

UniRV - UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

**POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE SOJA TRATADAS
COM BIOINSUMOS SOB ESTRESSE HÍDRICO E SALINO**

NATHÁLIA DE SOUZA PAULINO
Magister Scientiae

RIO VERDE
GOIÁS – BRASIL
2026

NATHÁLIA DE SOUZA PAULINO

**POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE SOJA TRATADAS COM
BIOINSUMOS SOB ESTRESSE HÍDRICO E SALINO**

**Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de
Rio Verde, como parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção
do título de *Magister Scientiae***

**RIO VERDE
GOIÁS – BRASIL**

2026

Universidade de Rio Verde
Biblioteca Luiza Carlinda de Oliveira
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – (CIP)

P353p Paulino, Nathália de Souza

Potencial fisiológico de sementes de soja tratadas com bioinsumos sob estresse hídrico e salino. / Nathália de Souza Paulino. – 2026.
67 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Givanildo Zildo da Silva.
Coorientador: Prof. Dr. Ricardo de Castro Dias.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Rio Verde - UniRV, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, 2026.

Inclui índice de figuras.

1. Mudanças climáticas. 2. Estresse hídrico. 3. Salinidade. 4. Bioinsumo. I. Silva, Givanildo da. II. Dias, Ricardo de Castro. III. Título.

CDD: 631.84


Bibliotecário: Juatan Tiago da Silva – CRB 1/3158

NATHÁLIA DE SOUZA PAULINO


**“POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE SOJA SOB ESTRESSES ABIÓTICOS
POR MEIO DO TRATAMENTO DE SEMENTES COM BIOINSUMOS”**

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*


APROVAÇÃO: 23 de janeiro de 2026

Documento assinado digitalmente
 **GIVANILDO ZILDO DA SILVA**
Data: 04/02/2026 14:22:38-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>


Prof. Dr. Givanildo Zildo da Silva
Presidente da Banca Examinadora
PPGPV – UniRV

Documento assinado digitalmente
 **JOSE DE OLIVEIRA CRUZ**
Data: 23/01/2026 11:56:47-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. José de Oliveira Cruz
Membro externo – UnB

Documento assinado digitalmente
 **FABIANO SIMPLICIO BEZERRA**
Data: 23/01/2026 11:31:04-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Fabiano Simplicio Bezerra
Membro – PPGPV/UniRV

Documento assinado digitalmente
 **JUNE FARIA SCHERRER MENEZES**
Data: 03/02/2026 16:28:10-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. June Faria Scherrer Menezes
Membro – PPGPV/UniRV

DEDICATÓRIA

Dedico esta conquista exclusivamente a Deus, cuja graça me sustentou em cada momento de dificuldade e sua presença foi minha maior motivação.

Pois d'Ele, por Ele e para Ele são todas as coisas. (Romanos 11:36).

AGRADECIMENTOS

A Deus, a fonte inesgotável de toda a minha força, fé e sabedoria. A Ele, toda a honra e glória, por me permitir vivenciar este sonho.

Aos meus amados filhos Helena e Davi, minha razão de ser e o motor que me impulsionou a seguir em frente. Cada momento de superação foi por vocês. Vocês são a prova de que o amor é a maior força para não desistir.

Ao meu companheiro de vida, Leandro, por sua paciência, incentivo inabalável e constante companheirismo, amor e apoio, que tornaram possível conciliar os estudos com a vida familiar.

Aos meus amados pais Irlane e Marcos, e aos meus irmãos, Carolina e Marcos Samuel, pelo apoio, orações e todas as ajudas necessárias. Vocês são o meu alicerce!

Ao meu querido orientador Dr. Givanildo Zildo, por sua generosidade intelectual, por partilhar o seu conhecimento e, especialmente, por ter acreditado em mim, mesmo nos momentos em que pensei em desistir. Seu incentivo e confiança foram decisivos para a conclusão deste trabalho.

E a toda a equipe da UniRV, que direta ou indiretamente contribuiu para a minha formação e jornada.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iv
RESUMO GERAL.....	vii
GENERAL ABSTRACT.....	viii
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO DE LITERATURA.....	1
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Qualidade fisiológica de sementes e estabelecimento inicial da soja.....	2
2.2 Estresse hídrico na germinação de sementes de soja.....	4
2.3 Estresse salino na germinação de sementes de soja.....	6
2.3.1 Bioinsumos no tratamento de sementes como estratégia de mitigação de estresses abióticos.....	8
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	10
CAPÍTULO 2. BIOINSUMOS NO TRATAMENTO DE SEMENTES COMO ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO DO ESTRESSE SALINO NA GERMINAÇÃO E FORMAÇÃO DE PLÂNTULAS DE SOJA.....	15
RESUMO.....	15
ABSTRACT.....	16
1 INTRODUÇÃO.....	17
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4 CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32
CAPÍTULO 3. BIOINSUMOS NO TRATAMENTO DE SEMENTES COMO ESTRATÉGIA SUSTENTÁVEL PARA A MITIGAÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO NA GERMINAÇÃO.....	35
RESUMO.....	35
ABSTRACT.....	36
1 INTRODUÇÃO.....	37
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4 CONCLUSÕES.....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Germinaçãool (A), Primeira Contagem de Germinação (C) e Índice de Velocidade de Germinação – IVG (E) da soja cv. ‘Guepardo’ e Germinação (B), Primeira Contagem de Germinação – PCG (D) e Índice de Velocidade de Germinação – IVG (D) da soja cv. ‘Olimpo’ sob estresses salinos e tratamentos de sementes.....	22
FIGURA 2	Resultados da Primeira Contagem de Germinação (PCG) do teste de Scott-Knott para tratamento de sementes da cultivar de soja Olimpo.....	23
FIGURA 3	Plântulas anormais e sementes mortas da cultivar de soja ‘Guepardo’ (A) e plântulas anormais (B) e sementes mortas (C) da cultivar de soja ‘Olimpo’ sob estresse salino e tratamento de sementes.....	24
FIGURA 4	Comprimento da raiz e da parte aérea (A) e massa seca da raiz e da parte aérea (B) da cultivar de soja ‘Guepardo’ e comprimento da raiz e da parte aérea (C) e massa seca da raiz e da parte aérea (D) da cultivar de soja ‘Olimpo’ sob estresse salino e tratamento de sementes.....	25
FIGURA 5	Frequência relativa da cultivar de soja ‘Guepardo’ sob estresse salino de 0 MPa (A), -0,3 MPa (B), -0,6 MPa (C), -0,9 MPa (D), -1,2 MPa (E) e tratamento de sementes.....	26
FIGURA 6	Frequência relativa da cultivar de soja ‘Olimpo’ sob estresse salino de 0 MPa (A), -0,3 MPa (B), -0,6 MPa (C), -0,9 MPa (D), -1,2 MPa (E) e tratamento de sementes.....	28
FIGURA 7	Análise de Componentes Principais das cultivares de soja ‘Guepardo’ e ‘Olimpo’ sob estresse salino e tratamento de sementes.....	29
FIGURA 8	Germinação sementes de soja Brasmax Guepardo IPRO submetidas para as diferentes capacidades de retenção de água em substrato areia.....	40
FIGURA 9	Germinação sementes de soja Brasmax Olimpo IPRO, tratadas com T1 – controle sementes sem tratamento, T2- Bacillus aryabhattai; T3 - Bacillus aryabhattai e Bacillus haynesii; T4 composto por extrato a base da alga Ascophyllum nodosum, fósforo e molibdênio; T5 - Fertilizante mineral constituído de nitrogênio, cobre, molibdênio e zinco, submetidas para as diferentes capacidades de retenção de água em substrato areia.....	41

FIGURA 10	Resultados da Primeira Contagem de Germinação (PCG) do teste de Scott-Knott para tratamento de sementes da cultivar de soja Olimpo.....	42
FIGURA 11	(A) Primeira Contagem de Germinação (PCG) cv. Gupeardo, (B) Primeira Contagem de Germinação (PCG) cv. Olimpo.....	43
FIGURA 12	Sementes Mortas de soja Brasmax Guepardo IPRO submetidas para diferentes capacidades de retenção de água em substrato areia.....	44
FIGURA 13	Índice de Velocidade de Germinação de soja Brasmax Guepardo IPRO submetidas para diferentes capacidades de retenção de água em substrato areia.....	45
FIGURA 14	Índice de velocidade de derminação sementes de soja Brasmax Olimpo IPRO, tratadas com T1 – controle sementes sem tratamento, T2- <i>Bacillus aryabhattai</i> ; T3 - <i>Bacillus aryabhattai</i> e <i>Bacillus haynesii</i> ; T4 composto por extrato a base da alga <i>Ascophyllum nodosum</i> , fósforo e molibdênio; T5 - Fertilizante mineral constituído de nitrogênio, cobre, molibdênio e zinco, submetidas a diferentes capacidades de retenção de água em substrato areia.....	45
FIGURA 15	Tempo médio de Germinação de soja Brasmax Guepardo IPRO submetidas para diferentes capacidades de retenção de água em substrato areia.....	46
FIGURA 16	Tempo médio de Germinação de soja Brasmax Olimpo IPRO submetidas para diferentes capacidades de retenção de água em substrato areia.....	47
FIGURA 17	Frequência relativa de sementes de soja cultivar Guepardo, submetidas aos tratamentos (A)– controle sementes sem tratamento, (B)- <i>Bacillus aryabhattai</i> CMAA 1363 1×10^8 unidade formadora de colônias mL ⁻¹ ; (C) - <i>Bacillus aryabhattai</i> CBMAI 1120 $2,1 \times 10^{12}$ endósporos viáveis L ⁻¹ ; <i>Bacillus circulans</i> CCT 0026 $3,0 \times 10^{11}$ endósporos viáveis L ⁻¹ e <i>Bacillus haynesii</i> CCT 7926 $8,8 \times 10^{11}$ endósporos viáveis L ⁻¹ ; (D) composto por extrato a base da alga <i>Ascophyllum nodosum</i> , fósforo (P ₂ O ₅ 10,2 g L ⁻¹) e molibdênio (Mo 10,2 g L ⁻¹); (E) - Fertilizante mineral constituído de nitrogênio (N 65,1 g L ⁻¹), cobre (Cu 304 g L ⁻¹), molibdênio (Mo 84,0 g L ⁻¹) e zinco (Zn 619 g L ⁻¹) de sementes, avaliadas em diferentes capacidades de retenção de água do substrato (5, 15, 30, 60 e 120%).....	49

FIGURA 18	Análise de Componentes Principais (ACP) de tratamentos de sementes de soja das cultivares Guepardo e Olimpo, sob aplicação de bioinsumos e diferentes capacidades de retenção hídrica, com formação de grupos de qualidade fisiológica.....	50
-----------	---	----

RESUMO GERAL

PAULINO, N. de S., UniRV – Universidade de Rio Verde, janeiro de 2026. **Potencial fisiológico de sementes de soja sob estresses abióticos por meio de tratamento de sementes com bioinsumos.** Orientadora: Prof. Dr. Givanildo Zildo da Silva. Coorientador: Dr. Ricardo Castro Dias.

A germinação e o desenvolvimento das plântulas são, além do florescimento, um dos períodos de maior exigência a fatores de salinidade e disponibilidade hídrica para a cultura da soja. Ressalta-se que, a semeadura frequentemente ocorre sob adversidades impostas por fatores climáticos, o que aumenta a suscetibilidade da cultura às condições edafoclimáticas. Ademais, o manejo químico inadequado do solo pode intensificar processos de salinização, comprometendo o estabelecimento inicial das plantas. O estresse hídrico, caracterizado pela deficiência de água no solo, interfere diretamente, na embebição das sementes, reduz a atividade metabólica e limita processos fisiológicos essenciais, como a ativação enzimática e a expansão celular, resultando em atraso ou redução na germinação e no crescimento inicial das plântulas. Diante da importância da sojicultura na região Centro-Oeste e dos cenários associados às mudanças climáticas, objetivou-se avaliar o uso de bioinsumos, no tratamento de sementes de soja, submetidas aos estresses abióticos na germinação e formação de plântulas das cultivares de soja. Foram conduzidos dois experimentos, ambos em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 (tratamentos de sementes) \times 5 (níveis de estresse), variando apenas a natureza do estresse abiótico avaliado (salino e hídrico). As cultivares de soja utilizadas foram Brasmax Olimpo IPRO e Brasmax Guepardo IPRO. Os tratamentos de sementes consistiram em: T1 – controle (sementes sem tratamento); T2 – aplicação de *Bacillus aryabhattai* (CMAA 1363; 1×10^8 UFC mL⁻¹); T3 – coinoculação com *Bacillus aryabhattai* (CBMAI 1120; $2,1 \times 10^{12}$ endósporos L⁻¹), *Bacillus circulans* (CCT 0026; $3,0 \times 10^{11}$ endósporos L⁻¹) e *Bacillus haynesii* (CCT 7926; $8,8 \times 10^{11}$ endósporos L⁻¹); T4 – extrato de alga *Ascophyllum nodosum* com fósforo ($10,2$ g L⁻¹ de P₂O₅) e molibdênio ($10,2$ g L⁻¹ de Mo); e T5 – fertilizante mineral com nitrogênio ($65,1$ g L⁻¹), cobre (304 g L⁻¹), molibdênio ($84,0$ g L⁻¹) e zinco (619 g L⁻¹). No experimento de estresse salino, os níveis foram definidos pelos potenciais osmóticos de 0, -0,3, -0,6, -0,9 e -1,2 MPa. No experimento de estresse hídrico, os tratamentos foram impostos, por meio de níveis de umedecimento do substrato correspondentes a: 15, 30, 60, 100 e 120% da capacidade de retenção de água (CR). Avaliou-se: germinação, plântulas anormais, sementes mortas, primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação, frequência relativa da germinação e comprimento. Os tratamentos com bioinsumos foram comparados por teste de Tukey a 5% de probabilidade. Já os fatores quantitativos e níveis de estresses abióticos, quando verificada diferença significativa, foram submetidos à análise de regressão. A comparação entre as cultivares foi por meio de estatística multivariada de análise de componentes principais. Os tratamentos de sementes com extrato de algas, fertilizante mineral e bioinsumos à base de *Bacillus spp.* reduziram os efeitos da salinidade e do estresse hídrico, favorecendo a germinação e o vigor das plântulas.

Palavras-Chave: Mudanças climáticas; Estresse hídrico; Salinidade; Condições adversas.

GENERAL ABSTRACT

PAULINO, N. de S. UniRV – University of Rio Verde, January 2026. **Physiological potential of soybean seeds under abiotic stresses through seed treatment with bioinputs.** Advisor: Prof. Dr. Givanildo Zildo da Silva. Co-advisor: Dr. Ricardo Castro Dias.

The germination and early seedling development stages, together with flowering, represent some of the most sensitive periods of soybean (*Glycine max*) growth with respect to water availability and soil salinity. It is noteworthy that sowing often occurs under adverse climatic conditions, which increases crop susceptibility to edaphoclimatic constraints. In addition, inadequate chemical management of the soil may intensify salinization processes, thereby compromising the initial establishment of plants. Water stress, characterized by soil water deficiency, directly interferes with seed imbibition, reduces metabolic activity, and limits essential physiological processes such as enzymatic activation and cell expansion, resulting in delayed or reduced germination and early seedling growth. Considering the importance of soybean production in the Central-West region of Brazil and the scenarios associated with climate change, this study aimed to evaluate the use of bioinputs in soybean seed treatment under abiotic stresses during germination and seedling formation in different cultivars. Two experiments were conducted in a completely randomized design arranged in a 5×5 factorial scheme (five seed treatments and five stress levels), differing only in the nature of the abiotic stress evaluated (salinity and water stress). The soybean cultivars used were Brasmax Olimpo IPRO and Brasmax Guepardo IPRO. The seed treatments consisted of: T1 – control (untreated seeds); T2 – application of *Bacillus aryabhatai* (CMAA 1363; 1×10^8 CFU mL⁻¹); T3 – co-inoculation with *Bacillus aryabhatai* (CBMAI 1120; 2.1×10^{12} endospores L⁻¹), *Bacillus circulans* (CCT 0026; 3.0×10^{11} endospores L⁻¹) and *Bacillus haynesii* (CCT 7926; 8.8×10^{11} endospores L⁻¹); T4 – seaweed extract from *Ascophyllum nodosum* enriched with phosphorus (10.2 g L^{-1} of P₂O₅) and molybdenum (10.2 g L^{-1} of Mo); and T5 – mineral fertilizer containing nitrogen (65.1 g L^{-1}), copper (304 g L^{-1}), molybdenum (84.0 g L^{-1}), and zinc (619 g L^{-1}). In the salinity stress experiment, the stress levels were defined by osmotic potentials of 0, -0.3, -0.6, -0.9, and -1.2 MPa. In the water stress experiment, treatments were established by substrate moisture levels corresponding to 15, 30, 60, 100, and 120% of the water retention capacity (WRC). The evaluated variables were germination, abnormal seedlings, dead seeds, first germination count, germination speed index, relative germination frequency, and seedling length. Seed treatments were compared using Tukey's test at a 5% probability level. Quantitative factors, represented by the levels of abiotic stress, when significant, were subjected to regression analysis. The comparison between cultivars was performed using multivariate statistical analysis through principal component analysis. The results indicated that seed treatments with seaweed extract, mineral fertilizer, and bioinputs based on *Bacillus* spp. reduced the effects of salinity and water stress, promoting improved germination and seedling vigor in soybean.

Keywords: Climate change; Water stress; Salinity; Adverse conditions.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO DE LITERATURA

1 INTRODUÇÃO GERAL

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merr.) é uma das principais commodities agrícolas do agronegócio brasileiro. O Brasil destaca-se como o maior produtor mundial da oleaginosa, com produção superior a 150 milhões de toneladas e participação aproximada de 40% da produção global, seguido por Estados Unidos e Argentina. Esse cenário consolida o país também, entre os maiores exportadores mundiais de soja, desempenhando papel estratégico no abastecimento do mercado internacional e na geração de divisas para o setor agropecuário nacional (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, 2025). Esta relevância econômica e estratégica exige a constante busca por práticas de manejo que garantam altas produtividades e, sobretudo, a estabilidade da produção em diferentes ambientes.

Um dos maiores desafios enfrentados pela sojicultura é a ocorrência de estresses abióticos durante as fases iniciais de desenvolvimento da planta, especificamente a germinação e o estabelecimento da plântula (Taiz *et al.*, 2017). Estas fases fenológicas, que dependem criticamente da qualidade da semente e das condições ambientais no momento da semeadura, períodos de extrema sensibilidade à deficiência hídrica, induz ao estresse hídrico, e ao excesso de sais no solo, associado à salinidade (Altomare *et al.*, 1999; Souza *et al.*, 2020).

Os estresses abióticos (hídrico e salino) são particularmente preocupantes, pois reduzem o potencial osmótico do meio, limitando a absorção de água pelas sementes e plântulas, comprometendo o metabolismo, a divisão e o alongamento celular, e culminando na redução do potencial fisiológico das sementes (Munns; Tester, 2008).

Mudanças climáticas globais têm intensificado a frequência e a severidade desses eventos (IPCC, 2023), tornando o ambiente de semeadura cada vez mais imprevisível e adverso.

Diante desse cenário, a busca por tecnologias que mitiguem os efeitos deletérios dos estresses abióticos é fundamental. O tratamento de sementes (TS) com bioinsumos surgiu como uma ferramenta promissora. Bioinsumos são produtos ou tecnologias de origem vegetal, animal ou microbiana incluindo extratos vegetais e substâncias orgânicas utilizados na agricultura para promover o crescimento das plantas, melhorar a saúde do solo e aumentar a produtividade com menor impacto ambiental, interagindo com processos físico-químicos e biológicos no sistema produtivo (Brasil, 2024).

Em sementes, o uso de bioinsumos, como bactérias promotoras de crescimento (e.g., *Bacillus* spp. e rizóbios), pode estimular a germinação, modular a resposta da plântula ao estresse e promover um melhor estabelecimento inicial, através da produção de hormônios, solubilização de nutrientes e indução de tolerância aos estresses (Bhatti *et al.*, 2021). A aplicação desses insumos diretamente na semente é uma estratégia eficiente, de baixo custo e alinhada às práticas de agricultura sustentável.

Portanto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficácia do uso de bioinsumos no tratamento de sementes de diferentes cultivares de soja, quanto ao potencial fisiológico, expresso por germinação e vigor, quando submetidas a estresses abióticos de natureza hídrica e salina.

