

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS –
AGRONOMIA

RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS DE PLÂNTULAS DE
SOJA AO BIOINSUMO À BASE DE *Bacillus* spp.

Autora: Edilma Brandão de Sousa
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Juliana de Fátima Sales

RIO VERDE - GO
Agosto – 2025

RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS DE PLÂNTULAS DE SOJA AO BIOINSUMO À BASE DE *Bacillus* spp.

Autora: Edilma Brandão de Sousa
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Juliana de Fátima Sales
Coorientador: Prof. Dr. Arthur Almeida Rodrigues

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA, no Programa de Pós- Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia - do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde – Agronomia

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

D278r Brandão de Sousa, Edilma
RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS DE PLÂNTULAS DE
SOJA AO BIOINSUMO À BASE DE *Bacillus* spp. / Edilma
Brandão de Sousa. Rio Verde 2025.
31f. il.
Orientadora: Prof^ª. Dra. Juliana de Fátima Sales.
Coorientador: Prof. Dr. Arthur Almeida Rodrigues.
Dissertação (Mestre) - Instituto Federal Goiano, curso de
0231014 - Mestrado em Ciências Agrárias - Agronomia - Rio
Verde (Campus Rio Verde).
1. Bactérias. 2. Crescimento. 3. Desempenho fisiológico. 4.
Glycine max. 5. Vigor. I. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese (doutorado) | ☐ Artigo científico |
| ☒ Dissertação (mestrado) | ☐ Capítulo de livro |
| ☐ Monografia (especialização) | ☐ Livro |
| ☐ TCC (graduação) | ☐ Trabalho apresentado em evento |

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Edilma Brandão de Sousa

Matrícula:

2023202310140004

Título do trabalho:

RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS DE PLÂNTULAS DE SOJA AO BIOINSUMO À BASE DE *Bacillus* spp.

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 11 / 10 / 2025

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.



Documento assinado digitalmente
EDILMA BRANDÃO DE SOUSA
Data: 18/09/2025 19:06:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rio Verde-GO

Local

27 / 08 / 2025

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente
JULIANA DE FATIMA SALES
Data: 18/09/2025 08:06:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 78/2025 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA Nº/229
BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ao vigésimo sexto dia do mês de agosto do ano de dois mil e vinte e cinco, às 13:30h, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: Profª. Dra. Juliana de Fátima Sales (Presidente), Prof. Dr. Arthur Almeida Rodrigues (Avaliador interno), e Profª. Dra. Thaís Fernandes de Jesus Conceschi (Avaliadora externa), sob a presidência do primeiro, em sessão pública realizada no IF Goiano – Campus Rio Verde, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, de autoria de **EDILMA BRANDÃO DE SOUSA** discente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora Profª. Dra. Juliana de Fátima Sales, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida a autora da Dissertação para, em 40 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o (a) examinado (a), tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, e procedidas às correções recomendadas, a Dissertação foi **APROVADA**, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-AGRONOMIA**, na área de concentração Produção Vegetal Sustentável no Cerrado, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGCA-AGRO da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, esta ata perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60** (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Dissertação em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar, eu, Vanilda Maria Campos, secretaria do PPGCA-AGRO, lavrei a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Profª. Dra. Juliana de Fátima Sales (Presidente)

Prof. Dr. Arthur Almeida Rodrigues (Avaliador interno)

Profª. Dra. Thaís Fernandes de Jesus Conceschi (Avaliadora externa)

Documento assinado eletronicamente por:

- **Juliana de Fatima Sales**, **PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 26/08/2025 15:15:26.
- **Thais Fernandes de Jesus**, **PROF ENS BAS TEC TECNOLOGICO-SUBSTITUTO**, em 26/08/2025 15:17:59.
- **ARTHUR ALMEIDA RODRIGUES**, **ARTHUR ALMEIDA RODRIGUES - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651417000500)**, em 26/08/2025 15:19:19.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 22/08/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 735398

Código de Autenticação: 0f32b7e823



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 47/2025 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS DE PLÂNTULAS DE SOJA AO BIOINSUMO À BASE DE *Bacillus* spp.

Autora: Edilma Brandão De Sousa

Orientadora: Dra. Juliana de Fátima Sales

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de Concentração
em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em, 26 de agosto de 2025.

Profª. Dra. Juliana de Fátima Sales (Presidente)

Prof. Dr. Arthur Almeida Rodrigues (Avaliador interno)

Profª. Dra. Thaís Fernandes de Jesus Conceschi (Avaliadora externa)

Documento assinado eletronicamente por:

- **Juliana de Fatima Sales, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 26/08/2025 15:12:12.
- **ARTHUR ALMEIDA RODRIGUES, ARTHUR ALMEIDA RODRIGUES - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651417000500)**, em 26/08/2025 15:19:51.
- **Thais Fernandes de Jesus, PROF ENS BAS TEC TECNOLOGICO-SUBSTITUTO**, em 26/08/2025 15:19:59.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 22/08/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar_documento/ e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 735409

Código de Autenticação: 643d55d6bd



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000

*“Esforça-te, e tem bom ânimo. Não te atemorizes, não tenhas medo,
porque o Senhor está contigo por onde quer que andares”
(Josué, 1:9)*

*" Aos meus pais e ao meu noivo, Breno Vieira, que
nunca relutaram em me apoiar nessa
jornada árdua e esplêndida."*

DEDICO.

Á minha família e amigos,
á Prof.^a Dr.^a. Juliana de Fátima Sales, Dr. Arthur
Almeida Rodrigues, Dr.^a. Ingrid Maressa e Dr.^a.
Thaís Fernandes que tanto colaboraram para o
sucesso deste trabalho;

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me dado coragem e força para ingressar nessa jornada que foi o mestrado. Em segundo lugar, aos meus pais, Maria Vitória Brandão de Sousa e Reginaldo Brandão de Sousa, por terem me apoiado desde a decisão de mudar de estado e por me incentivarem a correr atrás desse grande sonho. E ao meu amado Breno Vieira de Sousa, que, além de me apoiar, aceitou vir comigo para essa nova realidade, em outra cidade, tão distante dos nossos. Foram dias desafiadores, porém necessários para nos levar até aqui. Agradeço também a todos os meus irmãos e amigos que torceram por mim de longe.

À minha orientadora, Dra. Juliana de Fátima Sales, que não só me orientou, mas também me encorajou e me ofereceu sua amizade, tornando essa jornada mais leve. Tenho imensa gratidão pela sua dedicação a esse grupo de pesquisa e pelo seu olhar compreensivo para com seus orientados. Isso, com certeza, faz toda a diferença na pesquisa, pois, antes de pesquisadores, somos humanos.

Aos coorientadores Arthur Almeida Rodrigues e Ingrid Maressa Hungria de Lima e Silva, que me orientaram com grande comprometimento e dedicação. Seus ensinamentos foram cruciais em cada etapa, e agradeço pela paciência em explicar, tantas vezes, o que parecia óbvio, mas que para mim era novo, pois pouco conhecia sobre fisiologia de sementes. Sou também grata pelos conselhos profissionais, pelas conversas descontraídas e pelas risadas compartilhadas.

A toda a equipe do Laboratório de Sementes do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, que contribuiu em cada etapa, me acolhendo de forma excelente desde o início e me auxiliando nos experimentos e ensinamentos. Ter esse apoio foi crucial para que eu alcançasse o tão sonhado título de mestre. Em especial, quero deixar meus sinceros agradecimentos a Thaís Fernandes, que não só me acolheu, mas também me mostrou na prática o que era o estudo da fisiologia de sementes. Agradeço profundamente por sua paciência, dedicação e bondade. Suas palavras de motivação foram essenciais para mim, fazendo-me acreditar que era possível, mesmo nos momentos em que eu duvidava de mim mesma. Também agradeço à Layane, Klara Lunna e ao Rafael pela valiosa ajuda na condução dos experimentos e pela amizade durante todo o processo.

À colega de experimentos que se tornou uma amiga valiosa, Ludimila Lopes, parceira de ensaios e de desafios. Cada repetição de experimento não apenas reforçou nosso aprendizado, mas também fortaleceu nossa amizade. Sou grata por cada palavra de incentivo, por cada "vai dar certo" e "vamos dar um jeito", e pelas risadas que tornaram os momentos difíceis mais leves.

Aos meus colegas das disciplinas de fisiologia vegetal e estatística, Josivania, Yasmini e Samuel, nossos encontros de estudo e a troca de conhecimento foram de extrema importância.

Agradeço ao Laboratório de Ecofisiologia e Produtividade Vegetal, ao Laboratório de Cultura de Tecidos e ao Laboratório de Anatomia Vegetal do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde,

todos foram fundamentais. À equipe da Coordenação da Pós-Graduação em Ciências Agrárias, em especial ao coordenador Dr. Marconi, que desde o início me recebeu com carisma e sempre esteve à disposição.

Aos professores do programa, que ministraram as disciplinas com excelência, contribuindo imensamente para o meu enriquecimento profissional. E a todos os funcionários desta instituição, que, direta ou indiretamente, me ajudaram.

Por fim, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pela concessão da bolsa.

BIOGRAFIA DA AUTORA

Edilma Brandão de Sousa, filha de Reginaldo Brandão de Sousa e Maria Vitória Brandão de Sousa, nasceu em 11/10/1999 em Cocal, cidade localizada no norte do Piauí. Residiu em Cocal dos Alves-PI até os 18 anos.

Iniciou a graduação em Ciências Biológicas em 2018, em Parnaíba-PI, na Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), concluindo-a no primeiro semestre de 2023, cujo prazo foi estendido devido à pandemia, que impediu a finalização em 2022.

