



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA
MESTRADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

JOILMA MARIA DE SOUZA

**EFICIÊNCIA DE BIOESTIMULANTE NA MITIGAÇÃO DO ESTRESSE SALINO
EM RÚCULA CULTIVADA EM SISTEMA SEMI-HIDROPÔNICO**

MOSSORÓ

2026

JOILMA MARIA DE SOUZA

**EFICIÊNCIA DE BIOESTIMULANTE NA MITIGAÇÃO DO ESTRESSE SALINO
EM RÚCULA CULTIVADA EM SISTEMA SEMI-HIDROPÔNICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: TECNOLOGIAS EM NUTRIÇÃO DE PLANTAS E SOLUÇÕES PARA CONVIVÊNCIA COM A SECA E SALINIDADE

Orientador: Francisco de Assis de Oliveira,
Prof. Dr.

MOSSORÓ

2026

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S725e Souza, Joilma Maria de .
Eficiência de bioestimulantes na mitigação do
estresse salino em rúcula cultivada em sistema
semi-hidropônico / Joilma Maria de Souza. - 2026.
80 f. : il.

Orientador: Francisco de Assis de Oliveira.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Manejo de Solo e Água, 2026.

1. Fitormônios. 2. Tolerância ao sal. 3.
Hidroponia. 4. Qualidade pós-colheita. 5.
Agricultura sustentável. I. Oliveira, Francisco
de Assis de , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

EFICIÊNCIA DE BIOESTIMULANTE NA MITIGAÇÃO DO ESTRESSE SALINO EM RÚCULA CULTIVADA EM SISTEMA SEMI-HIDROPÔNICO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: TECNOLOGIAS EM NUTRIÇÃO DE PLANTAS E SOLUÇÕES PARA CONVIVÊNCIA COM A SECA E SALINIDADE

Defendida em: 26 / 02 / 2026.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **FRANCISCO DE ASSIS DE OLIVEIRA**
Data: 28/02/2026 22:12:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Francisco de Assis de Oliveira, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Documento assinado digitalmente
 **LUIZ FERNANDO DE SOUSA ANTUNES**
Data: 28/02/2026 21:14:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Luiz Fernando de Sousa Antunes, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 **GARDENIA SILVANA DE OLIVEIRA RODRIGUES**
Data: 01/03/2026 12:27:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Gardenia Silvana de Oliveira Rodrigues, Prof. Dra. (SEEC-RN)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 **MARIA LILIA DE SOUZA NETA**
Data: 01/03/2026 10:05:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Maria Lilia de Souza Neta, Prof. Dra. (SEEC-RN)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, pela oportunidade de trilhar esta jornada acadêmica e por Sua constante presença em todos os momentos, mesmo diante dos desafios que surgiram. A conclusão do meu mestrado em Manejo de Solo e Água representa para mim mais do que uma conquista acadêmica: é a realização de um sonho construído com dedicação, fé e perseverança.

Agradeço à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água pela oportunidade de realizar este curso de mestrado.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro que tornou possível a execução desta pesquisa.

Ao meu orientador, Professor Francisco de Assis Oliveira, agradeço pela orientação dedicada, paciência e incentivo constante. Seu comprometimento, profissionalismo e atenção foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho e para minha formação acadêmica. Sou grata por ter contado com seu apoio em cada etapa desta trajetória.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, agradeço pelo ensino, orientação e generosidade ao compartilhar conhecimento ao longo do curso. Cada aula, conselho e troca de experiência contribuiu de maneira decisiva para minha formação acadêmica e científica.

Ao Professor Luiz Fernando de Sousa Antunes, registro meus sinceros agradecimentos pelo suporte fundamental durante o mestrado, especialmente nas publicações científicas e nas aulas. Sua orientação e generosidade compartilharam conhecimento e experiência que fizeram diferença no meu aprendizado e crescimento profissional.

À Professora Jeane Portela, minha orientadora de estágio, agradeço pelo aprendizado, orientação e incentivo durante esta etapa fundamental da minha formação. Aprendi muito com sua dedicação, experiência e compromisso com a educação, que contribuíram de forma significativa para meu crescimento acadêmico e profissional.

Aos meus colegas do Laboratório de Análise de Solos, Água e Plantas do Semiárido, agradeço pelo companheirismo, amizade e apoio durante toda a jornada. As conversas, o compartilhamento de experiências e os momentos de descontração tornaram o ambiente de trabalho mais leve e inspirador.

À minha mãe, Maria de Fátima Almeida, expresso minha mais profunda gratidão, amor e admiração. Sua vida como professora, exemplo de ética, dedicação e amor, sempre foi a inspiração que norteou minha trajetória. O apoio, as palavras de incentivo e a confiança que sempre depositou em mim foram fundamentais para que eu alcançasse esta etapa da minha vida. Esta conquista é, em grande parte, fruto do exemplo e da base que ela me proporcionou.

À minha família, expresso minha sincera gratidão pelo apoio incondicional, compreensão e incentivo ao longo de toda essa caminhada. Mesmo nos momentos de ausência, dedicação intensa aos estudos e desafios enfrentados, sempre encontrei em vocês acolhimento, força e motivação para continuar. Esta conquista também pertence a cada um que, de alguma forma, esteve ao meu lado, acreditando no meu potencial e torcendo pelo meu sucesso.

Aos meus amigos Luara, Amanda, Norlan, Françoise, Terly e Karen, agradeço pelo incentivo, palavras de apoio e pela presença nos momentos de desafios e conquistas. Cada vitória celebrada carrega a lembrança e a amizade de vocês.