Espera-se que os resultados desta pesquisa contribuam com dados científicos relevantes, para a comunidade agrícola, fornecendo subsídios para o uso de bioinsumos no tratamento de sementes de soja, como estratégia potencial de mitigação dos efeitos de estresses edafoclimáticos adversos, especialmente nas fases iniciais de desenvolvimento da cultura, em um contexto de intensificação dos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Qualidade fisiológica de sementes e estabelecimento inicial da soja

A qualidade fisiológica das sementes é um fator determinante para o estabelecimento inicial das culturas agrícolas, sendo expressa principalmente pelos atributos de germinação e vigor. A germinação corresponde à capacidade da semente de originar uma plântula normal em condições favoráveis de ambiente, o vigor relaciona-se ao potencial de desempenho das sementes, em uma ampla faixa de condições, refletindo a velocidade, uniformidade e robustez do processo germinativo e da emergência das plântulas (Krzyzanowski; Vieira; França-Neto, 1999; Marcos-Filho, 2015). Na cultura da soja, o estabelecimento inicial é considerado uma fase crítica do ciclo produtivo, pois influencia diretamente a formação do estande de plantas e a uniformidade da lavoura, fatores essenciais para a expressão do potencial produtivo da cultura. Sementes com elevado vigor apresentam maior integridade das membranas celulares, maior eficiência metabólica e maior capacidade de mobilização das reservas armazenadas, características que favorecem a rápida germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas

(Marcos-Filho, 2015). Além disso, lotes de sementes com maior qualidade fisiológica tendem a apresentar maior tolerância a condições ambientais adversas durante a semeadura e emergência, como variações de temperatura, deficiência hídrica e impedimentos físicos do solo (Peske; Villela; Meneghello, 2012). Neste contexto, a utilização de sementes de alta qualidade fisiológica é fundamental para garantir emergência rápida e uniforme no campo, contribuindo para o estabelecimento adequado da cultura e para a obtenção de sistemas produtivos mais eficientes e sustentáveis (França-Neto; Krzyzanowski, 2019).

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merr.) é mundialmente reconhecida por sua importância econômica, servindo como principal fonte de proteína vegetal para ração animal e de óleo comestível (EMBRAPA, 2021). O sucesso da produção é determinado, em grande parte, pela qualidade da semente e pelo estabelecimento inicial da lavoura, que compreende a germinação e o desenvolvimento da plântula (Marcos Filho, 2015).

A produtividade da soja não é um evento que acontece na colheita, é uma construção cumulativa que começa mesmo antes da emergência. O vigor fisiológico da soja nos estágios iniciais de seu desenvolvimento e a utilização de sementes de alta qualidade são decisivos para a obtenção de bons índices de produtividade e para a validação da rentabilidade da produção, compondo diferenciais em favor do êxito do sistema produtivo (Scheeren *et al.*, 2010).

A qualidade fisiológica (QF) de sementes, por exemplo, influencia diretamente em aspectos como o tempo de emergência – mais curto, no caso de sementes com maior QF –, além de produzirem mais matéria seca e mais área foliar, todos aspectos determinantes de uma boa produtividade (Baron *et al.*, 2018).

A arquitetura do estande estabelecida no início do ciclo também exerce papel determinante. Ainda que a cultura possua mecanismos de compensação vegetativa para ocupar espaços vazios (plasticidade fenotípica), tal habilidade não é irrestrita. Segundo Balbinot Júnior e Moreira (2018), a existência de falhas severas, apresentadas mediante variações extremas na população, compromete a eficiência do sistema produtivo, uma vez que a capacidade de ramificação da planta não é suficiente para recuperar a interceptação luminosa, resultando em prejuízos de produção.

Embora para os grãos, do ponto de vista quantitativo, o ponto decisivo resida durante os estágios reprodutivos, é durante a fase vegetativa (VE a R1) em que a planta irá originar as estruturas fotossintéticas essenciais, para a produção da biomassa, por meio da absorção e da assimilação de nutrientes – por exemplo, o número de nós é determinado justamente durante esse intervalo do desenvolvimento (Vogel *et al.*, 2021).

A vulnerabilidade da soja na fase de estabelecimento é amplificada pela ocorrência de

estressores abióticos propiciados por variáveis: químicas, edáficas, compactação, temperatura do solo ou físico-hídricas, dentre outras. Por exemplo, o estresse nutricional, propiciado pela ausência ou pelo excesso de nutrientes (como nitrogênio mineral), pode promover dificultadores no estabelecimento inicial da cultura (Zuffo *et al.*, 2019).

Concomitantemente, a salinidade na fase de germinação também é demonstrada como capaz de afetar de forma determinante a bioquímica da planta (Bonifácio *et al.*, 2019). Além disso, o fechamento de estômatos causado pelo estresse hídrico durante o estágio V3/V4 também interfere negativamente no que diz respeito a produção de biomassa aérea (Alves *et al.*, 2023).

Lidar e superar estes estressores abióticos é fundamental para a garantia de êxito produtivo e para a obtenção de índices de produtividade, que viabilizem financeiramente a sojicultura, sendo objeto de intenso estudo e revisão acadêmica.

3.2 Estresse hídrico na germinação de sementes de soja

O estresse hídrico é um dos principais fatores abióticos, que limitam o estabelecimento inicial das culturas agrícolas, influenciando diretamente a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas. A germinação das sementes depende da absorção de água para a reativação do metabolismo do embrião, processo que envolve a reorganização das membranas celulares, a ativação enzimática e a mobilização das reservas acumuladas nos tecidos de armazenamento.

Quando a disponibilidade de água no substrato é limitada, esses processos são comprometidos, reduzindo a velocidade e a porcentagem de germinação, além de afetar negativamente o vigor das plântulas (Marcos-Filho, 2015; Peske; Villela; Meneghello, 2012).

Na cultura da soja, essa fase inicial é particularmente sensível às condições de umidade do solo, uma vez que o sucesso da germinação e da emergência determina a formação de um estande adequado e uniforme no campo.

Diversos estudos demonstraram que a redução do potencial hídrico do substrato provoca alterações fisiológicas importantes durante a germinação. Em experimentos conduzidos com sementes de soja submetidas a diferentes potenciais osmóticos induzidos por soluções de polietilenoglicol (PEG 6000), observou-se redução significativa na germinação, no crescimento das plântulas e no acúmulo de biomassa à medida que o potencial hídrico se torna mais negativo (Braccini *et al.*, 1998). Nos experimentos, sementes germinadas em substratos com potenciais de até $-0,8$ MPa apresentaram redução significativa na qualidade fisiológica, demonstrando a sensibilidade da soja ao déficit hídrico durante a germinação.

Resultados semelhantes foram observados em outros estudos que avaliaram diferentes genótipos de soja sob condições de estresse hídrico induzido por PEG. Nesses trabalhos, verificou-se que, a redução do potencial osmótico a partir de aproximadamente $-0,2$ MPa já provoca diminuição da germinação e do vigor das sementes, além de afetar características relacionadas, ao crescimento inicial das plântulas, como comprimento radicular e massa seca (Moreno Ruiz; Menechini; Ortiz, 2025). Além disso, diferentes cultivares apresentaram respostas distintas, ao déficit hídrico, indicando variabilidade genética para tolerância ao estresse durante a fase de germinação (Teixeira *et al.*, 2008).

O déficit hídrico também interfere em processos fisiológicos essenciais ao desenvolvimento inicial das plantas. A restrição na disponibilidade de água reduz a expansão celular e a alongação dos tecidos embrionários, comprometendo principalmente o crescimento da radícula e do hipocótilo. Conseqüentemente, a emergência das plântulas pode tornar-se mais lenta ou irregular, resultando em falhas no estande e maior competição entre plantas no campo. Estudos experimentais demonstram que potenciais osmóticos mais negativos afetam de forma mais intensa o vigor das sementes do que a própria germinação, evidenciando que o estresse hídrico compromete principalmente a qualidade fisiológica e o crescimento inicial das plântulas (Braccini *et al.*, 1996).

Diante desse cenário, o desenvolvimento de tecnologias capazes de reduzir os efeitos do déficit hídrico na fase inicial da cultura tem recebido crescente atenção, destaca-se o tratamento de sementes com bioinsumos, que incluem microrganismos benéficos, extratos vegetais e substâncias orgânicas capazes de estimular processos fisiológicos relacionados ao crescimento e à tolerância ao estresse abiótico. Esses produtos podem atuar promovendo maior eficiência na absorção de água e nutrientes, além de estimular mecanismos fisiológicos associados à tolerância ao estresse hídrico, favorecendo a germinação e o vigor das plântulas em condições adversas (Marcos-Filho, 2015). Neste contexto, o uso de bioinsumos no tratamento de sementes surge como uma alternativa promissora para melhorar o estabelecimento inicial da soja em ambientes sujeitos à limitação hídrica.

Condições de solo adversas, sejam elas químicas, edáficas ou climáticas desfavoráveis, especialmente, o atual panorama da sojicultura no Brasil, que é realizada em janelas, expõem sementes e plantas aos determinantes de estresse abiótico, comprometendo severamente a expressão do potencial fisiológico e conseqüentemente as métricas finais de produtividade (Marcos-Filho, 2015; Bewley *et al.*, 2013). Ao abordar os estressores abióticos, estes podem ser classificados em diferentes categorias, destacando-se o estresse hídrico, o estresse salino e o estresse térmico (Singh *et al.*, 2021).

O estresse hídrico, resultante de um déficit no suprimento de água, especialmente, se somado a outros determinantes de estresse, como altas temperaturas, provoca severas e preocupantes mudanças metabólicas na soja. Como principais efeitos da seca, está o fechamento de estômatos, a interrupção da fotossíntese e o aumento considerável do estresse oxidativo que, paradoxalmente, também inibe o processo fotossintético (MarkulJ Kulundžić *et al.*, 2022). Sob estresse hídrico, o metabolismo da soja responde mediante a ativação de diferentes mecanismos adaptativos, que variam em êxito conforme a cultivar e o nível de melhoramento genético por via biotecnológica aplicado à cultura (Engels *et al.*, 2017).

3.3 Estresse salino na germinação de sementes de soja

A salinidade do solo é reconhecida como um dos principais fatores abióticos que limitam o crescimento e a produtividade das culturas agrícolas em diferentes regiões do mundo. Este estresse ocorre devido ao acúmulo excessivo de sais solúveis na solução do solo, principalmente cloreto de sódio (NaCl), o que provoca alterações no potencial osmótico e interfere diretamente na absorção de água e nutrientes pelas plantas. Durante a germinação, as sementes são particularmente sensíveis a essas condições, uma vez que a embebição constitui a primeira etapa do processo germinativo e depende da disponibilidade hídrica adequada para ativação metabólica do embrião. Assim, ambientes salinos podem retardar ou até mesmo impedir a germinação das sementes, comprometendo o estabelecimento inicial das culturas (Bewley *et al.*, 2013). Na cultura da soja (*Glycine max*), a salinidade pode reduzir significativamente a porcentagem e a velocidade de germinação, além de afetar o vigor das plântulas, refletindo negativamente na formação do estande e no potencial produtivo (Marcos-Filho, 2015).

Os efeitos da salinidade sobre a germinação de sementes relacionam-se principalmente a dois mecanismos fisiológicos: o efeito osmótico e a toxicidade iônica. O efeito osmótico ocorre quando o aumento da concentração de sais na solução do solo reduz o potencial hídrico do meio, dificultando a absorção de água pelas sementes durante a fase de embebição. Como consequência, há atraso na hidratação dos tecidos embrionários e na ativação de enzimas responsáveis pela mobilização das reservas armazenadas nos cotilédones. A toxicidade iônica associa-se ao acúmulo de íons como Na^+ e Cl^- nos tecidos vegetais, podendo causar danos às membranas celulares, desorganização metabólica e redução da atividade enzimática, fatores que comprometem o desenvolvimento inicial das plântulas (Rana Munns; Mark Tester, 2008). Esses efeitos combinados resultam frequentemente em menor porcentagem de germinação,

redução do crescimento radicular e maior ocorrência de plântulas anormais.

Estudos experimentais demonstraram que o aumento da concentração de NaCl no substrato de germinação provoca redução progressiva na germinação e no crescimento inicial da soja. Além dos efeitos osmóticos e iônicos, o estresse salino também interfere no equilíbrio hormonal durante o processo germinativo. Pesquisas indicaram que condições salinas podem reduzir a biossíntese de giberelinas, hormônios responsáveis pela promoção da germinação, ao mesmo tempo em que estimulam a produção de ácido abscísico, que atua como inibidor do processo germinativo. Essas alterações hormonais contribuem para retardar a emergência das plântulas e reduzir a uniformidade do estande inicial da cultura (Keke Shu *et al.*, 2017).

Outro aspecto relevante refere-se à variabilidade genética entre cultivares de soja quanto à tolerância ao estresse salino. Diferentes genótipos podem apresentar respostas distintas durante a germinação e o desenvolvimento inicial, refletindo diferenças na capacidade de manutenção da integridade das membranas celulares, no controle do balanço iônico e na eficiência dos sistemas antioxidantes. Essa variabilidade tem sido amplamente explorada em programas de melhoramento genético com o objetivo de identificar materiais mais tolerantes a ambientes salinizados, especialmente em regiões em que a salinização do solo constitui um problema crescente para a agricultura (Krzyzanowski *et al.*, 2020).

Diante desses desafios, estratégias de manejo têm sido investigadas com o objetivo de minimizar os efeitos da salinidade durante a germinação e o estabelecimento inicial da cultura da soja. Entre essas estratégias destaca-se o tratamento de sementes com bioinsumos, prática que envolve a utilização de microrganismos benéficos capazes de promover o crescimento vegetal e aumentar a tolerância das plantas a diferentes estresses abióticos. Microrganismos como espécies de *Bacillus* e *Trichoderma* têm demonstrado potencial para estimular a produção de fitormônios, melhorar a absorção de nutrientes e induzir mecanismos de defesa antioxidante nas plantas, contribuindo para a manutenção do metabolismo celular mesmo sob condições de estresse salino (Egamberdieva *et al.*, 2017). Assim, o uso de bioinsumos no tratamento de sementes tem sido considerado uma estratégia promissora para favorecer a germinação, aumentar o vigor das plântulas e melhorar o estabelecimento inicial da cultura da soja em ambientes com limitações edáficas.

O estresse salino também é capaz de ocasionar perdas significativas na produtividade da soja, mesmo que, geneticamente, a espécie apresente a capacidade de expressar componentes específicos para possuir alguma tolerabilidade ao sal, especialmente se consideradas cultivares que passaram por melhoramento e seleção com essa finalidade. Em excesso, sais são capazes de causar danos em praticamente qualquer etapa do ciclo da soja, mesmo embora a fase de

plântula possua uma sensibilidade muito maior quando comparada à etapa de germinação (Phang; Shao; Lam, 2008). Afetada pelo estresse salino, a soja tende a apresentar uma redução da biomassa, da área foliar e da altura, tornando o índice de tolerância ao sal (ITS), uma variável de suma importância ao se analisar a viabilidade de uma dada variedade da cultura para o estabelecimento de um sistema de produção (Tian *et al.*, 2025).

3.3.1 Bioinsumos no tratamento de sementes como estratégia de mitigação de estresses abióticos

Os bioestimulantes aplicados via tratamento de sementes têm ganhado destaque como ferramentas capazes de modular o desempenho fisiológico inicial das culturas, especialmente em ambientes sujeitos a estresses abióticos. No caso da soja (*Glycine max*), o tratamento de sementes com compostos bioestimulantes ou microrganismos benéficos pode favorecer processos fisiológicos associados à germinação e ao vigor, contribuindo para o estabelecimento inicial das plântulas. Esses produtos podem atuar estimulando a atividade enzimática, promovendo maior eficiência na mobilização das reservas armazenadas na semente e modulando a produção de fitormônios envolvidos na germinação, como giberelinas e auxinas.

Além disso, há evidências de que bioestimulantes podem induzir respostas fisiológicas que aumentam a tolerância das plantas, a condições adversas, como déficit hídrico, salinidade e variações térmicas, fatores frequentemente presentes nas fases iniciais de estabelecimento da cultura. Dessa forma, à aplicação de bioestimulantes via tratamento de sementes pode refletir diretamente em melhorias nos parâmetros fisiológicos iniciais, como porcentagem e velocidade de germinação, uniformidade de emergência e vigor de plântulas, aspectos fundamentais para a formação de estandes adequados e para a expressão do potencial produtivo da cultura (Júlio Marcos-Filho, 2015; Patrick du Jardin, 2015). Por definição, bioestimulantes são qualquer substância biológica capaz de conferir benefício para plantas sem que sejam, para isso, agentes pesticidas ou substâncias melhoradoras do solo, podendo ser de origem vegetal ou microbiana.

A capacidade de aumentar a tolerabilidade da cultura aos efeitos dos estresses abióticos e seu potencial produtivo, na medida em que otimiza o aproveitamento nutricional, é um dos principais atrativos para seu uso e crescente popularização (Appiah *et al.*, 2026). No mercado brasileiro encontra-se atualmente, uma grande diversidade de produtos bioestimulantes, compostos, em sua maioria por: hormônios vegetais, extratos de algas, aminoácidos, nutrientes e vitaminas, seus benefícios associam-se, todavia, a sua composição e correto uso (Silva *et al.*, 2024).

Por exemplo, Borges *et al.* (2024), demonstraram experimentalmente que o uso de alga marrom, alga vermelha, aminoácidos e fitormônios é capaz de oferecer benefícios associados a um maior desempenho na cultura da soja, incrementando diretamente características desejáveis como diâmetro do caule e fotossíntese. Além disso, bioestimulantes são sabidamente capazes de reduzir o extravasamento de eletrólitos e a quantidade de espécies reativas de oxigênio (EROS), e de otimizar a atuação de enzimas antioxidantes – contribuindo, assim, para a redução do estresse oxidativo. O somatório final destes benefícios é a capacitação direta promovida pelos bioestimulantes, para que plantas resistam aos estresses abióticos e mantenham sua produtividade aceitável, mesmo mediante de condições adversas (Meena; Pratap Singh Birthal; Kiran, 2025).

Bactérias promotoras de crescimento em plantas, componentes centrais de muitos bioestimulantes, são capazes de incrementar o desempenho de plantas por meio de mecanismos como a otimização da mobilização de nutrientes, otimização da solubilização de fosfato, produção de fitormônios, além de, como já mencionado, atuarem como moduladoras do sistema antioxidante. Ao tratar especialmente à resposta ao estresse salino, estas bactérias são capazes de conferir adaptação osmótica e reaparelhamento metabólico (Gupta *et al.*, 2022).

Complementarmente, o uso de bioestimulantes a base de algas, como a *Ascophyllum nodosum*, a espécie mais utilizada comercialmente e cuja aplicação é amplamente estudada em leguminosas, tanto por meio de pulverização foliar ou por sua aplicação nas sementes, demonstrou-se capaz de incrementar de forma substancial métricas de produtividade (Caroline *et al.*, 2023).