Em agosto do mesmo ano, foi aprovada no processo seletivo do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias do Instituto Federal Goiano (IF Goiano) – Campus Rio Verde - GO. Iniciou o curso de mestrado em setembro de 2023, com atuação na área de Tecnologia de Sementes, sendo contemplada com bolsa de pesquisa.

Durante os dois anos de mestrado como bolsista da Fapeg/Capes, dedicou-se a pesquisas sobre condicionamento de sementes e potencial fisiológico. Em julho de 2025, submeteu sua dissertação à defesa, requisito indispensável para a obtenção do título de Mestra em Ciências Agrárias-Agronomia.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE TABELAS.....	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	11
RESUMO.....	13
ABSTRACT.....	14
1. Introdução	15
2. Material e Métodos	16
2.1. Material vegetal e tratamentos.....	16
2.1.2. Parâmetros fisiológicos.....	16
2.1.3. Trocas gasosas	17
2.1.4. Imagem de fluorescência da clorofila <i>a</i>	17
2.1.5. Caracterização anatômica e histoquímica.....	17
2.1.6. Análise estatística	18
3. Resultados.....	19
4. Discussão	26
5. Conclusão	28
6. Referências	28

ÍNDICE DE TABELA

	Página
Tabela 1. Taxa transpiratória (E); condutância estomática (g_s); taxa fotossintética (A) e concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a) em plântulas de soja aos 12 dias após a semeadura em substrato com concentrações de 0; 50; 100; 150 e 200 μL de bioinsumo à base de <i>Bacillus</i> spp.....	22

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Emergência de plântulas de soja em substrato com bioinsumo à base de <i>Bacillus</i> spp. Nas concentrações de 0; 50; 100; 150 e 200 µL. Letras distintas entre si indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As barras representam o erro padrão das médias ($n=4$)	19
Figura 2. Comprimento da parte aérea (A); comprimento da raiz (B); massa seca da parte aérea (C) e massa seca da raiz (D) de plântulas de soja cultivadas em substrato com bioinsumo à base de <i>Bacillus</i> spp., nas concentrações de 0; 50; 100; 150 e 200 µL. Letras distintas entre si indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As barras representam o erro padrão das médias ($n=4$).....	20
Figura 3. Fluorescência mínima (F_0), fluorescência máxima (F_m), variação do rendimento quântico potencial do PSII (F_v/F_m), rendimento quântico efetivo do PSII (Φ_{II}) e rendimento quântico de dissipação de energia não regulada do PSII (Φ_{NO}) em plântulas de soja aos 12 dias após a semeadura em substrato com concentrações de 0; 50; 100; 150 e 200 µL de bioinsumo à base de <i>Bacillus</i> spp. Asterisco indica diferença a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Os dados são médios de ($n = 4$)	21
Figura 4. Anatomia foliar de plântulas de soja cultivada em bioinsumo à base de <i>Bacillus</i> spp. nas concentrações de 0 e 150 µL. A coloração azul de toluidina foi feita para caracterização estrutural (A, e B). A coloração com xylidine foi feita para identificação de proteínas (C, e D). Plântulas controle (A, e D), e (B, e C) cultivadas em substrato com 150 µL de bioinsumo. AdEp, epiderme adaxial; AbEp, epiderme abaxial; PP, parênquima paliádico; SP, parênquima esponjoso. Setas pretas indicam aumento dos espaços intracelulares. Setas amarelas indicam compostos proteicos. Barra de escala de 100 µm.....	23
Figura 5. Análise dos componentes principais (PCA) em variáveis de vigor e fisiologia de plântulas de soja, emergência (EM), comprimento da parte aérea (CP), comprimento da raiz (CR), massa seca da parte aérea (MP), massa seca da raiz (MR), concentração interna e externa de CO ₂ (C_i/C_a), dados de fluorescência de imagem, rendimento quântico potencial do PSII (F_v/F_m), fluorescência inicial (F_0), rendimento quântico efetivo do PSII (Φ_{II}), rendimento quântico de dissipação de energia não regulamentada do PSII (Φ_{NO}), fluorescência máxima (F_m), para trocas gasosas, taxa fotossintética (A), condutância estomática (g_s) e taxa transpiratória (E) em resposta a diferentes concentrações de bioinsumo à base de <i>Bacillus</i> spp. no substrato.....	24
Figura 6. Matriz de correlação de Pearson de dados de qualidade fisiológica de plântulas de soja, emergência (EM), comprimento da parte aérea (CP), comprimento da raiz (CR), massa seca da parte aérea (MP), massa seca da raiz (MR), dados de fluorescência de imagem, rendimento quântico potencial do PSII (F_v/F_m), fluorescência inicial (F_0), rendimento quântico efetivo do PSII (Φ_{II}), rendimento quântico de dissipação de energia não regulamentada do PSII (Φ_{NO}), fluorescência máxima (F_m), para trocas gasosas, taxa Fotossintética (A), Condutância Estomática (G_s), Taxa Transpiratória (E). Em Resposta à diferentes concentrações de bioinsumo à base de <i>Bacillus</i> spp. no substrato.....	25

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIATÕES E UNIDADES

Símbolo/sigla	Significado	Unidades
$\approx$	Aproximadamente	-
%	Porcentagem	-
$\pm$	Mais ou menos	-
$>$	Maior	-
$<$	Menor	-
$\leq$	Menor ou igual	-
$=$	Igual	-
*	Significativo a 5% de significância	-
Ns	Não significativo	-
Ha	Hectare	-
°	Grau	-
'	Minutos	-
H	Horas	-
M	Metros	-
G	Gramas	-
Mg	Miligramas	-
°C	Temperatura em graus Celsius	-
Kv	Quilovolt	-
Mm	Milímetro	-
Cm	Centímetros	-
ml	Mililitro	-
μ L	Microlitro	-
μ M	Micrômetro	-
μ S	Micro-Siemens	-
Mmol	Micromol	-
Nmol	Nanomol	-
<i>P</i>	Probabilidade de significância	-
F_0	Fluorescência mínima	-
F_m	Fluorescência máxima	-
PSII	Fotossistema II	-
F_v/F_m	Rendimento quântico potencial do fotossistema II	-
F_m'	Máxima fluorescência no claro	-
<i>F</i>	Fluorescência	-
F_0	Fluorescência inicial	-
Φ_{NO}	Rendimento quântico de dissipação	-

	de energia não regulada	
Φ_{II}	Rendimento quantico efetivo do PSII	-
G_s	Condutância estomática	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
A	Taxa fotossintética	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
E	Taxa transpiratória	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
CiCa	Concentração interna de CO ₂	-
ETR	Taxa de transporte de elétrons	%
Ci	Concentração interna de CO ₂	-
Ca	Concentração externa de CO ₂	-
PCA	Análise de Componentes Principais	-
XP	Xylidine Ponceau	-
DIC	Delineamento inteiramente casualizado	-
spp.	Várias espécies	-
TA	Teor de água	-
EM	Emergência	%
CP	Comprimento parte aérea	cm
CR	Comprimento de raiz	cm
MP	Massa seca parte aérea	g
MR	Massa seca de raiz	g
AdEp	Epiderme adaxial	-
AbEp	Epiderme abaxial	-
PP	Parênquima paliçádico	-
SP	Parênquima esponjoso	-
IRGA	Analisador por gases infravermelho	-
PGPR	Rizobactérias promotoras de crescimento vegetal	-

RESUMO

SOUSA, EDILMA BRANDÃO DE. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde – GO, agosto de 2025. **Respostas morfofisiológicas de plântulas de soja ao bioinsumo à base de *Bacillus* spp.** Orientadora: Prof.^a Dr.^a Juliana de Fátima Sales. Coorientador: Dr. Arthur Almeida Rodrigues.

Para atender à demanda de soja no Brasil de forma eficaz, é necessário que as sementes tenham alta qualidade fisiológica, possibilitando o estabelecimento de plântulas vigorosas. Estresses abióticos podem limitar o desenvolvimento das plântulas. Neste contexto, bioinsumos à base de *Bacillus* spp. têm se destacado, atuando na promoção de crescimento radicular, na disponibilização nutrientes e na indução de resistência. Deste modo, objetivou-se avaliar os efeitos de um bioinsumo comercial à base de bactérias *Bacillus* spp. no desempenho fisiológico de plântulas de soja. O bioinsumo foi inoculado em substrato areia em bandejas, nas concentrações de 0 (água destilada); 50; 100; 150 e 200 µL, e, em seguida, foi feita a semeadura. Foram analisados a emergência das plântulas de soja, o comprimento e a massa seca, além de trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e análise anatômica e histoquímica das folhas. Os dados indicaram que as doses acima de 50 µL foram capazes de melhorar o desempenho das plântulas, comprimento e biomassa. Todas as doses do bioinsumo proporcionaram valores ideais de rendimento quântico potencial do PSII (*Fv/Fm*). As folhas das plântulas tratadas com bioinsumo apresentaram maior marcação por xylidine, indicando aumento de compostos proteicos e, conseqüentemente, expansão dos espaços intercelulares no parênquima esponjoso, em contraste com o grupo controle, que apresentou menor marcação por xylidine. Além disso, verificou-se forte correlação positiva entre o rendimento quântico potencial do PSII (*Fv/Fm*) e os parâmetros de crescimento, incluindo emergência (EM), comprimento da parte aérea (CP), comprimento radicular (CR), massa seca da parte aérea (MP) e massa seca da raiz (MR). Os resultados indicaram que o bioinsumo foi capaz de estimular o crescimento inicial das plântulas de soja, principalmente em concentrações acima de 50 µL, sendo ainda necessários mais estudos para validar sua ação em condições reais de cultivo.

