições ideais para a cultura se desenvolver e produzir, e uma dessas ações pode se dar com o uso dos bioinsumos.

2.2 Bioinsumos

O termo bioinsumo é definido no Decreto nº 10.375/2020 de forma abrangente como o produto, processo ou a tecnologia de origem vegetal, animal ou microbiana, que interfira de maneira positiva no crescimento, desenvolvimento e mecanismo de resposta em animais, plantas, microrganismos e substâncias derivadas que interajam com produtos, processos físico-químicos e biológicos (Brasil, 2020).

O uso de bioinsumos pode trazer diversos benefícios para agricultura, entre esses algumas funções se destacam, como o controle de doenças e pragas, solubilização de nutrientes, redução de estresse, promoção de crescimento, melhoria do desenvolvimento radicular e da produção (Duarte *et al.*, 2022; Mishra; Mishra; Arora, 2022; Omomowo *et al.*, 2020; Pereira *et al.*, 2020; Ramos-Garza *et al.*, 2023).

Dentre esses diversos usos alguns deles se tornam de especial interesse para o atual momento da agricultura, pois eles auxiliam na resolução de problemas-chaves, entre eles a redução da quantidade de fertilizantes químicos, através da solubilização de nutrientes; controle biológico de doenças, pelo antagonismo; melhoria no desenvolvimento e produtividade das plantas através de interações promotoras de crescimento (Mishra *et al.*, 2023; Mubeen *et al.*, 2021; Santoyo; Urtis-Flores; Orozco-Mosqueda, 2024; Xie *et al.*, 2024).

Na busca de microrganismos com potencial para uso como promotor de crescimento, as rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCP) se apresentam como candidatas promissoras. Elas atuam ao colonizar as raízes das plantas e induzem o crescimento vegetal através de uma diversidade de mecanismos, entre eles a absorção de nutrientes, especialmente o fósforo através da solubilização de fosfatos, fixação simbiótica do nitrogênio e a síntese de fitormônios como o ácido indol acético (AIA) (Contreras-Cornejo *et al.*, 2016; Zeilinger *et al.*, 2016).

Diversos estudos foram realizados na busca desses microrganismos com potencial aplicação como bioinsumos e resultados promissores têm sido encontrados e observados. Exemplos desses microrganismos benéficos são *Pseudomonas fluorescens* S3X e *Cupriavidus necator* 1C2, que têm capacidade de promover eficiência no uso de nitrogênio e fósforo, permitindo assim reduzir os efeitos do estresse hídrico e manutenção da produtividade (Pereira *et al.*, 2020). Em outro estudo se identificou a capacidade de produção de auxina e

solubilização de fósforo em *Bacillus megaterium*, *B. subtilis* e *Bacillus* sp. Cph60 quando inoculadas no milho, tanto em vaso quanto em campo (Baig *et al.*, 2014). Também foi identificado que cepas mutantes de *Aspergillus flavus* são solubilizadoras eficientes de fosfato, que quando inoculadas em plantas de milho levam a maior quantidade de fósforo nas folhas e na planta como um todo (Omomowo *et al.*, 2020).

Esses microrganismos com potencial para utilização como bioinsumos podem ser prospectados nos mais diversos locais, como o solo, rizosfera, corpos d'água e seus sedimentos (Aini *et al.*, 2022; Barten; Wijffels; Barbosa, 2020; Ogaki *et al.*, 2020; Uesugi *et al.*, 2021). Trabalhos de bioprospecção têm especialmente investigado os microrganismos presentes na rizosfera das mais diversas espécies, entre elas se encontram culturas como o pinhão-mansão, bambu, banana e milho, onde resultados favoráveis têm sido obtidos (Farooq; Bano, 2013; Naureen *et al.*, 2005; Suleman *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2022; Wong-Villarreal *et al.*, 2019).

Com esses resultados o uso de bioinsumos se tornou uma das principais ferramentas na condução das culturas, logo a forma de como serão adicionados ao sistema de produção se tornou um ponto de interesse, onde uma das maneiras mais práticas identificadas foi a utilização por meio de tratamentos pré-germinativos nas sementes.

2.3 Tratamentos pré-germinativos

Um dos processos mais usados como tratamento pré-germinativo em sementes é o controle da embebição ou, como é conhecido na língua inglesa, o *priming* ou condicionamento fisiológico. Esta técnica consiste na exposição prévia de um indivíduo a um estímulo como forma de estimular uma resposta a um estímulo subsequente (Bargh, 2006).

O condicionamento fisiológico de sementes pode ser realizado de diversas formas, entre elas estão o osmocondicionamento, que envolve a submersão das sementes em substância com baixo potencial osmótico com aeração, o hidrocondicionamento, que é a submersão em água com ou sem aeração e o biocondicionamento, que é a utilização integrada da hidratação e adição da inoculação com organismos benéficos para a semente (Farooq *et al.*, 2019).

Os efeitos benéficos do condicionamento fisiológico de sementes são evidenciados pela melhoria no sistema de defesa antioxidante, com regulação nos níveis de atividade de enzimas como peroxidases, catalases e ácido ascórbico. Dessa forma, promove-se a regulação do estresse em condições adversas, como seca, frio e salinidade. Esse efeito benéfico foi observado tanto devido aos genótipos utilizados como também podem ser ocasionados pelo condicionamento com microrganismos, o que comprovou a capacidade desses microrganismos de influenciar na atividade antioxidante das plantas (Luo *et al.*, 2024; Peralta *et al.*, 2021; Poldasari *et al.*, 2022).

Os efeitos benéficos do condicionamento, entretanto, não se limitam somente à atividade antioxidante, outros efeitos como a promoção de resistência a doenças, melhoria do vigor, germinação, metabolismo e desenvolvimento também foram identificados (Aguado *et al.*, 2019; Imran; Boelt; Mühling, 2018; Kawatra; Kaur; Kaur, 2019; Olorunmaiye; Olatunji, 2018). Devido a esse enorme potencial, diversas pesquisas têm sido direcionadas a sua aplicabilidade em culturas de grande interesse social e econômico, sendo uma delas o uso na cultura do milho.

2.4 Uso dos bioinsumos na cultura do milho

A agricultura na última década tem se intensificado e esse aumento em parte se deve ao aumento do uso irracional de fertilizantes que aumentam a poluição, erosão e degradação do solo (Man *et al.*, 2021).

A deterioração do solo é um dos maiores desafios com o uso dos fertilizantes químicos, devido ao incremento de condições adversas que dificultam o crescimento dos vegetais, especialmente devido ao aumento da acidez do solo (Bishnoi, 2018). Além desse

efeito mais visível, outras alterações ocorrem devido ao uso desses produtos em larga escala. Uma dessas alterações é na matéria orgânica no solo e na atividade dos microrganismos presentes nele (Man *et al.*, 2021).

No cenário atual, com a redução e esgotamento dos recursos terrestres e da riqueza biológica (Basu *et al.*, 2021), tornam-se necessárias alternativas para a manutenção da atividade agrícola. Entretanto, não existe uma única solução que resolva diretamente esse problema, que é tanto ecológico quanto técnico e sociocultural (Kesavan; Swaminathan, 2018), especialmente para culturas de grande importância econômica, como o milho.

Entre essas diversas possíveis soluções, o uso de bioinsumos é uma das mais promissoras, sendo um exemplo delas as rizobactérias promotoras de crescimento. O uso eficiente de rizobactérias como biofertilizantes e agentes de controle biológico pode ser um substituto completamente adequado para redução de agroquímicos sintéticos (Atieno *et al.*, 2020; Vessey, 2003).

Esses microrganismos são diversos e podem gerar os mais variados efeitos benéficos para a agricultura, por exemplo, resistência ao estresse salino e hídrico, promoção de crescimento e controle de doenças (Karthika; Midhun; Jisha, 2020; Santana *et al.*, 2023; Yang *et al.*, 2023; Zahra *et al.*, 2023). Esses microrganismos e seus diversos usos vem sendo estudados constantemente, desde a descoberta de novos organismos, novas interações positivas e melhores maneiras de utilizá-los (Mubeen *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2024; Zainab *et al.*, 2021).

Assim, visando identificar o estado da arte sobre o tema realizou-se levantamento bibliográfico feito em maio de 2024, nas plataformas indexadoras Scopus (www.scopus.com) e Web of Science (www.webofknowledge.com), por meio do booleano (bioinoculantes OR bioinsumos OR bioinput OR bioinoculant OR bioinsum*) AND (milho OR maize OR corn OR "Zea mays"). A busca foi realizada no título, resumo e palavras-chaves de artigos. Foram prospectados artigos publicados em português e inglês, foi definido uma janela temporal de cinco anos (2019-2024). Os metadados encontrados foram exportados em formato BibTeX, sendo posteriormente unidos em um arquivo com remoção das duplicatas e exportação em formato Excel utilizando o software R (R Core Team, 2021).

Após compilação dos artigos foram aplicados 2 critérios de elegibilidade, eles foram a cultura trabalhada, o milho, e o tema estudado, o uso de bioinsumos na cultura. A análise dos metadados foi realizada utilizando o pacote Bibliometrix disponível no software R (R Core Team, 2020).

Na pesquisa identificou-se 38 e 33 publicações, nas plataformas Web of Science e Scopus, respectivamente. Dessas publicações, 21 no Web of Science e 12 da Scopus foram excluídas devido aos critérios de elegibilidade. As publicações tiveram 16 duplicatas removidas, restando 22 publicações para análise.

Somente três publicações realizaram a identificação dos microrganismos até gênero, o que limitou maiores observações uma vez que alguns como o *Bacillus* possuem muitos representantes.

Outra falta de informação preocupante é a identificação do material vegetal, onde 22,73% dos trabalhos avaliados não informaram quais genótipos foram utilizados. Este resultado é preocupante, pois os microrganismos interagem de forma diferente com os genótipos. Alguns estudos avaliaram esse comportamento, onde efeito de microrganismos aplicados em diferentes genótipos, da mesma espécie, apresentam resultados diferentes (Prasanna *et al.*, 2021; Singh *et al.*, 2020).

A origem dos materiais para o teste, em sua maioria (59,09%), foi obtida através do isolamento desses microrganismos pelos autores ou em publicações anteriores, ou seguido por requisições desses materiais a universidades, institutos e empresas (18,18%), coleções estabelecidas (9,09%) e produtos comerciais (4,55%). Esses isolamentos foram realizados quase na sua totalidade na região da rizosfera das plantas, como em *Z. mays*, *Cocos nucifera*

L., *Spinacia oleracea* L., *Ephedra pachyclada* e *Paris polyphylla* (Indhuja *et al.*, 2021; Khalil *et al.*, 2021; Kumar *et al.*, 2020; Mishra; Mishra; Arora, 2022; Wang *et al.*, 2022).

Esses dados evidenciam a necessidade de que os pesquisadores envolvidos na bioprospecção criem coleções de microrganismos. Isso não só ajudará a conservar esses materiais, mas também facilitará o acesso para que tanto os próprios pesquisadores quanto outros possam realizar novos testes em diferentes espécies, promovendo assim a internacionalização das pesquisas.

Essa internacionalização é observada em algumas publicações, com uma coautoria internacional presente em 31,82% dos artigos avaliados. A produção, entretanto, está concentrada em alguns países, com a Índia, que lidera, seguida por China, Brasil, Argentina e Paquistão. Isso indica que a maioria das pesquisas está concentrada no continente asiático.

Os trabalhos apresentaram uma diversidade de microrganismos avaliados, dentre eles os que mais tiveram publicações foram os pertencentes aos gêneros *Bacillus* (25,93%), *Azospirillum* (18,52%) e *Pseudomonas* (18,52%) (TABELA 1).

TABELA 1. Microrganismos, origem, efeitos e referências das publicações analisadas para o tema uso de microrganismos em sementes de milho.

Microrganismo	Origem	Efeitos	Referência
<i>Aspergillus flavus</i>	Folha (<i>Ephedra pachyclada</i>)	Promotor de crescimento; Absorção de nutrientes	Khalil <i>et al.</i> (2021)
<i>Alternaria tenuissima</i>	Folha (<i>Ephedra pachyclada</i>)	Promotor de crescimento; Absorção de nutrientes	Khalil <i>et al.</i> (2021)
<i>Azospirillum argentinense</i>	Instituto de Microbiologia Agrícola e Zoologia	Promotor de crescimento; Resistência a estresse hídrico	Iparraguirre <i>et al.</i> (2024)
<i>Azospirillum brasilense</i>	Embrapa; Coleção	Promotor de crescimento; Absorção de nutrientes; Formação da comunidade microbiana; Melhoria do sistema antioxidante	Fernández <i>et al.</i> (2022); Guidinelle <i>et al.</i> (2024); Pedrinho <i>et al.</i> (2024); Peralta <i>et al.</i> (2021)
<i>Bacillus</i> sp.	PA; Rizosfera (<i>P. polyphylla</i> var. <i>yunnanensis</i>)	Promotor de crescimento; Melhoria da diversidade microbiana; facilitador de absorção de ferro; inibidor de crescimento da <i>Candida albicans</i>	Chaudhary <i>et al.</i> (2021); Wang <i>et al.</i> (2022)
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Produto Comercial	Promotor de crescimento*	Silva da <i>et al.</i> (2024)
<i>Bacillus cereus</i>	Rizosfera (espinafre); Coleção; Uttar Pradesh	Promotor de crescimento; inibe o crescimento de <i>Macrophomina phaseolina</i>	Gupta <i>et al.</i> (2023); Kumar <i>et al.</i> (2020); Mubeen <i>et al.</i> (2021)
<i>Bacillus subtilis</i>	Produto Comercial	Promotor de crescimento*	Silva da <i>et al.</i> (2024)
<i>Bacillus velezensis</i>	PA	Promotor de crescimento*; solubilizador de P*	Xie <i>et al.</i> (2024)
<i>Dietzia cinnamea</i>	PA	Promotor de crescimento; possui genes que confere resistência a estresse;	Khan <i>et al.</i> (2020)
<i>Microbacterium azadirachtae</i>	Rizosfera (milho)	Promotor de crescimento; solubilizador de P; Resistência a estresse salino	Luo <i>et al.</i> (2024)
<i>Ochrobactrum</i> sp.	PA	Promotor de crescimento; Redução de estresse alcalino; Melhoria da qualidade química do solo	Mishra <i>et al.</i> (2023)
<i>Paraburkholderia</i> sp.	Sustainable Organic Solutions Pty. Ltd.	Promotor de crescimento	Petersen <i>et al.</i> (2021)
<i>Penicillium crustosum</i>	Folha (<i>Ephedra pachyclada</i>)	Promotor de crescimento; Absorção de nutrientes	Khalil <i>et al.</i> (2021)
<i>Penicillium commune</i>	Folha (<i>Ephedra pachyclada</i>)	Promotor de crescimento; Absorção de nutrientes	Khalil <i>et al.</i> (2021)
<i>Penicillium caseifulvum</i>	Folha (<i>Ephedra pachyclada</i>)	Promotor de crescimento; Absorção de nutrientes	Khalil <i>et al.</i> (2021)
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Rizosfera (milho), solo; Coleção	Estimula a abundância de <i>Rhizobacterium</i> ; Promotor de crescimento; Controle do <i>Fusarium moniliforme</i> .	Fernández <i>et al.</i> (2022); Mishra; Mishra; Arora (2022); Santoyo; Urtis-Flores; Orozco-Mosqueda (2024)
<i>Rhizobium radiobacter</i>	Rizosfera (milho)	Promotor de crescimento; Solubilizador de Zinco;	Singh <i>et al.</i> (2020)
<i>Jeotgalicoccus huakuii</i>	PA	Promotor de crescimento; Resistência a estresse hídrico e alcalino	Misra <i>et al.</i> (2019)

*Efeito quando associado a outro tratamento.

PA – Obtenção em publicação anterior

No documento mais citado (81), foi realizada a prospecção de 15 microrganismos com potencial para utilização como bioinsumo em milho (Khalil *et al.*, 2021). Esse número de citações pode ser atribuído à natureza do trabalho que, ao identificar esses microrganismos e

testá-los no milho, permite que outros estudos utilizem os mesmos microrganismos em diferentes espécies ou para investigar outros efeitos benéficos, como a tolerância ao estresse.

A busca por microrganismos que conferem tolerância aos estresses presentes na condução da cultura também está presente nos trabalhos avaliados. Uma das condições adversas analisadas foi a tolerância ao estresse salino, onde *M. azadirachtae* e *J. huakuii* demonstraram a capacidade de reduzir os impactos negativos causados por esse tipo de estresse (Luo *et al.*, 2024; Misra *et al.*, 2019).

O uso de *M. azadirachtae* apresentou aumento na quantidade de clorofila A, B e total, no comprimento das raízes, na altura da planta e na massa fresca, assim como melhoria na atividade de enzimas como catalase, superóxido dismutase e peroxidase, quando comparado a plantas somente submetidas ao estresse (Luo *et al.*, 2024).

A aplicação de *J. huakuii*, por sua vez, aumentou o comprimento da parte aérea e da raiz, a massa fresca e seca, assim como a atividade das enzimas catalase, superóxido dismutase, ascorbato peroxidase e polifenol oxidase, quando comparado a plantas somente submetidas ao estresse (Misra *et al.*, 2019). Esse efeito de aumento da tolerância também é de interesse para outros fatores adversos, como o estresse em solos alcalinos.

Solos alcalinos são aqueles com pH superior a 7. Esse elevado pH ocasiona estresse nas culturas. Entre as ferramentas para redução desses efeitos prejudiciais, alguns microrganismos podem ser utilizados. A utilização de *J. huakuii*, em combinação com 50% da adubação recomendada, foi capaz de proporcionar maior tamanho da planta, matéria fresca e seca, número de sementes por espiga e peso de sementes, quando comparado ao tratamento com 100% da adubação recomendada (Misra *et al.*, 2019).

Um comportamento benéfico nessas condições também foi encontrado com *Ochrobactrum* sp. quando conduzido em solos com pH de 10,2, houve aumento do comprimento, massa seca da raiz e da parte aérea, e clorofila total, além de melhoria na atividade das enzimas catalase, ascorbato peroxidase, superóxido dismutase e guaiacol peroxidase (Mishra *et al.*, 2023). Houve também melhoria nas características químicas do solo, gerando redução no pH e na condutividade elétrica do solo (Mishra *et al.*, 2023). Essa alteração nas características do solo é uma das preocupações no uso de bioinsumos, principalmente devido ao efeito que a adição pode ocasionar na microbiota do solo.

Os efeitos do uso de bioinsumos na microbiota do solo têm sido estudados, e alguns trabalhos apontam resultados interessantes. Um dos estudos identificou que a inoculação de *A. brasilense* possui uma presença limitada a longo prazo. Apesar de causar uma disfunção inicial, a comunidade bacteriana foi capaz de retornar ao estado inicial (Pedrinho *et al.*, 2024). Um efeito semelhante foi encontrado com *P. fluorescens*, onde a inoculação gerou um estímulo para a abundância relativa de bactérias, favorecendo a atividade de gêneros com atividade de promoção de crescimento em plantas, como as *Rhizobacterium* (Santoyo; Urtis-Flores; Orozco-Mosqueda, 2024).