O crescente interesse e a ampliação do conhecimento científico sobre os bioestimulantes na agricultura consolidaram-se como uma fronteira estratégica da agricultura moderna, com potencial para promover sistemas produtivos mais eficientes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, R. E. A. *et al.* Efeito do estresse hídrico na produtividade da soja. **Observatorio de la Economía Latinoamericana**, v. 21, n. 11, p. 22094–22116, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/oelv21n11-189>. Acesso em: 15 jan. 2026.
- ALTOMARE, C. *et al.* Enhanced growth of soybean seedlings by seed treatment with selected strains of *Pseudomonas putida*. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 45, n. 11, p. 883–889, 1999. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1165308/1/semina-2023.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2026.
- APPIAH, E. A. *et al.* Role of biostimulants in sustainable soybean (*Glycine max* L.) production: a systematic review. **Sustainability**, v. 18, n. 2, p. 636, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su18020636>. Acesso em: 15 jan. 2026.
- ASSUNÇÃO, C. T. de; SILVA, M. F. da; LEAL, J. H. S. Envelhecimento acelerado associado à análise computadorizada de imagem (Vigor-S) para avaliação do vigor de sementes de soja. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 24, n. 1, p. 167–178, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.5965/223811712412025167>. Acesso em: 15 jan. 2026.
- BALBINOT, A.; VIEIRA, U. Resposta da soja à densidade de plantas em ambientes favoráveis e desfavoráveis. **Scientia Agraria**, v. 19, n. 2, p. 95, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/rsa.v19i2.52519>. Acesso em: 15 jan. 2026.
- BARON, F. A. *et al.* Physiological quality of soybean seeds under different yield environments and plant density. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 4, p. 237–242, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n4p237-242>. Acesso em: 15 jan. 2026.
- BEWLEY, J. D. *et al.* **Seeds: physiology of development, germination and dormancy**. 3. ed. New York: Springer, 2013.
- BHATTI, S. *et al.* Recent advances in the application of microbial inoculants for abiotic stress tolerance in plants. **Journal of Applied Microbiology**, v. 131, n. 3, p. 1133–1149, 2021. Disponível em: 10.1016/B978-0-443-23560-3.00025-5. Acesso em: 15 jan. 2026.
- BONIFÁCIO, J. *et al.* Estresse salino na germinação de sementes de soja (*Glycine max* L.). In: **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia (CONTECC)**, 2019. Anais [...]. Disponível em: [https://www.confea.org.br/midias/uploads-imce/Contecc2019/Agronomia/ESTRESSE%20SALINO%20NA%20GERMINA%C3%87%20C3%83O%20DE%20SEMENTES%20\(Glycine%20max%20L\).pdf](https://www.confea.org.br/midias/uploads-imce/Contecc2019/Agronomia/ESTRESSE%20SALINO%20NA%20GERMINA%C3%87%20C3%83O%20DE%20SEMENTES%20(Glycine%20max%20L).pdf). Acesso em: 15 jan. 2026.
- BORGES, C. F. *et al.* Características morfofisiológicas da cultura da soja com o uso de bioestimulantes no tratamento de sementes. **CICURV – Congresso de Iniciação Científica da Universidade de Rio Verde**, v. 18, n. 1, 2024. Disponível em: <http://revistas2.unirv.edu.br/cicurv/article/view/782>. Acesso em: 15 jan. 2026.

BRACCINI, A. L. *et al.* Effects of water potential induced by polyethylene glycol on soybean seed physiological quality. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab1998.v33.4980>. Acesso em: 15 jan. 2026.

BRACCINI, A. L. *et al.* Germinação e vigor de sementes de soja sob estresse hídrico induzido por soluções de NaCl, manitol e PEG. **Revista Brasileira de Sementes**, 1996. Disponível em: <https://www.abrates.org.br/artigo-cientifico/5113/germinao-e-vigor-de-sementes-de-soja-sob-estresse-hdrico-induzido-por-solues-de-cloreto-de-sdio-manitol-e-polietileno-glicol>. Acesso em: 15 jan. 2026.

BRASIL. Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024. **Define bioinsumos e estabelece o marco regulatório para sua produção, uso, comercialização e registro**. Disponível em: <https://www.gov.br/agriculture/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos>. Acesso em: 20 dez. 2025.

CAROLINE, D. *et al.* Algae extract increases seed production of soybean plants and alters nitrogen metabolism. **Agriculture**, v. 13, n. 7, p. 1296, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture13071296>. Acesso em: 15 jan. 2026.

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 3–14, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>. Acesso em: 15 jan. 2026.

EGAMBERDIEVA, D. *et al.* Alleviation of salt stress in plants by plant growth-promoting bacteria. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, v. 9, p. 120-133, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy10101523>. Acesso em: 15 jan. 2026.

EMBRAPA. **Soja (Glycine max L. Merr.): Versatilidade de uso na alimentação, nutrição animal e indústria de óleos vegetais**. Londrina: Embrapa Soja, 2021. (Documentos, 457). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1160299/1/DOCUMENTOs-457.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2025.

EMBRAPA. **Soja – Brasil maior produtor mundial de soja**. 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agropensa/agro-em-dados/agricultura/soja>. Acesso em: 20 dez. 2025.

ENGELS, C. *et al.* Drought effects on soybean cultivation – a review. **Annual Research & Review in Biology**, v. 16, n. 1, p. 1–13, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.9734/ARRB/2017/35232>. Acesso em: 15 jan. 2026.

FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C. **Tecnologia de produção de semente de soja de alta qualidade**. Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2019.

GARDINER-PIGGOTT, A. *et al.* The effects of high temperature stress and its mitigation through the application of biostimulants in controlled environment agriculture. **Agronomy**, v. 15, n. 12, p. 2742, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy15122742>. Acesso em: 15 jan. 2026.

GUPTA, A. *et al.* Mechanistic insights of plant growth-promoting bacteria mediated drought and salt stress tolerance in plants for sustainable agriculture. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 7, p. 3741, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms23073741>. Acesso em: 15 jan. 2026.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2023: **Synthesis Report**. Geneva: IPCC, 2023. Disponível em: https://www.trinseo.com/?gad_source=1&gad_campaignid=22826484918&gbraid=0AAAAABjwmunNBhDbARIsAONDkpmSmEIaOrFyi-1ZTLNq5jWshWCRtPJEjFltcEejRf5Zq4rp1pHkaAtw3EALw_wcB. Acesso em: 15 jan. 2026.

KAZUO, G. **Soja inoculada e coinoculada com microrganismos promotores de crescimento de plantas, em sistema de sequeiro e irrigado na Nova Alta Paulista. 2026**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2026. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/0950d769-d3f6-4b8e-bf0f-4bffba87b1a8>. Acesso em: 13 jan. 2026.

KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes, 1999.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2015.

MARCOS-FILHO, J. **Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective**. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 72, n. 4, p. 363-374, 2015.

MARKULJ KULUNDŽIĆ, A. *et al.* Physiological insights on soybean response to drought. **Agricultural Institute Osijek**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107620>. Acesso em: 15 jan. 2026.

MEENA, D. C.; BIRTHAL, P. S.; KUMARA, T. M. K. Biostimulants for sustainable development of agriculture: a bibliometric content analysis. **Discover Agriculture**, v. 3, n. 2, p. 1–14, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00149-5>. Acesso em: 15 jan. 2026.

MORENO RUIZ, F.; MENECHINI, W.; ORTIZ, T. A. Evaluation of soybean genotype tolerance to water stress during germination. **Bioagro**, v. 37, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.51372/bioagro372.1>. Acesso em: 15 jan. 2026.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 651–681, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>. Acesso em: 15 jan. 2026.

PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MENEGHELLO, G. E. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2012.

PHANG, T. H.; SHAO, G.; LAM, H. M. Salt tolerance in soybean. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 50, n. 10, p. 1196–1212, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2008.00760.x>. Acesso em: 15 jan. 2026.

- SALINAS, A. R. *et al.* Pruebas de vigor y calidad fisiológica de semillas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, p. 371–379, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000200022>. Acesso em: 15 jan. 2026.
- SANTORUM, M. *et al.* Comparison of tests for the analysis of vigor and viability in soybean seeds and their relationship to field emergence. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 35, n. 1, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i1.14955>. Acesso em: 15 jan. 2026.
- SCHEEREN, B. R. *et al.* O vigor fisiológico da soja nos estágios iniciais de desenvolvimento. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 3, p. 25–31, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222010000300004>. Acesso em: 15 jan. 2026.
- SILVA, M. A. *et al.* The composition of biostimulants applied in seed treatment interferes with the soybean emergence under water deficiency. **Nativa**, Sinop, v. 12, n. 4, p. 819–833, 2024. Disponível em: <https://orcid.org/0000-0002-9104-5583>. Acesso em: 15 jan. 2026.
- SILVA, M. A. *et al.* Individual and combined growth-promoting microorganisms affect biomass production, gas exchange and nutrient content in soybean plants. **Revista Caatinga**, v. 33, p. 619–632, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n305rc>. Acesso em: 15 jan. 2026.
- SINGH, N. *et al.* Salt stress and its eco-friendly management using biostimulants in grain legumes: a review. **Discover Agriculture**, v. 3, n. 1, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00150-y>. Acesso em: 15 jan. 2026.
- SINGH, S. K. *et al.* Impact of water stress under ambient and elevated carbon dioxide across three temperature regimes on soybean canopy gas exchange and productivity. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-96037-9>. Acesso em: 15 jan. 2026.
- SOUZA, R. P. *et al.* Physiological performance of soybean seeds under different combinations of temperature and water stress. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 42, n. 3, e202042031, 2020. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/58881>. Acesso em: 15 jan. 2026.
- SHU, K. *et al.* Salt stress represses soybean seed germination by negatively regulating GA biosynthesis while positively mediating ABA biosynthesis. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01372>. Acesso em: 15 jan. 2026.
- TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- TEIXEIRA, L. R. *et al.* Avaliação de cultivares de soja quanto à tolerância ao estresse hídrico. **Revista Ceres**, v. 55, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v30i2.1731>. Acesso em: 15 jan. 2026.

TIAN, R. *et al.* Mining genetic loci and candidate genes related to salt tolerance traits in soybean. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 26826, 2025. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-025-08702-y>. Acesso em: 15 jan. 2026.

VEJAN, P. *et al.* Role of plant growth-promoting rhizobacteria in agricultural sustainability — a review. **Molecules**, v. 21, n. 5, p. 573, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules21050573>. Acesso em: 15 jan. 2026.

VOGEL, J. T. *et al.* Soybean yield formation physiology – a foundation for precision breeding-based improvement. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.719706>. Acesso em: 15 jan. 2026.

ZUFFO, A. M. *et al.* Adubação nitrogenada na soja inibe a nodulação e não melhora o crescimento inicial das plantas. **Rama**, v. 12, n. 2, p. 333, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n2p333-349>. Acesso em: 15 jan. 2026.

CAPÍTULO 2

BIOINSUMOS NO TRATAMENTO DE SEMENTES COMO ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO DO ESTRESSE SALINO NA GERMINAÇÃO E FORMAÇÃO DE PLÂNTULAS DE SOJA

RESUMO

A salinização é uma condição que ocorre em áreas agrícolas no Brasil, especialmente em ambientes irrigados ou com manejo inadequado do solo, comprometendo a germinação das sementes. Nesse sentido o uso de bioinsumo no tratamento de sementes pode protegê-las contra danos causados pelo estresse salino e favorecer a germinação. Objetivou-se com este trabalho avaliar o uso de tratamento de sementes com bioinsumos visando atenuar o estresse salino na germinação de sementes e formação de plântulas de soja. Dois experimentos foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5×5 , correspondendo a cinco tratamentos de sementes e cinco níveis de salinidade. Os tratamentos de sementes consistiram em: T1, - controle (sementes sem tratamento), T2 - *Bacillus aryabhattai*; T3 - coinoculação com *Bacillus aryabhattai*, *Bacillus haynesii* e *Bacillus circulans*; T4 - Extrato de alga *Ascophyllum nodosum*, P e Mo e o T5 - Fertilizante mineral (N, Zn, Cu e Mo). Os níveis de salinidade corresponderam a potenciais osmóticos de 0, - 0,3; -0,6; -0,9 e -1,2 MPa. O experimento contou com quatro repetições, sendo a unidade experimental composta por 25 sementes. Foram avaliados a germinação, primeira contagem, índice de velocidade e frequência relativa da germinação, comprimento e massa seca de parte aérea e de raiz das plântulas. Após ANOVA, os bioinsumos foram submetidos a teste de média Scott-Knott e os níveis de salinidade, submetidos à análise de regressão. As cultivares foram comparadas através de Análise de Componentes Principais.

Palavras-chave: *Glycine max*. Estresse salino. Teste de germinação. Análise de Componentes Principais.

BIOINPUTS IN SEED TREATMENT AS A STRATEGY TO MITIGATE SALINE STRESS IN SOYBEAN GERMINATION AND SEEDLING FORMATION

ABSTRACT

Salinization occurs in agricultural areas in Brazil, and this condition can compromise seed germination by decreasing the external osmotic potential or through toxic effects. In this sense, the use of bioinput in seed treatment can favor germination and protect against damage caused by saline stress. The objective of this study was to evaluate the use of seed treatment with bioinput to attenuate saline stress on seed germination and seedling formation of soybean. The experiment was carried out in a completely randomized design, in two independent experiments with soybean seeds cultivars Olimpo and Guepardo, in a 5 x 5 factorial scheme, that is, T1 untreated seeds, application of T2- *Bacillus aryabhattai*; T3 - *Bacillus aryabhattai*, *Bacillus haynesi*, and *Bacillus circulans*; T4 - Extract based on the seaweed *Ascophyllum nodosum*, P and Mo and T5 - Mineral fertilizer (N, Zn, Cu and Mo). And the salinity levels, 0.0; -0.3; -0.6; -0.9 and -1.2 MPa, with four replicates. Germination, first count, speed index and relative frequency of germination, length and dry mass of shoots and roots of seedlings will be evaluated. In the statistical analysis, the bioinputs factor was differentiated by the Scott-Knott mean grouping. The salinity levels were subjected to regression analysis. The second stage for comparison of cultivars was performed using multivariate statistics, through Principal Component Analysis.

Keywords: *Glycine max*; Salt stress; Germination test; Principal Component Analysis.

1 INTRODUÇÃO

A qualidade fisiológica das sementes é um dos principais fatores que determinam o sucesso do estabelecimento inicial das culturas agrícolas. Sementes com elevado potencial fisiológico apresentam maior capacidade de germinação, vigor e formação de plântulas uniformes, contribuindo para a formação de estandes adequados e para a expressão do potencial produtivo das culturas. Na cultura da soja (*Glycine max*), a fase inicial de desenvolvimento depende fortemente da qualidade das sementes e das condições ambientais presentes no momento da semeadura, sendo considerada uma etapa crítica para o estabelecimento da lavoura (Júlio Marcos-Filho, 2015; J. Derek Bewley *et al.*, 2013).

Durante a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas, a cultura apresenta elevada sensibilidade a estresses abióticos, especialmente à disponibilidade hídrica, à temperatura e à salinidade do solo. Nesta fase ocorrem processos fisiológicos fundamentais, como a embebição, a reorganização das membranas celulares e a ativação metabólica do embrião, etapas que podem ser facilmente afetadas por condições ambientais adversas. Assim, a ocorrência de estresses abióticos nesse período pode comprometer a germinação, o vigor e a emergência das plântulas, afetando diretamente o estabelecimento inicial da cultura (Bewley *et al.*, 2013).

Entre os diferentes estresses abióticos que afetam a agricultura, a salinidade do solo destaca-se como um importante fator limitante para a germinação e o crescimento inicial das plantas. A presença de elevadas concentrações de sais na solução do solo reduz o potencial osmótico do meio, dificultando a absorção de água pelas sementes e comprometendo o processo germinativo. Além disso, o acúmulo de íons como Na^+ e Cl^- pode provocar toxicidade celular e alterar processos metabólicos essenciais ao desenvolvimento inicial das plântulas (Rana Munns; Mark Tester, 2008). Nessas condições, tanto o estresse osmótico ou a toxicidade iônica contribuem para a redução da velocidade de germinação e para o atraso no desenvolvimento inicial das plantas.

Os efeitos fisiológicos da salinidade também estão associados a alterações no balanço hormonal e no metabolismo oxidativo das sementes. Em condições salinas, pode ocorrer redução na síntese de giberelinas e aumento na produção de ácido abscísico, hormônios que regulam o processo germinativo. Além disso, o estresse salino pode elevar a produção de espécies reativas de oxigênio, comprometendo a integridade celular e afetando o desenvolvimento inicial das plântulas (Keke Shu *et al.*, 2017).

Diante desses desafios, diferentes estratégias são estudadas para reduzir os efeitos do estresse salino, durante o estabelecimento inicial das culturas. Entre essas estratégias, destaca-se o tratamento de sementes com bioinsumos, que consiste na aplicação de microrganismos ou substâncias de origem biológica capazes de promover o crescimento vegetal e aumentar a tolerância das plantas a estresses abióticos. Esses produtos podem atuar estimulando o crescimento radicular, melhorando a absorção de água e nutrientes e induzindo respostas fisiológicas que favorecem a tolerância das plantas às condições adversas (Patrick du Jardin, 2015). De acordo com a legislação brasileira vigente, inoculantes são substâncias que contêm microrganismos, com atuação favorável ao desenvolvimento vegetal, sendo classificados como bioinsumos ou fertilizantes biológicos (Brasil, 2020).

Portanto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o uso de bioinsumos, no tratamento de sementes, com a intenção de atenuar os efeitos do estresse salino, na germinação e na formação de plântulas de soja nas cultivares Olimpo e Guepardo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram realizados no laboratório de sementes da Universidade de Rio Verde localizado no município de Rio Verde – GO, de março de 2023 a dezembro de 2023, utilizando duas cultivares de soja a Brasmax Olimpo IPRO e Brasmax Guepardo IPRO. Antes da avaliação do estresse salino as sementes de soja da cultivares Brasmax Olimpo IPRO e Brasmax Guepardo IPRO foram caracterizadas quanto o teor de água inicial e massa de mil sementes (Brasil, 2025).

Em ambos os experimentos, os tratamentos foram arrançados em esquema fatorial 5 x 5; o primeiro fator consistiu de cinco tratamentos de sementes T1 - controle (sementes sem tratamento); T2 - *Bacillus aryabhattai* linhagem CMAA 1363 com concentração de 1×10^8 unidade formadora de colônias por mL; T3 - *Bacillus aryabhattai* linhagem CBMAI 1120 com concentração de $2,1 \times 10^{12}$ endósporos viáveis por L; *Bacillus circulans* linhagem CCT 0026 e concentração de $3,0 \times 10^{11}$ endósporos viáveis L^{-1} e *Bacillus haynesii* linhagem CCT 7926 de concentração $8,8 \times 10^{11}$ endósporos viáveis L^{-1} ; T4 - composto por extrato de alga *Ascophyllum nodosum*, fósforo ($10,2$ de P_2O_5 g L^{-1}) e molibdênio (Mo $10,2$ g L^{-1}); e (T5) Fertilizante mineral constituído de nitrogênio (N $65,1$ g L^{-1}), cobre (Cu 304 g L^{-1}), molibdênio (Mo $84,0$ g L^{-1}) e zinco (Zn 619 g L^{-1}) e o segundo fator consistiu em cinco níveis de salinidade (0, -0,3; -0,6; -

0,9 e -1,2 Mpa). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. Salienta-se que, os tratamentos das sementes seguiram a metodologia de Machado *et al.* (2023).

Para simular o estresse salino, foram utilizadas soluções de água destilada e NaCl nas concentrações de 0; -0,3; -0,6; -0,9; e -1,2 MPa, com quatro repetições para umedecer o substrato até uma capacidade de retenção de 60% (Brasil, 2025). Os tratamentos com concentrações salinas em MPa corresponderam a 121,08 mmol L⁻¹ de NaCl e 6,25 dS m⁻¹ de condutividade elétrica (CE) para -0,3 MPa; 242,17 mmol L⁻¹ de NaCl e 12,51 dS m⁻¹ de CE para -0,6 MPa; 363,24 mmol L⁻¹ de NaCl e 18,77 dS m⁻¹ de CE para -0,9 MPa; e 484,32 mmol L⁻¹ de NaCl e 25,03 dS m⁻¹ de CE para -1,2 MPa. O preparo das soluções salinas baseou-se na equação de Van't Hoff (Hillel, 1971):

$$\Psi_{os} = - i \cdot R.T.C \quad (1)$$

Na qual:

Ψ_{os} = potencial osmótico (atm, convertido em MPa);

i = fator de dissociação do soluto;

R = constante universal dos gases perfeitos (0,08314 atm.mol.L⁻¹.K⁻¹);

T = Temperatura absoluta em Kelvin (K) = 273 +T (°C) e

C = concentração molar do soluto (mol L⁻¹).

As sementes foram semeadas em caixas de acrílico transparente (11,0 x 11,0 x 3,5 cm) preenchidas com substrato de areia para atingir uma capacidade de retenção de água (CR) de 60% , conforme determinado pelas Regras de Análise de Sementes - RAS (Brasil, 2025). Elas foram umedecidas e pesadas diariamente, durante o experimento, para manter a CR e foram colocadas em um germinador tipo Mangeldorf, com temperatura de 25 °C.

A germinação (G) foi avaliada pela contagem de plântulas normais no 8º dia, após a semeadura; plântulas anormais (PA) e sementes mortas (SM) também foram avaliadas, conforme determinado pela RAS (Brasil, 2025). A primeira contagem de germinação (PCG) registrou plântulas normais no 5º dia após a semeadura (Brasil, 2025). O Índice de Velocidade de Germinação (IVG) foi obtido por meio de contagens diárias e calculado utilizando a fórmula proposta por Maguire (1962). A Frequência Relativa de Germinação (FR) foi realizada concomitantemente com o teste de germinação e obtida utilizando a fórmula proposta por Labouriau e Valadares (1976).