Palavras-chave: Bactérias, crescimento, desempenho fisiológico, *Glycine max*, vigor.

ABSTRACT

SOUSA, EDILMA BRANDÃO DE. Federal Institute of Education, Science and Technology Goiano - Rio Verde Campus – GO, August 2025. **Morphophysiological responses of soybean seedlings to a *Bacillus* spp.** Advisor: Prof. Dr. Juliana de Fátima Sales. Co-advisor: Dr. Arthur Almeida Rodrigues.

To effectively meet the soybean demand in Brazil, seeds must possess high physiological quality, enabling the establishment of vigorous seedlings. Abiotic stresses can limit seedling development. In this context, bio-inputs based on *Bacillus* spp. have stood out, as they act in promoting root growth, nutrient availability, and resistance induction. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effects of a commercial bacterial-based bio-input containing *Bacillus* spp. on the physiological performance of soybean seedlings. The bio-input was inoculated into a sand substrate in trays at concentrations of 0 (distilled water); 50; 100; 150 and 200 μL , followed by sowing. Soybean seedling emergence, length and dry mass were analyzed, in addition to gas exchange, chlorophyll a fluorescence, and anatomical and histochemical analysis of the leaves. The data indicated that doses above 50 μL were able to improve seedling performance, length, and biomass. All doses of the bio-input provided optimal values for the potential quantum yield of PSII (Fv/Fm). The leaves of seedlings treated with the bio-input showed greater staining by xylidine, indicating an increase in protein compounds and, consequently, an expansion of the intercellular spaces in the spongy parenchyma, in contrast to the control group, which showed less xylidine staining. Furthermore, a strong positive correlation was found between the potential quantum yield of PSII (Fv/Fm) and the growth parameters: emergence (EM), shoot length (SL), root length (RL), shoot dry mass (SDM) and root dry mass (RDM). The results indicated that the bio-input was able to stimulate the initial growth of soybean seedlings, especially at concentrations above 50 μL . However, further studies are needed to validate its action under real cultivation conditions.

Keywords: Bacteria, growth, physiological performance, *Glycine max*, vigor.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a soja (*Glycine max* (L) Merrill) é uma cultura predominante, destacando-se como a principal atividade agrícola do país. No último levantamento da safra 2024/25, foram cultivados 47.619,8 mil hectares, com produtividade média de 3.562 kg/ha, totalizando 169.605 mil toneladas de soja, representando um crescimento de 14,8% em relação à safra do ano anterior, 2023/24 (CONAB, 2025).

Nessa perspectiva, é evidente a expressiva demanda por soja no país. No entanto, para atender a essa demanda de forma eficaz, é necessário que as sementes apresentem alta qualidade fisiológica, possibilitando o estabelecimento de plântulas vigorosas. Esta etapa inicial é decisiva para a produção agrícola, estabelecendo o êxito ou o insucesso da futura colheita (Finch-Savage e Bassel, 2016).

Fatores como mudanças climáticas, estresse hídrico e a disponibilidade de nutrientes comprometem o desenvolvimento da soja (Bagale, 2021; Staniak et al., 2023). Nesse contexto, os bioinsumos derivados de bactérias do gênero *Bacillus* têm se destacado. Essas bactérias, são consideradas rizobactérias promotoras do crescimento vegetal (PGPR) (Pirttilä et al., 2021), são encontradas naturalmente no solo e vivem associadas às raízes das plantas (Adedayo et al., 2022). A inoculação pode ocorrer de diversas formas, no solo, nas sementes e diretamente nas raízes (Lopes et al., 2021), promovendo o desenvolvimento e contribuindo para a saúde vegetal (Adedayo et al., 2022). Representam, assim, uma alternativa promissora para a agricultura.

O mecanismo de ação dessas bactérias ocorre por meio da colonização das raízes das plantas. Uma vez estabelecidas, produzem fitormônios que estimulam o crescimento radicular e disponibilizam nutrientes (Dame et al., 2021; Luo et al., 2022), os quais favorecem o desenvolvimento da plântula. Além disso, conferem proteção às plântulas pela indução de resistência sistêmica e pelo antagonismo a patógenos (Blake et al., 2021; Dame et al., 2021).

Desse modo, apesar de os benefícios potenciais dos bioinsumos derivados de bactérias para as plantas terem sido destacados, é importante ressaltar que ainda estão em fase de pesquisa. Estudos indicam que *Bacillus* spp. juntamente com outros microrganismos foram capazes de aumentar a taxa de emergência da soja sob estresse (Liu et al., 2023) e os parâmetros de produtividade (Rafique et al., 2025). No entanto, ainda são escassos na literatura estudos que investiguem a atuação direta de *Bacillus* spp. sobre o desenvolvimento inicial das plântulas de soja, especificamente no desempenho fisiológico. Dessa forma, objetivou-se avaliar os efeitos de um bioinsumo comercial à base de *Bacillus* spp. no desempenho fisiológico de plântulas de soja.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material vegetal e tratamentos

Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Análises de Sementes do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IF Goiano), localizado no Campus Rio Verde, GO. Antes da instalação experimental, as sementes de soja da cultivar GNS 7400 IPRO, safra 2024/25, foram caracterizadas mediante determinação do teor de água e execução do teste de germinação, de acordo com Brasil (2025).

Para a condução do experimento, foi utilizado um bioinsumo comercial formulado à base de bactérias *Bacillus* spp., o qual foi diluído em água destilada para obtenção das seguintes concentrações: 0 (controle, apenas água destilada), 50, 100, 150 e 200 µL. A definição das doses baseou-se nas recomendações do produto comercial.

Como substrato, utilizou-se areia, que foi previamente peneirada e esterilizada em estufa a 200 °C por duas horas (Brasil, 2025). Em seguida, determinou-se sua capacidade de campo, conforme metodologia descrita nas Regras para Análise de Sementes (RAS) para espécies da família Fabaceae, que estabelece umedecimento da areia até 60% de sua capacidade de retenção hídrica (Brasil, 2025).

A inoculação do bioinsumo foi feita diretamente no substrato areia, que foi distribuída em bandejas de isopor (21 cm × 14 cm × 1,8 cm). Para cada tratamento, foram utilizadas duas bandejas contendo 4 kg de areia, umedecida com 600 mL de concentração de bioinsumo. O substrato foi homogeneizado manualmente com a solução para garantir uma distribuição uniforme do inoculante.

Em seguida, foi feita a semeadura de 200 sementes por tratamento, distribuídas em quatro repetições de 50 sementes, a uma profundidade de 1 cm no substrato. Posteriormente, as bandejas foram cobertas com sacos plásticos para reduzir as perdas de umidade por evaporação e transferidas para uma câmara de germinação, onde permaneceram por 12 dias sob temperatura controlada de 25 ± 0,5 °C.

2.1.2. Parâmetros fisiológicos

- Teste de emergência: no oitavo dia após a semeadura em substrato contendo o inoculante e mantido em câmara de germinação, foi feita a contagem das plântulas emergidas. Foram consideradas plântulas emergidas aquelas que apresentavam cotilédones acima da superfície do substrato. O cálculo da emergência ocorreu conforme critérios descritos por Nakagawa (1999).

- Comprimento de plântula: dez plântulas foram selecionadas aleatoriamente por repetição. Em seguida, foram lavadas em água corrente para preservar a integridade do sistema radicular. Posteriormente, determinou-se o comprimento da raiz e da parte aérea de cada plântula (Brasil, 2025), utilizando uma régua milimetrada.

- Massa seca: as plântulas consideradas do teste de comprimento foram definidas para avaliação da massa seca. As raízes e a parte aérea foram colocadas separadamente em papel kraft

dentro de uma estufa a 80°C, com circulação forçada de ar, durante 24 horas. A biomassa seca foi então pesada em uma balança analítica (Nakagawa, 1999). Os resultados foram expressos em gramas por plântula.

2.1.3. Trocas gasosas

Com as mesmas plântulas do teste anterior, foram mensuradas as trocas gasosas em folhas totalmente expandidas de quatro plântulas por tratamento. A taxa líquida de fotossíntese (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), a condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), a taxa de transpiração (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a relação entre concentrações internas (C_i) e externas (C_a) de CO_2 (C_i/C_a) foram determinadas por meio do analisador de gases por infravermelho (IRGA) de sistema aberto (LI-6800, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA). As determinações de A , g_s , E e C_i/C_a foram feitas entre as 8h e 11h da manhã sob radiação fotossinteticamente ativa constante (PAR , $1000 \mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e temperatura (25°C).

2.1.4. Imagem de fluorescência da clorofila *a*

Por meio do fluorômetro modulado Imaging-PAM (versão MAXI-Standard, Heinz Walz), foram obtidas as imagens de fluorescência da clorofila *a*. Concomitantemente ao teste anterior, foram selecionadas aleatoriamente quatro plântulas por repetição. Essas plântulas foram levadas ao escuro por pelo menos 40 minutos, para determinação da fluorescência inicial (F_0) e fluorescência máxima (F_m), em que F_0 é o rendimento mínimo de fluorescência, excitado por uma luz vermelha modulada de baixa intensidade ($3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e F_m é a fluorescência máxima obtida aplicando um pulso de luz atinente saturante por 0,8 s ($>6000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Desse modo, foi possível quantificar o rendimento quântico potencial do fotossistema II (PSII) $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$. Em seguida, foram obtidas variáveis da fase lenta da indução de fluorescência pela aplicação de uma iluminação contínua por 30 s e de um pulso de luz saturante para determinar a fluorescência (F) e a um pulso de saturação para obtenção da máxima fluorescência no claro (F_m'). Com base nesses indicadores, foi possível estimar a fluorescência mínima do tecido vegetal sob iluminação, $F_0/[(F_m - F_0)/F_m + (F_0/F_m')]$ (Oxborough and Baker, 1997). O rendimento quântico efetivo da conversão de energia luminosa em PSII, $\Phi_{II} = (F_m' - F)/F_m'$, bem como o rendimento de dissipação de energia não regulada, $\Phi_{NO} = F/F_m$, foram determinados conforme descrito por Genty et al. (1989) e Hendrickson et al. (2004).