Esse efeito foi estudado não só com os microrganismos, mas também com os meios utilizados para sua adição. Um exemplo é o uso de nanocompostos, no qual a aplicação de nanoquitosana com *Bacillus* sp. melhorou a saúde do solo e a população microbiana (Chaudhary *et al.*, 2021). Esse efeito aponta que a adição de outros materiais pode beneficiar a atividade dos microrganismos.

A adição de outros materiais na inoculação de microrganismos benéficos tem mostrado que alguns materiais beneficiam tanto a cultura quanto o solo. Um exemplo é o uso de inoculantes bacterianos à base de argila, como no caso do *B. velezensis*, onde esse material melhorou a quantidade de fósforo disponível, influenciou a formação de agregados e a estabilidade do solo (Xie *et al.*, 2024). O uso de outras partículas também foi avaliado, porém com resultados diferentes. Um exemplo desses resultados divergentes é o obtido com o uso de nanopartículas de prata com *B. cereus*, que não foi tão eficiente quanto o uso individual de cada um deles (Kumar *et al.*, 2020).

Uma dessas interações com bioinsumos mais buscadas é o aumento da viabilidade desses produtos microbianos, que foi alcançada com o uso de quitosana em conjunto com os microrganismos, mantendo a viabilidade por até 21 dias nas raízes e preservando a característica de promoção de crescimento (Fernández *et al.*, 2022).

É fundamental destacar que as aplicações práticas decorrentes desses resultados podem beneficiar práticas agrícolas sustentáveis e contribuir para a resiliência ambiental. A utilização de bioinsumos específicos nos genótipos de milho sob condições de estresse hídrico demonstrou potencial para reduzir a dependência de fertilizantes químicos, promovendo uma agricultura mais ecológica e economicamente viável. Este aspecto não só alivia a pressão sobre os recursos naturais, mas também oferece uma alternativa mais sustentável para os agricultores, potencialmente reduzindo custos e aumentando a produtividade agrícola em condições adversas.

Além disso, o impacto ambiental positivo inclui a melhoria da saúde do solo e a promoção da biodiversidade microbiana, essencial para ecossistemas agrícolas saudáveis e resilientes. Socialmente, a adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis pode fortalecer as comunidades rurais, garantindo maior segurança alimentar e melhor qualidade de vida para os agricultores. Economicamente, a redução dos custos de insumos e a potencial melhora na produtividade das culturas podem aumentar a rentabilidade para os produtores, incentivando uma mudança mais ampla para métodos de cultivo sustentáveis. Essas considerações ressaltam a importância de integrar os resultados da pesquisa nas políticas agrícolas e práticas de manejo, visando um futuro mais sustentável e regenerativo para a agricultura global.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUADO, A.; SAVOIE, J.-M.; CHÉREAU, S.; DUCOS, C.; AGUILAR, M.; FERRER, N.; AGUILAR, M.; PINSON-GADAIS, L.; RICHARD-FORGET, F. Priming to protect maize from *Fusarium verticillioides* and its fumonisin accumulation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 1, p. 64–72, 2019.
- AINI, L. Q.; AINI, N.; YAMIKA, W. S. D.; SETIAWAN, A. Screening of Plant Growth-Promoting Halotolerant Bacteria Isolated from Weeds Rhizosphere Grown in Saline Soil. **AGRIVITA, Journal of Agricultural Science**, v. 44, n. 2, p. 322–331, 2 jun. 2022.
- ANDRADE, M. F.; SIQUEIRA, T. DA S.; FRANÇA, J. G. E. DE; SILVA, K. S.; NASCIMENTO, A. D. L. DO; SILVA, M. A. D. DA; SIMPLÍCIO, J. B. Custo de produção e viabilidade econômica do cultivo de milho de alta tecnologia no semiárido pernambucano. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 15, n. 4, p. e3655–e3655, 1 abr. 2024.
- ATIENO, M.; HERRMANN, L.; NGUYEN, H. T.; PHAN, H. T.; NGUYEN, N. K.; SREAN, P.; THAN, M. M.; ZHIYONG, R.; TITABUTR, P.; SHUTSRIRUNG, A.; BRÄU, L.; LESUE, D. Assessment of biofertilizer use for sustainable agriculture in the Great Mekong Region. **Journal of Environmental Management**, v. 275, p. 111300, 1 dez. 2020.
- AZEEM, M.; HAIDER, M. Z.; JAVED, S.; SALEEM, M. H.; ALATAWI, A. Drought Stress Amelioration in Maize (*Zea mays* L.) by Inoculation of Bacillus spp. Strains under Sterile Soil Conditions. **Agriculture**, v. 12, n. 1, p. 50, jan. 2022.
- BAIG, K. S.; ARSHAD, M.; KHALID, A.; HUSSAIN, S.; NADEEM ABBAS, M.; IMRAN, M. Improving growth and yield of maize through bioinoculants carrying auxin production and phosphate solubilizing activity. **Soil and Environment**, v. 33, p. 159–168, 1 jan. 2014.
- BALBAA, M. G.; OSMAN, H. T.; KANDIL, E. E.; JAVED, T.; LAMLAM, S. F.; ALI, H. M.; KALAJI, H. M.; WRÓBEL, J.; TELESIŃSKI, A.; BRYSIWICZ, A.; GHAREEB, R. Y.; ABDELSALAM, N. R.; ABDELGHANY, A. M. Determination of morpho-physiological and yield traits of maize inbred lines (*Zea mays* L.) under optimal and drought stress conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 28 jul. 2022.
- BARGH, J. A. What have we been priming all these years? On the development, mechanisms, and ecology of nonconscious social behavior. **European Journal of Social Psychology**, v. 36, n. 2, p. 147–168, 2006.
- BARTEN, R. J. P.; WIJFFELS, R. H.; BARBOSA, M. J. Bioprospecting and characterization of temperature tolerant microalgae from Bonaire. **Algal Research**, v. 50, p. 102008, 1 set. 2020.
- BASU, A.; PRASAD, P.; DAS, S. N.; KALAM, S.; SAYYED, R. Z.; REDDY, M. S.; EL ENSHASY, H. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) as Green Bioinoculants:

Recent Developments, Constraints, and Prospects. **Sustainability**, v. 13, n. 3, p. 1140, jan. 2021.

BRASIL. **Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020**. Institui o Programa Nacional de Bioinsumos e o Conselho Estratégico do Programa Nacional de Bioinsumos. Diário Oficial da União: Seção 1, Brasília, DF, p.105, maio de 2020.

BISHNOI, S. U. Agriculture and the Dark Side of Chemical Fertilizers. **Environmental Analysis Ecology Studies**, v. 3, p. 198–201, 21 maio 2018.

CHAUDHARY, P.; SHARMA, A.; CHAUDHARY, A.; KHATI, P.; GANGOLA, S.; MAITHANI, D. Illumina based high throughput analysis of microbial diversity of maize rhizosphere treated with nanocompounds and *Bacillus* sp. **Applied Soil Ecology**, v. 159, p. 103836, 2021.

CONTRERAS-CORNEJO, H. A.; MACÍAS-RODRÍGUEZ, L.; VAL, E. DEL-; LARSEN, J. Ecological functions of *Trichoderma* spp. and their secondary metabolites in the rhizosphere: interactions with plants. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 92, n. 4, p. fiw036, 1 abr. 2016.

FAROOQ, U.; BANO, A. Screening of indigenous bacteria from rhizosphere of maize (*Zea mays* L.) for their plant growth promotion ability and antagonism against fungal and bacterial pathogens. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, v. 23, n. 6, p. 1642–1652, 2013.

FERNÁNDEZ, M.; PAGNUSSAT, L. A.; BORRAJO, M. P.; PEREZ BRAVO, J. J.; FRANCOIS, N. J.; CREUS, C. M. Chitosan/starch beads as bioinoculants carrier: long-term survival of bacteria and plant growth promotion. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 106, n. 23, p. 7963-7972, 2022.

D'ODORICO, P.; CHIARELLI, D. D.; ROSA, L.; BINI, A.; ZILBERMAN, D.; RULLI, M. C. The global value of water in agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 36, p. 21985–21993, 8 set. 2020.

DUARTE, E.; DUARTE, R.; SAUER, A.; CANCELLIER, E.; PEÑA, G. GESTIÓN DE LA CIGARRA DEL MAÍZ CON BIOINSUMOS A BASE DE HONGOS (*Beauveria bassiana*) MANAGEMENT OF CORN CICADA WITH BIOINSUMOS A BASE OF FUNGUS (*Beauveria bassiana*). **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 12, n.2, p. 42-47, 26 dez. 2022.

EMYGDIO, B. M.; SILVA, S. DOS A.; PORTO, M. P.; TEIXEIRA, M. C. C.; OLIVEIRA, A. C. B. DE. **Fenologia e características agronômicas de variedades de milho recomendadas para o RS**. 2008.

FAO. The future of food and agriculture: alternative pathways to 2050. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Rome, 2018.

FAO. Food and agriculture data. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>

FAROOQ, M.; USMAN, M.; NADEEM, F.; REHMAN, H.; WAHID, A.; BASRA, S. M.; SIDDIQUE, K. H. Seed priming in field crops: potential benefits, adoption and challenges. **Crop and Pasture Science**, v. 70, n. 9, p. 731–771, 4 out. 2019.

- GUIDINELLE, R. B.; BURAK, D. L.; RANGEL, O. J. P.; PEÇANHA, A. L.; PASSOS, R. R.; ROCHA, L. O. DA; OLIVARES, F. L.; MENDONÇA, E. DE S. Impact of historical soil management on the interaction of plant-growth-promoting bacteria with maize (*Zea mays* L.). **Heliyon**, v. 10, n. 7, 2024.
- GUPTA, A.; BANO, A.; RAI, S.; SHARMA, S.; PATHAK, N. Selection of Carrier Materials to Formulate Bioinoculant Package for Promoting Seed Germination Letters in Applied Nano. **BioScience**, v. 12, p. 65, 2023.
- IMRAN, M.; BOELT, B.; MÜHLING, K.-H. Zinc seed priming improves salt resistance in maize. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 204, n. 4, p. 390–399, 2018.
- INDHUJA, S.; BABU, M.; GUPTA, A.; GOPAL, M.; MATHEW, J.; THOMAS, R. J.; HARIS, A. A.; KRISHNAKUMAR, V. Screening and characterization of nutrient solubilizing phyto-beneficial rhizobacteria from healthy coconut palms in root (wilt) diseased tract of Kerala, India. **Journal of Environmental Biology**, v. 42, n. 3, p. 625-635, 2021.
- IPARRAGUIRRE, J.; MASCIARELLI, O.; VILLASUSO, A. L.; PIATTI, D.; LLANES, A. *Macrocystis pyrifera* alga extracts combined with *Azospirillum argentinense* improve growth and hormonal responses in *Zea mays* plants under drought stress. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 24, n. 2, p. 3209-3223, 2024.
- KARTHIKA, S.; MIDHUN, S. J.; JISHA, M. S. A potential antifungal and growth-promoting bacterium *Bacillus* sp. KTMA4 from tomato rhizosphere. **Microbial Pathogenesis**, v. 142, p. 104049, 1 maio 2020.
- KAWATRA, M.; KAUR, K.; KAUR, G. Effect of osmo priming on sucrose metabolism in spring maize, during the period of grain filling, under limited irrigation conditions. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 25, n. 6, p. 1367–1376, 1 nov. 2019.
- KESAVAN, P. C.; SWAMINATHAN, M. S. Modern technologies for sustainable food and nutrition security. **Current Science**, v. 115, n. 10, p. 1876–1883, 2018.
- KHALIL, A. M. A.; HASSAN, S. E.-D.; ALSHARIF, S. M.; EID, A. M.; EWAIS, E. E.-D.; AZAB, E.; GOBOURI, A. A.; ELKELISH, A.; FOUUDA, A. Isolation and characterization of fungal endophytes isolated from medicinal plant *Ephedra pachyclada* as plant growth-promoting. **Biomolecules**, v. 11, n. 2, p. 140, 2021.
- KHAN, N.; MARTINEZ-HIDALGO, P.; HUMM, E. A.; MAYMON, M.; KAPLAN, D.; HIRSCH, A. M. Inoculation with a microbe isolated from the negev desert enhances corn growth. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, p. 1149, 19 jun. 2020.
- KRÓL-BADZIAK, A.; KOZYRA, J.; ROZAKIS, S. Assessment of suitability area for maize production in Poland related to the climate change and water stress. **Sustainability**, v. 16, n. 2, p. 852, jan. 2024.
- KUMAR, P.; PAHAL, V.; GUPTA, A.; VADHAN, R.; CHANDRA, H.; DUBEY, R. C. Effect of silver nanoparticles and *Bacillus cereus* LPR2 on the growth of *Zea mays*. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 20409, 2020.

- KUKRETI, B.; SHARMA, A.; CHAUDHARY, P.; AGRI, U.; MAITHANI, D. Influence of nanosilicon dioxide along with bioinoculants on *Zea mays* and its rhizospheric soil. **3 Biotech**, v. 10, n. 8, p. 345, 21 jul. 2020.
- LASKARI, M.; MENEXES, G.; KALFAS, I.; GATZOLIS, I.; DORDAS, C. Water stress effects the morphological, physiological characteristics of maize (*Zea mays* L.), and on environmental cost. **Agronomy**, v. 12, n. 10, p. 2386, out. 2022.
- LUO, H.; WIN, C. S.; LEE, D. H.; HE, L.; YU, J. M. *Microbacterium azadirachtae* CNUC13 enhances salt tolerance in maize by modulating osmotic and oxidative estresse. **Biology**, v. 13, n. 4, p. 244, 2024.
- MAN, M.; DEEN, B.; DUNFIELD, K. E.; WAGNER-RIDDLE, C.; SIMPSON, M. J. Altered soil organic matter composition and degradation after a decade of nitrogen fertilization in a temperate agroecosystem. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 310, p. 107305, 15 abr. 2021.
- MEYER, M. C.; BUENO, A. D. F.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. Bioinsumos na cultura da soja. **Embrapa Soja: Londrina, Brazil**, 2022.
- MISHRA, J.; MISHRA, I.; ARORA, N. K. 2,4-Diacetylphloroglucinol producing *Pseudomonas fluorescens* JM-1 for management of ear rot disease caused by *Fusarium moniliforme* in *Zea mays* L. **3 Biotech**, v. 12, n. 6, p. 138, 24 maio 2022.
- MISHRA, S. K.; MISRA, S.; DIXIT, V. K.; KAR, S.; CHAUHAN, P. S. *Ochrobactrum* sp. NBRISH6 inoculation enhances *Zea mays* productivity, mitigating soil alkalinity and plant immune response. **Current Microbiology**, v. 80, n. 10, p. 328, 25 ago. 2023.
- MISRA, S.; DIXIT, V. K.; MISHRA, S. K.; CHAUHAN, P. S. Demonstrating the potential of abiotic stress-tolerant *Jeotgalicoccus huakuii* NBRI 13E for plant growth promotion and salt stress amelioration. **Annals of Microbiology**, v. 69, n. 4, p. 419-434, 2019.
- MUBEEN, M.; BANO, A.; ALI, B.; ISLAM, Z. U.; AHMAD, A.; HUSSAIN, S.; FAHAD, S.; NASIM, W. Effect of plant growth promoting bacteria and drought on spring maize (*Zea mays* L.). **Pakistan Journal of Botany**, v. 53, n. 2, p. 731-739, 2021.
- MUKHERJEE, A.; VERMA, J. P.; GAURAV, A. K.; CHOUHAN, G. K.; PATEL, J. S.; HESHAM, A. E.-L. Yeast a potential bio-agent: future for plant growth and postharvest disease management for sustainable agriculture. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 104, n. 4, p. 1497-1510, 1 fev. 2020.
- NAUREEN, Z.; YASMIN, S.; HAMEED, S.; MALIK, K. A.; HAFEEZ, F. Y. Characterization and screening of bacteria from rhizosphere of maize grown in Indonesian and Pakistani soils. **Journal of Basic Microbiology**, v. 45, n. 6, p. 447-459, 2005.
- NISHANTH, S.; PRASANNA, R.; HOSSAIN, F.; MUTHUSAMY, V.; SHIVAY, Y. S.; NAIN, L. Interactions of microbial inoculants with soil and plant attributes for enhancing Fe and Zn biofortification in maize genotypes. **Rhizosphere**, v. 19, p. 100421, 1 set. 2021.
- OGAKI, M. B.; TEIXEIRA, D. R.; VIEIRA, R.; LÍRIO, J. M.; FELIZARDO, J. P. S.; ABUCHACRA, R. C.; CARDOSO, R. P.; ZANI, C. L.; ALVES, T. M. A.; JUNIOR, P. A. S.; MURTA, S. M. F.; BARBOSA, E. C.; OLIVEIRA, J. G.; CERAVOLO, I. P.; PEREIRA, P.

O.; ROSA, C. A.; ROSA, L. H. Diversity and bioprospecting of cultivable fungal assemblages in sediments of lakes in the Antarctic Peninsula. **Fungal Biology**, v. 124, n. 6, p. 601–611, 1 jun. 2020.

OLIVEIRA, A. DE; SAITO, M. A.; BALERONI, A. G.; MATSUZAKI, R. A.; BERTAGNA, F.; COLEVATE, A. T. K.; SCAPIM, C. A.; GUIMARÃES, L. S. DE A. Methods of inoculation of plant growth-promoting rhizobacteria in specialty maize genotypes under organic agriculture system. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 44, p. e54910, 13 jun. 2022.

OLORUNMAIYE, K. S.; OLATUNJI, I. O. Effect of priming agents on seed germination of three corn species. **Journal of Applied Sciences and Environmental Management**, v. 22, n. 8, p. 1311–1314, 12 set. 2018.

OMOMOWO, I. O.; SHITTU, O. E.; OMOMOWO, O. I.; MAJOLAGBE, O. N. Influence of phosphate solubilizing non-toxicogenic *Aspergillus flavus* strains on maize (*Zea mays* L.) growth parameters and mineral nutrients content. **AIMS Agriculture and Food**, v. 5, n. 3, p. 408–421, 2020.

PEDRINHO, A.; MENDES, L. W.; RÊGO BARROS, F. M. DO; BOSSOLANI, J. W.; KÜHN, T. N.; QUECINE, M. C.; ANDREOTE, F. D. The interplay between *Azospirillum brasilense* and the native bacterial communities in the soil and rhizosphere of maize (*Zea mays* L.). **Soil Biology and Biochemistry**, v. 189, p. 109292, 2024.

PERALTA, J. M.; BIANUCCI, E.; ROMERO-PUERTAS, M. C.; FURLAN, A.; CASTRO, S.; TRAVAGLIA, C. Targeting redox metabolism of the maize-*Azospirillum brasilense* interaction exposed to arsenic-affected groundwater. **Physiologia Plantarum**, v. 173, n. 3, p. 1189-1206, 2021.