O comprimento da raiz (CR) e o comprimento da parte aérea (CA) das plântulas foram

medidos, em 10 plântulas normais de cada repetição, da coifa ao colo e do colo à inserção dos cotilédones, respectivamente, com os dados expressos em cm plântula⁻¹. A Massa Seca da Raiz (MSR) e a Massa Seca da Parte Aérea (MSA) das plântulas foram medidas e armazenadas em sacos de papel kraft. A massa seca foi determinada pelo método de estufa a 65 °C por um período de 24 horas e pesada em balança analítica com precisão de 0,0001 g, com os dados expressos em g plântula⁻¹, e as análises foram conduzidas de acordo com as diretrizes descritas nas Regras de Análise de Sementes (Brasil, 2025), Krzyzanowski *et al.* (2020) e Machado *et al.* (2023).

Os dados foram submetidos à análise de variância por meio do teste F ($p \leq 0,05$) após verificação da normalidade e homogeneidade das variâncias (teste de Shapiro-Wilk e teste de Bartlett). Os dados qualitativos, correspondentes ao tratamento de sementes com bioinsumos foi submetido ao teste de agrupamento de médias através do teste de Scott–Knott e os níveis de salinidade foram analisados por meio de análise de regressão.

As cultivares foram comparadas usando estatística multivariada, por meio da Análise de Componentes Principais, empregando o software Past 4.3, transformando os dados originais em conjuntos de variáveis da mesma dimensão com o objetivo de reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados e identificar padrões multivariados de resposta entre os tratamentos.

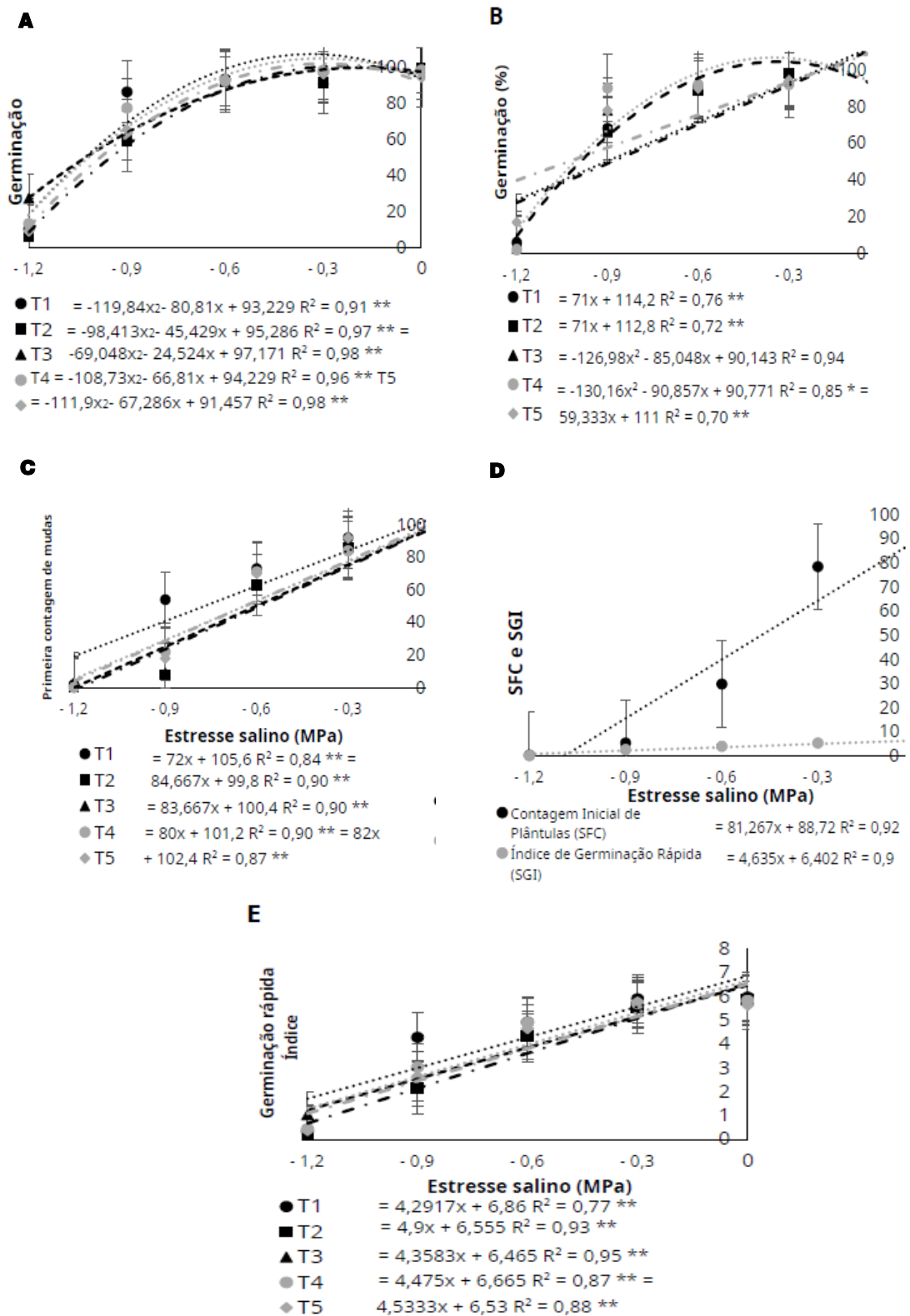
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A germinação da cultivar Guepardo de soja respondeu ao estresse salino e aos diferentes tratamentos (T2, T3, T4 e T5), bem como a cultivar Olimpo (Figura 1B). Entretanto, as reduções mais significativas na germinação ocorreram a partir de -0,9 MPa de pressão osmótica, reflexo da salinidade. Apesar da diminuição, em ambas as cultivares o tratamento 4 minimizou reduções na germinação, de 21% para ‘Guepardo’ e apenas 9% para ‘Olimpo’.

Assim como na germinação, a primeira contagem de plântulas também diminuiu com o aumento da salinidade, sendo os produtos T4 e T5 os que apresentaram melhor desempenho para essa variável, demonstrando o efeito da salinidade a partir da concentração de -0,6 MPa para a variedade Guepardo (Figura 1C). Essa tendência também foi observada para o Índice de Velocidade de Germinação (IVG), em que T4 e T5 estiveram entre os produtos que mantiveram níveis de velocidade de germinação semelhantes às condições não salinas até a concentração de -0,6 MPa (Figura 1E). Para a variedade Olimpo, entretanto, a salinidade e o tratamento das

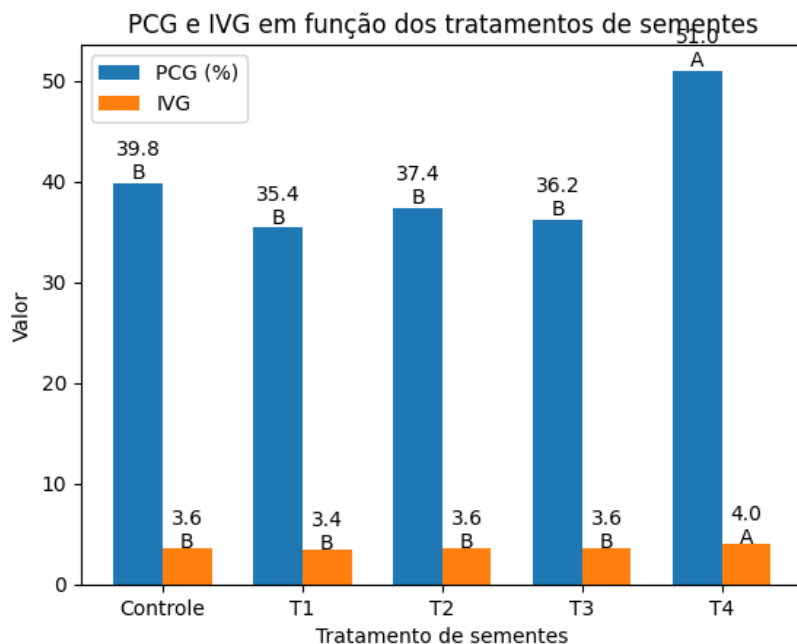
sementes com os produtos responderam independentemente para as variáveis IVG e Primeira Contagem de Plântulas.

A primeira contagem foi afetada a partir da concentração de $-0,6$ MPa, com uma redução de 65% em comparação com a condição não salina, enquanto para o IVG, a redução nessa concentração foi de 28%, aumentando para 54% a $-0,9$ MPa (Figura 1D). Dentre os produtos testados nos tratamentos de sementes, o T5 foi o melhor para ambas as variáveis (Tabela 1).



Fonte: Autores (2024).

FIGURA 1 - Germinação (A), Primeira Contagem de Germinação (C) e Índice de Velocidade de Germinação – IVG (E) da soja cv. ‘Guepardo’ e Germinação (B), Primeira Contagem de Germinação – PCG (D) e Índice de Velocidade de Germinação – IVG (D) da soja cv. ‘Olimpo’ sob estresses salinos e tratamentos de sementes.

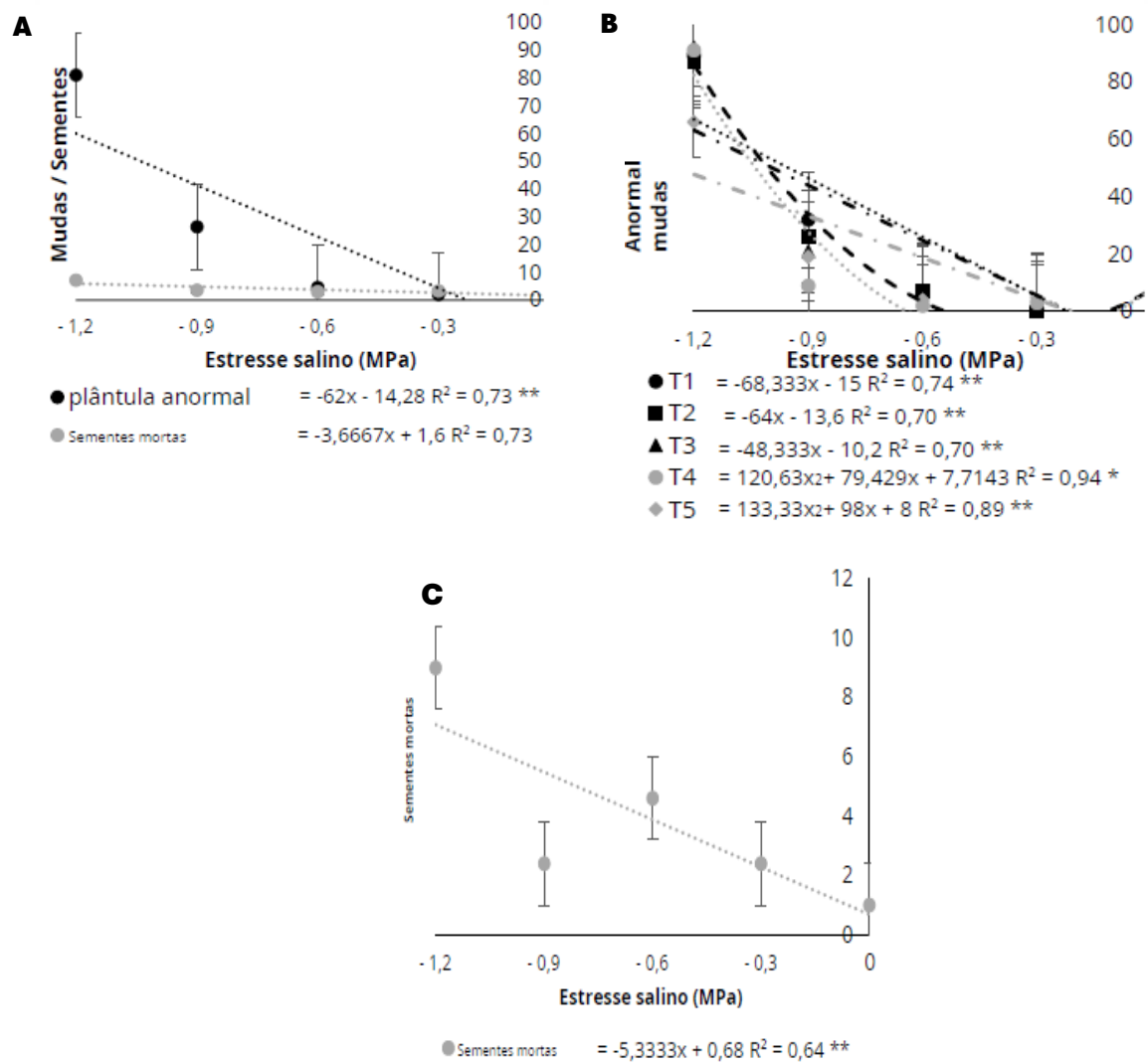


Fonte: Autores (2024).

FIGURA 2 - Resultados da Primeira Contagem de Germinação (PCG) do teste de Scott-Knott para tratamento de sementes da cultivar de soja Olimpo.

Para ambas as cultivares, o número de sementes mortas foi afetado exclusivamente pela salinidade, com um aumento no número de sementes mortas à medida que a concentração de sal aumentava (Figuras 3A e 3C). Para a cultivar Guepardo, o número de plântulas anormais foi influenciado exclusivamente pela salinidade, apresentando uma resposta semelhante das sementes mortas (Figura 3A). Em contraste, a cultivar Olimpo exibiu respostas distintas em relação à quantidade de plântulas anormais, dependendo do tratamento de sementes aplicado.

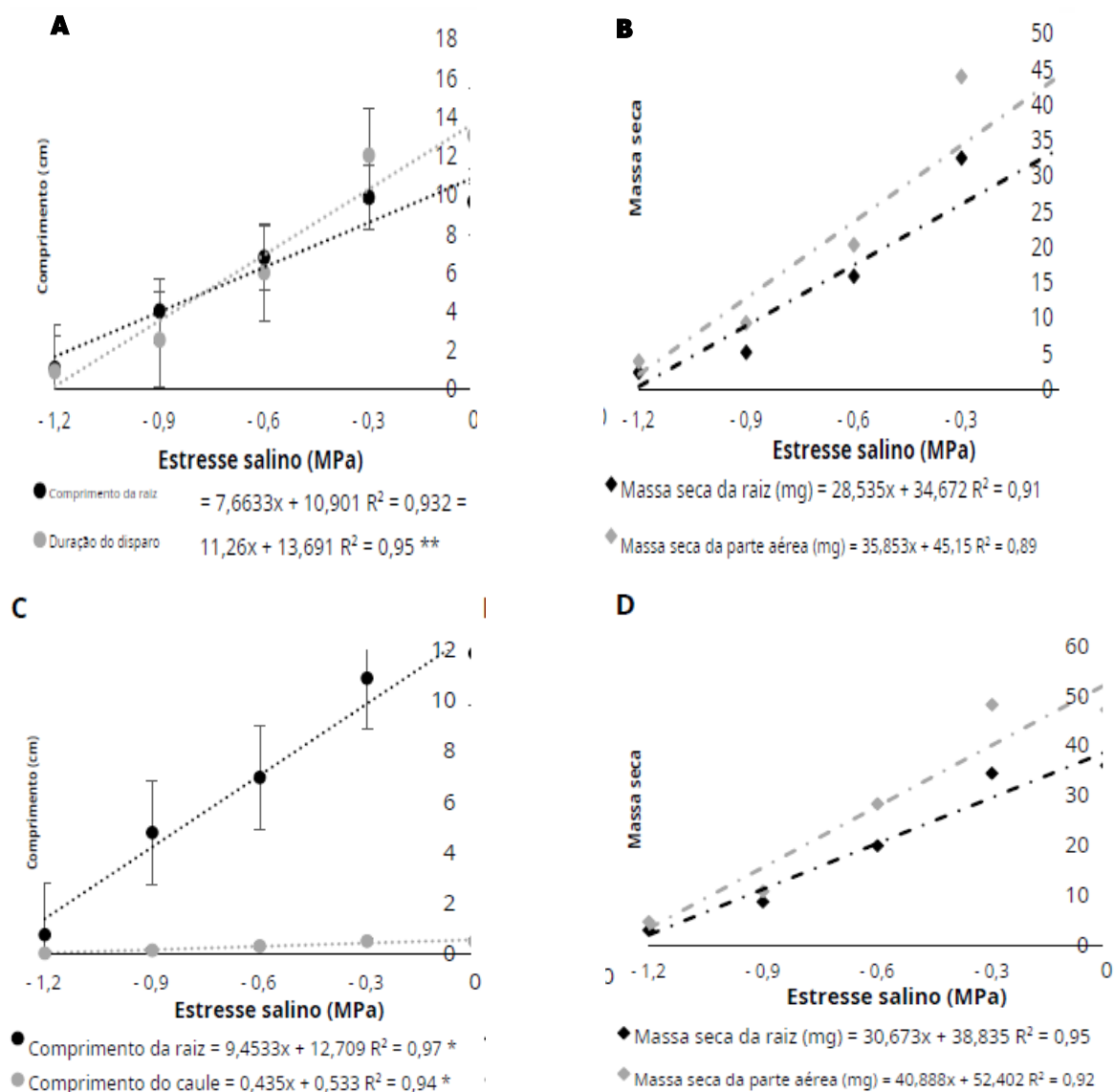
Os tratamentos com T4 e T5 resultaram em 71,8% e 41% menos plântulas anormais, respectivamente, em comparação com o controle na concentração de -0,9 MPa. Além disso, o produto T4 a -1,2 MPa apresentou uma redução de 26% nas plântulas anormais em comparação com os outros tratamentos (Figura 3B).



Fonte: Autores (2024).

FIGURA 3 - Plântulas anormais e sementes mortas da cultivar de soja ‘Guepardo’ (A) e plântulas anormais (B) e sementes mortas (C) da cultivar de soja ‘Olimpo’ sob estresse salino e tratamento de sementes

As variáveis comprimento, massa seca de raiz e plântula, de ambas as cultivares, foi afetada apenas pela concentração salina, com todas as variáveis apresentando comportamento muito semelhante, de reduzir o acúmulo de massa conforme a concentração de sal aumentava (Figure 4A, B, C e D).

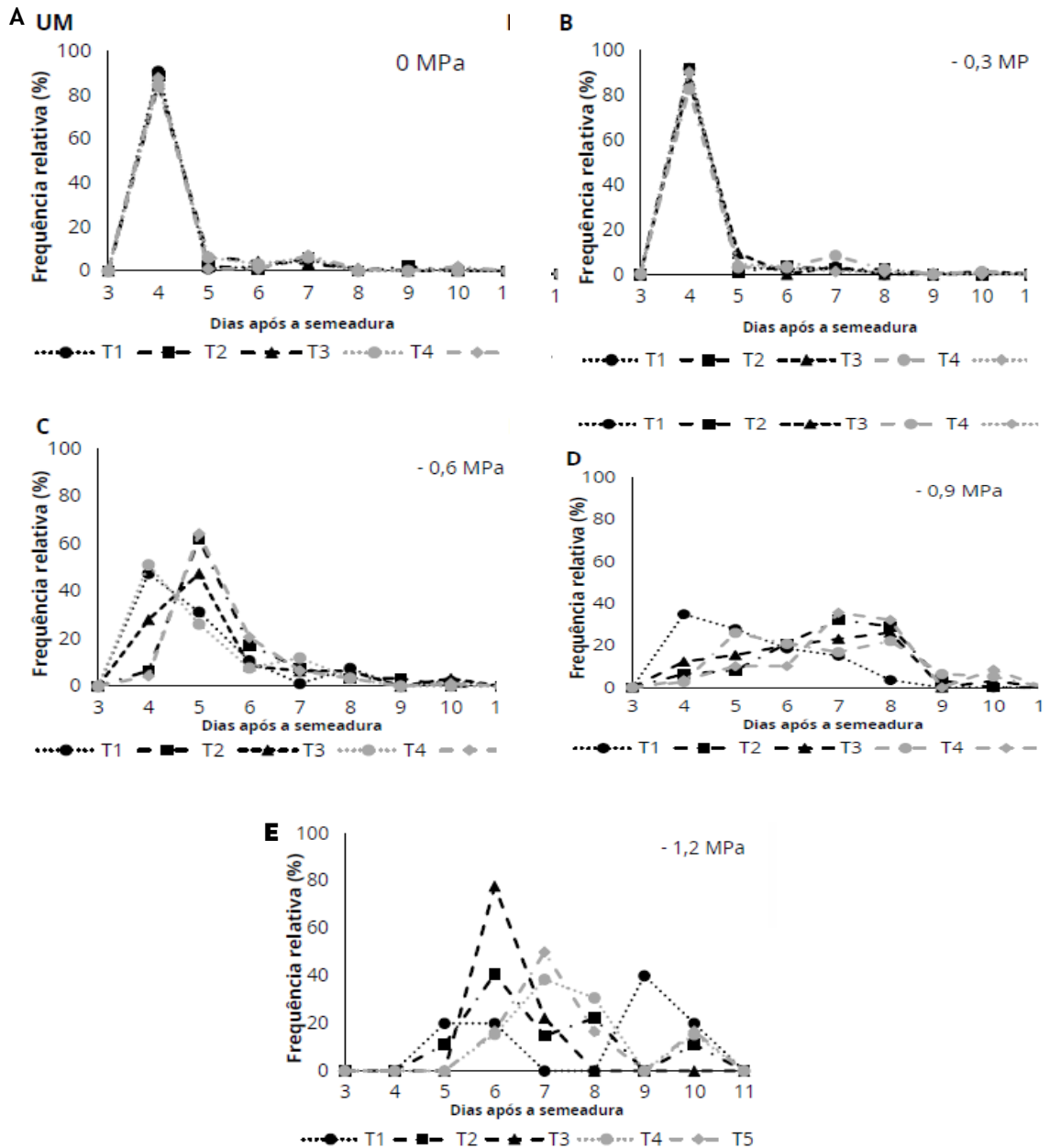


Fonte: Autores (2024).