2.1.5. Caracterização anatômica e histoquímica

Foram coletadas amostras na região média do limbo foliar de quatro folhas totalmente expandidas, de cada tratamento, no mesmo dia da realização dos testes anteriores. Em seguida, todo o material coletado foi fixado em Karnovsky (1965), por 24 horas. Após essa etapa, ocorreu o emblocamento, por meio da desidratação em etanol, e anexado em historesina (Leica, Nussloch, Alemanha). Por meio do micrótomo rotativo de mesa (Modelo 1508R, Logen Scientific, China),

foram feitos cortes transversais com espessura de 5 μm , corados com azul de toluidina para visualização da estrutura e com Xylidine ponceau (XP) para identificação de proteínas totais (Kraus e Arduin, 1997; O'brien et al., 1964; O'Brien e McCully, 1981).

Por fim, as lâminas foram examinadas utilizando o microscópio Olympus (modelo BX61, Tóquio, Japão), equipado com câmera DP-72 para a captura de imagens, utilizando a configuração de campo claro.

2.1.6. Análise estatística

O delineamento experimental foi o inteiramente ao acaso (DIC), com cinco tratamentos e quatro repetições, totalizando 20 unidades experimentais. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados de potencial fisiológico das plântulas, parâmetros das trocas gasosas e fluorescência foram submetidos à análise de componentes principais (PCA) e à correlação de Pearson (r). As avaliações estatísticas foram conduzidas utilizando o software R, enquanto os gráficos foram gerados por meio do programa SigmaPlot.

3. RESULTADOS

Respostas fisiológicas de plântulas de soja ao bioinsumo bacteriano

As plântulas de soja cultivadas em substratos com bioinsumo bacteriano apresentaram maior taxa de emergência nas concentrações de 100, 150 e 200 μL (Fig. 1) comparadas às doses de 0 e 50 μL , atingindo aproximadamente 90%.

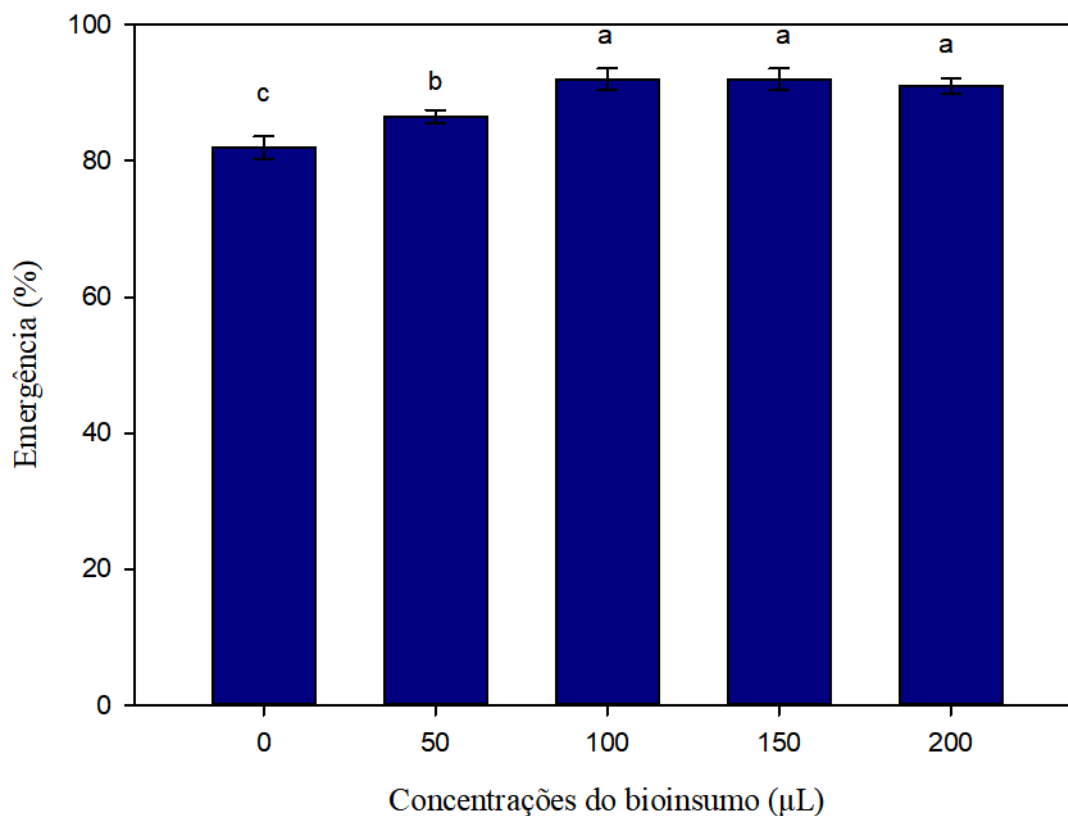


Fig. 1. Emergência de plântulas de soja em substrato com bioinsumo à base de *Bacillus* spp. Nas concentrações de 0; 50; 100; 150 e 200 μL . Letras distintas entre si indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As barras representam o erro padrão das médias ($n=4$).

O comprimento da parte aérea (Fig. 2A) apresentou resultado semelhante ao observado para a emergência, tendo as doses 100, 150 e 200 μL sido 8% superiores ao grupo controle. Para comprimento da raiz (Fig. 2B), a dose 150 μL apresentou melhor desempenho, levando a maior crescimento de raiz em cerca de 13 cm. Na massa seca da parte aérea (Fig. 2C), as doses de 50 a 200 μL estimularam maior acúmulo de massa seca, cerca 8,11% maior em relação ao controle. Para massa seca da raiz (Fig. 2D), as doses de 100 e 150 μL destacaram-se, apresentando desempenho significativamente maior em comparação às demais.

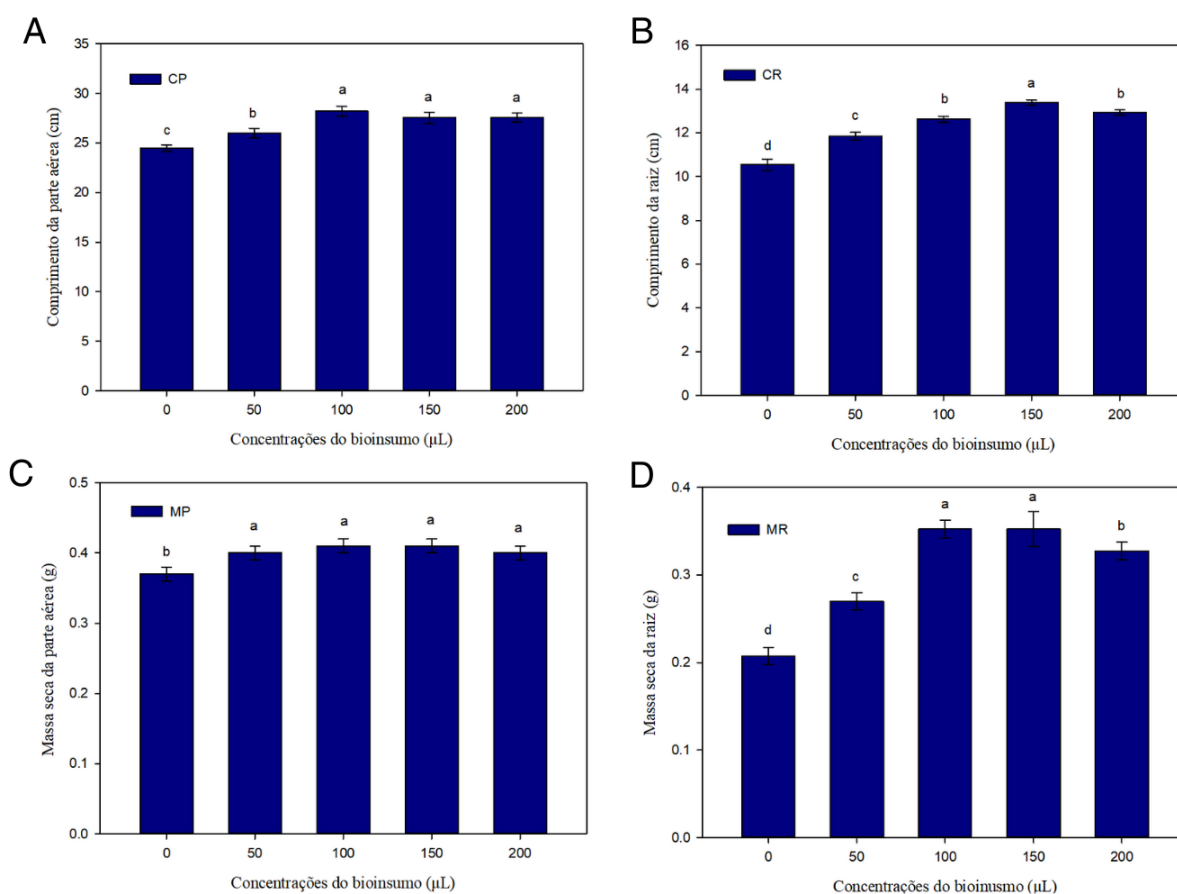


Fig. 2. Comprimento da parte aérea (A); comprimento da raiz (B); massa seca da parte aérea (C) e massa seca da raiz (D) de plântulas de soja cultivadas em substrato com bioinsumo à base de *Bacillus* spp., nas concentrações de 0; 50; 100; 150 e 200 µL. Letras distintas entre si indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As barras representam o erro padrão das médias ($n=4$).