PEREIRA, S. I. A.; ABREU, D.; MOREIRA, H.; VEGA, A.; CASTRO, P. M. L. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) improve the growth and nutrient use efficiency in maize (*Zea mays* L.) under water deficit conditions. **Heliyon**, v. 6, n. 10, p. e05106, 1 out. 2020.

PETERSEN, I.; PAUNGFOO-LONHIENNE, C.; MARCELLIN, E.; NIELSEN, L. K.; GONZALEZ, A. Towards Sustainable Bioinoculants: A fermentation strategy for high cell density cultivation of *Paraburkholderia* sp. SOS3, a plant growth-promoting bacterium isolated in Queensland, Australia. **Fermentation-Basel**, v. 7, n. 2, p. 58, jun. 2021.

POLDASARI, S.; VANAJA, M.; NARAYANA, J.; SARKAR, B.; KUMAR, D.; VAGHEERA, P.; MOHAN, C.; MANDAPAKA, M. Impact of water deficit stress on traits influencing the drought tolerance and yield of maize (*Zea mays* L.) genotypes. **Plant Physiology Reports**, v. 27, n. 2, 29 jan. 2022.

PRASANNA, R.; HOSSAIN, F.; SAXENA, G.; SINGH, B.; KANCHAN, A.; SIMRANJIT, K.; RAMAKRISHNAN, B.; RANJAN, K.; MUTHUSAMY, V.; SHIVAY, Y. S. Analyses of genetic variability and genotype x cyanobacteria interactions in biofortified maize (*Zea mays* L.) for their responses to plant growth and physiological attributes. **European Journal of Agronomy**, v. 130, p. 126343, 1 out. 2021.

RAMOS, J. G.; LIMA, V. L. A. DE; PEREIRA, M. DE O.; NASCIMENTO, M. T. C. C. DO; ARAUJO, N. C. DE; PEREIRA, M. C. DE A. Cultivo de milho híbrido com macronutrientes,

urina humana e manípueira aplicados via fundação e fertirrigação. **Irriga**, v. 25, n. 2, p. 420–431, 2 jun. 2020.

RAMOS-GARZA, J.; AGUIRRE-NOYOLA, J. L.; BUSTAMANTE-BRITO, R.; ZELAYA-MOLINA, L. X.; MALDONADO-HERNÁNDEZ, J.; MORALES-ESTRADA, A. I.; RESENDIZ-VENADO, Z.; PALACIOS-OLVERA, J.; ANGELES-GALLEGOS, T.; TERREROS-MOYSEN, P. Mycobiota of Mexican Maize Landraces with Auxin-Producing Yeasts That Improve Plant Growth and Root Development. **Plants**, v. 12, n. 6, p. 1328, 2023.

SANTANA, L. R.; SILVA, L. N. DA; TAVARES, G. G.; BATISTA, P. F.; CABRAL, J. S. R.; SOUCHIE, E. L. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with maize plants during hydric deficit. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 1519, 27 jan. 2023.

SANTOS, L. R. C.; BARROS, P. S. DO R.; MONTEIRO, D. A.; TABOSA, J. N.; MELO, A. F. DE; LYRA, M. DO C. C. P. DE; OLIVEIRA, J. R. DE S.; FERNANDES JÚNIOR, P. I.; FREITAS, A. D. S. DE; RACHID, C. T. C. DA C. Influences of plant organ, genotype, and cultivation site on the endophytic bacteriome of maize (*Zea mays* L.) in the semi-arid region of Pernambuco, Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 55, n. 1, p. 789-797, 2024.

SANTOYO, G.; URTIS-FLORES, C.; OROZCO-MOSQUEDA, M. DEL C. Rhizobacterial community and growth-promotion trait characteristics of *Zea mays* L. inoculated with *Pseudomonas fluorescens* UM270 in three different soils. **Folia Microbiologica**, v. 69, n. 6, p. 1291-1303, 2024.

SIDDIQUE, S.; NAVEED, M.; YASEEN, M.; SHAHBAZ, M. Exploring Potential of Seed Endophytic Bacteria for Enhancing Drought Stress Resilience in Maize (*Zea mays* L.). **Sustainability**, v. 14, n. 2, p. 673, jan. 2022.

SILVA, V. M. B. DA; ROCHA, J. L. A.; LIMA, A. S.; SOARES, A. K. DE F.; SÁ, F. V. DA S.; LIMA, G. S. DE; MESQUITA, E. F. DE; SANTOS, J. Z. L. Mining waste associated with bioinoculants and cattle manure for the mineral nutrition and growth of maize; [Resíduo de mineração associado com bioinoculantes e esterco bovino na nutrição mineral e crescimento do milho]. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 28, n. 2, 2024.

SINGH, M.; SHARMA, J. G.; GIRI, B. Microbial inoculants improve growth in *Zea mays* L. under drought stress by up-regulating antioxidant, mineral acquisition, and ultrastructure modulations. **Symbiosis**, v. 91, n. 1, p. 55–77, 1 dez. 2023.

SINGH, N. P.; PATEL, A. K.; BANJARE, U.; PANDEY, A. K. Rhizobium radiobacter: A unique maize endophyte with high level of stress tolerance and multiple plant growth promoting properties. **Plant Archives**, v. 20, n. 1, p. 2483-2488, 2020.

SULEMAN, D.; SANI, A.; SUAIB, S.; AMBARDINI, S.; YANTI, N. A.; BOER, D.; YUSUF, D. N.; FAAD, H. Isolation and Identification of Potential Bio-Inoculants Based on Phosphate Solubilizing Molds From Different Plant Rhizospheres. **KnE Life Sciences**, p. 99–109, 7 jun. 2022.

ROSA, L.; CHIARELLI, D. D.; RULLI, M. C.; DELL'ANGELO, J.; D'ODORICO, P. Global agricultural economic water scarcity. **Science Advances**, v. 6, n. 18, 29 abr. 2020.

TEAM, R. C. **R Core Team R: a language and environment for statistical computing. Foundation for Statistical Computing**, 2020.

TOKATLIDIS, I. S.; KOUTROUBAS, S. D. A review of maize hybrids' dependence on high plant populations and its implications for crop yield stability. **Field Crops Research**, v. 88, n. 2–3, p. 103–114, ago. 2004.

UESUGI, J. H. E.; FERNANDES, C. F.; SILVA, J. C. C. DA; BATISTA, F. M.; OLIVEIRA, F. S. DE; CARVALHO, B. F. DE; BEZERRA, N. V. Bioprospecção, caracterização morfológica e bioquímica e avaliação do potencial antimicrobiano de estirpes de bactérias isolados de solos com atividade agrícola no município de Igarapé-Açu, Pará. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, p. 59453–59460, 2021.

VESSEY, J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. **Plant and Soil**, v. 255, n. 2, p. 571–586, 1 ago. 2003.

VILLARREAL, A. L. I.; COTA, F. I. P.; YÉPEZ-GONZÁLEZ, E. A.; CORONADO, M. A. G.; TORRES, L. C. V.; VILLALOBOS, S. de los S. Impacto del cambio en el manejo del cultivo de trigo de convencional a orgánico sobre las comunidades fúngicas cultivables del suelo en el valle del Yaqui, México. **Agrociencia**, v. 54, n. 5, p. 643–659, 2020.

WANG, Y.; ZHANG, G.; HUANG, Y.; GUO, M.; SONG, J.; ZHANG, T.; LONG, Y.; WANG, B.; LIU, H. A Potential Biofertilizer—siderophilic bacteria isolated from the rhizosphere of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis*. **Frontiers in Microbiology**, v. 13, p. 870413, 9 maio 2022.

WONG-VILLARREAL, A.; YAÑEZ-OCAMPO, G.; HERNÁNDEZ-NUÑEZ, E.; CORZO-GONZÁLEZ, H.; GIÁCOMAN-VALLEJOS, G.; GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, A.; GÓMEZ-VELASCO, D.; RAMÍREZ GONZÁLEZ, S. I.; LÓPEZ-BAEZ, O.; ESPINOSA-ZARAGOZA, S. Bacteria from *Jatropha curcas* rhizosphere, degrades aromatic hydrocarbons and promotes growth in *Zea mays*. **Open Agriculture**, v. 4, n. 1, p. 641–649, 2019.

XIAOFAN X.; YANG L.; GAOFENG C.; ANDÉOLE N. T.; LIANG Y.; AILING Y.; QIN Z.; YUN W.; MEILAN Z.; YUBAO Z.; ZHONGPING L.; LAM-SON P. T.; RUOYU W. Granular bacterial inoculant alters the rhizosphere microbiome and soil aggregate fractionation to affect phosphorus fractions and maize growth. **Science of The Total Environment**, v. 912, p. 169371, 20 fev. 2024.

KEMING Y.; RUIXIN F.; HAICHAO F.; GAOFEI J.; OMRI F.; TIANYU S.; MINGCHUN L.; BAOWEN H.; SHAN L.; XIAOFANG W.; TIANJIE Y.; YIKUI W.; SHIMEI W.; YANGCHUN X.; QIRONG S.; VILLE-PETRI F.; ALEXANDRE J.; Zhong W. RIN enhances plant disease resistance via root exudate-mediated assembly of disease-suppressive rhizosphere microbiota. **Molecular Plant**, v. 16, n. 9, p. 1379–1395, set. 2023.

ZAHRA, S. T.; TARIQ, M.; ABDULLAH, M.; AZEEM, F.; ASHRAF, M. A. Dominance of *Bacillus* species in the wheat (*Triticum aestivum* L.) rhizosphere and their plant growth promoting potential under salt estresse conditions. **PeerJ**, v. 11, p. e14621, 9 jan. 2023.

ZAINAB, R.; SHAH, G. M.; KHAN, W.; MEHMOOD, A.; AZAD, R.; SHAHZAD, K.; SHAH, Z. H.; ALGHABARI, F.; SULTAN, T.; CHUNG, G. Efficiency of plant growth promoting bacteria for growth and yield enhancement of maize (*Zea mays*) isolated from rock phosphate reserve area Hazara Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. **Saudi Journal Of Biological Sciences**, v. 28, n. 4, p. 2316-2322, abr. 2021.

ZEILINGER, S.; GRUBER, S.; BANSAL, R.; MUKHERJEE, P. K. Secondary metabolism in Trichoderma – Chemistry meets genomics. **Fungal Biology Reviews**, v. 30, n. 2, p. 74–90, 1 jun. 2016.

4. ARTIGO 1

INTERAÇÃO ENTRE BIOINSUMOS E HÍBRIDOS DE MILHO NO DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO

RESUMO

A agricultura intensiva tem gerado impactos significativos no meio ambiente, incluindo salinização do solo, desertificação e perda da diversidade microbiana, desafiando a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola. Nesse contexto, os bioinsumos aplicados através do condicionamento fisiológico emergem como alternativas promissoras para melhorar a produtividade de forma sustentável. Este estudo avaliou a eficácia de diferentes métodos de condicionamento fisiológico com e sem microrganismos na promoção do crescimento inicial de três genótipos de milho (AS1850PRO4, P3707VY e NS45 VIP3). Para o biocondicionamento foram utilizados os bioinsumos *Bacillus amyloliquefaciens*, *B. subtilis* e *B. pumilus* nos tempos de 0, 2, 4 e 6 horas. As variáveis analisadas incluíram germinação, área da plântula, número de ramificações da raiz, razão raiz-hipocótilo, tamanho do hipocótilo, tamanho da raiz primária, tamanho total da plântula, Capacidade Geral de Combinação (CGC) e Capacidade Específica de Combinação (CEC). No genótipo AS1850PRO4, nenhum dos tratamentos superou o hidrocondicionamento no que se refere ao tamanho do hipocótilo, indicando que os bioinsumos não ofereceram vantagens para este parâmetro. Entretanto, o tratamento com *B. pumilus* mostrou-se superior no desenvolvimento da raiz primária em todos os tempos, sugerindo um potencial específico para a melhoria do sistema radicular. Os resultados da CGC indicaram que o genótipo NS45 VIP3 apresentou a maior CGC para o desenvolvimento da raiz primária, sugerindo que este genótipo tem um forte impacto genético positivo sobre essa característica. A CEC variou significativamente entre as combinações específicas de híbridos e tratamentos, especialmente aqueles envolvendo o genótipo NS45 VIP3 com o bioinsumo *B. pumilus*.

Palavras-chave: Bibliometrix, *Zea mays*, Rizosfera, *Bacillus*, Genótipo.

ABSTRACT

Intensive agriculture has generated significant impacts on the environment, including soil salinization, desertification and loss of microbial diversity, challenging the sustainability of agricultural production systems. In this context, bioinputs for physiological conditioning appear as promising alternatives to improve productivity sustainably. This study evaluated the effectiveness of different physiological conditioning methods with and without microorganisms to promote early growth of three maize genotypes (AS1850PRO4, P3707VY and NS45 VIP3). The bioinputs *Bacillus amyloliquefaciens*, *B. subtilis* and *B. pumilus* were used for bioconditioning during inoculation periods of 0, 2, 4 and 6 hours. The variables germination, seedling area, number of root branches, root-to-hypocotyl ratio, hypocotyl size, primary root size, total seedling size, and general (GCA) and specific combining ability (SCA) were analyzed. For genotype AS1850PRO4, none of the treatments outperformed hydropriming in terms of hypocotyl size, indicating that the bioinputs were not advantageous for this parameter. However, in the treatment with *B. pumilus*, primary root development was better in response to all inoculation periods, suggesting a specific potential to improve the root system. The GCA was highest for genotype NS45 VIP3 for primary root development, suggesting a strong positive genetic impact of this genotype on this trait. For SCA, results

varied significantly among specific combinations of hybrids and treatments, especially those involving genotype NS45 VIP3 and bioinput *B. pumilus*.

Keywords: Bibliometrix, *Zea mays*, Rhizosphere, *Bacillus*, Genotype.

4.1. Introdução

A agricultura intensiva, predominante em muitas regiões do mundo, tem imposto uma crescente pressão sobre os recursos naturais, frequentemente resultando em consequências ambientais adversas, como salinização do solo, desertificação, eutrofização de corpos hídricos e perda da biodiversidade microbiana do solo. Esses impactos desafiam a sustentabilidade de tais sistemas de produção agrícola, tornando imperativa a busca por inovações que não apenas elevem a produtividade, mas também preservem os recursos naturais (Barrios, 2019). Nesse contexto, os bioinsumos emergem como uma solução promissora, oferecendo uma alternativa sustentável que alia produtividade e respeito ao meio ambiente.

Os bioinsumos, caracterizados por sua origem biológica, permitem uma agricultura mais sustentável através da redução de custos de aplicação, diminuição da frequência de pragas, aumento da eficiência na fixação de nitrogênio e promoção do crescimento das plantas (Bueno *et al.*, 2022). Esses insumos à base de microrganismos, como os contendo *Bacillus subtilis*, *B. methylotrophicus*, *Azospirillum brasilense*, *Trichoderma harzianum*, ou a combinação desses microrganismos em um único tratamento, têm apresentado benefícios na cultura, gerando ganhos no tamanho de plantas, comprimento das raízes, tamanho de espigas e produtividade de grãos quando aplicados (Barros *et al.*, 2023; Guerra *et al.*, 2024; Machado *et al.*, 2020; Oliveira; Costa; Zucareli, 2024).

Outros microrganismos também têm sido avaliados pelo potencial de uso na cultura do milho, como é o caso do *B. aryabhatai*, *B. pumilus* e *B. amyloliquefaciens*, que proporcionaram melhoria na absorção de fósforo, na tolerância ao estresse, no crescimento vegetativo e na produtividade da cultura (Milléo *et al.*, 2023; Shahzad *et al.*, 2021; Steiner *et al.*, 2024). Sendo assim, o uso desses bioinsumos tem sido cada vez mais indicado e, entre as formas de aplicação mais comuns, está o condicionamento fisiológico.

Existem diversos métodos de condicionamento fisiológico, incluindo o condicionamento fisiológico que envolve a submersão das sementes em soluções com baixo potencial osmótico sob aeração; o hidrocondicionamento, que utiliza água pura para a hidratação; e o biocondicionamento, que combina a hidratação com a inoculação de microrganismos benéficos. Cada um desses métodos tem potencial específico para melhorar a resistência e o vigor das sementes, representando uma aplicação prática e eficiente de bioinsumos na agricultura moderna (Farooq *et al.*, 2019).

Essa maior eficiência tem sido buscada não só para atender as áreas existentes, mas também para as zonas de expansão da agricultura, que atualmente têm tido um crescente interesse. Algumas dessas áreas, antes não exploradas devido a condições ambientais desfavoráveis, têm ganhado importância com o desenvolvimento de cultivares mais resistentes e produtivas, assim como a utilização de outras técnicas que melhorem o desenvolvimento das culturas, como é o caso dos bioinsumos. Um exemplo dessas áreas é a região do SEALBA, composta por municípios pertencentes aos estados de Sergipe, Alagoas e Bahia (Procopio *et al.*, 2019).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as respostas no desenvolvimento inicial de genótipos de milho submetidos ao biocondicionamento com diferentes bioinsumos em diferentes tempos.

4.2. Material e Métodos

4.2.1 Perfil dos lotes de sementes

Os genótipos utilizados foram compostos pelas cultivares que são híbridos simples das empresas PIONEER (P3707VYH), BAYER (AS1850 PRO4) e NIDERA (NS45 VIP3), sendo recomendados para plantio no estado de Sergipe. As sementes das cultivares utilizadas foram adquiridas no comércio local.

Todos os genótipos utilizados atendem os parâmetros mínimos da normativa 45/2013 do MAPA sobre os padrões de produção e comercialização de sementes de milho (Brasil, 2013), onde a germinação dos materiais utilizados é superior a 85%.

4.2.2 Condicionamento das Sementes

As sementes foram condicionadas em quatro diferentes condições: *Bacillus amyloliquefaciens* (Ba), *B. subtilis* (Bs), *B. pumilus* (Bp) e uma com somente água destilada (Hidro).

As sementes condicionadas com bioinsumos tiveram a solução formada por 1 parte de solução de bioinsumo para 4 partes de água destilada. As soluções líquidas dos bioinsumos utilizadas possuíam concentração mínima de 5×10^8 unidades formadoras de colônia por mililitro (UFC/ml). Os bioinsumos utilizados foram disponibilizados pela empresa Biofarm®. Os tratamentos variaram em duração: 0 (imersão de 10 segundos), 2, 4 e 6h. Tendo um tratamento adicional sem nenhum tratamento (controle).

As sementes foram colocadas em sachês de filó de poliéster 100% e submersas em aquários equipados com um sistema de aeração, utilizando um minicompressor Boyu S-510 4 L para garantir a oxigenação adequada durante o processo de biocondicionamento (Figura 1.1).