FIGURA 4 - Comprimento da raiz e da parte aérea (A) e massa seca da raiz e da parte aérea (B) da cultivar de soja ‘Guepardo’ e comprimento da raiz e da parte aérea (C) e massa seca da raiz e da parte aérea (D) da cultivar de soja ‘Olimpo’ sob estresse salino e tratamento de sementes.

A frequência relativa da cultivar Guepardo foi muito semelhante, em todos os tratamentos, tanto em condições não salinas ou em um nível de salinidade de -0,3 MPa (Figuras 5A e 5B), com a maior concentração de germinação ocorrendo no 4º dia, próxima a 90%, exibindo uma tendência unimodal, indicando um único pico de germinação. A partir de uma concentração de -0,6 MPa, tanto o dia do pico de germinação ou a maior concentração foram atrasados em 1 dia para os tratamentos: T2, T3 e T5, com uma redução para aproximadamente 60%, enquanto o tratamento T4 manteve seu pico no 4º dia, mas com uma concentração de 50% (Figura 5C).

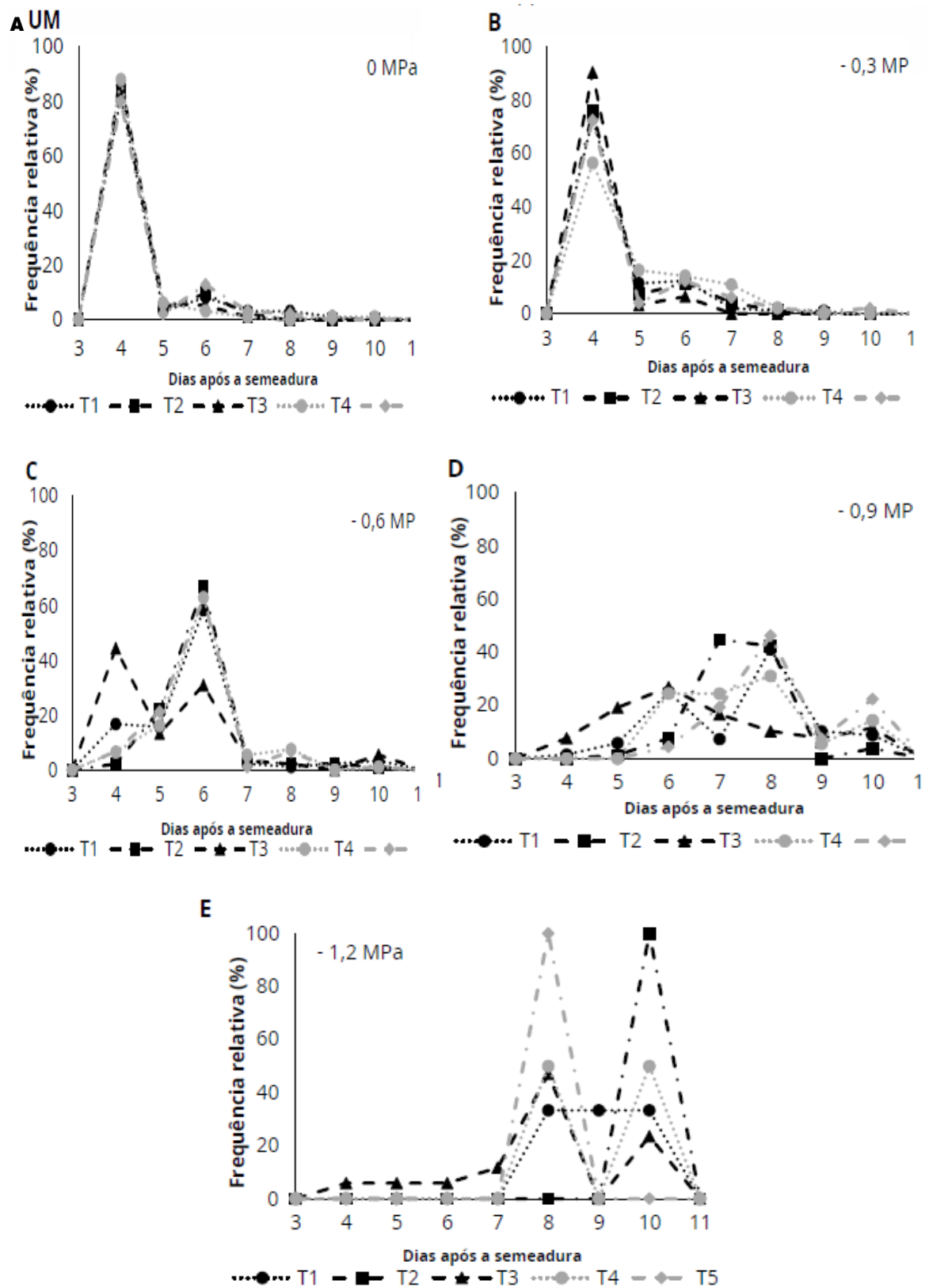
Na concentração de -0,9 MPa, a maior concentração de germinação não ultrapassou 40%, com os tratamentos T2, T3 e T5 apresentando picos entre o 7º e o 8º dia, enquanto o controle e o T4 atingiram o pico no 4º e 5º dia, respectivamente (Figura 5D). Na concentração de -1,2 MPa, as sementes não tratadas apresentaram a maior concentração no 9º dia, enquanto os tratamentos T2 e T3 atingiram o pico no 6º dia e os tratamentos T4 e T5 no 7º dia (Figura 5E).



Fonte: Autores (2024).

FIGURA 5 - Frequência relativa da cultivar de soja ‘Guepardo’ sob estresse salino de 0 MPa (A), -0,3 MPa (B), -0,6 MPa (C), -0,9 MPa (D), -1,2 MPa (E) e tratamento de sementes.

A cultivar Olimpo apresentou a maior frequência relativa no 4º dia, em níveis de salinidade de 0 e -0,3 MPa, em todos os tratamentos, variando de 90% para T3 a 60% para T4 (Figuras 6A e 6B). O tratamento 3 manteve sua frequência relativa no 4º dia, embora em apenas 40%, enquanto os demais tratamentos atrasaram seu pico de frequência relativa para o 6º dia, mantendo frequências próximas a 60% (Figura 6C). Em uma concentração de salinidade de -0,9 MPa, T3 apresentou a maior frequência relativa no 6º dia, com o tratamento 2 apresentando 50% de frequência relativa no 7º dia, e os demais tratamentos também apresentando picos de frequência relativa no 7º dia (Figura 6D). Com um potencial osmótico de -1,2 MPa, os tratamentos T2 e T5 atingiram 100% de concentração no 8º e 10º dias, respectivamente; T4 atingiu 50% tanto no 8º quanto no 10º dia; T3 atingiu uma concentração de 50% no 8º dia; enquanto as sementes não tratadas (controle) registraram uma concentração de 33% no 8º, 9º e 10º dias (Figura 6E).



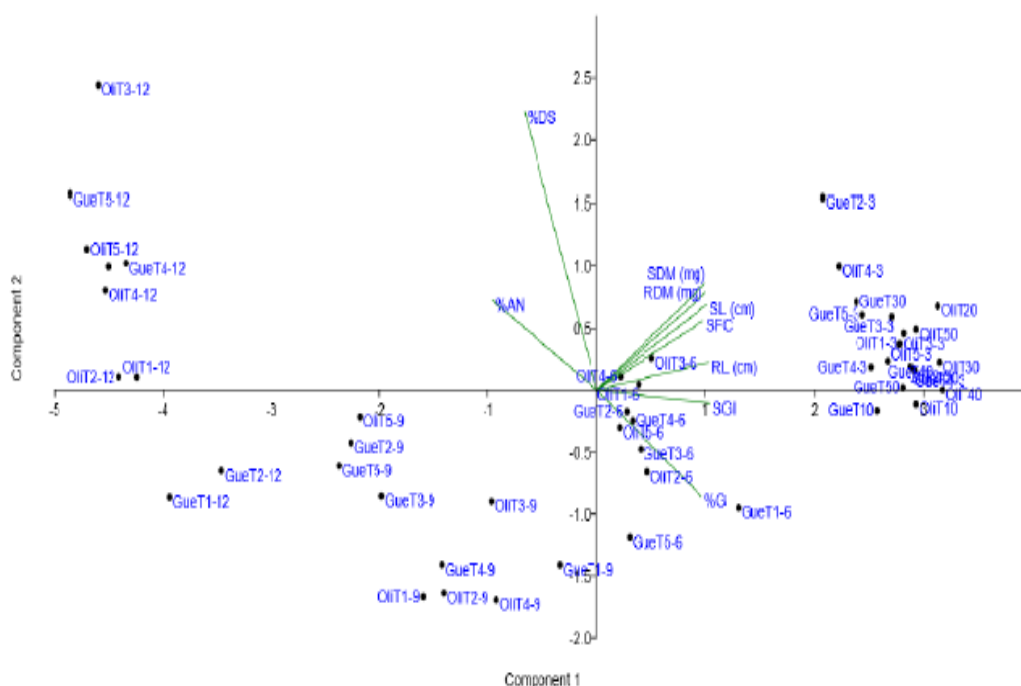
Fonte: Autores (2024).

FIGURA 6 - Frequência relativa da cultivar de soja 'Olimpo' sob estresse salino de 0 MPa (A), -0,3 MPa (B), -0,6 MPa (C), -0,9 MPa (D), -1,2 MPa (E) e tratamento de sementes.

A partir da análise de componentes principais (PCA), observou-se que os tratamentos localizados no quadrante superior esquerdo, como: OliT2-12, OliT3-12, OliT4-12, OliT5-12 e OliT1-12, bem como GueT2-12, GueT5-12 e GueT4-12, foram agrupados por responderem às variáveis de plântulas anormais e sementes mortas (Figura 7), embora tenham sido minimamente influenciados, por estarem posicionados distantes, considerando que esses tratamentos representam a maior concentração de salinidade testada nos experimentos.

Os tratamentos no quadrante inferior direito, como: OliT2-9, GueT2-6, GueT3-6 e GueT5-6, foram agrupados mais próximos dos vetores para %G (germinação) e IVG (Índice de Velocidade de Germinação), sugerindo que grupos exibem valores mais altos para essas variáveis. Isso indica que os tratamentos foram fortemente influenciados pela capacidade germinativa e pela velocidade de germinação.

No quadrante superior direito, os tratamentos: GueT20, GueT50, GueT30, OliT40 e OliT10 foram agrupados em torno dos vetores relacionados a MSA (massa seca da parte aérea em mg), MSR (massa seca da raiz em mg), CR (comprimento da raiz em cm) e CA (comprimento da parte aérea em cm), indicando que apresentaram valores elevados de massa e tamanho.



Fonte: Autores (2024).

FIGURA 7 - Análise de Componentes Principais das cultivares de soja ‘Guepardo’ e ‘Olimpo’ sob estresse salino e tratamento de sementes.

O aumento da concentração de sal, no ambiente de germinação das sementes, desenvolvimento das plântulas, crescimento e desenvolvimento das plantas de soja altera o equilíbrio osmótico de nutrientes (Kim & Sang, 2023) e água (Zhou *et al.*, 2023).

Espera-se que as respostas metabólicas da soja sejam alteradas. Os íons Na^+ e Cl^- causam peroxidação lipídica da membrana celular do tegumento da semente, aumentam a resistência mecânica e diminuem a permeabilidade do tegumento, inibindo assim a infiltração de água no cotilédone e no hipocótilo, afetando, em última análise, a germinação da semente (Kesh *et al.*, 2022; Oyebamiji *et al.*, 2024). Esses resultados corroboram com as descobertas obtidas, no presente experimento, em que observou-se menor germinação (Figura 1A e 1B) e velocidade de germinação (Figura 1D e 1E) e plântulas menores (Figura 3A).

Em um experimento conduzido com 21 variedades de soja, Zhou *et al.* (2023), observaram respostas semelhantes às obtidas no presente experimento; à medida que a concentração de salinidade aumentava, a taxa de germinação, o índice de germinação (IVG) e os comprimentos das estruturas aéreas, hipocótilos e raízes diminuía.

Apesar da redução no desempenho das sementes, o tratamento 4 foi superior aos demais na cultivar Guepardo em relação à germinação, SGI e SFC, enquanto para a cultivar 'Olimpo', foi superior aos outros produtos em germinação e apresentou menor número de plântulas anormais. Isso pode relacionar-se ao fato de que o T4 contém extrato de *Ascophyllum nodosum*, fósforo e molibdênio, que mitigaram os impactos das condições de salinidade.

Resultados semelhantes foram explicados pela capacidade de reduzir os sintomas de murcha, aumentar as taxas de recuperação das plântulas e eliminar espécies reativas de oxigênio (ROS) sob estresse abiótico (Hasanuzzaman *et al.*, 2021). O uso de outros tipos de algas e microalgas também apresentou resultados positivos; Palma *et al.* (2022), descobriram que a adição de *Asterycis quadricellulare* reduziu os efeitos da salinização na soja.

Algumas variedades tolerantes ao sal podem excluir ou isolar íons Na^+ e Cl^- para reduzir a concentração de sal nas células, enquanto aumentam a absorção e o acúmulo de K^+ para manter o equilíbrio iônico entre o interior e o exterior das células (Parveen *et al.*, 2021), os bioinsumos podem ajudar a manter esse equilíbrio osmótico, minimizando os efeitos de altas concentrações de sal.

A tolerância ao sal em plantas é resultado da adaptação ao estresse salino, refletindo a interação de vários processos metabólicos. Para avaliar completamente essa tolerância durante a germinação, é essencial considerar tanto a capacidade das sementes de germinar em condições salinas ou o desenvolvimento normal das plântulas após a germinação. O uso de apenas uma concentração de NaCl é insuficiente para representar com precisão a tolerância ao sal do

germoplasma de soja, uma vez que diferentes variedades apresentaram variações significativas na resistência ao sal, dependendo da concentração de NaCl aplicada (Zhou *et al.*, 2023).

Em baixas concentrações de íons Na⁺ e Cl⁻, Zhou *et al.* (2023), observaram que isso estimularia a absorção de água, metabolismo nas sementes e promoveria a germinação, bem como variáveis relacionadas, como SGI e SFC, estimulando de forma semelhante o desenvolvimento radicular e o acúmulo de massa fresca. Esse efeito também foi observado no presente experimento para a cultivar Guepardo, em que houve um leve aumento no comprimento da raiz (2,28%), representando um aumento de 6,45% na massa seca da raiz e um aumento de 8,89% no MSPA, em comparação com a menor concentração de sal (-0,3 MPa) e a condição não salina (Figuras 3A e 3B).

Embora baixas concentrações possam estimular o metabolismo em sementes e plântulas, é mais comum que elas reduzam ou atrasem esse desenvolvimento. Autores anteriores relataram que o desenvolvimento lento é um mecanismo adaptativo para as plantas sobreviverem em condições adversas, ajudando a reduzir o consumo de água, a absorção de sal e os danos causados pelo estresse salino (Munns & Millar, 2023). Essa reflexão sobre a germinação lenta e o desenvolvimento das plântulas é evidente no SGI, SFC e na frequência relativa de germinação para ‘Guepardo’ e ‘Olimpo’.

Na tentativa de explicar melhor a resposta das sementes e plântulas de soja à salinidade, Shelke *et al.* (2017), observaram que a variável que mais influenciou o PC1 foi o comprimento da raiz, com o PC1 correspondendo a 82,65% da variância, enquanto o PC2, com 12,42%, foi mais influenciado pelo número de raízes secundárias. Resultados semelhantes foram obtidos no presente experimento, com o PC1 representando 86,32%, sendo o comprimento da raiz (CRA) (Figura 7), a variável que mais representa o PC1. O PC2, com 7,65% da variância, é mais representado pela porcentagem de sementes mortas (DS).

A importância das raízes para o desenvolvimento e estabelecimento das plântulas é destacada por alguns autores, que relatam uma influência direta das concentrações de íons Na⁺ e Cl⁻ na regulação osmótica e na absorção de água pelas raízes, como um fator limitante para o seu desenvolvimento, indicando que genes específicos são expressos ou inibidos devido ao contato excessivo com o sal (Guan *et al.*, 2024) apresentando porcentagem de sementes mortas (SM).

4 CONCLUSÃO

Os tratamentos de sementes, particularmente T4 (com extrato de algas marinhas) e T5 (fertilizante mineral), têm o potencial de mitigar os efeitos negativos da salinidade, promovendo maiores taxas de germinação e vigor das plântulas.

As variáveis MSPA (mg), MSRA (mg), CPA (cm) e CRA (cm) contribuíram mais para a diferenciação das amostras, especialmente no primeiro componente. Este estudo ofereceu uma solução biotecnológica, para mitigar os efeitos da salinidade, beneficiando os agricultores ao aumentar a produtividade em solos salinos. Academicamente, forneceu uma base sólida para futuras pesquisas ,sobre o uso de bioinsumos para promover a tolerância ao estresse abiótico em culturas economicamente importantes. Embora os bioinsumos tenham mostrado resultados promissores, os experimentos em laboratório podem não representar totalmente as condições de campo. Estudos futuros devem incluir experimentos a longo prazo, em diferentes climas, solos, e investigar a interação dos bioinsumos, com outros estresses abióticos, como seca e altas temperaturas, para validar sua eficácia, em diversas condições de cultivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEWLEY, J. D. *et al.* **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy**. 3. ed. New York: Springer, 2013. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22BEWLEY,%20J.%22>). Acesso em: 20 jan. 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Programa Nacional de Bioinsumos**. Brasília: MAPA, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/o-programa>. Acesso em: 20 jan. 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise__sementes.pdf. Acesso em: 20 jan. 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020. **Estabelece as regras sobre o registro, produção e comercialização de inoculantes, biofertilizantes e produtos afins**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 10 jul. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacoes>. Acesso em: 20 jan. 2026.

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 3–14, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>. Acesso em: 20 jan. 2026.

GUAN, R. X. *et al.* Salt tolerance in soybean: focus on screening methods and genetics. **Plants**, v. 13, n. 1, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants13010097>. Acesso em: 20 jan. 2026.

HASANUZZAMAN, M. *et al.* Biostimulants for the regulation of reactive oxygen species metabolism in plants under abiotic stress. **Cells**, v. 10, n. 10, p. 2537, 2021. Disponível em: doi: 10.3390/cells10102537. Acesso em: 20 jan. 2026.

HILLEL, D. **Solo e água: princípios e processos físicos**. Nova York: Academic Press, 1971.

KESH, H. *et al.* Insights into physiological, biochemical and molecular responses in wheat under salt stress. Wheat. **IntechOpen**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/intechopen.102740>. Acesso em: 20 jan.2026.