Fluorescência de imagem e trocas gasosas de plântulas

O rendimento quântico potencial do PSII (F_v/F_m) (B) foi a única variável que apresentou diferença entre as doses, sendo que as concentrações de 50 a 200 µL formam um grupo homogêneo estatisticamente distinto do controle. Para as demais variáveis, incluindo fluorescência máxima (F_m), fluorescência mínima (F_0), rendimento quântico efetivo do PSII (Φ_{II}) e rendimento quântico de dissipação de energia não regulada do PSII (Φ_{NO}), as doses do bioinsumo não influenciaram os valores médios observados.

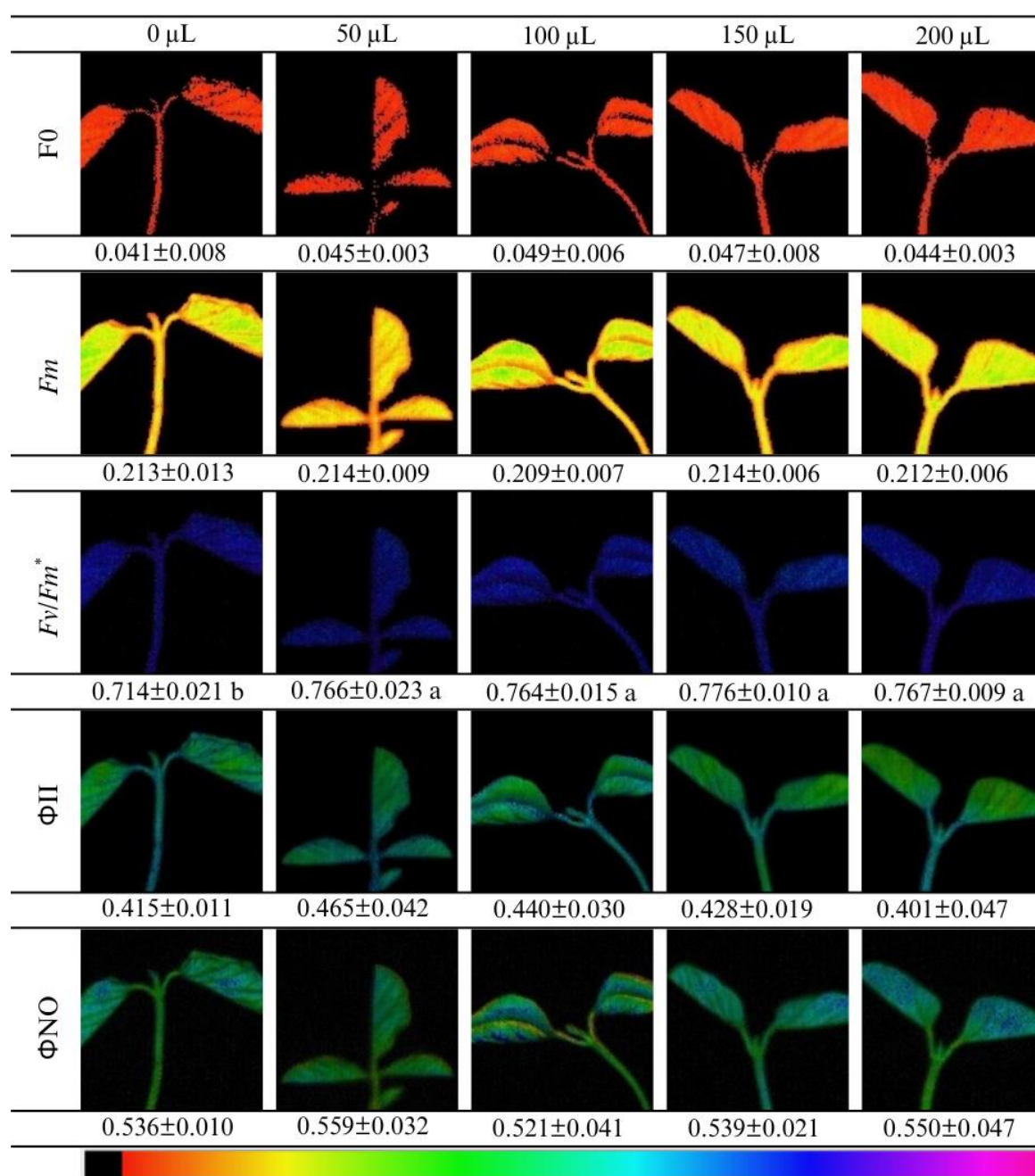


Fig. 3. Fluorescência mínima (F_0), fluorescência máxima (F_m), variação do rendimento quântico potencial do PSII (F_v/F_m), rendimento quântico efetivo do PSII (Φ_{II}) e rendimento quântico de dissipação de energia não regulada do PSII (Φ_{NO}) em plântulas de soja aos 12 dias após a semeadura em substrato com concentrações de 0; 50; 100; 150 e 200 μL de bioinsumo à base de *Bacillus* spp. Asterisco indica diferença a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Os dados são médios de ($n = 4$).

Para a análise de trocas gasosas (Tabela 1), os dados indicam que as doses do bioinsumo não provocaram alterações nos parâmetros avaliados, uma vez que os valores médios ($\pm$ erro padrão) permaneceram estatisticamente homogêneos em todas as concentrações testadas.

Tabela 1. Taxa transpiratória (E); condutância estomática (g_s); taxa fotossintética (A) e concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a) em plântulas de soja aos 12 dias após a semeadura em substrato com concentrações de 0; 50; 100; 150 e 200 μL de bioinsumo à base de *Bacillus* spp.

Doses	E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	g_s ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	C_i/C_a
0	0.004 $\pm$ 0.0	0.462 $\pm$ 0.11	1.693 $\pm$ 0.13	1.06 $\pm$ 0.04
0.05	0.005 $\pm$ 0.0	0.454 $\pm$ 0.20	1.507 $\pm$ 0.04	1.04 $\pm$ 0.03
0.1	0.005 $\pm$ 0.0	0.469 $\pm$ 0.21	1.500 $\pm$ 0.33	1.03 $\pm$ 0.03
0.15	0.004 $\pm$ 0.0	0.343 $\pm$ 0.06	1.644 $\pm$ 0.23	1.01 $\pm$ 0.04
0.2	0.005 $\pm$ 0.0	0.505 $\pm$ 0.17	1.526 $\pm$ 0.26	1.00 $\pm$ 0.02
P	0.247	0.638	0.472	0.671
CV (%)	9.53 %	35.91%	14.22%	3.14%

Avaliação das alterações anatômicas e histoquímicas nas folhas de soja

As folhas de soja apresentam epiderme com células de formato circular, sendo as células da face adaxial maiores que as células da face abaxial. O mesófilo é dorsiventral, com parênquima paliádico constituído por duas a três camadas de células alongadas, cilíndricas e justapostas, dispostas em direção à epiderme da face adaxial (Fig. 4A). O parênquima esponjoso, por sua vez, é composto por células de formato irregular e estreito, com presença de espaços intercelulares predominantes na região próxima à epiderme abaxial (Fig. 4B). Nas folhas das plântulas cultivadas em substrato contendo bioinsumo (Fig. 4B), foi observado aumento dos espaços intercelulares nas células do parênquima esponjoso.

Nas folhas da soja controle, foi observada redução na marcação por xyloidine (Fig. 4C), indicando menor acúmulo de compostos proteicos quando comparadas às folhas da soja cultivada em substrato com 150 μL de bioinsumo (Fig. 4D).