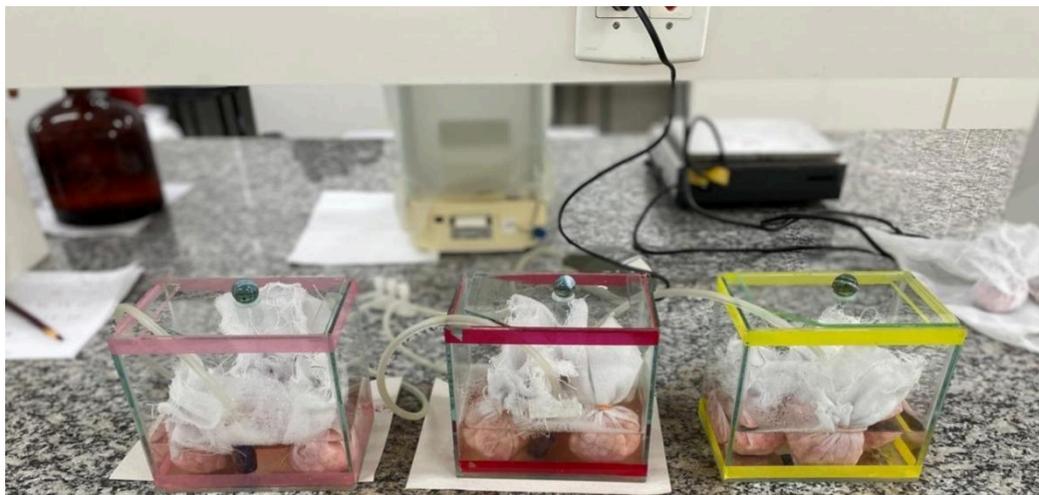


FIGURA 1.1. Sementes de milho submetidas a tratamentos de Hidro e biopriming.

4.2.3 Germinação e avaliação das plântulas

As sementes tratadas foram submetidas à germinação em papel germitest, umedecido com água destilada em quantidade correspondente a 2,5 vezes o peso do papel. As condições de germinação foram mantidas em um germinador tipo BOD a 25 °C, com um fotoperíodo de 12 horas. As avaliações foram realizadas aos 4 e 7 dias após o início da germinação. As variáveis analisadas foram: número de ramificações das raízes, sementes germinadas, sementes duras, deterioradas e plântulas anormais. Foram consideradas germinadas as plântulas que apresentavam todas as estruturas necessárias bem desenvolvidas.

4.2.4 Análise de crescimento das plântulas

O crescimento das plântulas foi quantificado medindo-se a área das plântulas (cm²), número de ramificações, razão raiz-hipocótilo, tamanho do hipocótilo, da raiz primária, da

raiz secundária e o tamanho total da plântula. Essas medições foram realizadas utilizando o equipamento de análise de imagem Groundeye®.

4.2.5 Delineamento Experimental

O experimento foi organizado em três etapas, cada uma dedicada a um genótipo de milho diferente: AS1850PRO4 (G1), P3707VY (G2) e NS45 VIP3 (G3). Cada genótipo foi submetido a tratamentos com 4 tipos de condicionamento de sementes, 4 períodos de condicionamento e uma testemunha, gerando 17 (4 x 4 + 1) tratamentos por genótipo.

4.2.6 Análise Estatística

Os dados foram organizados em um delineamento inteiramente casualizado (DIC) e testados quanto à normalidade usando o teste de Shapiro-Wilk. A análise de variância (ANOVA) foi realizada utilizando o teste F, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

A estimativa da Capacidade Geral de Combinação (CGC) e da Capacidade Específica de Combinação (CEC) foi conduzida através de uma abordagem de análise dialética. Este método envolveu avaliar o desempenho de híbridos (AS1850PRO4 (H3), P3707VY (H1) e NS45 VIP3 (H2)) sob vários tratamentos com bioinsumos (*B. amyloliquefaciens*, *B. subtilis* e *B. pumilus*) em diferentes intervalos de tempo (0, 2, 4 e 6 horas).

4.3. Resultados e Discussão

Na análise de variância (ANAVA) foram avaliados os efeitos dos fatores Genótipo (GEN), Tratamento pré-germinativo com e sem bioinsumo (BIO) e Tempo (TEM). Os resultados foram significativos para várias variáveis. GEN, BIO e TEM impactaram significativamente a germinação. Ao se considerar a variável Área, GEN e TEM foram significativos. O genótipo e o uso de tratamento pré-germinativo influenciaram o número de ramificações de plântulas. A razão raiz/hipocótilo não foi afetada por nenhum fator. Os efeitos dos tratamentos na germinação podem ser observados no Anexo 1.

O tamanho do hipocótilo é dependente do genótipo e do tempo de tratamento, assim como o tamanho da raiz primária. No entanto, o tamanho total da plântula foi diretamente afetado pelo genótipo. A determinação do controle genético da arquitetura do sistema radicular em plantas é controlada por 62 genes em milho, identificados via GWAS (Zheng *et al.*, 2020). Apesar do controle dessa característica ser conhecido, a forma como esses genes serão ativados e quais apresentam maior ou menor expressão em um determinado genótipo pode variar, o que reforça os achados e indica a necessidade de se estudar a interação do genótipo, tempo e tipo de microrganismos em plantas de milho.

Com os testes post-hoc de Tukey, foi possível identificar diferenças significativas entre combinações de genótipos e tratamentos para a germinação, demonstrando que os diferentes genótipos, bioinsumos e tempos de tratamento influenciam na taxa de germinação.

Na Figura 1.2 são exibidos box plots para a variável germinação por genótipo, tratamento e tempo, destacando a variabilidade e as tendências observadas nos dados.

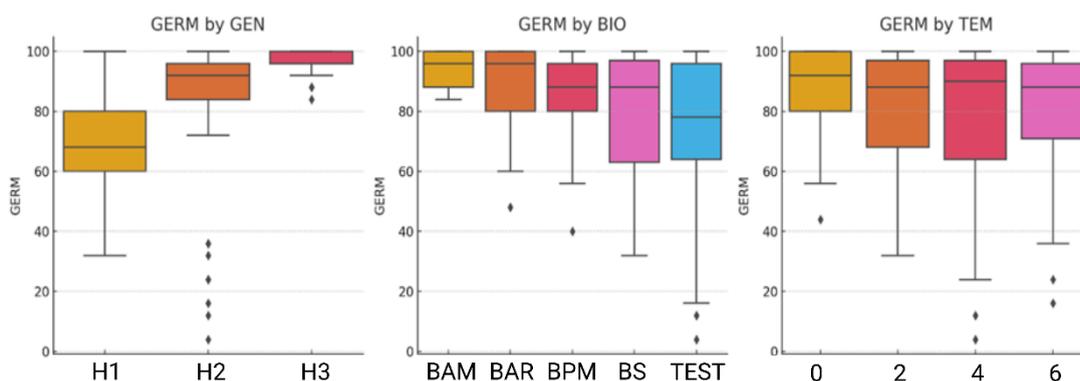


FIGURA 1.2. Box plots para germinação (GERM) por genótipo (GEN), para germinação por bioinsumos (BIO), e germinação (GERM) por tempo de tratamento (TEM) em sementes de milho. P3707VY (H1), NS45 VIP3 (H2) e AS1850PRO4 (H3).

Observaram-se diferenças estatísticas ao se comparar os genótipos (H1 vs H2, H1 vs H3, H2 vs H3) na germinação.

Para H1 se obteve uma média de germinação de cerca de 65%, H2 de 85%, e H3, o mais alto, com cerca de 95%, com diferenças estatisticamente significativas entre eles. Especificamente, H2 e H3 mostram taxas de germinação significativamente superiores à H1. Além disso, as raízes aumentaram a tolerância à seca, o desempenho fisiológico e o rendimento do híbrido de milho H1 sob condições de estresse hídrico. Esses fatores combinados sugerem que o híbrido H1 possui características fisiológicas e moleculares que o tornam particularmente responsivo à inoculação, resultando em uma melhor tolerância ao estresse hídrico e maior rendimento sob condições adversas (Armanhi *et al.*, 2021).

O híbrido H2 é um híbrido simples superprecoce, tem ótima qualidade de colmo e raiz, planta com sistema radicular agressivo, portanto, tem tolerância à seca e possui alto potencial produtivo; e ainda contém a tecnologia Viptera 3 (Pereira *et al.*, 2020). No entanto, a associação com bioinsumos não apresentou tal superioridade para características de plântulas.

Para a testemunha (sem bioinsumos) observou-se maior média de germinação (95%), com um intervalo de confiança amplo, sugerindo variabilidade dentro deste grupo. O tratamento com *B. pumilus* (90%) para a germinação não diferiu da testemunha.

Para *B. amiloliquefaciens* se obteve uma média de germinação em torno de 85% com desempenho semelhante à de *B. pumilus*.

No tratamento com *B. subtilis* se registrou uma média de germinação de 80% que diferiu da testemunha e *B. amiloliquefaciens*, com desempenho inferior. No tratamento de Hidro sem bioinsumos se obteve germinação de 75% (significativo em relação à testemunha), com desempenho inferior (Figura 1.3).

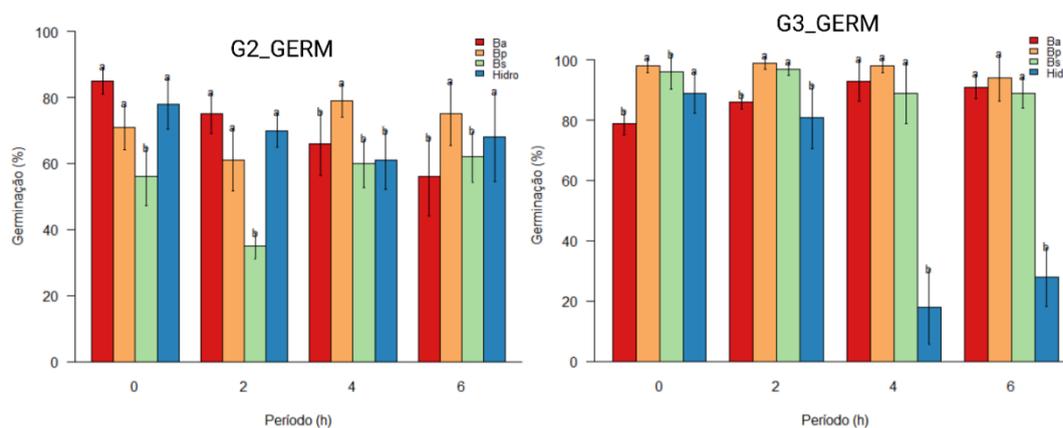


FIGURA 1.3. Germinação de sementes de milho tratadas com diferentes bioinsumos (*Bacillus amyloliquefaciens* (Ba), *B. subtilis* (Bs), *B. pumilus* (Bp) e água (Hidro)) em diferentes tempos de tratamento (h).

Para otimizar a germinação, o uso de certos bioinsumos, como *B. pumilus*, pode ser eficaz, enquanto outros tratamentos, como o Hidro sem bioinsumos, podem ser menos benéficos. O uso de *B. pumilus* para solubilizar fósforo ($15.601 \mu\text{g}/\text{cm}^3$) e em associação com outros microrganismos em sementes tem sido relatado em milho, com incrementos no rendimento de grãos (6,278 t/ha) em comparação com o controle (5,468 t/ha) (Kálmán *et al.*, 2024).

Na análise dos tempos de tratamento de exposição ao Hidro com e sem bioinsumos, a germinação foi de 82% para 2 horas e 80% para 4 horas, sem diferenças significativas entre esses períodos. O uso da exposição por 6 horas de tratamento, com germinação de 78%, foi similar ao tempo de 2 horas, mas inferior ao tempo inicial de 0 hora. Portanto, para maximizar a germinação, o tempo de 0 hora é o mais eficaz, seguido por 2 e 4 horas, enquanto 6 horas mostrou ser o menos efetivo.

O condicionamento de sementes aumenta uniformemente a taxa de germinação em espécies cultivadas e selvagens, além de encurtar o tempo de germinação e emergência. Para algumas espécies, o Hidro teve desempenho semelhante ao do controle (Sari *et al.*, 2021). No entanto, a resposta pode ser diferenciada para cada genótipo.

A análise detalhada das interações entre genótipos (GEN), bioinsumos (BIO) e tempos de tratamento (TEM) revelou padrões complexos que influenciam significativamente as taxas de germinação das plântulas. A cultivar H1 mostrou variabilidade nas taxas de germinação com diferentes bioinsumos, com uma diminuição notável no tratamento de Hidro (sem o uso de microrganismos).

O genótipo H2 manteve taxas de germinação consistentemente altas com diferentes bioinsumos, indicando robustez à influência variável dos bioinsumos. O H3 apresentou taxas de germinação mais altas com *B. subtilis* e Hidro, sugerindo que certos bioinsumos otimizam a germinação deste genótipo.

Para a interpretação das interações entre genótipo (GEN) e tempo de tratamento (TEM), a cultivar H1 mostrou sensibilidade ao tempo de tratamento, com queda nas taxas de germinação em tempos mais longos, destacando a necessidade de otimizar a duração da exposição para maximizar a germinação. Os genótipos H2 e H3 mostraram aumento na taxa de germinação com tempos de tratamento mais prolongados, sugerindo que se beneficiam de exposições mais longas.

Na interpretação das interações entre bioinsumos (BIO) e tempo de tratamento (TEM), a testemunha apresentou melhores taxas de germinação em tempos mais curtos, enquanto o Hidro é mais eficaz nos tempos iniciais, mas apresenta queda significativa em 4 horas de tratamento. *B. amyloliquefaciens* e *B. pumilus* apresentaram desempenho mais estável ao longo dos diferentes tempos de tratamento, com variações menos pronunciadas em relação à testemunha e Hidro.

A interação do genótipo com o microrganismo é de fundamental importância, e pesquisas que elucidem essas relações podem explicar os dados produtivos, bem como a seleção de bioinsumos adequados. Além disso, essas pesquisas podem contribuir para a biofortificação, uma função ainda pouco estudada que abre oportunidades para a continuidade deste estudo. Em um estudo realizado visando melhorar a mobilização de ferro e zinco do solo para os grãos de milho usando formulações à base de cianobactérias, a combinação do biofilme An-Tr com um híbrido mostrou ser um sistema modelo para análises aprofundadas dos efeitos benéficos da biofortificação mediada por microrganismos no milho, levando a uma melhoria na qualidade dos grãos e uma economia de 25% de nitrogênio (Nishanth *et al.*, 2021).

Para a cultivar H1, não é recomendado usar Hidro e tempos de tratamento prolongados para maximizar a germinação. Para a cultivar H2, pode-se ter mais flexibilidade em relação a bioinsumos e tempos de tratamento, devido à sua robustez nessas condições. A cultivar H3 se beneficiou significativamente em associação com *B. subtilis* e Hidro, especialmente em tempos de tratamento mais longos.

Pela análise dos dados, destaca-se a influência significativa de fatores como genótipo e tempo de tratamento em várias variáveis biométricas. Para a área de plântulas, genótipo e tempo de tratamento foram significativos. O número de ramificações das raízes foi influenciado significativamente pelo genótipo e pelos tratamentos com bioinsumos.

Para a variável Área em função dos genótipos, as médias para cada genótipo e os intervalos de confiança para as diferenças médias fornecem uma visualização clara das variações entre os genótipos. Para otimizar a área das plântulas, a cultivar H1 é a mais indicada, enquanto a H3 apresenta um desempenho inferior para esta variável.

As áreas das plântulas em diferentes tempos de tratamento apresentaram-se com uma média de 8.0 no tempo inicial de 0h. As áreas para os tratamentos de 2h e 4h foram ligeiramente superiores, ambos em torno de 8.5, sem diferenças estatísticas significativas. Notavelmente, para o tempo de 6h, houve uma média maior, 8.75, com diferenças significativas em relação ao tempo 0. A partir destes resultados, apesar do tempo 0 apresentar o menor desempenho, o tratamento prolongado de 6h resulta em um aumento na área das plântulas, com os tratamentos de 2 e 4h proporcionando benefícios intermediários sem diferenças significativas entre eles.

Quanto ao Tamanho do Hipocótilo (TH) em função dos genótipos (GEN), as médias para cada genótipo e os intervalos de confiança para as diferenças médias proporcionam uma visão clara das variações entre os genótipos (Figura 1.4).

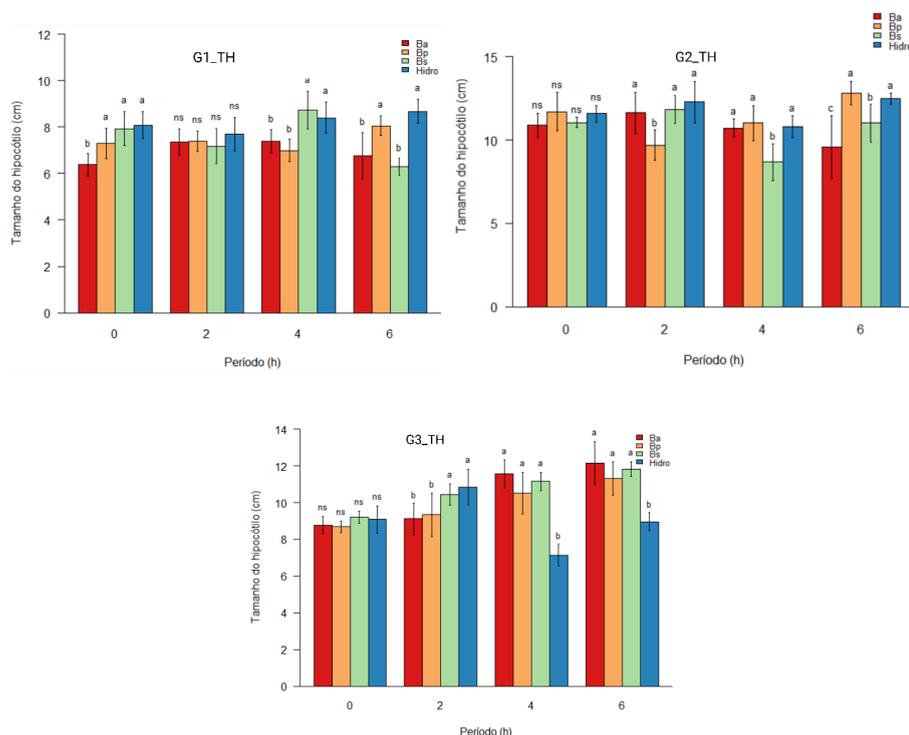


FIGURA 1.4. Tamanho do hipocótilo (TH) de plântulas de milho tratadas com diferentes bioinsumos (*Bacillus amyloliquefaciens* (Ba), *B. subtilis* (Bs), *B. pumilus* (Bp) e água (Hidro)) em diferentes tempos de tratamento (h).

O estudo do tamanho do hipocótilo em diferentes genótipos revelou que H1 apresentou a maior média (10.5), com variabilidade. H2 teve uma média um pouco menor

(9.5), quando comparada à H1, portanto, não significativa. H3 mostrou uma média de 7.5, com diferença significativa em relação aos outros dois genótipos. Consequentemente, a cultivar H1 tem um desempenho superior em termos de tamanho do hipocótilo comparado à cultivar H3, que, apesar de ter um desempenho melhor que H2, ainda é inferior.

No H3 todos os tratamentos com bioinsumos foram superiores ao Hidro nos tempos 4 e 6h, onde somente o tratamento com *B. subtilis* foi igual ou superior ao Hidro em todos os tempos avaliados. Os tratamentos com bioinsumos geram o maior ganho com 6h quando comparado ao tempo 0h, tendo em média um ganho de 32,47% no tamanho da parte aérea, sendo o tratamento com Ba o que teve o maior ganho com 38,74%.