KIM, S. T.; SANG, M. K. Enhancement of osmotic stress tolerance in soybean seed germination by bacterial bioactive extracts. **PLOS ONE**, v. 18, n. 10, e0292855, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0292855>. Acesso em: 20 jan.2026.

KRZYŻANOWSKI, F. C. *et al.* **Vigor de sementes: conceitos e testes**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2020.

LABOURIAU, L. G.; VALADARES, M. B. On the germination of seeds of *Calotropis procera* (Ait.) Ait. f. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 48, n. 2, p. 263–284, 1976. Disponível em: <https://scispace.com/papers/on-the-germination-of-seeds-of-calotropis-procera-ait-ait-f-aj2jlyi8od>. Acesso em: 20 jan. 2026.

MACHADO, C. G. *et al.* Germination and vigor of soybean and corn seeds treated with mixed mineral fertilizers. **Plants**, v. 12, n. 2, p. 338, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants12020338>. Acesso em: 20 jan. 2026.

MARCOS-FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 4, p. 363–374, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0007>. Acesso em: 20 jan. 2026.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p. 176–177, 1962. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>. Acesso em: 20 jan. 2026.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 651–681, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>. Acesso em: 20 jan. 2026.

MUNNS, R.; MILLAR, A. H. Seven plant capacities to adapt to abiotic stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 74, n. 15, p. 4308–4323, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/erad179>. Acesso em: 20 jan. 2026.

OYEBAMIJI, Y. O. *et al.* Recent advancements in mitigating abiotic stresses in crops. **Horticulturae**, v. 10, n. 2, p. 156, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/horticulturae10020156>. Acesso em: 20 jan. 2026.

PALMA, M. S. *et al.* Microalga added to Bradyrhizobium inoculant improves soybean tolerance to salt stress. **Journal of Applied Phycology**, v. 34, p. 2489–2505, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10811-022-02810-2>. Acesso em: 20 jan.2026.

PARVEEN, A. *et al.* Potassium induces carbohydrate adsorption improving morpho-physiological and biochemical attributes of soybean under salinity. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 67, n. 7, p. 946–959, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1769075>. Acesso em: 20 jan.2026.

SHELKE, D. B. *et al.* Salt-responsive physiological, photosynthetic and biochemical attributes in early seedling stage for screening soybean genotypes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 118, p. 519–528, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.07.013>. Acesso em: 20 jan.2026.

SILVA, T. C. *et al.* Desempenho agrônômico da soja em resposta ao tratamento da semente com bioestimulantes. **Trends in Agricultural and Environmental Sciences**, p. e240005, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.46420/TAES.e240005>. Acesso em: 20 jan.2026.

SHU, K. *et al.* Salt stress represses soybean seed germination by negatively regulating GA biosynthesis while positively mediating ABA biosynthesis. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01372>. Acesso em: 20 jan.2026.

WEBER, T. *et al.* Tratamento de sementes de soja com extrato de levedura e bioestimulante. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (CONBEA)**, 49., 2020. Anais [...]. 2020. Disponível em: <https://conbea.org.br/anais/publicacoes/conbea-2020/anais-2020/ciencia-e-tecnologia-pos-colheita-ctp-1/2629-tratamento-de-sementes-de-soja-com-extrato-de-levedura-e-bioestimulante/file>. Acesso em: 20 jan.2026.

ZHOU, X. *et al.* Comparing the salt tolerance of different spring soybean varieties at the germination stage. **Plants**, v. 12, n. 15, 2789, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants12152789>. Acesso em: 20 jan.2026.

CAPÍTULO 3

BIOINSUMOS NO TRATAMENTO DE SEMENTES COMO ESTRATÉGIA SUSTENTÁVEL PARA A MITIGAÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO NA GERMINAÇÃO

RESUMO

A disponibilidade hídrica é um fator determinante para a germinação e o desenvolvimento inicial da soja, podendo o déficit ou o excesso de água comprometerem o vigor das sementes. O uso de bioinsumos no tratamento de sementes pode contribuir para atenuar os efeitos do estresse hídrico e favorecer o estabelecimento das plântulas. Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do tratamento de sementes, com bioinsumos na germinação e formação inicial de plântulas de soja, sob diferentes condições de disponibilidade hídrica. Foram conduzidos dois experimentos, em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5×5 , correspondente a cinco tratamentos de sementes e cinco capacidades de retenção de água (CR). Utilizaram-se sementes de soja das cultivares Olimpo e Guepardo. Os tratamentos de sementes consistiram em: T1 – controle; T2 – *Bacillus aryabhatai*; T3 – coinoculação com *Bacillus aryabhatai*, *Bacillus haynesii* e *Bacillus circulans*; T4 – extrato de alga *Ascophyllum nodosum*, P e Mo; e T5 – fertilizante mineral (N, Zn, Cu e Mo). As capacidades de retenção de água foram de: 15, 30, 60, 100 e 120% (CR), com quatro repetições. Avaliaram-se germinação, primeira contagem, índice de velocidade e frequência relativa da germinação. Após a ANOVA, os bioinsumos foram comparados pelo teste de Scott-Knott e as capacidades de retenção de água, por análise de regressão. As cultivares foram comparadas por meio de Análise de Componentes Principais. O tratamento de sementes com bioinsumos atenuou os efeitos do estresse hídrico moderado, favorecendo a germinação e o vigor das plântulas de soja, sendo a condição de 60% da capacidade de retenção de água, a mais adequada para o processo germinativo; entre as cultivares avaliadas, a Olimpo apresentou melhor desempenho e maior tolerância ao déficit hídrico moderado, em comparação à Guepardo.

Palavras-chave: Bioinsumos, Déficit hídrico; Agricultura sustentável; *Bacillus* spp.

BIOINPUTS IN SEED TREATMENT AS A SUSTAINABLE STRATEGY FOR MITIGATING WATER STRESS DURING GERMINATION

ABSTRACT

Water availability is a determining factor for soybean germination and early development, as both water deficit and excess can compromise seed vigor. The use of bioinputs in seed treatment can help mitigate the effects of water stress and promote seedling establishment. This study aimed to evaluate the effect of seed treatment with bioinputs on soybean germination and early seedling growth under different water availability conditions. The experiment was conducted in a completely randomized design, arranged in a 5×5 factorial scheme, using seeds from the cultivars Olimpo and Guepardo. Treatments consisted of: T1 – control; T2 – *Bacillus aryabhatai*; T3 – co-inoculation with *Bacillus aryabhatai*, *Bacillus haynesii*, and *Bacillus circulans*; T4 – seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*), P and Mo; and T5 – mineral fertilizer (N, Zn, Cu, and Mo). Water-holding capacities were set at 15, 30, 60, 100, and 120% (WHC), with four replicates. Germination, first count, germination speed index, and relative germination frequency were evaluated. After ANOVA, bioinputs were compared using the Scott–Knott test, while water-holding capacities were analyzed by regression. Cultivars were compared through Principal Component Analysis (PCA). Seed treatment with bioinputs mitigated the effects of moderate water stress, improving soybean seed germination and seedling vigor. The condition corresponding to 60% WHC was the most favorable for germination; among the cultivars evaluated, Olimpo showed better performance and greater tolerance to moderate water deficit compared with Guepardo.

Keywords: Bioinputs; Water stress; Soybean; *Bacillus* spp.; Sustainable agriculture

1 INTRODUÇÃO

O estresse hídrico é um estresse abiótico extremamente destrutivo, capaz de reduzir substancialmente a produtividade da cultura e, paralelamente, a viabilidade do empreendimento agrícola. A soja caracteriza-se como uma planta altamente sensível a esse tipo de estresse, resultando em influência negativa sobre seu crescimento, fisiologia, bioquímica e qualidade das sementes (Oqba, 2017). Quanto mais duradouro o período em que a soja permanece exposta aos determinantes do estresse hídrico, maiores e mais significativas as perdas de produtividade, embora os efeitos finais de sua ação dependam mais diretamente do estágio de desenvolvimento da cultura, o que torna necessária a compreensão de intrincados mecanismos fisiológicos e bioquímicos (Wang *et al.*, 2025).

Bioinsumos têm se provado ferramentas eficientes para reduzir os danos do estresse hídrico na cultura da soja, promovendo principalmente a atividade antioxidante, favorecendo a absorção de nutrientes essenciais e aperfeiçoando métricas de germinação, entretanto, seu uso deve ocorrer de forma consciente, analisando possíveis compatibilidades ou incompatibilidades químicas com outros produtos de interesse agrônomo (fungicidas e inseticidas, por exemplo) e prezando por uma aplicação e tratamento de forma correta (De Almeida Silva *et al.*, 2024).

A soja é uma das culturas agrícolas mais importantes do mundo, exercendo papel fundamental: na segurança alimentar, na produção de óleo vegetal, de proteína para ração animal e no fornecimento de matérias-primas para a indústria e os biocombustíveis (Voora *et al.*, 2024; USDA, 2024). A relevância global da soja tem crescido de forma expressiva, impulsionada pela elevada demanda internacional, ao mesmo tempo em que os sistemas produtivos passam a enfrentar os efeitos das mudanças climáticas, como o aumento da temperatura média, a maior frequência de eventos extremos e a irregularidade no regime de chuvas (Hamza *et al.*, 2024).

O Brasil destaca-se como um dos maiores produtores e exportadores mundiais de soja, sendo a cultura um dos principais pilares do agronegócio nacional; entretanto, a produção brasileira é cada vez mais impactada, por cenários climáticos adversos, especialmente secas prolongadas e veranicos (Ferreira *et al.*, 2024; Zilli *et al.*, 2020). Estudos recentes sobre mudanças climáticas e agricultura no Brasil mostram que o aumento da temperatura e a alteração dos padrões pluviométricos representam um desafio crescente para a produtividade agrícola, com evidências indicando que as principais regiões produtoras, incluindo áreas intensivas em soja como o Centro-Oeste, podem enfrentar reduções na aptidão climática e

impactos negativos, nos rendimentos das culturas, em função do aquecimento global e da variabilidade hídrica (Assad *et al.*, 2024). A variabilidade hídrica e o aumento do estresse hídrico na fase inicial da cultura representam desafios significativos, exigindo a adoção de práticas e tecnologias sustentáveis que promovam maior resiliência da soja frente aos novos cenários climáticos (Ferreira *et al.*, 2024; USDA, 2024).

Registra-se que, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficácia do tratamento de sementes com bioinsumos, na atenuação do estresse hídrico, durante a germinação e a formação de plântulas de soja das cultivares Olimpo e Guepardo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado e conduzido no laboratório de sementes da Universidade de Rio Verde, localizado no município de Rio Verde-GO. Antes da avaliação dos estresses abióticos, as cultivares Brasmax Olimpo IPRO e Brasmax Guepardo IPRO de soja, foram caracterizadas quanto a massa de mil sementes (MMS), e pesadas oito subamostras de 100 sementes retiradas da amostra de trabalho. O teor de água (TA) foi determinado pelo método da estufa temperatura de 105 ± 3 °C por 24 horas, utilizado três subamostras (Brasil, 2009).

Os experimentos ocorreram de forma independente de acordo com o estresse adotado. O delineamento experimental utilizado foi o Inteiramente casualizado. Dentro de cada estresse avaliado em dois experimentos independentes com sementes de soja cultivares Olimpo e Guepardo, em esquema fatorial 5 x 5, com quatro repetições ou seja, T1 – controle sementes sem tratamento, aplicação na semente de T2- *Bacillus aryabhattai* CMAA 1363 1×10^8 unidade formadora de colônias mL⁻¹; T3 - *Bacillus aryabhattai* CBMAI 1120 $2,1 \times 10^{12}$ endósporos viáveis L⁻¹; *Bacillus circulans* CCT 0026 $3,0 \times 10^{11}$ endósporos viáveis L⁻¹ e *Bacillus haynesii* CCT 7926 $8,8 \times 10^{11}$ endósporos viáveis L⁻¹; T4 composto por extrato a base da alga *Ascophyllum nodosum*, fósforo (P₂O₅ 10,2 g L⁻¹) e molibdênio (Mo 10,2 g L⁻¹); T5 - Fertilizante mineral constituído de nitrogênio (N 65,1 g L⁻¹), cobre (Cu 304 g L⁻¹), molibdênio (Mo 84,0 g L⁻¹) e zinco (Zn 619 g L⁻¹). Salienta-se que, os tratamentos das sementes seguiram a metodologia Machado *et al.* (2023). E cinco regimes hídricos no substrato: 15, 30, 60, 100 e 120% da capacidade de retenção de água (CR).

Para a realização do teste de estresse hídrico as sementes foram semeadas em caixas acrílicas transparentes (11,0 x 11,0 x 3,5 cm) em substrato de areia para receberem as

capacidades de retenção de: 15, 30, 60, 100 e 120% (CR) determinada de acordo com Regras para Análise de Sementes - RAS (Brasil, 2025) sendo umedecidas e pesadas diariamente, durante o experimento para garantir manutenção da CR, estas foram dispostas em germinador do tipo Mangeldorf.

Ao final e durante a condução dos estresses abióticos avaliou-se:

Germinação – contabilizada ao oitavo dia após a semeadura as plântulas normais, que constavam todas as estruturas essenciais (Brasil, 2025). Concomitante com a germinação foi contabilizada a porcentagem de plântulas anormais, e sementes mortas, seguindo o descrito na RAS.

Primeira contagem de germinação - contabilizado as plântulas normais ao quinto dia após a semeadura (Brasil, 2025).

Índice de velocidade de germinação – dados obtidos por intermédio de contagens diárias foi submetido à fórmula proposta por Maguire (1968).

Frequência relativa da germinação - realizada em conjunto com o teste de germinação e obtida mediante a fórmula proposta por Labouriau e Valadares (1976).

Comprimento raiz e de parte aérea de plântulas - 10 plântulas normais de cada repetição, medido com um auxílio de uma régua graduada em centímetro, realizados da coifa da maior raiz até o colo, e deste até a inserção dos cotilédones, respectivamente, sendo os dados expressos em plântula-1.

No procedimento estatístico, inicialmente os dados foram testados quanto à normalidade e homogeneidade de Shapiro-Wilk. Quando necessário, os dados foram transformados para atender a esses pressupostos.

Em seguida aplicou-se estatística univariada para identificar os parâmetros de qualidade fisiológica, nos quais os bioinsumos foram diferenciados pelos dados e constatada significância serão comparados por teste de Tukey a 5% de probabilidade. Já os fatores quantitativos, níveis de estresses abióticos, quando verificada diferença significativa, foram submetidos à análise de regressão, considerando modelos lineares e não lineares.

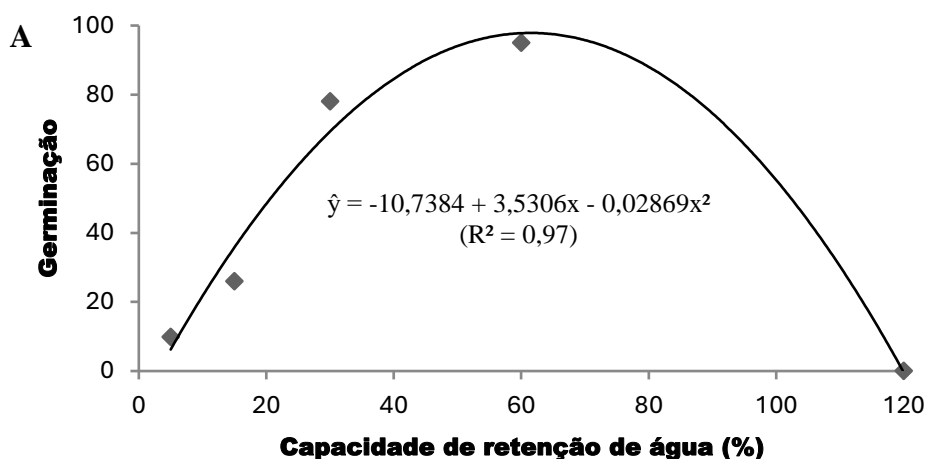
A segunda etapa foi realizada estatística multivariada, por meio de Análise de Componentes Principais, com o software Past4.3, transformando os dados originais em conjuntos de variáveis da mesma dimensão, com o objetivo de reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados e identificar padrões multivariados de resposta entre os tratamentos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O fator hídrico exerceu efeito significativo sobre a germinação na cultivar Guepardo, enquanto o fator tratamento e a interação entre ambos não apresentaram significância estatística.

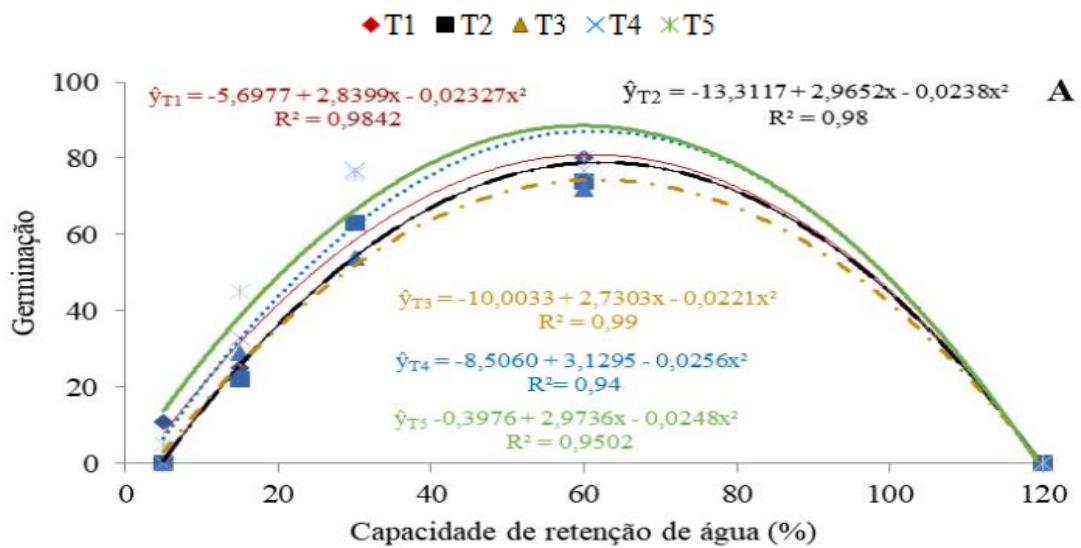
A variação da disponibilidade de água no substrato foi o principal determinante do desempenho germinativo e os tratamentos tiveram comportamento semelhante frente às condições avaliadas.

A análise de regressão demonstrou que a germinação aumentou progressivamente, conforme a capacidade retenção de água, que passou de 5% para 61,52% representando o ponto de máxima eficiência técnica, que a partir disso ocorre prejuízo na germinação.



Fonte: Autores (2026).

FIGURA 8 - Germinação sementes de soja Brasmax Guepardo IPRO submetidas para as diferentes capacidades de retenção de água em substrato areia.



Fonte: Autores (2026).

FIGURA 9 - Germinação sementes de soja Brasmax Olimpo IPRO, tratadas com T1 – controle sementes sem tratamento, T2- *Bacillus aryabhatai*; T3 - *Bacillus aryabhatai* e *Bacillus haynesii*; T4 composto por extrato a base da alga *Ascophyllum nodosum*, fósforo e molibdênio; T5 - Fertilizante mineral constituído de nitrogênio, cobre, molibdênio e zinco, submetidas para as diferentes capacidades de retenção de água em substrato areia.

Em ambas as cultivares, a germinação atingiu valores próximos a 95% em torno de 60% de capacidade de retenção, seguida de uma queda acentuada quando a capacidade de retenção foi em 120%, afirmando assim, a existência de um ponto ótimo de umidade, para o processo de germinação. As curvas em forma de parábola das figuras 7 e 8 é típica da resposta fisiológica de sementes submetidas a gradientes de disponibilidade hídrica (Marcos Filho, 2015; Taiz *et al.*, 2017).