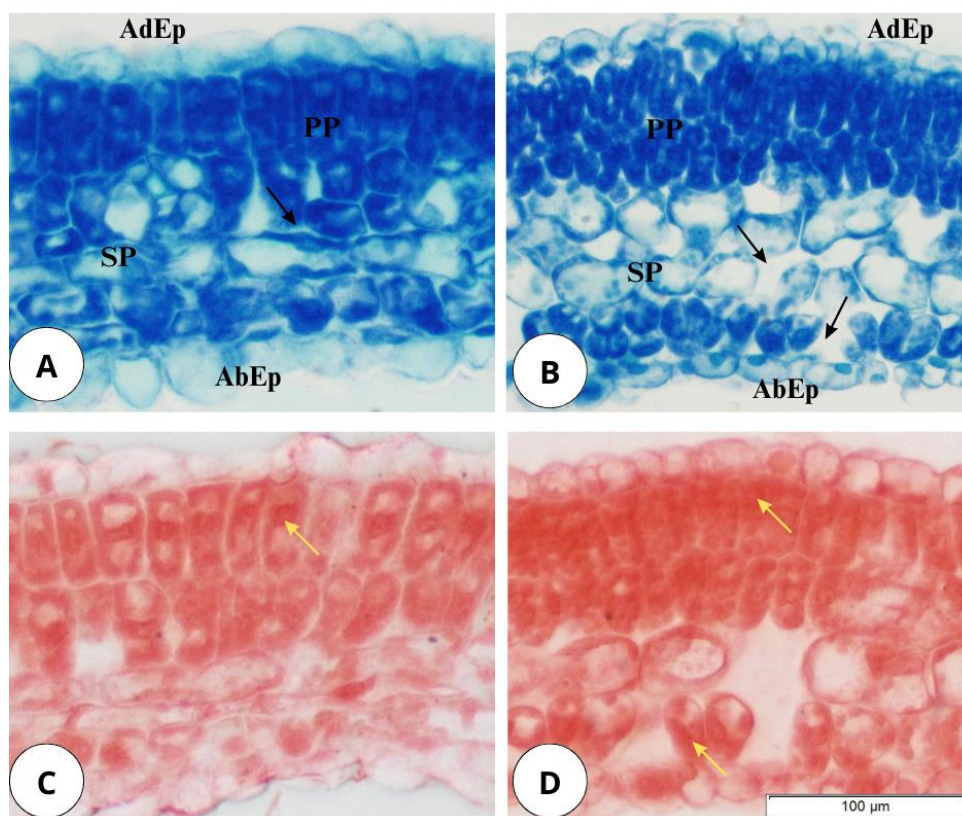


Fig. 4. Anatomia foliar de plântulas de soja cultivada em bioinsumo à base de *Bacillus* spp. nas concentrações de 0 e 150 μL . A coloração azul de toluidina foi feita para caracterização estrutural (A, e B). A coloração com xylidine foi feita para identificação de proteínas (C, e D). Plântulas controle (A, e D), e (B, e C) cultivadas em substrato com 150 μL de bioinsumo. AdEp, epiderme adaxial; AbEp, epiderme abaxial; PP, parênquima paliádico; SP, parênquima esponjoso. Setas pretas indicam aumento dos espaços intracelulares. Setas amarelas indicam compostos proteicos. Barra de escala de 100 μm .

Correlação entre as doses aplicadas e as variáveis analisadas

A análise de componentes principais (PCA) dos tratamentos e as 14 variáveis (Figura 5) revelaram que PC1 (41%) e PC2 (19,4%) e juntos explicaram 59,4% da variância total acumulada. Foi observada correlação entre as variáveis de desenvolvimento vegetativo, incluindo comprimento da parte radicular (CR), comprimento da parte aérea (CP), emergência (EM), massa seca radicular (MR) e massa seca da parte aérea (MP), associadas ao rendimento quântico potencial do PSII (F_v/F_m), à taxa de transpiração (E) e à condutância estomática (g_s), particularmente nas doses de 100, 150 e 200 μL .

Contudo, não foi detectada relação significativa entre as variáveis rendimento quântico efetivo (Φ_{II}), taxa fotossintética (A), concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a), fluorescência mínima (F_0), fluorescência máxima (F_m) e dissipação não regulada de energia (Φ_{NO}), que formam um eixo independente das concentrações aplicadas.

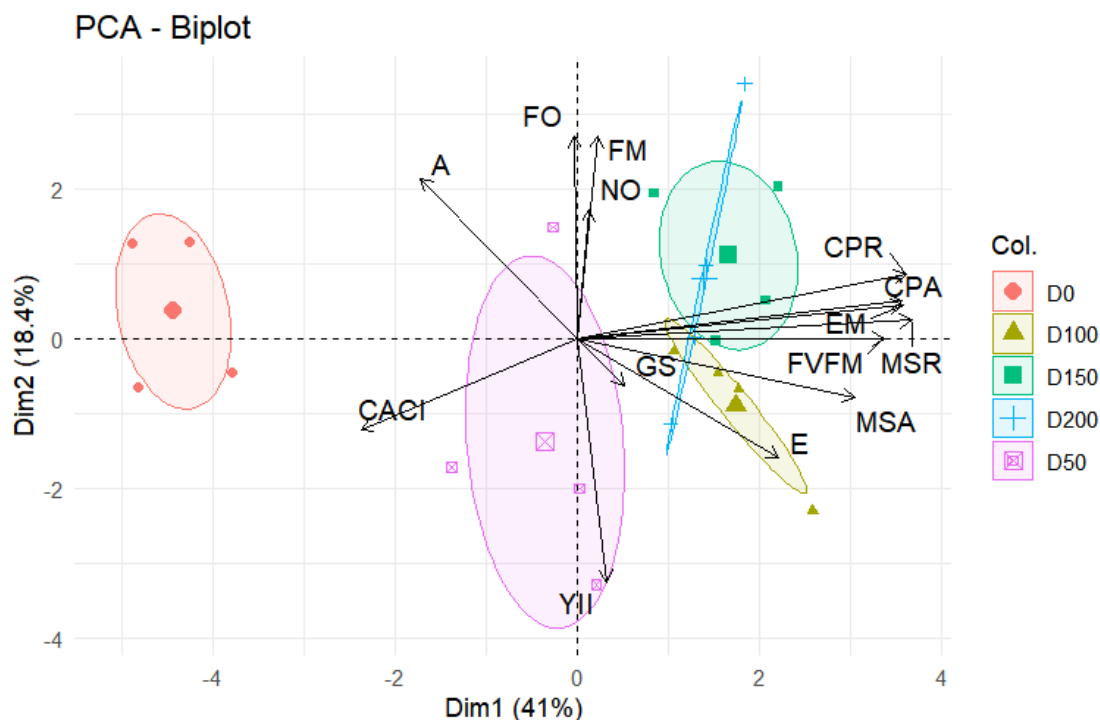


Fig. 5. Análise dos componentes principais (PCA) em variáveis de vigor e fisiologia de plântulas de soja, emergência (EM), comprimento da parte aérea (CP), comprimento da raiz (CR), massa seca da parte aérea (MP), massa seca da raiz (MR), concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a), dados de fluorescência de imagem, rendimento quântico potencial do PSII (F_v/F_m), fluorescência inicial (F_0), rendimento quântico efetivo do PSII (Φ_{II}), rendimento quântico de dissipação de energia não regulamentada do PSII (Φ_{NO}), fluorescência máxima (F_m), para trocas gasosas, taxa fotossintética (A), condutância estomática (g_s) e taxa transpiratória (E) em resposta a diferentes concentrações de bioinsumo à base de *Bacillus* spp. no substrato.

A análise de correlação de Pearson (Fig. 6) indica forte associação entre rendimento quântico potencial do PSII (F_v/F_m) e as variáveis emergência (EM), comprimento da parte aérea (CP), comprimento da raiz (CR), massa seca da parte aérea (MP) e massa seca da raiz (MR), com coeficientes superiores a 0,6. Entre estas variáveis, a correlação mais positiva foi com o comprimento da raiz (CR), com valor de 0,84. A variável emergência (EM) também apresentou correlação positiva com comprimento da parte aérea (CP), comprimento da raiz (CR) e massa seca da raiz (MR), com coeficientes superiores a 0,9, sendo a maior correlação observada com o comprimento da parte aérea (CP), com valor de 0,96. Além dessas correlações, também ocorreu correlação positiva com a massa seca da parte aérea (MP), com valor de 0,63.

A variável comprimento da raiz (CR), por sua vez, apresentou forte correlação com a massa seca da raiz (MR), com valor de 0,93.

Quanto às correlações negativas, foram observadas no rendimento quântico efetivo do PSII (YII) com todas as variáveis, sendo a maior correlação com a taxa fotossintética (A), com valor de -0,57. Além disso, a variável taxa transpiratória (E) apresentou a correlação negativa mais elevada do conjunto, sendo esta correlação também com a taxa fotossintética (A), no valor de -0,77.

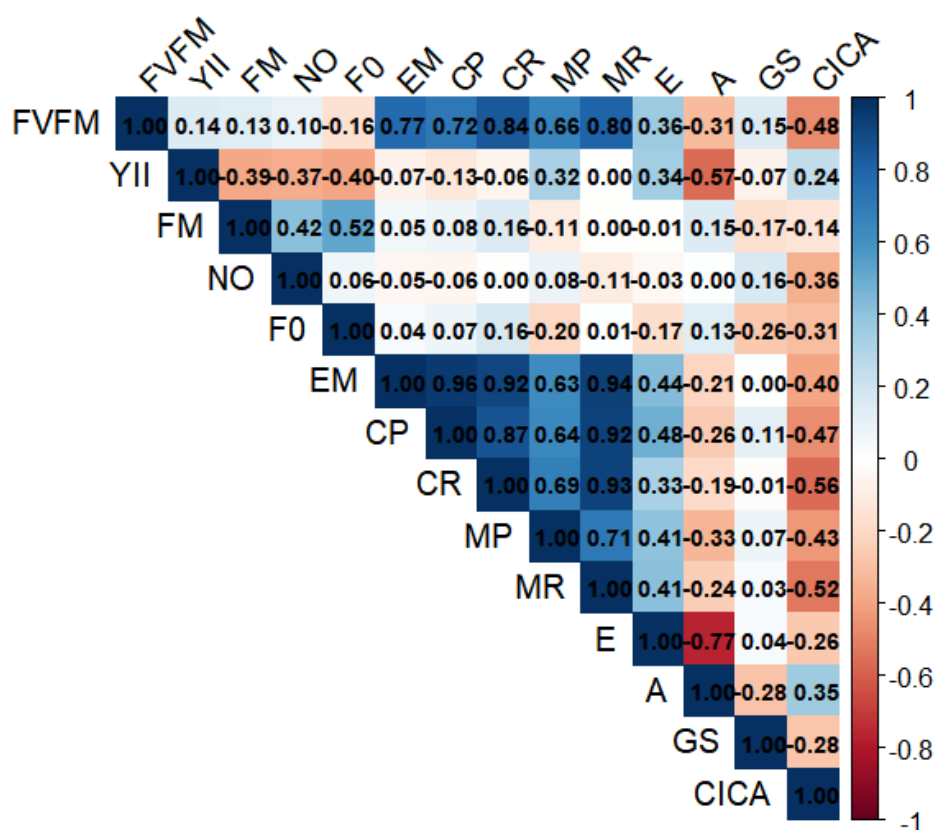


Fig. 6. Matriz de correlação de Pearson de dados de qualidade fisiológica de plântulas de soja, emergência (EM), comprimento da parte aérea (CP), comprimento da raiz (CR), massa seca da parte aérea (MP), massa seca da raiz (MR), dados de fluorescência de imagem, rendimento quântico potencial do PSII (F_v/F_m), fluorescência inicial (F_0), rendimento quântico efetivo do PSII (Φ_{II}), rendimento quântico de dissipação de energia não regulamentada do PSII (Φ_{NO}), fluorescência máxima (F_m), para trocas gasosas, taxa Fotossintética (A), Condutância Estomática (G_s) e Taxa Transpiratória (E). Em Resposta a diferentes concentrações de bioinsumo à base de *Bacillus* spp. no substrato.