O tamanho do hipocótilo foi afetado pelo genótipo e pelo tempo, enquanto o tamanho da raiz primária foi influenciado por ambos esses fatores. Portanto, existem diferenças significativas entre os genótipos e tratamentos para todas as variáveis estudadas, ilustrando a complexidade das interações que afetam o crescimento das plantas. A seleção de genótipos é crucial, com a cultivar H1 sendo preferencial para maximizar a área de plântulas, mesmo com germinação inferior às demais.

A interação para o tamanho do hipocótilo (TH) mostrou como os genótipos (GEN), bioinsumos (BIO) e tempos de tratamento (TEM) interagem de maneiras complexas, influenciando significativamente o desenvolvimento das plântulas. O genótipo H1 apresentou alta resposta para o tratamento controle, atingindo crescimento máximo (~11.5), enquanto o uso de outros bioinsumos resultou em uma diminuição gradual no crescimento, com Hidro registrando os menores valores (~8-9). O genótipo H2 apresentou taxas de crescimento consistentemente mais baixas em todos os bioinsumos, sugerindo menor sensibilidade às variações bioquímicas.

O genótipo H3 mostrou uma tendência de diminuição no crescimento do hipocótilo, especialmente com Hidro, indicando uma possível interação adversa quando não se associa o uso de microrganismos.

Nas interações entre genótipo e tempo de tratamento, o H1 teve maior registro de crescimento do hipocótilo em 6 horas de embebição (~12), destacando uma resposta positiva a tratamentos prolongados, enquanto H2 e H3 mantiveram um crescimento uniforme. Ainda para o genótipo H1, observou-se a menor taxa para a embebição por 6 horas.

Nas interações entre tratamentos com bioinsumos e o tempo de tratamento, a testemunha apresentou pouca variação no crescimento do hipocótilo entre diferentes tempos de tratamento. *B. pumilus* e *B. amyloliquefaciens* exibiram variações significativas, com picos em tempos específicos, sugerindo reações dinâmicas às alterações temporais. Para o tratamento com Hidro, houve um aumento notável no crescimento do hipocótilo com embebição por 6 horas, indicando eficácia tardia ou efeito cumulativo ao longo do tempo. Tal resultado pode ser discutido com base nos achados de Wang *et al.* (2020), que demonstraram que a ponta da raiz é a parte mais sensível a um tratamento hidroestimulante, com alguns processos-chave ocorrendo durante os estágios iniciais da resposta hidrotropica.

A importância relativa do tamanho do hipocótilo *versus* o tamanho da raiz em plântulas de milho pode depender do contexto específico da pesquisa ou das condições de cultivo. No entanto, de maneira geral, o tamanho da raiz promove absorção de nutrientes e água, ou seja, raízes maiores e mais desenvolvidas são fundamentais para a absorção eficiente de água e nutrientes do solo, o que é crucial para o crescimento e desenvolvimento saudável da planta (Sáenz Rodríguez; Cassab, 2021).

O tamanho do hipocótilo está diretamente relacionado à emergência da plântula. Um hipocótilo mais longo pode facilitar a emergência da plântula do solo, especialmente em solos compactados ou com cobertura vegetal densa. Em algumas condições, um hipocótilo mais longo pode ajudar a plântula a alcançar a luz solar mais rapidamente, o que é essencial para a fotossíntese e o crescimento inicial.

O tamanho da raiz principal do H3 apresentou diferença significativa principalmente nos tempos 4 e 6h, onde todos os bioinsumos foram superiores ao tratamento Hidro. O tempo

0h foi o único que não apresentou diferença entre os tratamentos. Os tratamentos com bioinsumos geram o maior ganho com o tratamento de 4h quando comparado ao de 0h, tendo em média um ganho de 36,37% no tamanho da raiz, sendo o tratamento com Ba o que teve o maior ganho com 41,02%.

Um sistema radicular robusto, por sua vez, fornece uma ancoragem sólida para a planta, ajudando a prevenir o tombamento e estabilizando a planta contra ventos fortes e outras forças mecânicas. Raízes mais extensas permitem que a planta explore um volume maior de solo, aumentando a capacidade de encontrar recursos essenciais, especialmente em condições de seca ou solos pobres em nutrientes.

Os fenótipos radiculares regulam a aquisição de recursos do solo; no entanto, seu controle genético e plasticidade fenotípica são pouco compreendidos, e as respostas dos fenótipos da arquitetura radicular variam para diferentes ambientes (plasticidade ambiental), apresentando controle genético e locos distintos (Schneider *et al.*, 2020).

Dito isso, muitos estudos e práticas agrícolas tendem a enfatizar a importância do tamanho e desenvolvimento do sistema radicular, pois raízes saudáveis e extensas são críticas para a sobrevivência e produtividade a longo prazo da planta. No entanto, um equilíbrio entre o desenvolvimento do hipocótilo e das raízes é ideal para garantir que a plântula possa emergir com sucesso e, ao mesmo tempo, estabelecer um sistema radicular forte.

A análise fornece uma base sólida para futuras investigações na área de biotecnologia agrícola e manejo de culturas. Entender melhor as interações entre genótipos, bioinsumos e tempos de tratamento pode levar ao desenvolvimento de novas estratégias e produtos que otimizem a germinação e o crescimento das plântulas.

Quanto ao Número de Ramificações de Raízes (NR) em função dos genótipos, as médias para cada genótipo apresentaram diferenças significativas. O híbrido H1 se destacou com uma média elevada de cerca de 80 ramificações. A cultivar H2 apresentou uma média inferior, de 55 ramificações, sugerindo uma diferença estatisticamente significativa em relação à H1. A cultivar H3 apresentou uma média intermediária de 70 ramificações, mas com diferenças significativas tanto em relação à H1 quanto à H2.

Dentre os genótipos, H1 mostrou-se superior tanto em relação à H2 quanto à H3, posicionando-se como o mais responsivo aos tratamentos para se ter maior número de ramificações em raízes. Enquanto isso, H3 teve um desempenho melhor que H2, reforçando sua posição intermediária. Assim, H1 é a melhor escolha para otimizar o número de ramificações de raízes, enquanto H2 é a menos eficiente. O número de ramificação de raízes é uma característica relevante quando se busca remediação de solos.

As raízes laterais são cruciais para a plasticidade das respostas das raízes às condições ambientais no solo. A microfauna bacterívora tem mostrado aumentar a ramificação das raízes e promover bactérias do solo produtoras de auxina. Provavelmente, o aumento das concentrações de nitrato na rizosfera leva ao acúmulo de citocinina e interações com auxina livre nas plantas, resultando finalmente em maior crescimento radicular. No geral, pode-se inferir que existem mecanismos de controle mútuo entre o metabolismo hormonal das plantas e a sinalização microbiana (Krome *et al.*, 2010).

B. pumilus segue com média de 70 ramificações; que não diferiu da testemunha. *B. amiloliquefaciens*, com média de 65, e *B. subtilis*, também com 70. Para o Hidro, ou seja, a embebição sem microrganismos obteve-se 60 ramificações, com diferenças significativas em relação aos outros tratamentos. Portanto, a testemunha e *B. pumilus* são preferíveis para otimizar o número de ramificações, enquanto Hidro mostra um desempenho inferior. Produtores podem optar por *B. pumilus* para maximizar a eficácia das ramificações em plântulas, considerando que os microrganismos podem contribuir também para ganhos como a disponibilidade de micronutrientes.

Nas interações entre genótipo e tempo de tratamento, H1 alcançou alta taxa de ramificação no início do tratamento (0h), diminuindo nas horas subsequentes. H2 manteve-se

com taxas baixas em todos os tempos; e H3 apresentou aumento notável no tempo final do tratamento.

Para as interações entre bioinsumos e tempo de tratamento, a testemunha manteve-se com taxa constante ao longo do tempo, com leve diminuição no final. Para o tratamento com *B. pumilus* e *B. amyloliquefaciens* observou-se queda nas taxas com o aumento do tempo de tratamento, enquanto para os tratamentos com *B. subtilis* e Hidro houve observação de taxas mais altas em tempos específicos.

A produção de milho é limitada pela infertilidade do solo e pela baixa qualidade das sementes. Tecnologias microbianas, como o tratamento de sementes com bactérias *Bacillus*, melhoram a produtividade do milho em solos inférteis. No entanto, devido às variações nos ambientes de crescimento do milho e nas espécies de *Bacillus*, testes são necessários para identificação das melhores combinações. *B. subtilis*, *B. pumilus* e *B. amyloliquefaciens* são as espécies dominantes usadas para o tratamento de sementes (Ocwa; Ssemugenze; Harsányi, 2024).

Na Figura 1.5 estão apresentados os efeitos dos tratamentos com bioinsumos no tamanho total da plântula.

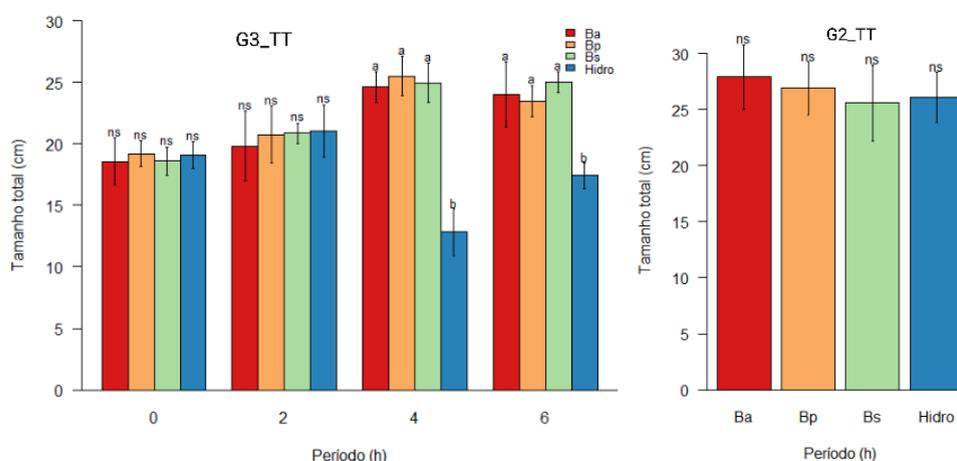


FIGURA 1.5. Tamanho total (TT) de plântulas tratadas de milho tratadas com diferentes bioinsumos (*Bacillus amyloliquefaciens* (Ba), *B. subtilis* (Bs), *B. pumilus* (Bp) e água (Hidro)) em diferentes tempos de tratamento (h).

O tamanho das plântulas não foi influenciado pelos tratamentos nos tempos 0 e 2 no H3, porém teve diferença nos tempos 4 e 6h no H3, onde os tratamentos com bioinsumos foram superiores ao tratamento Hidro, sendo aproximadamente o dobro do tamanho no tempo 4h. Os tratamentos com bioinsumos foram capazes de gerar ganhos no tamanho das plântulas, sendo o maior ganho obtido no tempo de 4h quando comparado ao de 0h, tendo em média um aumento de 32% no tamanho total das plântulas. O tratamento com o maior ganho foi o obtido pelo tratamento Bs 4h quando comparado à testemunha, com um ganho de 34,12%.

Esses resultados indicam que longos períodos de tempo de acondicionamento com água podem ser prejudiciais tanto para germinação quanto para o desenvolvimento das plântulas, sendo os bioinsumos capazes de manter o vigor das plântulas ao melhorar seu desenvolvimento em até 41%.

Na Figura 1.6 estão apresentados os efeitos dos tratamentos com bioinsumos no desenvolvimento das plântulas de milho, por meio da análise de correlações. Para a análise de correlações observou-se que a germinação (GERM) apresenta correlações fracas com todas as variáveis, indicando pouca relação direta com o crescimento ou características físicas das plântulas. Para a área de plântulas (Area) houve correlações altas com o tamanho do hipocótilo (TH), o tamanho da raiz primária (TRP) e o tamanho total (TT). O número de ramificações das raízes (NR) apresenta correlações moderadas a altas com Area, TH, TRP e

TT, indicando que mais ramificações tendem a acompanhar um maior crescimento geral (Figura 1.6).

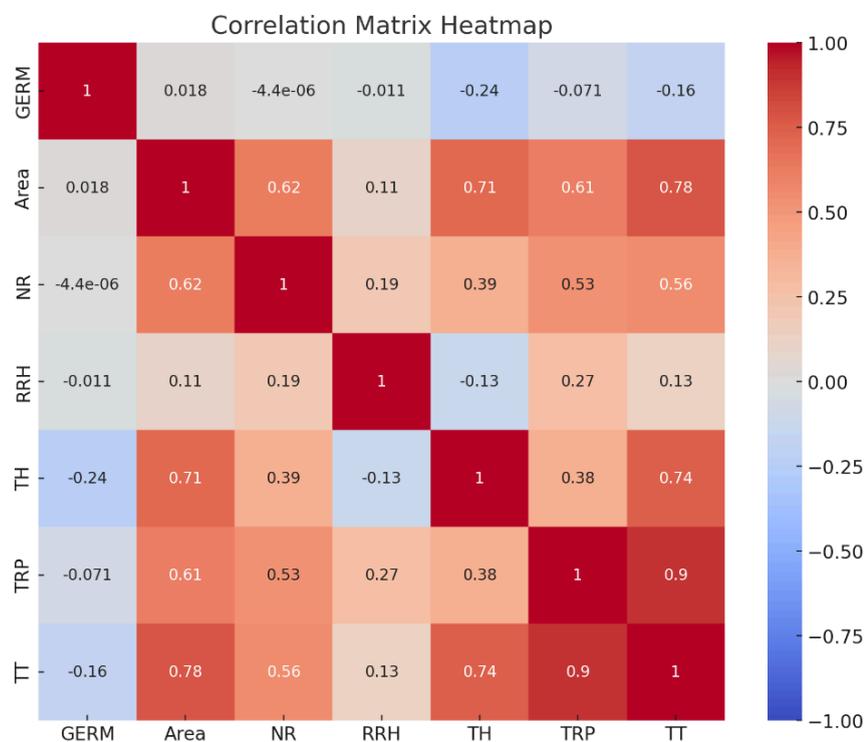


FIGURA 1.6. Mapa de calor da matriz de correlação das variáveis Germinação (GERM), Área (Area), Número de Ramificações das Raízes (NR), Razão Raiz-Hipocótilo (RRH), Tamanho do Hipocótilo (TH), Tamanho da Raiz Primária (TRP) e Tamanho Total (TT), visualizando a força e direção das relações de plântulas tratadas de milho tratadas com diferentes bioinsumos (*Bacillus amyloliquefaciens* (Ba), *B. subtilis* (Bs), *B. pumilus* (Bp) e água (Hidro)) em diferentes tempos de tratamento (h).

Para a razão raiz-hipocótilo (RRH), houve correlações fracas com outras variáveis, refletindo um menor impacto nos aspectos gerais de crescimento das plântulas. Tanto o tamanho do hipocótilo (TH) quanto o tamanho da raiz primária (TRP) foram fortemente relacionados com o tamanho total (TT), demonstrando que maiores hipocótilos e raízes primárias contribuem significativamente para o tamanho total das plântulas.

As análises de correlação revelam importantes interações entre as variáveis, essenciais para entender as dinâmicas de crescimento das plântulas e otimizar condições de cultivo. Relações fortes entre determinadas variáveis podem orientar práticas agrícolas mais eficazes, focando nas características que impactam significativamente o crescimento total das plântulas.

Ao se considerar as interações entre genótipos e os bioinsumos, deve-se avaliar como se dá esta combinação. Com a análise de dialelo, obteve-se informações sobre as Capacidades Geral e Específica de Combinação (CGC e CEC, respectivamente) dos três genótipos de milho quando combinados com diferentes bioinsumos. As características analisadas incluíram a área da plântula, o tamanho do hipocótilo e o desenvolvimento da raiz primária.

A CGC e a CEC são fundamentais para entender como diferentes genótipos respondem a bioinsumos específicos, proporcionando insights valiosos para a seleção de combinações mais eficientes. Essas informações podem guiar o desenvolvimento de práticas

agrícolas que maximizem o crescimento e a produtividade das plantas, considerando as interações genótipo-bioinsumo e suas influências no desenvolvimento das plântulas.

Para a CGC observou-se a influência aditiva dos genótipos sobre as características avaliadas. Os valores de CGC para cada genótipo são detalhados abaixo, ilustrando a contribuição de cada um para as características fenotípicas observadas (Tabela 1).

TABELA 1. Capacidade Geral de Combinação (CGC) e Capacidade Específica de Combinação (CEC) dos genótipos com os bioinsumos para área da plântula (Area), tamanho do hipocótilo (TH), desenvolvimento da raiz primária (DRP) e germinação (GERM).

CGC					
Genótipo	Area	TH	DRP	GERM	
AS1850PRO4 (H3)	1.2	-0.3	0.8	0.9	
P3707VY (H1)	2.1	0.5	1.5	1.3	
NS45 VIP3 (H2)	0.8	1.1	2.0	1.1	
CEC					
AS1850PRO4 (H3) x <i>B. pumilus</i>	1.5	-0.2	2.3	1.4	
P3707VY (H1) x <i>B. amyloliquefaciens</i>	2.4	0.8	1.8	1.6	
NS45 VIP3 (H2) x <i>B. subtilis</i>	0.7	1.4	3.1	2.0	

O genótipo H1 apresentou a maior CGC para a área da plântula, indicando uma forte capacidade genética para influenciar essa característica. O genótipo NS45 VIP3 destacou-se no desenvolvimento da raiz primária, mostrando seu potencial para melhorar essa característica vital para a absorção de nutrientes.

Para a CEC, houve combinações específicas entre genótipos e tratamentos que exibiram eficácia, destacando as sinergias potenciais para os tratamentos dos híbridos. Especificamente a combinação de H2 com *B. subtilis* foi a mais significativa, apresentando a maior CEC para o desenvolvimento da raiz primária, indicando uma interação particularmente eficaz que potencializa o crescimento radicular.

Enquanto a CGC reflete o potencial genético geral dos genótipos para influenciar determinadas características, a CEC identifica interações específicas entre genótipos e bioinsumos que podem ser exploradas para otimizar o desempenho agrônômico. Isso evidencia a importância de estratégias de seleção que integrem tanto as contribuições genéticas (CGC) quanto as interações específicas (CEC) para desenvolver culturas mais produtivas e resistentes.

A compreensão das CEC é crucial para direcionar a aplicação de bioinsumos de maneira a maximizar os benefícios em condições de campo específicas, alavancando o potencial genético das variedades de plantas. Essa abordagem integrada pode levar ao desenvolvimento de práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis, melhorando a produtividade e a resiliência das culturas.

Inoculantes ou biofertilizantes que visam substituir parcial ou totalmente os fertilizantes químicos estão se tornando cada vez mais importantes na agricultura, à medida que cresce a percepção global da necessidade de aumentar a sustentabilidade. Melhorias significativas na qualidade dos inoculantes e no lançamento de novas cepas e formulações foram alcançadas. No entanto, a agricultura continuará a demandar pesticidas químicos, e sua baixa compatibilidade com inoculantes, especialmente quando aplicados às sementes, representa uma grande limitação para o sucesso da inoculação.