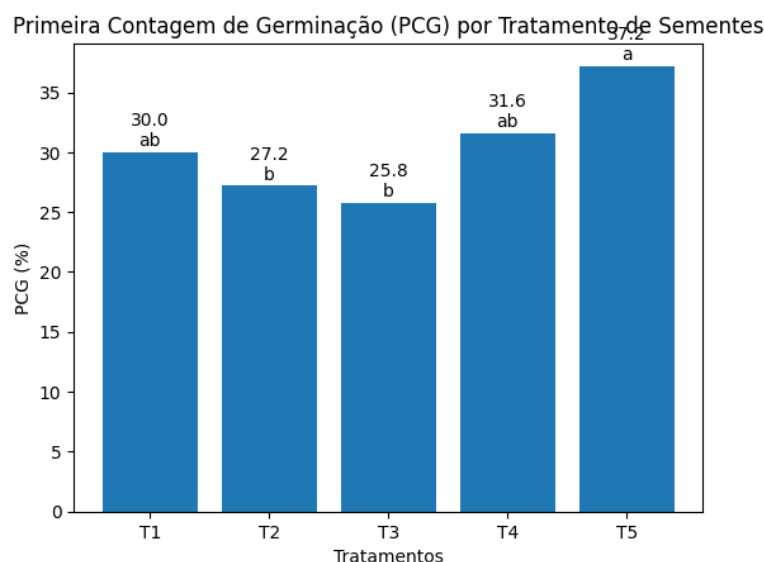
A Figura 8 mostra o comportamento da cultivar Guepardo, em que a germinação seguiu o modelo quadrático $\hat{y} = -10,7384 + 3,5306x - 0,02869x^2$ ($R^2 = 0,97$). Já a Figura 9 apresenta as curvas de regressão, para os cinco tratamentos avaliados na cultivar Olimpo, com R^2 variando entre 0,94 e 0,99, indicando excelente ajuste do modelo. Diferenças significativas entre as curvas foram observadas, como aumento da germinação média nos tratamentos T5, T4 e T1 sugerindo assim, que tais tratamentos foram mais eficientes em favorecer da germinação da cultivar Olimpo sob condições hídricas favoráveis.

O melhor desempenho da cultivar Olimpo em condições intermediárias de retenção pode relacionar-se à maior tolerância fisiológica ao déficit hídrico, possivelmente devido aos mecanismos de ajuste osmótico e síntese de solutos compatíveis, como prolina e açúcares solúveis, que contribuíram para a manutenção da integridade celular (Almaghrabi, 2012). A

cultivar Guepardo demonstrou comportamento mais sensível, associando-se a fatores genéticos na capacidade de reidratar ou na estrutura do tegumento.

Para Primeira Contagem de Germinação (PCG) a cultivar Guepardo não apresentou efeito significativo para os diferentes tratamentos. As médias de germinação variaram entre 35,6% e 38,8%, sendo estatisticamente semelhantes entre si. Os produtos utilizados indicaram ausência de significância e não interferiram na velocidade de protusão radicular.

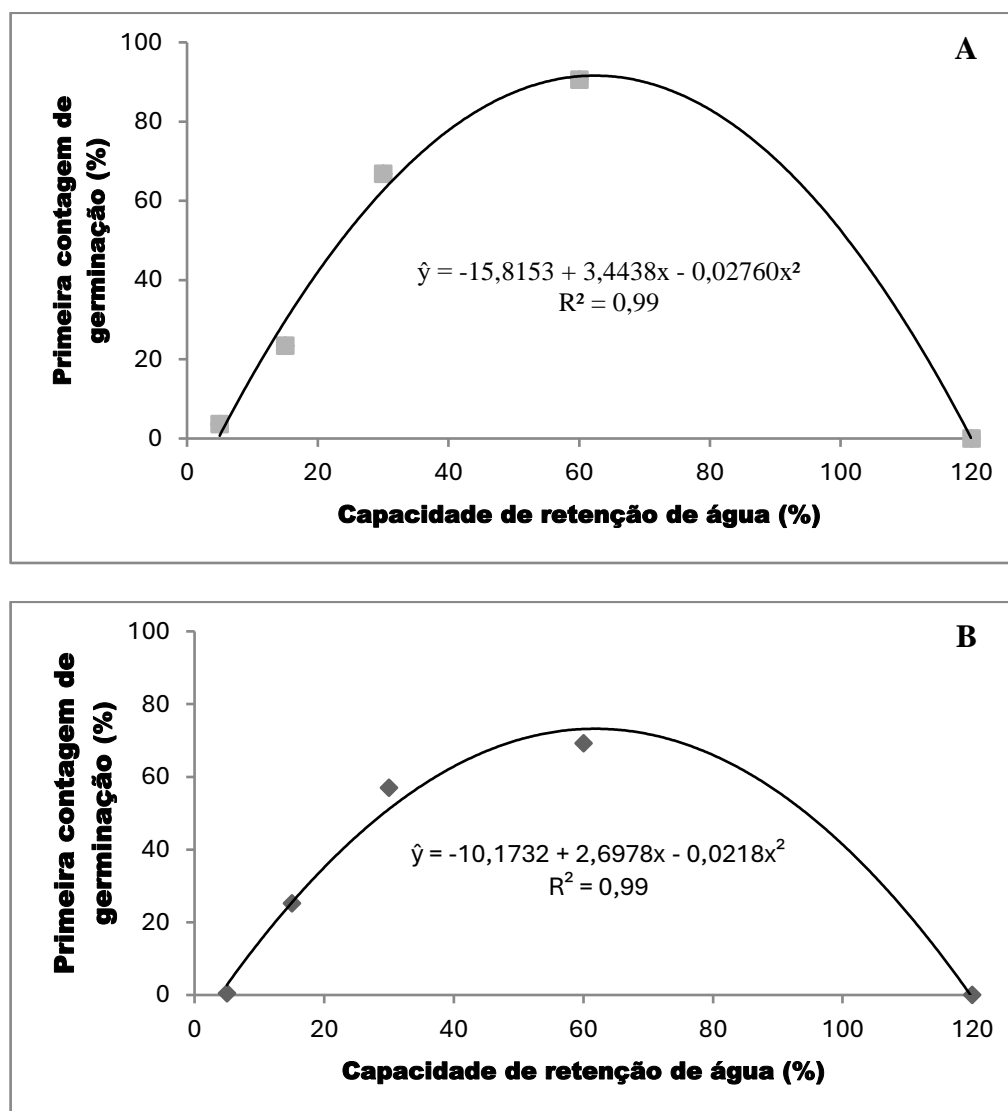
A cultivar Olimpo foi significativa aos tratamentos (figura 10). Comparando as médias o T5 - Fertilizante mineral constituído de nitrogênio (N 65,1 g L⁻¹), cobre (Cu 304 g L⁻¹), molibdênio (Mo 84,0 g L⁻¹) e zinco (Zn 619 g L⁻¹), proporcionou o maior percentual de plântulas normais (37,2%), diferindo estatisticamente dos tratamentos T2 - *Bacillus aryabhatai* linhagem CMAA 1363 com concentração de 1x10⁸ unidade formadora de colônias por ml e T3 - *Bacillus aryabhatai* linhagem CBMAI 1120 com concentração de 2,1x10¹² endósporos viáveis por L; *Bacillus circulans* linhagem CCT 0026 e concentração de 3,0x10¹¹ endósporos viáveis L⁻¹ e *Bacillus haynesii* linhagem CCT 7926 de concentração 8,8x10¹¹ endósporos viáveis L⁻¹ (27,2% e 25,8%, respectivamente). Observa-se que sementes com vigor inicial intermediário como verificado na cultivar Olimpo, cujo pico germinativo foi inferior ao da Guepardo, o tratamento de sementes pode exercer um papel auxiliar na proteção ou estímulo fisiológico, resultando em maior velocidade de germinação (Marcos-Filho, 2015).



Fonte: Autores (2026).

FIGURA 10 - Resultados da Primeira Contagem de Germinação (PCG) do teste de Scott-Knott para tratamento de sementes da cultivar de soja Olimpo.

Independente da cultivar, a disponibilidade hídrica exerceu influência sobre o vigor, ajustando a modelos de regressão polinomial quadrática para ambas a cultivares figura 11 (A) e 11 (B).



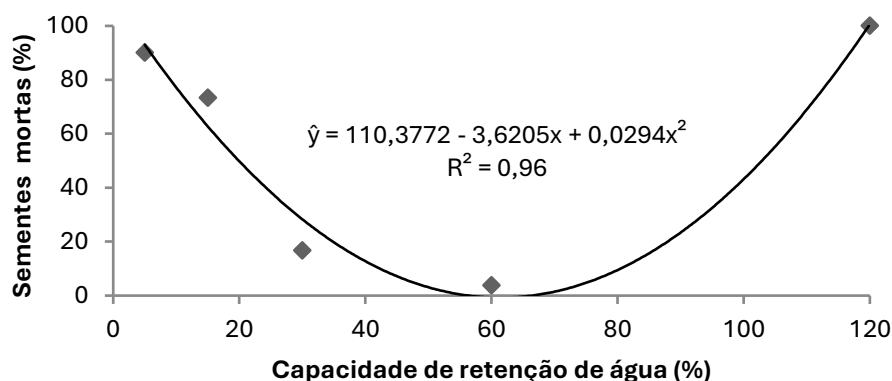
Fonte: Autores (2026).

FIGURA 11 - (A) Primeira Contagem de Germinação (PCG) cv. Gupeardo, (B) Primeira Contagem de Germinação (PCG) cv. Olimpo.

A Primeira Contagem de Germinação (PCG) foi severamente inibida em ambas as cultivares na zona de restrição hídrica (5% e 15%). Na cultivar Gupeardo, a germinação foi próxima a 3,6% no nível de 5%, enquanto na Olimpo foi de apenas 0,4%.

Os resultados demonstram que a PCG das cultivares é aumentada, em condições intermediárias de disponibilidade hídrica, especialmente em torno de 60% da capacidade de retenção de água, sendo afetada em condições de umidade extrema.

Para sementes mortas sob estresses hídricos de 15% da capacidade de retenção, a mortalidade das sementes foi de aproximadamente 92% para a cultivar Guepardo. Quando os solos estão muito secos, a água entra na semente de forma desordenada e com isso expande rapidamente as membranas celulares que ainda são rígidas. Na cv. Olimpo houve interação entre a capacidade de retenção de tratamentos aplicados na semente, todavia sem ajuste a nenhum modelo de regressão, observando na menor capacidade de retenção uma porcentagem de sementes mortas no T5, menor que as demais.

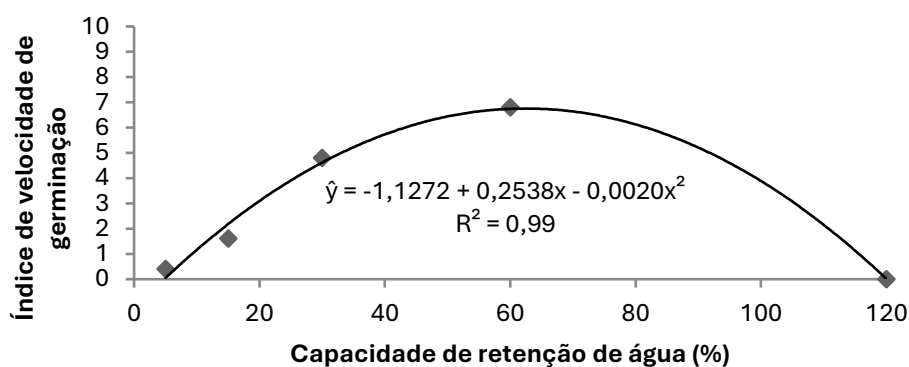


Fonte: Autores (2026).

FIGURA 12 - Sementes Mortas de soja Brasmax Guepardo IPRO submetidas para diferentes capacidades de retenção de água em substrato areia.

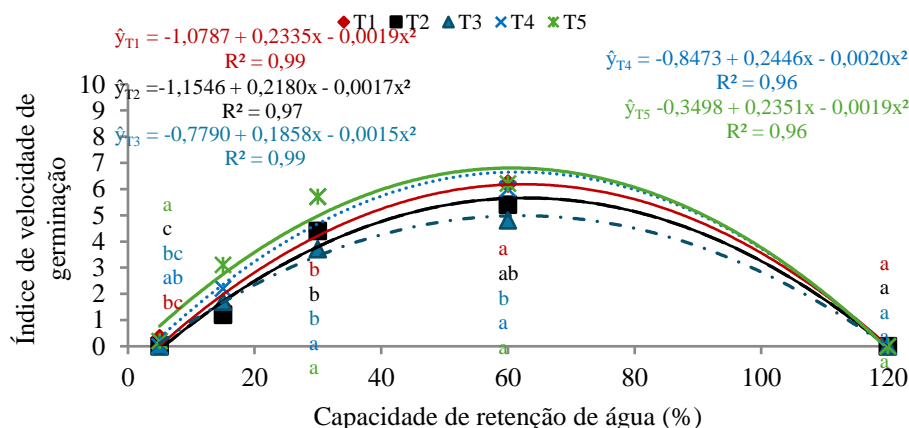
A cultivar Guepardo não apresentou diferença significativa entre os fatores para o Índice de Velocidade de Germinação (IVG), sendo significativo para as capacidades de retenção, em que 60% da capacidade obteve melhor média de Índice de Velocidade de Germinação (Figura 13). Para a cultivar Olimpo os tratamentos. (T5 e T4) aumentaram os índices de vigor quando comparado ao controle (T1), sendo assim, a bioestimulação microbiana favoreceu a estabilidade das membranas e a eficiência metabólica inicial, mitigando o efeito da seca.

Em condições de encharcamento 120% de capacidade de retenção, o Índice de Velocidade de Germinação (IVG) foi nulo para ambas as cultivares.



Fonte: Autores (2026).

FIGURA 13 - Índice de Velocidade de Germinação de soja Brasmax Guepardo IPRO submetidas para diferentes capacidades de retenção de água em substrato areia.



Fonte: Autores, 2026.

FIGURA 14 - Índice de velocidade de derminação sementes de soja Brasmax Olimpo IPRO, tratadas com T1 – controle sementes sem tratamento, T2- *Bacillus aryabhatai*; T3 - *Bacillus aryabhatai* e *Bacillus haynesii*; T4 composto por extrato a base da alga *Ascophyllum nodosum*, fósforo e molibdênio; T5 - Fertilizante mineral constituído de nitrogênio, cobre, molibdênio e zinco, submetidas a diferentes capacidades de retenção de água em substrato areia.

O Tempo Médio de Germinação (TMG) das cultivares Olimpo e Guepardo teve influência direta pela disponibilidade hídrica do substrato apresentando comportamento quadrático nas duas variedades. O menor tempo gasto para a germinação, observando o vigor máximo, ocorreu na faixa de 60% de capacidade de retenção, com as médias variando entre 3 e 4 dia.

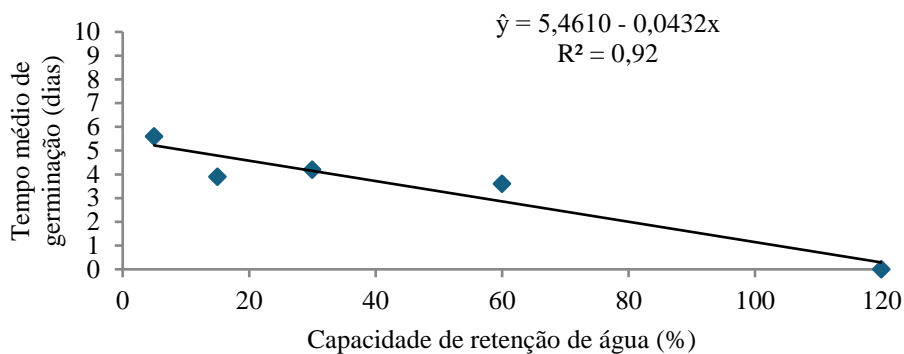
A disponibilidade de água reduzida para níveis moderados de 30% de capacidade de retenção e severo 15% de capacidade de retenção houve um aumento acentuado e progressivo

do TMG para as duas cultivares. À medida em que o processo germinativo se prolongava ocorria a resposta fisiológica direta à restrição hídrica, retardando a hidratação das membranas celulares e a ativação das enzimas necessárias para mobilizar as reservas orgânicas do cotilédono para o eixo embrionário.

A interação entre tratamentos e níveis de estresse, foi possível observar que as sementes que foram tratadas com o T2, T3 e T5 tenderam a apresentar um Tempo Médio de Germinação inferior ao T1 na condição de 30% de capacidade de retenção. Na cultivar Olimpo o adiantamento da germinação sob estresse foi estatisticamente perceptível, o que sugeriu que a estimulação por *Bacillus spp.* atua na mitigação do atraso metabólico imposto pelo baixo potencial hídrico.

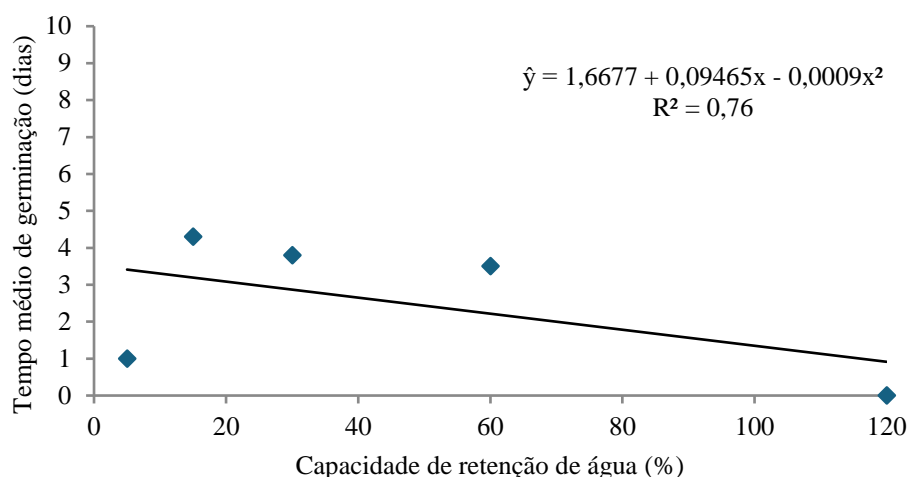
A condição de encharcamento em 120% impede a germinação em ambas as cultivares, sendo nulo o TMG.

Em suma, as cultivares Olimpo e Guepardo demonstraram uma germinação otimizada em 60% da capacidade de retenção, sendo que os desvios de seca prolongaram o tempo de exposição da semente, aumentando os riscos no solo e os desvios de encharcamento que anulam completamente e inviabilizam o processo germinativo.



Fonte: Autores (2026).

FIGURA 15 - Tempo médio de Germinação de soja Brasmax Guepardo IPRO submetidas para diferentes capacidades de retenção de água em substrato areia.



Fonte: Autores (2026).

FIGURA 16 - Tempo médio de Germinação de soja Brasmax Olimpo IPRO submetidas para diferentes capacidades de retenção de água em substrato areia.

Com base na frequência relativa, observou-se que, a capacidade de retenção de água (CR) do substrato foi o principal fator a influenciar a distribuição temporal da germinação. No tratamento controle (T1), sob condições ideais de umidade (60% CR), a germinação apresentou um padrão unimodal, com o pico máximo no 3º dia (cerca de 45%). Já em situação de estresse hídrico severo (5% CR), a curva correspondente ao T1 passou a ser polimodal, com o pico principal deslocado para o 5º dia e um segundo pico menor no 7º dia, indicando uma redução na sincronia do processo.