4. DISCUSSÃO

As plantas cultivadas com doses superiores a 50 μL apresentaram resposta positiva na taxa de emergência e no comprimento da parte aérea, com maior taxa de crescimento do sistema radicular em 150 μL . Este desempenho está associado à capacidade de o *Bacillus* spp. promover crescimento vegetal (Etesami et al., 2023), utilizando exsudatos liberados pelas raízes das plantas (Valencia-Marin et al., 2024), ampliando a área de absorção radicular, além da produção de fitormônios, como as auxinas (Valencia-Marin et al., 2024), que favorecem a divisão e o alongamento celular (Cortazar-Murillo et al., 2023).

A massa seca das raízes e da parte aérea estão intrinsecamente correlacionadas ao crescimento do comprimento vegetal (Figs. 2A-D). Um sistema radicular mais desenvolvido proporciona maior área de absorção, aumentando, conseqüentemente, a capacidade de aquisição de nutrientes e água (Walne e Reddy, 2022). Esses recursos são transportados via xilema para a parte aérea, onde são utilizados como substrato para a síntese de novos tecidos (Taiz et al., 2017), o que resulta no aumento da biomassa total, contribuindo para o crescimento vegetal.

Em estudos conduzidos por Xu et al. (2022), em condições controladas de cultivo, a bactéria *B. aryabhattai* foi capaz de incrementar a massa seca de plantas do gênero *Arabidopsis*, com aumento significativo de 135% em comparação ao controle. Em *Cicer arietinum* (grão de bico), mesmo cultivado sob estresse biótico por fungo patogênico, cepas de *B. thuringiensis* inibiram a ação do fungo e elevaram a biomassa das raízes (Fátima et al., 2023). Em *Zea mays* (milho), cultivado em solo com baixa disponibilidade de nutrientes, três espécies de *Bacillus* aumentaram significativamente a biomassa total da planta, além do comprimento da raiz e da parte aérea (Sousa et al., 2021).

O rendimento quântico potencial do PSII (F_v/F_m) é um indicador do sistema de proteção da planta. Valores próximos a 0,83 são considerados ideais para a maioria das espécies vegetais (Björkman e Demmig, 1987), refletindo um PSII funcional e sem danos oxidativos. Neste estudo, os tratamentos com bioinsumo apresentaram valores próximos ao ideal, demonstrando que a inoculação com *Bacillus* spp. manteve a integridade e a eficiência fotossintética do PSII das plântulas em condições controladas. Resultados positivos semelhantes, embora obtidos sob estresse, foram elucidados por Al-Shammari et al. (2024), em que valores de F_v/F_m foram maiores em plantas de soja cultivadas com *Bacillus* sob condições de estresse hídrico. Para plantas de *Olea europaea* (Oliveira) submetidas a estresse por seca e salinidade, o mesmo resultado foi atingido, tendo as plantas tratadas com a bactéria alcançado valores ótimos e o

controle permanecido com valores baixos (Galicia-Campos et al., 2023), evidenciando que *Bacillus* spp. é capaz de proteger o PSII.

Ao contrário da eficiência do bioinsumo no rendimento do PSII, nas demais variáveis de fluorescência (Φ_{II} , Φ_{NO} , F_0 , F_m) e nas trocas gasosas (A , g_s , E), não houve diferença estatística entre as doses, indicando que o bioinsumo não influenciou diretamente a eficiência fotossintética ou a regulação estomática. Isto sugere que as plântulas podem ter direcionado os recursos para o desenvolvimento inicial, como o estabelecimento radicular, desencadeando em redução de investimento no sistema fotossintético nesta etapa.

Dessa forma, evidencia-se que o bioinsumo atuou preferencialmente na proteção do PSII, sem alterar a fotossíntese nas folhas em desenvolvimento, sendo esse padrão consistente com folhas imaturas, que têm taxa de fotossíntese e fotorrespiração limitadas (Yang et al., 2019). A alocação preferencial de recursos para o desenvolvimento radicular é evidenciada pelo aumento no comprimento das raízes (Fig. 2B), podendo explicar a estabilidade nas trocas gasosas, tendo em vista que plântulas em estabelecimento podem priorizar a absorção de nutrientes (Cabeza et al., 2024).

Bacillus spp. podem estimular um maior acúmulo de moléculas nos tecidos foliares, provocando modificação anatômica. No presente estudo, foi observada alteração na estrutura do parênquima esponjoso, caracterizada por um aumento nos espaços intercelulares (Figs. 4A-B), acompanhado por um aumento da área marcada por xylidine, sugerindo aumento de acúmulo de compostos proteicos (Figs. 4C-D). Esse efeito pode ter sido mediado pela capacidade de o *Bacillus* spp. sintetizar fitormônios, enzimas e metabólitos secundários (Poveda e González-Andrés, 2021), levando a uma modulação no arranjo anatômico foliar.

Esses achados confirmam os estudos de Yarullina et al. (2022), em que a cepa *B. subtilis*, em combinação com os hormônios alicílico e jasmônico, aumentou a quantidade de 14 tipos de proteínas nas folhas de *Solanum tuberosum* (batata), em associação com respostas contra estresse. As proteínas têm importância crucial no crescimento vegetal, conforme relatam Taiz et al. (2017). Durante essa etapa, as proteínas são constantemente produzidas e secretadas, ao mesmo tempo em que a parede das células aumenta de tamanho e se prepara para a divisão celular.

O agrupamento multivariado das variáveis de vigor CP, CR, EM, MA e MR com F_v/F_m (Fig. 5) e também as correlações positivas entre esses parâmetros (Fig. 6) indicam que o bioinsumo foi capaz de auxiliar na eficiência fotoquímica e também no crescimento vegetativo. Esses resultados foram semelhantes aos achados de Ozfidan-Konakci et al. (2023), em que a

bactéria *B. pumilus* promoveu o crescimento e melhorou o rendimento quântico potencial do PSII (*Fv/Fm*) em plantas de *Triticum aestivum* (trigo) sob estresse salino e arsênio.

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, o cultivo de plântulas de soja em substrato inoculado com bioinsumo à base de *Bacillus* spp. pode promover aumento das variáveis de vigor, como emergência, comprimento e massa seca. Esses resultados foram mais evidentes em concentrações superiores a 50 µL, indicando que o bioinsumo estimulou o crescimento inicial das plântulas de soja. Entretanto, ainda são necessários mais estudos para validar sua ação em condições reais de cultivo.

6. REFERÊNCIAS

ADEDAYO, A. A.; BABALOLA, O. O.; PRIGENT-COMBARET, C. CRUZ, C.; STEFAN, M.; KUTU, F.; GLICK BR. 2022. The application of plant growth-promoting rhizobacteria in *Solanum lycopersicum* production in the agricultural system: a review. *PeerJ*, v. 10, p.1-31. <https://doi.org/10.7717/peerj.13405>.

AL-SHAMMARI, W. B.; AL-HUQUIL, A. A.; ALSHAMMERY, K.; LOTFI, S.; ALTAMIMI, H.; ALSHAMMARI, A.; AL-HARBI, N. A.; RASHED, A. A.; ABDELAAL, K. 2024. Alleviation of drought stress damages by melatonin and *Bacillus thuringiensis* associated with adjusting photosynthetic efficiency, antioxidative system, and anatomical structure of *Glycine max* (L.). *Heliyon*, vol. 10, n.º 14, p. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34754>.

BAGALE, S. 2021. Nutrient management for soybean crops. *International Journal of Agronomy*, vol. 2021, n.º 1, p. 3304634. <https://doi.org/10.1155/2021/3304634>.

BJÖRKMAN, O.; DEMMIG, B. 1987. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta*, vol.170, p. 489-504. <https://doi.org/10.1007/BF00402983>.

BLAKE, C.; CHRISTENSEN, M. N.; KOVÁCS, Á. T. 2021. Molecular aspects of plant growth promotion and protection by *Bacillus subtilis*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, vol. 34, n.º 1, p. 15-25. <https://doi.org/10.1094/MPMI-08-20-0225-CR>.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária. Regras para análise de sementes – RAS. Brasília, DF: MAPA/SDA, [2025]. Disponível em: https://wikisda.agricultura.gov.br/ptbr/Laborat%C3%B3rios/Metodologia/Sementes/RAS_2024. Acesso em: 10 jul. 2025.