As diferenças na compatibilidade entre pesticidas e inoculantes dependem de seu princípio ativo, formulação, tempo de aplicação e período de contato com microrganismos vivos; no entanto, em geral, eles têm um alto impacto na sobrevivência e no metabolismo celular, afetando a contribuição microbiana para o crescimento das plantas. Novas estratégias para resolver a incompatibilidade entre pesticidas e inoculantes são necessárias, uma vez que as que foram propostas até o momento ainda são muito modestas em termos de demanda (Santos *et al.*, 2021).

Embora os bioinsumos não tenham demonstrado um impacto significativo no crescimento total das plântulas em comparação ao hidrocondicionamento, eles foram notáveis por melhorarem aspectos específicos do desenvolvimento inicial das plantas, particularmente o sistema radicular. Essa variação na eficácia dos tratamentos entre os genótipos ressalta a necessidade de personalizar as abordagens de condicionamento fisiológico para cada tipo de genótipo e suas condições de crescimento específicas.

Assim, enfatiza-se a importância de adaptar as estratégias de tratamento às características específicas de cada genótipo de milho para otimizar os benefícios dos bioinsumos no desenvolvimento vegetativo. Este estudo também destaca a necessidade de uma abordagem integrada e personalizada no manejo agrícola, onde a compreensão das interações entre genótipos, bioinsumos e condições de tratamento é essencial para otimizar o desenvolvimento das plantas e melhorar os resultados agronômicos.

As conclusões práticas destacam a importância de selecionar bioinsumos adequados para cada cultivar, a fim de otimizar as taxas de ramificação, ajustar os tempos de tratamento de acordo com o genótipo para melhorar o desempenho das plântulas e considerar cuidadosamente a escolha do bioinsumo e a duração do tratamento devido às diferentes respostas ao longo do tempo. Essas análises sublinham a importância de uma abordagem integrada no manejo agrícola para otimizar as práticas e melhorar os resultados do cultivo.

4.4. Conclusões

O hidrocondicionamento com água é prejudicial para as variáveis analisadas nos tempos 4 e 6 para o genótipo NS45 VIP3. Para o genótipo AS1850PRO4 o uso de bioinsumos pode melhorar o desenvolvimento de plântulas de milho, gerando assim ganhos de até 41% tanto no tamanho da parte aérea, raiz e comprimento total de plântulas quando inoculados com *B. amyloliquefaciens*. O melhor tempo identificado para o condicionamento das sementes foi de 4h. O híbrido P3707VY não apresentou ganhos significativos nas variáveis analisadas.

Há uma interação específica do genótipo NS45 VIP3 e o bioinsumo *B. pumilus*, que melhoram o crescimento das plântulas.

Os bioinsumos têm a capacidade de gerar ganhos no desenvolvimento das plântulas, porém esse efeito depende de interações positivas entre os microrganismos e os genótipos que nem sempre estão presentes.

4.5. Referências Bibliográficas

ARMANHI, J. S. L. *et al.* Modulating drought stress response of maize by a synthetic bacterial community. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, p. 747541, 2021.

BARRIOS, E. *et al.* **The 10 elements of agroecology: guiding the transition to sustainable food and agricultural systems.** 2019.

BARROS, G. DE; FREITAS, C. G. DA S.; CARVALHO, J. B. DE; NAKAO, A. H. INOCULAÇÃO E CO-INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS DO GÊNERO BACILLUS, PSEUDOMONAS E AZOSPIRILLUM NO CULTIVO DE MILHO NO NOROESTE PAULISTA. **Unifunec Científica Multidisciplinar**, v. 12, n. 14, p. 1–13, 6 nov. 2023.

BUENO, A. DE F. *et al.* **Compatibilidade no uso de bioinsumos e insumos sintéticos no manejo da cultura da soja.** 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº. 45.** Brasília: MAPA, 2013.

FAROOQ, M. *et al.* Seed priming in field crops: potential benefits, adoption and challenges. **Crop and Pasture Science**, v. 70, n. 9, p. 731–771, 4 out. 2019.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

GUERRA, A. M. N. DE M.; GOMES, T. M.; DIAS, M. DOS S.; SANTOS, A. S. DOS. FORMAS DE APLICAÇÃO DE BACILLUS METHYLOTROPHICUS E BACILLUS SUBTILIS NO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE MILHO. **Recital - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG**, v. 6, n. 1, p. 94–106, 21 jun. 2024.

KÁLMÁN, C. D.; NAGY, Z.; BERÉNYI, A.; KISS, E.; POSTA, K. Investigating PGPR bacteria for their competence to protect hybrid maize from the factor drought stress. **Cereal Research Communications**, v. 52, n. 1, p. 129-150, 2024.

KROME, K.; ROSENBERG, K.; DICKLER, C.; KREUZER, K.; LUDWIG-MÜLLER, J.; ULLRICH-EBERIUS, C.; SCHEU, S.; BONKOWSKI, M. Soil bacteria and protozoa affect root branching via effects on the auxin and cytokinin balance in plants. **Plant and Soil**, v. 328, n. 1, p. 191–201, 1 mar. 2010.

OCWA, A.; SSEMUGENZE, B.; HARSÁNYI, E. Seed treatment with Bacillus bacteria improves maize production: a narrative review. **Acta Agraria Debreceniensis**, n. 1, p. 105-111, 2024.

OLIVEIRA, A. O. DE; COSTA, A. C. P. R. DA; ZUCARELI, V. Inoculação com *Azospirillum brasilense*, *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* em sementes de milho. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 13, n. 1, p. e12424–e12424, 15 mar. 2024.

MACHADO, R.; CALVI, V.; PACCOLA, E.; FILHO, E. S.; GASPAROTTO, F. Inoculação foliar de plantas de milho com *Bacillus subtilis* e *Azospirillum brasilense*. **Enciclopedia Biosfera**, v. 17, n. 34, 26 dez. 2020.

MILLÉO, M. V. R.; PANDOLFO, M.; SANTOS, D. S. DOS; SOARES, C. R. F. S.; MOSCARDI, M. L. Eficiência agrônômica de inoculante a base de *Bacillus amyloliquefaciens* FZB45 para as culturas de milho e soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 18, n. 1, p. e2844–e2844, 28 fev. 2023.

NISHANTH, S.; PRASANNA, R.; HOSSAIN, F.; MUTHUSAMY, V.; SHIVAY, Y. S.; NAIN, L. Interactions of microbial inoculants with soil and plant attributes for enhancing Fe and Zn biofortification in maize genotypes. **Rhizosphere**, v. 19, p. 100421, 2021.

PEREIRA, C. S.; ZANETTI, V. H.; WIEST, G.; SCHOFFEN, M. E.; FIORINI, I. V. A. Desempenho produtivo de híbridos de milho na segunda safra no norte de Mato Grosso. **Tecno-Lógica**, v. 24, n. 2, 2020.

PROCOPIO, S. DE O.; CRUZ, M. A. S.; ALMEIDA, M. R. M. DE; JESUS JUNIOR, L. A. DE; NOGUEIRA JUNIOR, L. R.; CARVALHO, H. W. L. DE. **Sealba: região de alto potencial agrícola no Nordeste brasileiro**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p. 62, Dez 2019. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos 221).

SÁENZ RODRÍGUEZ, M. N.; CASSAB, G. I. Primary root and mesocotyl elongation in maize seedlings: Two organs with antagonistic growth below the soil surface. **Plants**, v. 10, n. 7, p. 1274, 2021.

SANTOS, M. S.; RODRIGUES, T. F.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. The challenge of combining high yields with environmentally friendly bioproducts: A review on the compatibility of pesticides with microbial inoculants. **Agronomy**, v. 11, n. 5, p. 870, 2021.
SARI, H.; SARI, D.; EKER, T.; ZEYBEK, A.; TOKER, C. Effect of seed priming on germination of relict beautiful vavilov, *Vavilovia formosa* (Stev.) Al. Fed. **Mediterranean Agricultural Sciences**, v. 34, n. 1, p. 101-108, 2021.

SCHNEIDER, H. M.; KLEIN, S. P.; HANLON, M. T.; NORD, E. A.; KAEPLER, S.; Brown, K. M.; ANDREW, W.; BHOSALE, R.; LYNCH, J. P. Genetic control of root architectural plasticity in maize. **Journal of Experimental Botany**, v. 71, n. 10, p. 3185-3197, 2020.

SHAHZAD, A.; QIN, M.; ELAHIE, M.; NAEEM, M.; BASHIR, T.; YASMIN, H.; YOUNAS, M.; AREEB, A. IRFAN, M.; BILLAH, M.; SHAKOOR, A.; ZULFIQAR, S. *Bacillus pumilus* induced tolerance of Maize (*Zea mays* L.) against Cadmium (Cd) stress. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 17196, 25 ago. 2021.

STEINER, F.; LOPES, L. E.; VILAS-BOAS, J. K.; FERREIRA, I. B. P. A.; AGUILERA, J. G.; ZUFFO, A. M. *Bacillus aryabhattai* dose recommendation for corn seed inoculation. **Trends in Agricultural and Environmental Sciences**, p. e240003–e240003, 20 abr. 2024.

WANG, Y., AFEWORKI, Y., GENG, S., KANCHUPATI, P., GU, M., MARTINS, C.; RUDE, B.; TEFERA, H.; KIM, Y.; GE, X.; AUGER, D.; CHEN, S.; YANG, P.; WU, Y. Hydrotropism in the primary roots of maize. **The New Phytologist**, v. 226, n. 6, p. 1796–1808, jun. 2020.

ZHENG, Z.; HEY, S.; JUBERY, T.; LIU, H.; YANG, Y.; COFFEY, L.; MIAO, C.; SIGMON, B.; SCHONABLE, J. C.; HOCHHOLDINGER, F.; GANAPATHYSUBRAMANIAN, B.; SCHNABLE, P. S. Shared genetic control of root system architecture between *Zea mays* and *Sorghum bicolor*. **Plant physiology**, v. 182, n. 2, p. 977-991, 2020.

4.6. ANEXO

Genótipo	Condicionamento	Tempo (h)	Germinação (%)
AS1850PRO4	<i>B. amyloliquefaciens</i>	0	96
		2	100
		4	97
		6	95
	<i>B. pumilus</i>	0	97
		2	95
		4	96
		6	98
	<i>B. subtilis</i>	0	98
		2	97
		4	98
		6	93
		0	94

	Hidro	2	96
		4	97
		6	96
	Controle	-	100
NS45 VIP3	<i>B. amyloliquefaciens</i>	0	79
		2	86
		4	93
		6	91
	<i>B. pumilus</i>	0	98
		2	99
		4	98
		6	94
		0	96
		2	97
		4	89
		6	89
	Hidro	0	89
		2	81
		4	18
		6	28
Controle	-	91	
P3707VYH	<i>B. amyloliquefaciens</i>	0	85
		2	75
		4	66
		6	56
P3707VYH	<i>B. pumilus</i>	0	71
		2	61
		4	79
		6	75
		0	56
		2	35
		4	60
		6	62
	Hidro	0	78
		2	70
		4	61
		6	68
Controle	-	91	

Anexo 1. Germinação dos tratamentos nos 3 genótipos avaliados.

5. ARTIGO 2

RESPOSTA DE GENÓTIPOS DE MILHO A BIOINSUMOS SOB CONDIÇÕES DE RESTRIÇÃO HÍDRICA

RESUMO

Diversas atividades têm se adaptado às novas condições climáticas e buscado alternativas sustentáveis para sua manutenção. Nesse contexto, o uso de bioinsumos tem se mostrado uma ferramenta eficaz para adaptação a essas condições em constante mudança. Este trabalho teve como objetivo avaliar a interação entre diferentes bioinsumos e genótipos de milho submetidos ao estresse hídrico. Foram estudados quatro genótipos, incluindo três cultivares híbridas (P3707VYH, NS45 VIP3, AS1850 PRO4) e uma variedade crioula "Pé-de-boi", e suas interações com tratamentos de bioinsumos inoculados com *Bacillus aryabhatai* (BAR), *B. pumilus* (BPM), *B. amyloliquefaciens*, *B. subtilis* e um tratamento somente com estresse hídrico (EH). No genótipo AS1850PRO4, o tratamento com *B. amyloliquefaciens* apresentou o maior efeito na germinação aos 10 dias. Este tratamento foi efetivo na promoção de crescimento das plântulas deste genótipo, proporcionando um incremento de 87% no comprimento da parte aérea da plântula e gerando ganhos de 32,62% no tamanho total da plântula. Entretanto, esse efeito não foi observado em nenhum dos demais genótipos. O genótipo NS45 VIP3 foi o único que obteve um tratamento inferior ao estresse, sendo o tratamento com *B. aryabhatai* 23% menor que o tratamento somente com estresse no tamanho da raiz principal. O tratamento com *B. amyloliquefaciens* foi o único a apresentar melhorias significativas no desenvolvimento das plântulas quando comparado ao estresse. Somente o genótipo AS1850PRO4 apresentou interações significativas positivas com os bioinsumos. Esses resultados destacam a importância de adaptar os tratamentos de bioinsumos às características específicas de cada genótipo para otimizar o desenvolvimento das plantas sob condições de estresse hídrico.

Palavras-chave: Análise de imagem, polietilenoglicol, *Zea mays*, *Bacillus aryabhatai*.

ABSTRACT

Several agricultural sectors have sought measures to adapt to new climate conditions and to find sustainable alternatives for their maintenance. In this context, the use of bioinputs has proven to be an effective tool for adaptation to the constantly changing conditions. This study addressed the interaction between different bioinputs and maize genotypes exposed to water stress. Four genotypes, including three hybrid cultivars (P3707VYH, NS45 VIP3, AS1850 PRO4) and a landrace variety "Pé-de-boi", and their interactions with bioinput treatments of inoculation with *Bacillus aryabhatai* (BAR), *B. pumilus* (BPM), *B. amyloliquefaciens*, and *B. subtilis*, and a treatment with water stress (EH) only were studied. For genotype AS1850PRO4, the treatment with *B. amyloliquefaciens* had the strongest effect on germination in the evaluation after 10 days. This treatment effectively promoted seedling growth of this genotype, with an increase of 87% in shoot length and gains of 32.62% in total seedling size. However, this effect was not observed in any of the other genotypes. NS45 VIP3 was the only genotype with a poorer performance than in the stress treatment. In the treatment with *B. aryabhatai*, the main root size was 23% shorter than in the treatment with stress only. Significant improvements in seedling development were only observed in the treatment with *B. amyloliquefaciens*, compared to the stress treatment. Only genotype AS1850PRO4 had significant positive interactions with the bioinputs. These results reinforce

the relevance of adapting bioinput treatments to the genotype-specific characteristics, with a view to optimizing plant development under drought stress.

Keywords: Image analysis, polyethylene glycol, *Zea mays*, *Bacillus aryabhatai*.

5.1. Introdução

A agricultura é uma atividade dependente das condições ambientais presentes no local. Devido a isso, as áreas podem ser delimitadas com base na sua aptidão para o desenvolvimento da atividade. Essas áreas, entretanto, podem sofrer mudanças em suas condições ambientais, o que pode alterar sua aptidão. Alterações nas condições climáticas foram detectadas em diversos locais, seja devido à alteração no regime hídrico, variações na temperatura ou outros fatores, que podem ocasionar eventos prejudiciais, como ondas de calor ou secas (Geirinhas *et al.*, 2021; Lázaro *et al.*, 2020; Raulino; Silveira; Lima Neto, 2021).

Diversos fatores podem influenciar essas alterações, sendo a atividade humana uma delas, como a prática da agropecuária (Brito *et al.*, 2020). Com essas mudanças nas condições, a viabilidade da produção agrícola em algumas regiões pode ser alterada e, por consequência, a aptidão dessas áreas.

A evolução na aptidão de uso tem sido estudada e os resultados apresentados têm sido preocupantes. Diversos locais, antes aptos para certas culturas, se tornariam inaptos ou apresentariam alguma restrição à sua atividade, sendo necessária a tomada de ações que permitam a continuidade da atividade no local (Castro *et al.*, 2020; Gaaloul; Eslamian; Katlance, 2021; Król-Badziak; Kozyra; Rozakis, 2024; Pereira *et al.*, 2023; Straffelini; Tarolli, 2023). Entre esses fatores, um dos que mais têm sido preocupantes é o regime hídrico, onde a presença de secas, seja de longo ou curto prazo, pode se tornar mais frequente, o que geraria perdas em culturas importantes como o milho.

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas mais importantes do mundo. Parte dessa importância deve-se à sua diversidade de usos em múltiplas indústrias, como a têxtil, papel, energia e alimentar (Ramos *et al.*, 2020; Santoyo; Urtis-Flores; Orozco-Mosqueda, 2024). Essa importância é refletida na sua presença internacional, uma vez que gera um desenvolvimento econômico e uma segurança alimentar significativos para os países produtores (Erenstein *et al.*, 2022).

A cultura, assim como muitas outras, demonstra-se vulnerável a condições climáticas desfavoráveis, como períodos de estresse hídrico, o que traz problemas no desenvolvimento e produção (Ferreira *et al.*, 2024; Iparraguirre *et al.*, 2024; Mubeen *et al.*, 2021). Devido a isso, alternativas que permitam a manutenção da produção e das áreas produtivas atuais têm sido buscadas, considerando que a migração para outras atividades não se demonstra uma alternativa viável. Entre as várias alternativas estudadas, algumas que apresentaram resultados promissores foram a aplicação de silicato, spray de cálcio e, em especial, o uso de bioinsumos (Abbas; Abdel-Lattif; Shahba, 2021; Gomaa *et al.*, 2021; Iparraguirre *et al.*, 2024; Mubeen *et al.*, 2021).

Bioinsumos podem ser caracterizados como produtos, processos ou tecnologias de origem vegetal, animal ou microbiana, que interferem de maneira positiva no crescimento, desenvolvimento ou mecanismos de resposta em animais, plantas, microrganismos e substâncias derivadas que interajam com produtos, processos físico-químicos e biológicos (Brasil, 2020). Esses produtos demonstraram grande potencial de uso na agricultura, especialmente os de origem microbiana.

Os bioinsumos microbianos se apresentam como uma das melhores alternativas, pois, além de conferir resistência aos estresses hídricos, eles também trazem outros benefícios, como aumento no crescimento vegetativo e produtivo do milho, disponibilização de

nutrientes, fixação de nitrogênio, melhoria de solos alcalinos e resistência a doenças (Iparraguirre *et al.*, 2024; Mishra; Mishra; Arora, 2022; Mishra *et al.*, 2023; Mubeen *et al.*, 2021; Santoyo; Urtis-Flores; Orozco-Mosqueda, 2024; Xie *et al.*, 2024). Esses benefícios, entretanto, requerem que tanto os microrganismos utilizados quanto a cultura aplicada tenham interações positivas, onde diferentes genótipos, mesmo da mesma cultura, podem ter resultados diferentes a depender de como essas interações ocorrem (Poldasari *et al.*, 2022).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as respostas no desenvolvimento inicial de genótipos de milho submetidos ao estresse hídrico com diferentes bioinsumos.