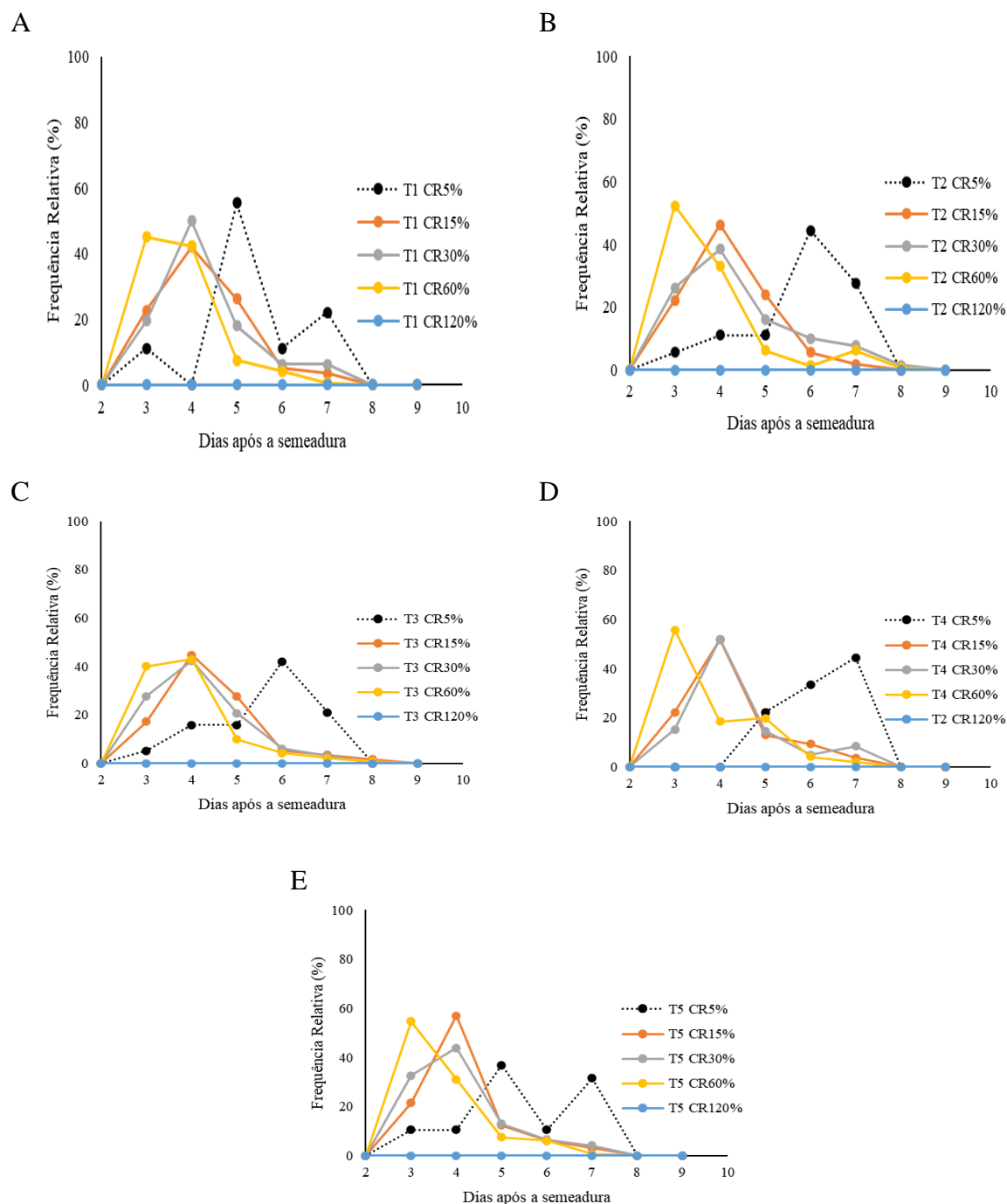
Ao analisar os bioinsumos, observou-se que o T2 (*Bacillus aryabhatai*) e o T4 (Algas + P + Mo) otimizaram a performance inicial. No T4, mesmo sob estresse moderado (30% CR), a germinação manteve-se concentrada entre o 3º e 4º dia, com frequências superiores a 50%. Já o T2 demonstrou maior resiliência no nível de 5% CR, mantendo um pico mais definido no 6º dia em comparação à dispersão observada no controle. Em contrapartida, o excesso de umidade (120% CR) foi letal em todos os tratamentos, com frequência relativa nula, durante todo o período de avaliação.

O deslocamento das curvas de frequência para a direita e a mudança de um padrão unimodal para polimodal em condições de baixa disponibilidade hídrica (5% e 15% CR) indicaram um retardo nas atividades metabólicas causado pelo estresse. A redução do potencial hídrico do substrato compromete o processo de embebição, etapa fundamental para a ativação da hidrólise. Conforme apontado na literatura, o déficit hídrico prolonga a Fase II da germinação, ocasionando uma emergência lenta e irregular, o que prejudica a formação uniforme do estande no campo.

A capacidade dos tratamentos T2 e T3 (*Bacillus* spp.) em suavizar essa dispersão explica-se pela interação microrganismo-planta. Bactérias do gênero *Bacillus* são conhecidas por secretar exopolissacarídeos (EPS) que aumentam a retenção de água na rizosfera e por produzirem fitormônios, como as giberelinas, que aceleram a quebra de reserva e a protrusão da radícula.

A atenuação da dispersão observada nos tratamentos T2 e T3 (*Bacillus* spp.) pode ser atribuída à interação benéfica entre os microrganismos e a planta. Espécies do gênero *Bacillus* são reconhecidas por sintetizar exopolissacarídeos (EPS), substâncias que aumentam a capacidade de retenção de água na rizosfera, além de produzirem fitormônios, como as giberelinas, que favorecem a mobilização das reservas e estimulam a protrusão da radícula.

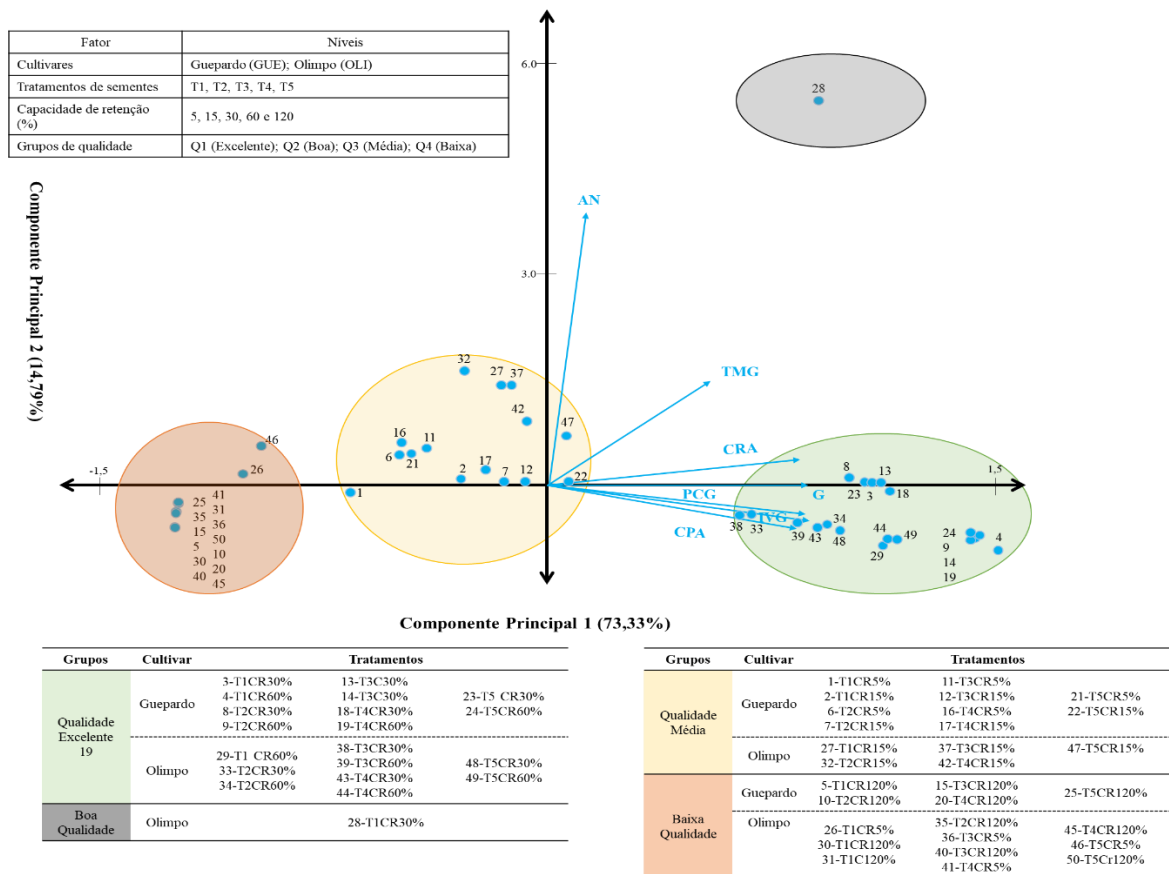
Por fim, a anoxia causada pelo nível de 120% CR interrompeu a cadeia respiratória mitocondrial. O excesso de água preenche os macroporos do substrato, impedindo a difusão do oxigênio, para o embrião, o que explica a ausência total de germinação observada nos gráficos, independentemente do uso de bioinsumos.



Fonte: Autores (2026).

FIGURA 17 - Frequência relativa de sementes de soja cultivar Guepardo, submetidas aos tratamentos (A)- controle sementes sem tratamento, (B)- *Bacillus aryabhattai* CMAA 1363 1×10^8 unidade formadora de colônias mL⁻¹; (C) - *Bacillus aryabhattai* CBMAI 1120 $2,1 \times 10^{12}$ endósporos viáveis L⁻¹; *Bacillus circulans* CCT 0026 $3,0 \times 10^{11}$ endósporos viáveis L⁻¹ e *Bacillus haynesii* CCT 7926 $8,8 \times 10^{11}$ endósporos viáveis L⁻¹; (D) composto por extrato a base da alga *Ascophyllum nodosum*, fósforo (P₂O₅ 10,2 g L⁻¹) e molibdênio (Mo 10,2 g L⁻¹); (E) - Fertilizante mineral constituído de nitrogênio (N 65,1 g L⁻¹), cobre (Cu 304 g L⁻¹), molibdênio (Mo 84,0 g L⁻¹) e zinco (Zn 619 g L⁻¹) de sementes, avaliadas em diferentes capacidades de retenção de água do substrato (5, 15, 30, 60 e 120%).

O gráfico biplot (Figura 18) da análise de componentes principais (ACP) dos tratamentos (1–50), resultantes da combinação entre cultivares de soja (Guepardo e Olimpo), tratamentos de sementes com bioinsumos e níveis de capacidade de retenção de água (5, 15, 30, 60 e 120%). Os tratamentos foram agrupados em quatro classes de qualidade de sementes. As elipses representaram a dispersão dos grupos e as setas indicaram a contribuição das variáveis para os componentes principais.



Fonte: Autores (2026).

FIGURA 18 - Análise de Componentes Principais (ACP) de tratamentos de sementes de soja das cultivares Guepardo e Olimpo, sob aplicação de bioinsumos e diferentes capacidades de retenção hídrica, com formação de grupos de qualidade fisiológica.

Ajudar a classificar sob condições de estresse, separando tratamentos ou níveis de estresse com base nas variáveis medidas, torna-se mais fácil entender os dados ao remover redundâncias. Na Análise de Componentes Principais (ACP), dois componentes principais mostraram-se uma variância acumulada de cerca de 88%. Manter uma alta porcentagem de variância acumulada, como 80% ou mais, é geralmente uma boa prática para garantir que os componentes escolhidos representem bem os dados.

Assim, uma variância acumulada acima de 80% em ACP aplicada a dados de soja seria considerada alta e indicaria que os componentes escolhidos representam bem os dados. No entanto, muitos estudos sobre a soja lidam com dados muito variados e complexos, o que muitas vezes resulta em variância acumulada abaixo desse valor. Isso exige a análise de mais componentes para obter insights significativos, como visto no tratamento de soja e milho (Machado *et al.*, 2023).

O Grupo Q1 (qualidade excelente) foi formado pelos tratamentos que proporcionaram maior germinação, velocidade de germinação e crescimento de plântulas sementes em todos os tratamentos submetidas a capacidade de 60% e 30%. Sendo observado menores porcentagens de plântulas anormais. No teste de germinação da soja conduzido em substrato areia, o correto umedecimento do meio é fundamental para a adequada expressão do potencial fisiológico das sementes. Conforme estabelecido nas Regras para Análise de Sementes (Ras, 2025), a areia deve ter sua capacidade de retenção de água previamente determinada, sendo a umidade ajustada a 60% dessa capacidade para sementes de maior tamanho, como as da soja. Essa condição proporciona disponibilidade hídrica suficiente para a embebição e ativação metabólica das sementes, ao mesmo tempo em que preserva a aeração do substrato, evitando condições de hipóxia que possam comprometer a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas (Brasil, 2025).

Em sementes tratadas com T1 e submetidas a 30% da capacidade de retenção observou-se uma germinação intermediária, ou seja abaixo de 80% para comercialização (Brasil, 2013). Aliado a elevada porcentagem de plântulas anormais.

Já sementes de todos os tratamentos submetidas as capacidades de 5 e 15% de retenção observou-se germinação, porém em porcentagens baixas, ainda cabe destacar que esses pontos ficaram próximos da origem do gráfico biplot. Na Análise de Componentes Principais (PCA), pontos próximos à origem do gráfico biplot indicaram que essas observações (amostras ou casos) têm valores baixos ou medianos para as componentes principais representadas nos eixos do gráfico. Em outras palavras, esses pontos não apresentam variações extremas ou características marcantes em relação às variáveis que mais influenciaram as componentes principais.

Os valores originais dessas observações estão próximos da média das variáveis consideradas. Portanto, caracterizar pontos próximos à origem do gráfico biplot em PCA implica entender que eles representam casos com características médias ou pouco distintas dentro do conjunto de dados analisado.

Finalmente, todos os tratamentos, submetidos a 120% da capacidade de retenção

apresentaram desempenho inferior, em relação às sementes de soja, com valores nulos de germinação e desenvolvimento das plântulas resultantes.

O excesso de água, como o submetimento das sementes a 120% da capacidade de retenção hídrica, pode causar germinação nula devido condições fisiológicas adversas para o desenvolvimento das sementes. Fisiologicamente, o excesso de umidade no substrato pode levar à hipóxia ou anóxia, ou seja, à falta de oxigênio disponível para as sementes. A respiração celular das sementes durante a germinação requer oxigênio para a produção de energia (ATP), essencial para a embebição, ativação metabólica e crescimento inicial das plântulas.

Quando a capacidade de retenção de água ultrapassa o nível ideal, a saturação do meio provoca a redução da aeração, criando um ambiente anaeróbico que compromete a respiração aeróbica (Zhang *et al*, 2025), causando estresse metabólico, inibindo a germinação e o desenvolvimento das plântulas, resultando em valores nulos de germinação e crescimento. Além disso, a falta de oxigênio pode favorecer a proliferação de microrganismos patogênicos e a degradação dos tecidos da semente, agravando ainda mais o efeito negativo do excesso de água (Wiraguna, 2022).

Essa explicação está alinhada com a importância de manter a umidade do substrato em níveis adequados (por exemplo, 60% da capacidade de retenção de água para sementes de soja), garantindo a disponibilidade hídrica suficiente para a embebição e a ativação metabólica, sem comprometer a aeração do meio e evitando condições de estresse moderado.

A disponibilidade hídrica do substrato foi o principal fator determinante da qualidade fisiológica das sementes de soja, influenciando diretamente a germinação, o vigor e o desenvolvimento inicial das plântulas das cultivares Olimpo e Guepardo. A condição correspondente a 60% da capacidade de retenção de água proporcionou os melhores resultados, evidenciando ser a faixa ideal para a germinação, enquanto o déficit hídrico severo e o excesso de água comprometeram ou inviabilizaram o processo germinativo.

O estresse hídrico por deficiência prolongou o tempo médio de germinação, reduziu a velocidade e a sincronia do processo, ao passo que o encharcamento (120% da capacidade de retenção) resultou em germinação nula, independentemente do tratamento de sementes, em função da hipóxia no substrato. Esses resultados reforçaram a elevada sensibilidade da soja aos extremos de disponibilidade hídrica durante a fase inicial de desenvolvimento.

O tratamento de sementes com bioinsumos, especialmente aqueles à base de *Bacillus spp.* e de nutrientes associados a extrato de algas, mostrou-se eficiente na atenuação dos efeitos do estresse hídrico moderado (30%), promovendo maior germinação, vigor e redução do tempo médio de germinação. A cultivar Olimpo apresentou maior amplitude de adaptação hídrica em

relação a Guepardo, indicando superior eficiência fisiológica sob condições de estresse moderado.

A análise de componentes principais confirmou a separação dos tratamentos, em grupos distintos de qualidade fisiológica, destacando a superioridade dos tratamentos associados à faixa hídrica ideal. Concluiu-se que, o uso de bioinsumos no tratamento de sementes é uma estratégia promissora para mitigar os efeitos do estresse hídrico moderado na germinação da soja, desde que associado às condições adequadas de umidade do substrato.

4 CONCLUSÕES

A disponibilidade hídrica do substrato constituiu o principal fator determinante da germinação e do vigor das sementes de soja. A condição correspondente a 60% da capacidade de retenção de água foi a mais favorável ao desempenho fisiológico das cultivares avaliadas. Tanto o déficit ou o excesso hídrico resultaram em redução significativa da germinação e do vigor, evidenciando a sensibilidade da espécie aos extremos de umidade.

O tratamento de sementes com bioinsumos, especialmente à base de *Bacillus spp.* e extrato de algas, demonstrou potencial para atenuar os efeitos do estresse hídrico moderado, promovendo melhor desempenho germinativo. A cultivar Olimpo apresentou maior estabilidade fisiológica frente às variações hídricas, em comparação à Guepardo, indicando superior capacidade de adaptação sob restrição moderada de água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMAGHRABI, O. A. Impact of drought stress on germination and seedling growth parameters of some wheat cultivars. **Life Science Journal**, v. 9, n. 1, p. 590–598, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267557194_Impact_of_Drought_Stress_on_Germination_and_Seedling_Growth_Parameters_of_Some_Wheat_Cultivars. Acesso em: 20 jan. 2026.
- ASSAD, E. D. *et al.* Mudanças do clima e agropecuária: impactos, mitigação e adaptação no Brasil. Estudos Avançados – **Revista de Pesquisa**, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.202438112.015>. Acesso em: 20 jan. 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013. **Estabelece os padrões de identidade e qualidade para a produção e a comercialização de sementes**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 18 set. 2013. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/publicacoes-sementes-e-mudas/copy_of_INN45de17desetembrode2013.pdf. Acesso em: 20 jan. 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise__sementes.pdf. Acesso em: 20 jan. 2026.

FERREIRA, R. C. *et al.* Soybean Yield Losses Related to Drought Events in Brazil. **Agriculture**, v. 14, n. 12, p. 2144, 2024. Disponível em: <https://10.3390/agriculture14122144>. Acesso em: 20 jan. 2026.

DE ALMEIDA SILVA, M. *et al.* The composition of biostimulants applied in seed treatment interferes with the soybean emergence under water deficiency. **Nativa**, v. 12, n. 4, p. 819–833, 19 dez. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.31413/nat.v12i4.17455>. Acesso em: 20 jan. 2026.

HAMZA, M.; ALI, R.; KHAN, M.; ZHOU, X. Global impact of soybean production: a review. **Asian Journal of Biochemistry**, Genetics and Molecular Biology, v. 16, n. 2, p. 12–20, 2024. Disponível em: <https://journalajbgmb.com/index.php/AJBGMB/article/view/357>. Acesso em: 20 jan. 2026.

LABOURIAU, L. G.; VALADARES, M. B. On the germination of seeds of *Calotropis procera* (Ait.) Ait. f. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 48, n. 2, p. 263–284, 1976. Disponível em: <https://scispace.com/papers/on-the-germination-of-seeds-of-calotropis-procera-ait-ait-f-aj2jlyi8od>. Acesso em: 20 jan. 2026.

MACHADO, C. G. *et al.* Germination and vigor of soybean and corn seeds treated with mixed mineral fertilizers. **Plants**, v. 12, n. 2, p. 338, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants12020338>. Acesso em: 20 jan. 2026.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p. 176–177, 1962. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>. Acesso em: 20 jan. 2026.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2015

OQBA, B. The effects of drought stress on soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) growth, physiology and quality – **Review**. **Acta Agraria Debreceniensis**, n. 72, p. 19–24, 16 maio 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.34101/actaagrar/72/1576>. Acesso em: 20 jan. 2026.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Soybeans and Oil Crops**. Washington, D.C., 2024. Disponível em: <https://www.ers.usda.gov/topics/crops/soybeans-and-oil-crops>. Acesso em: 20 jan. 2026.

VOORA, V. *et al.* Global Market Report: **Soybean prices and sustainability**. IISD, 2024.

WANG, C. *et al.* Drought and rewatering effects on soybean photosynthesis, **Physiology and Yield**. PeerJ, v. 13, p. e19658, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.7717/peerj.19658>. Acesso em: 20 jan. 2026.

WIRAGUNA, E. Adaptation of legume seeds to waterlogging at germination. **Crops**, v. 2, n. 2, p. 111–119, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/crops2020009>. Acesso em: 20 jan. 2026.

ZHANG, Y. *et al.* A review of soil waterlogging impacts, mechanisms, and adaptive strategies. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1545912>. Acesso em: 20 jan. 2026.

ZILLI, M. T. *et al.* The impact of climate change on Brazil's agriculture. **Science of the Total Environment**, v. 739, p. 139311, 2020. Disponível em: <https://10.1016/j.scitotenv.2020.139311>. Acesso em: 20 jan. 2026.