CABEZA, A.; CASAS, A. M.; LARRUY, B.; COSTAR, M. A.; MARTÍNEZ, V.; CONTRERAS-MOREIRA, B.; IGARTUA, E. 2024. Genetic control of root/shoot biomass partitioning in barley seedlings. *Frontiers in Plant Science*, vol. 15, p. 1408043. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1408043>.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: safra 2024/2025 - nono levantamento, junho de 2025. 2025. Brasília: Conab, v. 12, n. 9, 2025. 93 p. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/9o-levantamento-safra-2024-25/e-book_boletim-de-safras-9o-levantamento-2025. Acesso em: 28/06/2025.

CORTAZAR-MURILLO, E. M.; MÉNDEZ-BRAVO, A.; MONRIBOT-VILLANUEVA, J. L.; GARAY-SERRANO, E.; KIEL-MARTÍNEZ, A. L.; RAMÍREZ-VÁZQUEZ, M.; GUEVARA-AVENDAÑO, E.; MÉNDEZ-BRAVO, A.; GUERRERO-ANALCO, J. A.; REVERCHON, F. 2023. Biocontrol and plant growth promoting traits of two avocado rhizobacteria are orchestrated by the emission of diffusible and volatile compounds. *Frontiers in Microbiology*, vol. 14, p. 1152597. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1152597>.

DAME, Z. T.; RAHMAN, M.; ISLAM, T. 2021. *Bacilli* as sources of agrobiotechnology: recent advances and future directions. *Green chemistry letters and reviews*, vol. 14, n.º 2, p. 246-271. <https://doi.org/10.1080/17518253.2021.1905080>.

ETESAMI, H.; JEONG, B. R.; GLICK, B. R. 2023. Potential use of *Bacillus* spp. as an effective biostimulant against abiotic stresses in crops—A review. *Current Research in Biotechnology*. vol. 5, p. 1-25. <https://doi.org/10.1016/j.crbiot.2023.100128>.

FATIMA, R.; MAHMOOD, T.; MOOSA, A.; ASLAM, M. N.; SHAKEEL, M. T.; MAQSOOD, A.; SHAFIQ, M. U.; AHMAD, T.; MOUSTAFA, M.; AL-SHEHRI, M. 2023. *Bacillus thuringiensis* CHGP12 uses a multifaceted approach for the suppression of *Fusarium oxysporum* f. sp. ciceris and to enhance the biomass of chickpea plants. *Pest Management Science*, vol. 79, n.º 1, p. 336-348. <https://doi.org/10.1002/ps.7203>.

FINCH-SAVAGE, W. E.; BASSEL, G. W. 2016. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. *Journal of experimental botany*, vol. 67, n.º 3, p. 567-591. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv490>.

GALICIA-CAMPOS, E.; GARCÍA-VILLARACO, A.; MONTERO-PALMERO, M. B.; GUTIÉRREZ-MAÑERO, F. J.; RAMOS-SOLANO, B. 2023. *Bacillus* G7 improves adaptation to salt stress in *Olea europaea* L. plantlets, enhancing water use efficiency and preventing oxidative stress. *Scientific Reports*, vol. 13, n.º 1, p. 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49533-z>.

GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M.; BAKER, N. R. 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – General Subjects* 990, p. 87–92. [https://doi.org/10.1016/S0304-4165\(89\)80016-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4165(89)80016-9).

HENDRICKSON, L.; FÖRSTER, B.; FURBANK, R. T.; CHOW, W. S. 2004. Processes contributing to photoprotection of grapevine leaves illuminated at low temperature. *Physiologia Plantarum*, vol. 121, n.º 2, p. 272-281. <https://doi.org/10.1111/j.0031-9317.2004.0324.x>.

KARNOVSKY, M. J. A. 1965. Formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolarity for use in electron microscopy. *J. Cell Biol*, vol. 7, p.137–138.

KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. 1997. Manual básico de métodos em morfologia vegetal. EDUR. Seropédica.

LOPES, M. J. S.; DIAS-FILHO, M. B.; GURGEL, E. S. C. 2021. Successful plant growth-promoting microbes: inoculation methods and abiotic factors. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, vol. 5, p. 1-13. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.606454>.

LIU, J.; FIMOGNARI, L.; ALMEIDA, J.; JENSEN, C. N. G.; COMPANT, S.; OLIVEIRA, T.; BAEUM, J.; PASTAR, M.; SESSITSCH, A.; MOELBAK, L.; LIU, F. 2023. Effect of *Bacillus paralicheniformis* on soybean (*Glycine max*) roots colonization, nutrient uptake and water use efficiency under drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, vol. 209, n.º 4, p. 547-565. <https://doi.org/10.1111/jac.12639>.

LUO, L.; ZHAO, C.; WANG, E.; RAZA, A.; YIN, C. 2022. *Bacillus amyloliquefaciens* as an excellent agent for biofertilizer and biocontrol in agriculture: An overview for its mechanisms. *Microbiological research*, vol. 259, p. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127016>.

NAKAGAWA, J. 1999. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C. et al. Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: ABRATES.

O'BRIEN, T. P.; FEDER, N.; MCCULLY, M. E. 1964. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. *Protoplasma*, vol. 59, p.368-373. <https://doi.org/10.1007/BF01248568>.

O'BRIEN, T. P.; MCCULLY, M. E. 1981. The study of plant structure principles and selected methods. Termarcaphi Pty. Ltda, Melbourne.

OXBOROUGH, K.; BAKER, N. R. 1997. Resolving chlorophyll a fluorescence images of photosynthetic efficiency into photochemical and nonphotochemical components—calculation of qP and Fv/Fm—; without measuring Fo. *Photosynth Res*, vol. 54, p.135-142. <https://doi.org/10.1023/A:1005936823310>.

OZFIDAN-KONAKCI, C.; ARIKAN, B.; ALP-TURGUT, F. N.; BALCI, M.; UYSAL, A.; YILDIZTUGAY, E. 2023. Halotolerant plant growth-promoting bacteria, *Bacillus pumilus*, modulates water status, chlorophyll fluorescence kinetics and antioxidant balance in salt and/or arsenic-exposed wheat. *Environmental Research*, vol. 231, p. 116089. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116089>.

PIRTTILÄ, A. M.; TABAS, H. M. P.; BARUAH, N.; KOSKIMÄKI, J. J. 2021. Biofertilizers and biocontrol agents for agriculture: How to identify and develop new potent microbial strains and traits. *Microorganisms*, vol. 9, n.º 4, p. 817-833. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9040817>.

POVEDA, J.; GONZÁLEZ-ANDRÉS, F. 2021. *Bacillus* as a source of phytohormones for use in agriculture. *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 105, n. 23, p. 8629-8645. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11492-8>.

RAFIQUE, M.; NAVEED, M.; MUMTAZ, M. Z.; NIAZ, A.; ALAMRI, S.; REHMAN, S.; SIDDIQUI, M. H.; MUSTAFA, A. 2025. Tripartite microbial augmentation of *Bradyrhizobium diazoefficiens*, *Bacillus* sp. MN54, and *Piriformospora indica* on growth,

yield, and nutrient profiling of soybean (*Glycine max* L.). *Frontiers in Microbiology*, vol. 15, p. 1437489. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1437489>.

SOUSA, S. M.; OLIVEIRA, C. A.; ANDRADE, D. L.; CARVALHO, C. G.; RIBEIRO, V. P.; PASTINA, M. M.; MARRIEL, I. E.; LANA, U. G. P.; GOMES, E. A. 2021. Tropical *Bacillus strains* inoculation enhances maize root surface area, dry weight, nutrient uptake and grain yield. *Journal of Plant Growth Regulation*, vol. 40, n.º 2, p. 867-877, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10146-9>.

STANIAK, M.; SZPUNAR-KROK, E.; KOCIRA, A. 2023. Responses of soybean to selected abiotic stresses—Photoperiod, temperature and water. *Agriculture*, vol. 13, n.º 1, p. 146-173. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010146>.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MØLLER, I. M.; MURPHY, A. 2017. Plant physiology and development. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

VALENCIA-MARIN, M. F.; CHÁVEZ-AVILA, S.; GUZMÁN-GUZMÁN, P.; OROZCO-MESQUITA, M. C.; DE LOS SANTOS-VILLALOBOS, S.; GLICK, B. R.; SANTOYO, G. 2024. Survival strategies of *Bacillus* spp. in saline soils: Key factors to promote plant growth and health. *Biotechnology Advances*, vol. 70, p. 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2023.108303>.

WALNE, C. H.; REDDY, K. R. 2022. Temperature effects on the shoot and root growth, development, and biomass accumulation of corn (*Zea mays* L.). *Agriculture*, vol. 12, n. 4, p. 443.

XU, H.; GAO, J. Y.; PORTIELES, R.; DU, L.; GAO, X.; BORRAS-HIDALGO, O. 2022. Endophytic bacterium *Bacillus aryabhattai* induces novel transcriptomic changes to stimulate plant growth. *PLoS One*, vol. 17, n.º 8, p. 1-20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272500>.

YANG, Y. J.; ZHANG, S. B.; WANG, J. H.; HUANG, W. 2019. Photosynthetic regulation under fluctuating light in field-grown *Cerasus cerasoides*: A comparison of young and mature leaves. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, vol. 1860, n.º 11, p. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2019.148073>.

YARULLINA, L. G.; TSVETKOV, V. O.; KHABIBULLINA, V. O.; CHEREPANOVA, E. A.; BURKHANOVA, G. F.; ZAIKINA, E. A.; KALATSKAYA, J. N. 2022. Impact of *Bacillus subtilis* Bacteria in Combination with Salicylic and Jasmonic Acids on Changing the Proteome of Potato Leaves when Infected by *Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary and with a Moisture Deficit. *Russian Journal of Plant Physiology*, vol. 69, n. 4, p. 81. <https://doi.org/10.1134/S1021443722040215>.