5.2. Material e Métodos

5.2.1 Caracterização dos materiais

Os genótipos utilizados foram compostos pelas cultivares P3707VYH, NS45 VIP3, AS1850 PRO4 e uma variedade crioula "Pé-de-boi". As cultivares utilizadas são híbridos simples das empresas PIONEER (P3707VYH), BAYER (AS1850 PRO4) e NIDERA (NS45 VIP3), recomendados para plantio no estado de Sergipe. As sementes das cultivares foram adquiridas no comércio local, enquanto a variedade crioula foi obtida com produtores locais.

Todos os genótipos utilizados atendem aos parâmetros mínimos da normativa 45/2013 do MAPA sobre os padrões de produção e comercialização de sementes de milho (Brasil, 2013), onde a germinação dos materiais utilizados é superior a 85%.

Os bioinsumos inoculados foram *Bacillus aryabhatai* (BAR), *B. pumilus* (BPM), *B. amyloliquefaciens* (BAM) e *B. subtilis* (BS), disponibilizados pela empresa Biofarm®, com os microrganismos para uso comercial em solução líquida, com concentração mínima de 5×10^8 unidades formadoras de colônia por mililitro (UFC/ml).

5.2.2 Teste de germinação

As sementes foram inoculadas com 50 ml do bioinsumo para 100 sementes e permaneceram na solução microbiolizadora durante 10 minutos, onde, por 1 minuto, foram submetidas à agitação para melhor recobrimento e ficaram em repouso pelos nove minutos restantes. Após o tratamento, as sementes de milho foram submetidas ao teste de germinação. Para este teste, foram empregadas quatro repetições de 25 sementes de cada tratamento.

A germinação foi realizada em papel germitest previamente umedecido com PEG a -0,2 MPa, e as testemunhas adicionais foram umedecidas com água destilada correspondente a 2,5 vezes o peso do papel, sendo mantidas em germinador tipo BOD a 25 °C sob fotoperíodo de 12 horas (Brasil, 2009).

O estresse hídrico no potencial osmótico de -0,2 MPa foi obtido pela diluição de 119g/l de PEG 6000 em temperatura constante de 25 °C sob agitação constante.

5.2.3 Avaliação das plântulas

As avaliações foram realizadas aos 4, 7, 10 e 14 dias, sendo avaliada a germinação das sementes (G). Foram consideradas germinadas as sementes que apresentaram plântulas com todas as estruturas necessárias bem desenvolvidas (Brasil, 2009). A partir dos resultados obtidos, foi estimado o percentual de Germinação (%G).

As plântulas obtidas no teste de germinação de cada tratamento foram avaliadas quanto ao tamanho do hipocótilo (TH), da raiz primária (TRP), da raiz secundária (TRS), tamanho total da plântula (TT) e número de ramificações das raízes (NR) com o auxílio do equipamento de análise de imagem Groundeye®.

5.2.4 Delineamento estatístico

Os genótipos foram compostos pelas cultivares P3707VYH (H1), NS45 VIP3 (H2), AS1850 PRO4 (H3) e uma variedade crioula "Pé-de-boi" (C1), genótipos indicados para plantio em Sergipe, e uma testemunha que foi submetida somente ao estresse (EH). Foi

utilizada uma testemunha adicional para cada genótipo, as quais não foram submetidas ao estresse hídrico e não foram inoculadas com nenhum bioinsumo.

Com os quatro genótipos, cinco bioinsumos e a testemunha adicional para cada genótipo, foi formado um delineamento de $4 \times 5 + 4$, totalizando um total de 24 tratamentos avaliados.

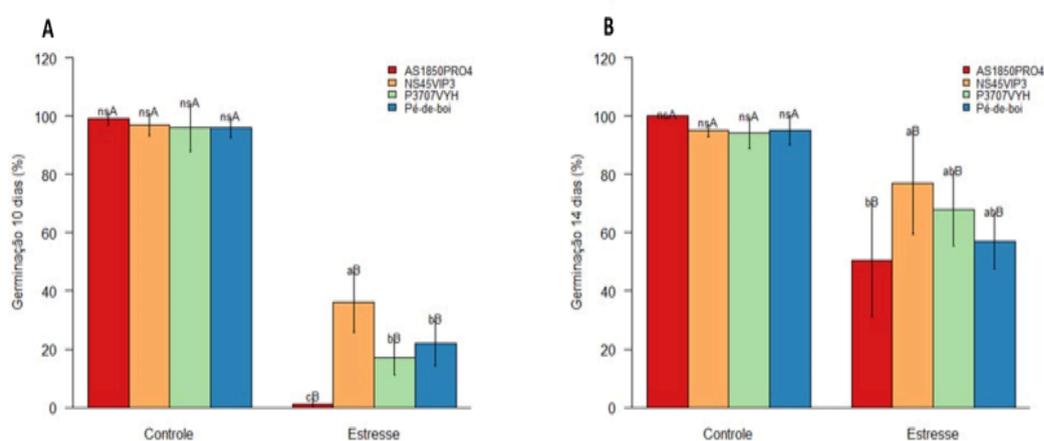
5.2.5 Análise estatística

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) em fatorial duplo, composto pelos fatores genótipos e bioinsumos submetidos ao estresse hídrico.

Os dados foram testados quanto à distribuição normal de acordo com o teste de Shapiro-Wilk e homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância por meio do teste F. As médias dos tratamentos estudados foram agrupadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R v. 4.0.2 (Team, 2020).

5.3. Resultados

Os efeitos do estresse hídrico na germinação dos genótipos podem ser observados na Figura 2.1.



*Letras maiúsculas representam diferença entre os genótipos do mesmo tratamento e letras minúsculas diferenças entre tratamentos do mesmo genótipo. Tratamentos sem letras não apresentaram diferença estatística.

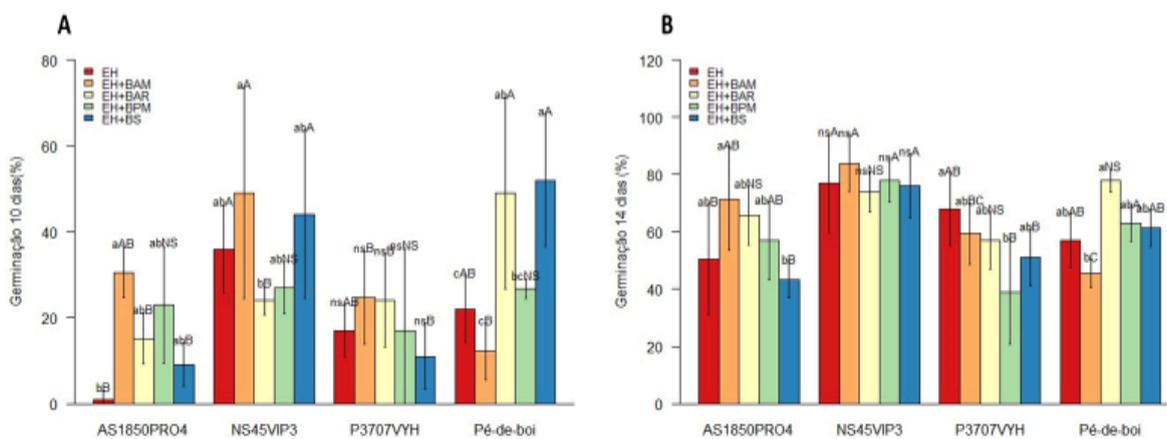
FIGURA 2.1. **A.** Germinação aos 10 dias em sementes de milho sem estresse e submetidas à estresse hídrico. **B.** Germinação aos 14 dias em sementes de milho sem estresse e submetidas à estresse hídrico.

Todos os genótipos apresentaram germinação superior a 95% no tratamento sem estresse hídrico (Figura 2.1). O genótipo AS1850PRO4 foi o mais suscetível ao estresse hídrico, com uma redução de 98% e 49% na germinação aos 10 e 14 dias, respectivamente. O genótipo NS45VIP3 foi o mais resistente ao estresse, com uma redução de 61% e 18% na germinação aos 10 e 14 dias, respectivamente.

O genótipo P3707VYH apresentou uma redução de 79% e 26% na germinação aos 10 e 14 dias, respectivamente, enquanto o genótipo "Pé-de-boi" teve uma redução de 79% e 38% na germinação nos mesmos períodos.

Nenhum dos genótipos avaliados germinou sob estresse hídrico aos 4 dias. Apenas o genótipo "Pé-de-boi" mostrou germinação sob estresse hídrico aos 7 dias, com 16% no tratamento com *B. aryabhattai* e 2% no tratamento com *B. subtilis*.

Os efeitos dos tratamentos na germinação dos diferentes genótipos podem ser observados na Figura 2.2.



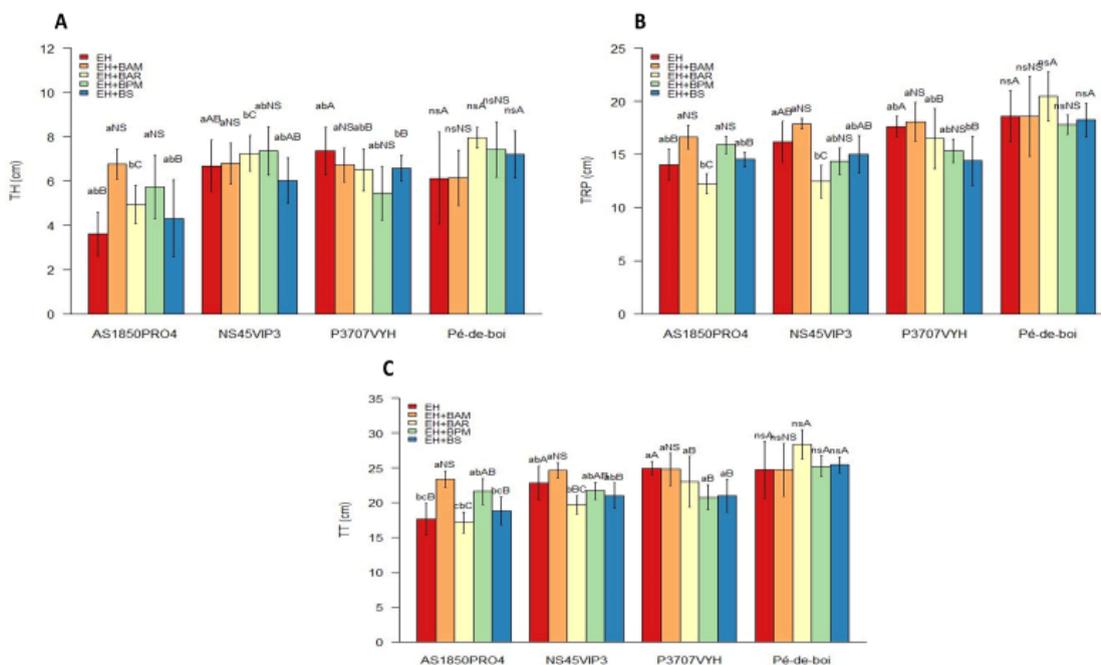
*Letras maiúsculas representam diferença entre os genótipos do mesmo tratamento e letras minúsculas diferenças entre tratamentos do mesmo genótipo. Tratamentos sem letras não apresentaram diferença estatística.

FIGURA 2.2. **A.** Germinação aos 10 dias em sementes de milho tratadas com bioinsumos e submetidas à estresse hídrico. **B.** Germinação aos 14 dias em sementes de milho tratadas com bioinsumos e submetidas à estresse hídrico.

A germinação aos 10 dias (Figura 2.2 A) apresentou diferenças nos tratamentos dentro dos genótipos AS1850PRO4, NS45VIP3 e "Pé-de-boi", sendo que apenas o genótipo P3707VYH não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos. No genótipo AS1850PRO4, o tratamento com *B. amyloliquefaciens* mostrou o maior efeito na germinação, alcançando 30%, enquanto o tratamento sob estresse hídrico resultou em apenas 1% de germinação aos 10 dias. No genótipo "Pé-de-boi", os tratamentos com *B. subtilis* e *B. aryabhatai* foram superiores ao estresse, apresentando germinações de 52%, 49% e 22%, respectivamente. Os genótipos NS45VIP3 e P3707VYH não apresentaram efeitos positivos significativos em comparação com o estresse.

Aos 14 dias (Figura 2.2 B), apenas o genótipo NS45VIP3 não apresentou diferença entre os tratamentos. No genótipo AS1850PRO4, o tratamento com *B. amyloliquefaciens* foi superior ao com *B. subtilis*, com germinações de 71% e 43%, respectivamente. No genótipo "Pé-de-boi", o tratamento com *B. aryabhatai* foi superior ao com *B. amyloliquefaciens*, apresentando germinações de 78% e 45%, respectivamente. O genótipo P3707VYH foi o único a apresentar desempenho inferior sob condição de estresse, com o tratamento com *B. pumilus* resultando em 39% de germinação, inferior ao tratamento com estresse hídrico, que teve 68%. Nenhum dos tratamentos nos genótipos avaliados foi estatisticamente superior ao tratamento com estresse.

Os efeitos dos tratamentos no tamanho das plântulas dos diferentes genótipos podem ser observados na Figura 2.3.



*Letras maiúsculas representam diferença entre os genótipos do mesmo tratamento e letras minúsculas diferenças entre tratamentos do mesmo genótipo. Tratamentos sem letras não apresentaram diferença estatística.

FIGURA 2.3. **A.** Tamanho do hipocótilo das plântulas de milho dos tratamentos com bioinsumos submetidos à estresse hídrico. **B.** Tamanho da raiz principal das plântulas de milho dos tratamentos com bioinsumos submetidos à estresse hídrico. **C.** Tamanho total das plântulas de milho dos tratamentos com bioinsumos submetidos à estresse hídrico.

O tamanho do hipocótilo das plântulas (Figura 2.3 A) apresentou diferença significativa apenas no genótipo AS1850PRO4, onde o tratamento com *B. amyloliquefaciens* foi superior ao estresse, proporcionando um incremento de 87% no comprimento da parte aérea da plântula. Os demais genótipos não apresentaram efeitos significativos no tamanho do hipocótilo das plântulas.

O tamanho da raiz principal das plântulas (Figura 2.3 B) apresentou diferença nos tratamentos dentro dos genótipos AS1850PRO4, NS45VIP3 e P3707VYH, enquanto o genótipo "Pé-de-boi" não teve diferença significativa entre os tratamentos. O genótipo AS1850PRO4 foi mais suscetível aos efeitos do estresse quando comparado aos genótipos P3707VYH e "Pé-de-boi".

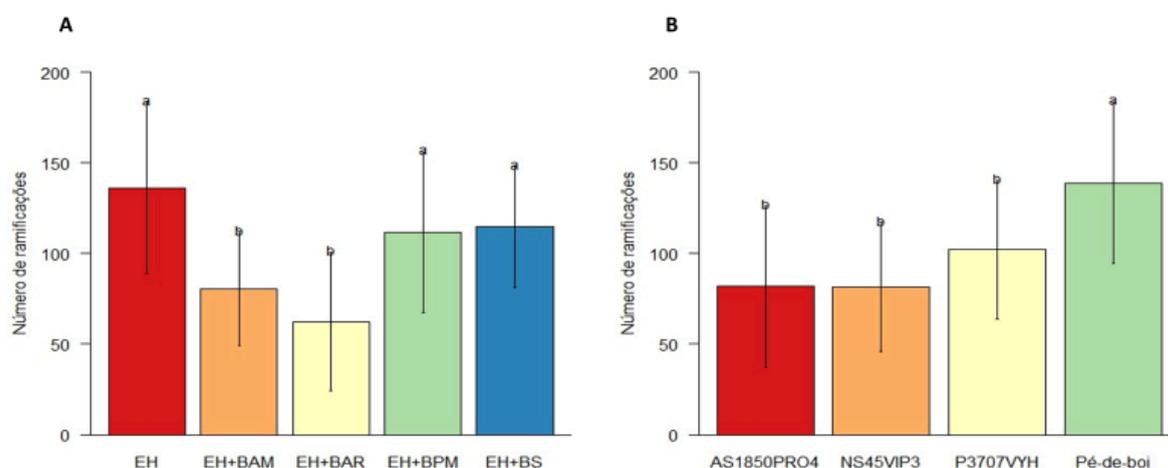
No genótipo AS1850PRO4, os tratamentos com *B. amyloliquefaciens* e *B. pumilus* foram superiores ao tratamento com *B. aryabhatai*, com comprimentos de 16 cm, 15 cm e 12 cm, respectivamente. No genótipo P3707VYH, o tratamento com *B. amyloliquefaciens* resultou em um comprimento da raiz principal 25% maior do que o tratamento com *B. aryabhatai*. O genótipo NS45VIP3 foi o único a apresentar um resultado inferior ao estresse, sendo que o tratamento com *B. aryabhatai* foi 23% menor que o tratamento somente com estresse, para a variável tamanho da raiz principal. Nenhum dos tratamentos nos genótipos avaliados foi estatisticamente superior ao tratamento controle em estresse.

Observou-se para o tamanho total das plântulas (Figura 2.3 C) diferença nos tratamentos dentro dos genótipos AS1850PRO4 e NS45VIP3, enquanto os genótipos "Pé-de-boi" e P3707VYH não foram diferentes. O genótipo AS1850PRO4 foi o mais suscetível aos efeitos do estresse.

No genótipo AS1850PRO4, o tratamento com *B. amyloliquefaciens* foi superior ao estresse, gerando um incremento de 32,62% no tamanho total da plântula. Os tratamentos com

B. amyloliquefaciens (23,4 cm) e *B. pumilus* (21,6 cm) foram superiores ao tratamento com *B. aryabhatai* (17,1 cm). No genótipo NS45VIP3, o tratamento com *B. amyloliquefaciens* (24,6 cm) foi superior ao com *B. aryabhatai* (19,7 cm).

Os efeitos dos tratamentos no número de ramificações das raízes nos diferentes genótipos podem ser observados na Figura 2.4.



*Letras maiúsculas representam diferença entre os genótipos do mesmo tratamento e letras minúsculas diferenças entre tratamentos do mesmo genótipo. Tratamentos sem letras não apresentaram diferença estatística.

FIGURA 2.4. **A.** Número de ramificações das raízes entre os tratamentos. **B.** Número de ramificações das raízes entre os genótipos.

Não houve interação significativa para ramificações das raízes entre os tratamentos para os genótipos. Os tratamentos com *B. pumilus* e *B. subtilis* foram iguais ao estresse, enquanto os tratamentos com *B. amyloliquefaciens* e *B. aryabhatai* foram inferiores ao estresse. O genótipo “Pé-de-boi” teve um número de ramificações superior a todos os demais genótipos.

5.4. Discussão

A busca por melhorias na germinação sob condições de estresse hídrico se torna crucial devido à redução na quantidade de plantas normais e ao aumento de plântulas anormais e sementes duras, efeitos que se intensificam com o aumento do estresse hídrico (Rai *et al.*, 2024; Sousa *et al.*, 2023). Esses efeitos foram observados nos genótipos avaliados, especialmente na germinação das sementes. A germinação aos 7 dias, que é o padrão da espécie, quase não foi identificada, e a germinação aos 10 e 14 dias foi consideravelmente reduzida, atingindo uma redução de até 98%. Essa redução na germinação é um dos efeitos mais danosos, pois reduz o estande de plantas, afetando negativamente a produtividade das áreas.

Os efeitos prejudiciais do estresse hídrico também podem afetar a parte aérea das plantas. Estudos indicam que, quanto maior a restrição hídrica, maior a redução no tamanho da parte aérea, podendo chegar a mais de 90% (Crosa; Chacón-Ortiz; Felipez, 2021; Sousa *et al.*, 2023).

A melhoria no desenvolvimento no hipocótilo com *B. subtilis* não tinha sido detectada em condições normais (Buchelt, 2019), entretanto em condições de estresse o bioinsumo se apresentou capaz de gerar ganho de 87% no comprimento da parte aérea do genótipo AS1850PRO4 quando comparado ao estresse, esse mesmo comportamento, entretanto, não foi observado nos demais genótipos.

O tratamento com *B. amyloliquefaciens* foi efetivo na promoção de crescimento das plântulas do genótipo AS1850PRO4, gerando ganhos de 32,62% no tamanho total da plântula.

Esse efeito benéfico no desenvolvimento das plântulas sob o estresse hídrico pode ser devido à atividade das enzimas antioxidantes como a catalase, superóxido dismutase, ascorbato peroxidase e polifenol oxidase serem influenciadas pela interação positiva entre os tratamentos e genótipos (Luo *et al.*, 2024; Misra *et al.*, 2019; Peralta *et al.*, 2021; Sandhya *et al.*, 2010).

Esse efeito também pode ser devido à produção de fitohormônios vegetais que favorecem o desenvolvimento como o ácido indolacético (Li *et al.*, 2020; Misra *et al.*, 2019; Mukhtar *et al.*, 2020).

A resistência ao estresse hídrico pelo uso de bioinsumos também pode ser observada na redução da demanda de água na planta, onde o efeito dos bioinsumos proporcionou uma redução durante condições normais e sob estresse. Um dos microrganismos identificado com a capacidade de proporcionar esse efeito foi o *B. pumilus* (Kálmán *et al.*, 2024).

Essa interação positiva, entretanto, pode não ser obtida em alguns genótipos devido ao seu método de ação, o qual pode ser específico e depender da interação com o hospedeiro. Um exemplo da melhoria decorrente de um mecanismo específico é o do *B. subtilis*. Este microrganismo, quando inoculado em plantas submetidas ao estresse hídrico, promove alteração na expressão de genes relacionados ao estresse, como é o caso do *DHNI* e *WRKY18* (Yasmeen *et al.*, 2024).

O efeito do *B. pumilus* (BPM) sob estresse é conflitante com relatos anteriores que indicam seu efeito negativo no desenvolvimento radicular sob condições normais (Kálmán *et al.*, 2024). Isso sugere uma possível melhor interação quando em condições de estresse. Embora estudos indiquem a capacidade de tratamentos com *B. aryabhattai* de promover o crescimento na cultura do milho e em outras culturas (Fuga, 2023; Castro, 2023; Nakatani, 2024), esses efeitos positivos não foram identificados no presente estudo em nenhum dos genótipos e variáveis avaliados.

Diversas diferenças entre os bioinsumos dentro dos genótipos foram identificadas, demonstrando assim que há interações que os microrganismos possuem entre os genótipos, logo isso demonstra a necessidade do desenvolvimento de tratamentos com bioinsumos que levem em consideração as diferentes interações que os microrganismos podem ter com o material genético utilizado.

5.5. Conclusões

O tratamento com *B. amyloliquefaciens* é o único a apresentar melhorias significativas no desenvolvimento das plântulas.

Apenas o genótipo AS1850PRO4 apresentou interações positivas significativas com os bioinsumos. Os tratamentos com *B. aryabhattai* e *B. pumilus* são os únicos que resultam em interações negativas, afetando o tamanho da raiz principal e a germinação aos 14 dias, respectivamente.

Pesquisas a longo prazo são necessárias para avaliar os efeitos dos bioinsumos ao longo do ciclo da cultura, bem como para investigar os mecanismos pelos quais esses efeitos são gerados.

5.6. Referências Bibliográficas

ABBAS, M.; ABDEL-LATTIF, H.; SHAHBA, M. Ameliorative effects of calcium sprays on yield and grain nutritional composition of maize (*Zea mays* L.) cultivars under drought stress. *Agriculture*, v. 11, n. 4, p. 285, abr. 2021.

BRASIL. **Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020**. Institui o Programa Nacional de Bioinsumos e o Conselho Estratégico do Programa Nacional de Bioinsumos. Diário Oficial da União: Seção 1, Brasília, DF, p.105, maio de 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº. 45**. Brasília: MAPA, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399 p.

BRITO, T.; LIMA, J.; OLIVEIRA, C.; SOUZA, R.; ANTONINO, A.; MEDEIROS, E.; SOUZA, E.; ALVES, E. Mudanças no Uso da Terra e Efeito nos Componentes do Balanço Hídrico no Agreste Pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, p. 870–886, 20 abr. 2020.

BUCHELT, A. C.; METZLER, C. R.; CASTIGLIONI, J. L.; DASSOLLER, T. F.; LUBIAN, M. S. Aplicação de bioestimulantes e *Bacillus subtilis* na germinação e desenvolvimento inicial da cultura do milho. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 6, n. 4, p. 69-74, 2019.

CASTRO, F. DA S.; XAVIER, A. C.; PIMENTA, L. R.; ELESBON, A. A. A.; QUARTEZANI, W. Z.; KLIPPEL, V. H. Impacto das projeções de mudanças climáticas globais do IPCC no zoneamento agroclimático da cultura da cana-de-açúcar na América do Sul / Impact of IPCC global climate change projections on agroclimatic zoning of sugarcane crops in South America. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 28410–28427, 18 maio 2020.

CASTRO, I. P. DE; SILVA, W. F. DA; Tolerância ao déficit hídrico na germinação de sementes de soja tratadas com *Bacillus aryabhattai*. **Cerrado Agrociências**, v. 14, p. 46-55, 2023.

CROSA, C. F. R.; CHACÓN-ORTIZ, A.; FELIPEZ, W. Germinação e desenvolvimento de sementes de dois híbridos de milho sob estresse hídrico. **Revista Científica Rural**, v. 23, n. 1, p. 110–123, 27 maio 2021.

ERENSTEIN, O.; JALETA, M.; PRASANNA, B.; MOTTALEB, K.; SONDER, K. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. **Food Security**, v. 14, 17 maio 2022.

FERREIRA, J. C. C.; CRUZ, J. F. DA; NEGREIROS, T. M. N.; BRITO, W. B. M.; LIMA, A. F. L.; SOUZA, A. E. D. DE. Respostas morfofisiológicas de plantas de milho e jiló ao estresse hídrico induzido. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 17, n. 1, p. e11639–e11639, 29 mar. 2024.

FUGA, C. A. G.; CAIXETA, G. A. N.; CAIXETA, C. F.; MELO, I. S. DE. Growth promotion in maize (*Zea mays* L.) by *Bacillus aryabhattai* strain CMAA 1363. **Agronomy**, v. 18, n. 3, p. e3340, 2023.

GAALOUL, N.; ESLAMIAN, S.; KATLANCE, R. Impacts of Climate Change and Water Resources Management in the Southern Mediterranean Countries. **Water Productivity Journal**, v. 1, n. 1, p. 51–72, 1 fev. 2021.

- GEIRINHAS, J. L.; RUSSO, A.; LIBONATI, R.; SOUSA, P. M.; MIRALLES, D. G.; TRIGO, R. M. Recent increasing frequency of compound summer drought and heatwaves in Southeast Brazil. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 3, p. 034036, fev. 2021.
- GOMAA, M. A.; KANDIL, E. E.; EL-DEIN, A. A. M. Z.; ABOU-DONIA, M. E. M.; ALI, H. M.; ABDELSALAM, N. R. Increase maize productivity and water use efficiency through application of potassium silicate under water stress. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 224, 8 jan. 2021.
- IPARRAGUIRRE, J.; MASCIARELLI, O.; VILLASUSO, A. L.; PIATTI, D.; LLANES, A. *Macrocystis pyrifera* alga extracts combined with *Azospirillum argentinense* improve growth and hormonal responses in *Zea mays* plants under drought stress. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 24, n. 2, p. 3209-3223, 2024.
- KÁLMÁN, C. D.; NAGY, Z.; BERÉNYI, A.; KISS, E.; POSTA, K. Investigating PGPR bacteria for their competence to protect hybrid maize from the factor drought stress. **Cereal Research Communications**, v. 52, n. 1, p. 129–150, 1 mar. 2024.
- KRÓL-BADZIAK, A.; KOZYRA, J.; ROZAKIS, S. Assessment of Suitability Area for Maize Production in Poland Related to the Climate Change and Water Stress. **Sustainability**, v. 16, n. 2, p. 852, jan. 2024.
- LÁZARO, W. L.; OLIVEIRA-JÚNIOR, E. S.; SILVA, C. J. DA; CASTRILLON, S. K. I.; MUNIZ, C. C. Climate change reflected in one of the largest wetlands in the world: an overview of the Northern Pantanal water regime. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 32, p. e104, 18 set. 2020.
- LI, X.; SUN, P.; ZHANG, Y.; JIN, C.; GUAN, C. A novel PGPR strain *Kocuria rhizophila* Y1 enhances salt stress tolerance in maize by regulating phytohormone levels, nutrient acquisition, redox potential, ion homeostasis, photosynthetic capacity and stress-responsive genes expression. **Environmental and Experimental Botany**, v. 174, p. 104023, 1 jun. 2020.
- LUO, H.; WIN, C. S.; LEE, D. H.; HE, L.; YU, J. M. Microbacterium azadirachtae CNUC13 Enhances Salt Tolerance in Maize by Modulating Osmotic and Oxidative Stress Biology. **Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)**, v. 13, n. 4, p. 244, 2024.
- MISHRA, J.; MISHRA, I.; ARORA, N. K. 2,4-Diacetylphloroglucinol producing *Pseudomonas fluorescens* JM-1 for management of ear rot disease caused by *Fusarium moniliforme* in *Zea mays* L. **3 Biotech**, v. 12, n. 6, p. 138, 24 maio 2022.
- MISHRA, S. K.; MISRA, S.; DIXIT, V. K.; KAR, S.; CHAUHAN, P. S. *Ochrobactrum* sp. NBRISH6 inoculation enhances *Zea mays* productivity, mitigating soil alkalinity and plant immune response. **Current Microbiology**, v. 80, n. 10, p. 328, 2023.
- MISRA, S.; DIXIT, V. K.; MISHRA, S. K.; CHAUHAN, P. S. Demonstrating the potential of abiotic stress-tolerant *Jeotgalicoccus huakuii* NBRI 13E for plant growth promotion and salt stress amelioration. **Annals of Microbiology**, Springer Verlag, v. 69, n. 4, p. 419-434, 2019.
- MUBEEN, M.; BANO, A.; ALI, B.; ISLAM, Z. U.; AHMAD, A.; HUSSAIN, S.; FAHAD, S.; NASIM, W. Effect of plant growth promoting bacteria and drought on spring maize (*Zea mays* l.). **Pakistan Journal of Botany**, v. 53, n. 2, p. 731-739, 2021.

- MUKHTAR, S.; ZAREEN, M.; KHALIQ, Z.; MEHNAZ, S.; MALIK, K. A. Phylogenetic analysis of halophyte-associated rhizobacteria and effect of halotolerant and halophilic phosphate-solubilizing biofertilizers on maize growth under salinity stress conditions. **Journal of Applied Microbiology**, v. 128, n. 2, p. 556–573, 1 fev. 2020.
- NAKATANI, A. S.; GATO, I. M. B.; SANDINI, I. E. Uso de diferentes *Bacillus* spp. promotores de crescimento vegetal associado com adubação nitrogenada na cultura do milho. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 3, p. e3733-e3733, 2024.
- PERALTA, J. M.; BIANUCCI, E.; ROMERO-PUERTAS, M. C.; FURLAN, A.; CASTRO, S.; TRAVAGLIA, C. Targeting redox metabolism of the maize-*Azospirillum brasilense* interaction exposed to arsenic-affected groundwater. **Physiologia Plantarum**, v. 173, n. 3, p. 1189-1206, 2021.
- PEREIRA, V. R.; VICTORIA, D. DE C.; OLIVEIRA, A. F. DE; VIANNA, S. Avaliação do impacto das mudanças climáticas no risco climático da soja a partir dos cenários do cmip6A agrometeorologia e a agropecuária: adaptação às mudanças climáticas. **Anais... Em: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Natal: 2023
- POLDASARI, S.; VANAJA, M.; NARAYANA, J.; SARKAR, B.; KUMAR, D.; VAGHEERA, P.; MOHAN, C.; MANDAPAKA, M. Impact of water deficit stress on traits influencing the drought tolerance and yield of maize (*Zea mays* L.) genotypes. **Plant Physiology Reports**, v. 27, 29 jan. 2022.
- RAI, P. K.; SABHARWAL, U.; SINGH, S.; YADAV, A. N.; CHOURE, K. Exploration of Drought Tolerant PGPR and Their role in Regulating Antioxidant Enzymes in Maize (*Zea mays* L.). **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 17 jun. 2024.
- RAMOS, J. G.; LIMA, V. L. A. DE; PEREIRA, M. DE O.; NASCIMENTO, M. T. C. C. DO; ARAUJO, N. C. DE; PEREIRA, M. C. DE A. Cultivo de milho híbrido com macronutrientes, urina humana e manipueira aplicados via fundação e fertirrigação. **Irriga**, v. 25, n. 2, p. 420–431, 2 jun. 2020.
- RAULINO, J. B. S.; SILVEIRA, C. S.; LIMA NETO, I. E. Assessment of climate change impacts on hydrology and water quality of large semi-arid reservoirs in Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v. 66, n. 8, p. 1321–1336, 11 jun. 2021.
- SANDHYA, V.; ALI, SK. Z.; GROVER, M.; REDDY, G.; VENKATESWARLU, B. Effect of plant growth promoting *Pseudomonas* spp. on compatible solutes, antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. **Plant Growth Regulation**, v. 62, n. 1, p. 21–30, 1 set. 2010.
- SANTOYO, G.; URTIS-FLORES, C.; OROZCO-MOSQUEDA, M. DEL C. Rhizobacterial community and growth-promotion trait characteristics of *Zea mays* L. inoculated with *Pseudomonas fluorescens* UM270 in three different soils. **Folia Microbiologica**, v. 69, n. 6, p. 1291-1303, 2024.
- SOUSA, L. I. S.; BRITO, A. E. A.; SOUZA, L. C.; TEIXEIRA, K. B. S.; NASCIMENTO, V. R.; ALBUQUERQUE, G. D. P.; OLIVEIRA NETO, C. F.; OKUMURA, R. S.; NOGUEIRA, G. A. S.; FREITAS, J. M. N.; MONTEIRO, G. G. T. N. O silício atenua o déficit hídrico induzido pelo PEG 6000 na germinação e crescimento inicial das mudas de milho. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. e265991, 29 maio 2023.

STRAFFELINI, E.; TAROLLI, P. Climate change-induced aridity is affecting agriculture in Northeast Italy. **Agricultural Systems**, v. 208, p. 103647, 2023.

TEAM, R. C. R Core Team R: a language and environment for statistical computing. **Foundation for Statistical Computing**, 2020.

XIE, X.; LIU, Y.; CHEN, G.; TURATSINZE, A. N.; YUE, L.; YE, A.; ZHOU, Q.; WANG, Y.; ZHANG, Y.; LI, Z.; TRAN, L. P.; WANG, R. Granular bacterial inoculant alters the rhizosphere microbiome and soil aggregate fractionation to affect phosphorus fractions and maize growth. **Science of the Total Environment**, v. 912, p. 169371, 2024.

YASMEEN, T.; ARIF, M. S.; TARIQ, M.; AKHTAR, S.; SYRISH, A.; HAIDAR, W.; RIZWAN, M.; HUSSAIN, M. I.; AHMAD, A.; ALI, S. Biofilm producing plant growth promoting bacteria in combination with glycine betaine uplift drought stress tolerance of maize plant. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, 9 fev. 2024.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo forneceu uma análise abrangente sobre a interação entre bioinsumos e genótipos de milho em condições de estresse hídrico, contribuindo significativamente para o entendimento da promoção do crescimento inicial e da germinação de plântulas de milho.

Com a pesquisa se revelou que a escolha do genótipo, do bioinsumo e do tempo de tratamento são fatores críticos que influenciam o desempenho das plântulas, com variações significativas observadas entre diferentes combinações. O genótipo P3707VYH apresentou variabilidade nas taxas de germinação com diferentes bioinsumos, sendo menos eficiente com hidrocondicionamento sem microrganismos. O genótipo NS45 VIP3 mostrou robustez com taxas de germinação altas e consistentes, independentemente do bioinsumo utilizado. Para o genótipo AS1850PRO4 se obteve melhores resultados com *B. subtilis* e Hidro, indicando a importância do uso adequado de bioinsumos para este genótipo.

O tempo de tratamento influenciou significativamente o desenvolvimento das plântulas, com o genótipo P3707VYH apresentando melhor desempenho em tempos mais curtos, enquanto NS45 VIP3 e AS1850PRO4 beneficiaram-se com tempos de tratamento prolongados.

Contudo, a diversidade nas respostas dos genótipos aos bioinsumos e tempos de tratamento sugerem a necessidade de personalização das práticas de manejo para otimizar os resultados.

As interações entre genótipos e bioinsumos podem variar conforme as condições ambientais, destacando a importância de testes locais e específicos para diferentes regiões agrícolas. A escolha do bioinsumo correto para cada genótipo é crítica, mas desafiadora, devido às diferentes respostas observadas. Futuras pesquisas devem focar na exploração de novos bioinsumos e combinações que possam otimizar ainda mais a germinação e o crescimento das plântulas de milho.

Investigações a longo prazo sobre o impacto dos bioinsumos no ciclo completo de crescimento do milho, incluindo rendimento final, podem fornecer conhecimentos mais abrangentes. A aplicação de técnicas avançadas de análise genômica pode ajudar a identificar os mecanismos subjacentes às interações entre genótipos e bioinsumos, possibilitando a engenharia de plantas mais resilientes e produtivas.

Os resultados deste estudo sublinham a importância de uma abordagem integrada e personalizada no manejo agrícola, onde a compreensão detalhada das interações entre genótipos, bioinsumos e tempos de tratamento é essencial para otimizar o desenvolvimento das plantas e melhorar os resultados agrônômicos. Implementar essas práticas pode levar a uma agricultura mais sustentável, economicamente viável e ambientalmente responsável, garantindo maior resiliência das culturas e segurança alimentar.

Futuros estudos necessitam de investigações de longo prazo para avaliar o impacto dos bioinsumos ao longo do ciclo completo de crescimento do milho, seus efeitos na atividade enzimática e na expressão gênica.