Registro também meus agradecimentos à equipe do IrrigaNutri, pelo apoio, orientação e colaboração durante o desenvolvimento desta pesquisa.

À banca examinadora, composta pelas Professoras Maria Lilia de Souza Neta e Gardenia Silvana de Oliveira Rodrigues, e pelo Professor Luiz Fernando de Sousa Antunes, agradeço pela disponibilidade, atenção e valiosas contribuições para o aprimoramento deste trabalho. Suas considerações, sugestões e olhar criterioso certamente enriqueceram esta pesquisa e contribuíram significativamente para minha formação acadêmica.

Para todos que leem isto: continuem. Não importa o quanto você se sinta preso, o quanto as coisas pareçam difíceis agora, ou o quanto você esteja desesperado ou triste. Também não importa quantos dias você passou desejando que as coisas fossem diferentes. Eu te prometo uma coisa: você não se sentirá assim para sempre. Tudo muda, mesmo quando parece que nada muda.

RESUMO

A rúcula é uma hortaliça de grande importância comercial, e seu cultivo pode ser afetado pela salinidade da água, exigindo estratégias para mitigar esse estresse. Dentre os problemas causados pela salinidade, o estresse osmótico e a toxicidade iônica afetam o crescimento e provocam desequilíbrios nutricionais, além de alterar a fisiologia e bioquímica da planta. Uma estratégia para superar os efeitos negativos da salinidade pode ser o uso de bioestimulantes, como o Stimulate®. Este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito do Stimulate® na cultura da rúcula cultivada sob condições de salinidade em sistema semi-hidropônico. A pesquisa foi desenvolvida em duas etapas em casa de vegetação na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN. No primeiro experimento, adotou-se delineamento inteiramente casualizado (DIC), em arranjo fatorial 1 + 4, para determinar a dose ideal do Stimulate®. Foram empregadas uma solução controle ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$) e quatro doses do regulador (0; 5; 10 e 20 mL L^{-1}), via foliar e solução nutritiva com água salina de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$. As plantas foram colhidas aos 35 dias após a semeadura. As variáveis de crescimento foram influenciadas pelas doses de Stimulate®, com melhor desempenho nas doses entre 10 e 12 mL L^{-1} . As doses intermediárias favoreceram a altura de plantas, massa fresca e seca, área foliar, suculência foliar e teores de clorofila. No segundo experimento, em delineamento inteiramente casualizado e esquema fatorial 3×4 , testou-se três níveis de salinidade ($0,5$; $2,5$ e $5,0 \text{ dS m}^{-1}$, induzidos por NaCl) e quatro métodos de aplicação do bioestimulante Stimulate®: tratamento de sementes (20 mL kg^{-1}), pulverização foliar (10 mL L^{-1}), aplicação combinada (sementes+foliar) e controle. As plantas foram colhidas aos 40 dias. O crescimento (altura, massa fresca e seca) foi negativamente influenciado pela salinidade, com reduções entre 14,9% e 33,5% ao comparar as salinidades extremas. A área foliar, área foliar específica e suculência foliar apresentaram interação entre salinidade e formas de aplicação. O pH e a condutividade elétrica do suco foram influenciados pela interação dos fatores. O teor de vitamina C foi reduzido pela salinidade intermediária, destacando-se o tratamento via sementes. Os parâmetros de acidez titulável, sólidos solúveis, clorofila total e colorimétricos mantiveram-se estáveis. Desse modo, conclui-se que o Stimulate® promoveu melhorias no crescimento vegetativo da rúcula sob estresse salino, com doses ótimas entre 10 e 12 mL L^{-1} para aplicação foliar. A aplicação via sementes destacou-se como método mais promissor, proporcionando maior estabilidade fisiológica. O aumento da salinidade reduziu significativamente o crescimento e a produção de biomassa, porém a aplicação do bioestimulante atenuou parcialmente essas perdas, mantendo a qualidade pós-colheita.

Palavras-chave: Fitormônios. Tolerância ao sal. Hidroponia. Qualidade pós-colheita. Agricultura sustentável.

ABSTRACT

Arugula is a leafy vegetable of great commercial importance, and its cultivation can be affected by water salinity, requiring strategies to mitigate this stress. Among the problems caused by salinity, osmotic stress and ionic toxicity affect growth and cause nutritional imbalances, in addition to altering the plant's physiology and biochemistry. One strategy to overcome the negative effects of salinity may be the use of biostimulants, such as Stimulate®. This study aimed to evaluate the effect of Stimulate® on arugula grown under saline conditions in a semi-hydroponic system. The research was carried out in two stages in a greenhouse at the Federal Rural University of the Semi-Arid Region (UFERSA), Mossoró, RN, Brazil. In the first experiment, a completely randomized design (CRD) with a 1 + 4 factorial arrangement was adopted to determine the optimal dose of Stimulate®. A control solution (0.5 dS m⁻¹) and four doses of the regulator (0, 5, 10, and 20 mL L⁻¹) were applied via foliar spray and nutrient solution with saline water of 5.0 dS m⁻¹. Plants were harvested 35 days after sowing. Growth variables were influenced by the doses of Stimulate®, with the best performance observed at doses between 10 and 12 mL L⁻¹. Intermediate doses favored plant height, fresh and dry mass, leaf area, leaf succulence, and chlorophyll content. In the second experiment, also conducted in a completely randomized design with a 3 × 4 factorial arrangement, three salinity levels (0.5, 2.5, and 5.0 dS m⁻¹, induced by NaCl) and four methods of Stimulate® application were tested: seed treatment (20 mL kg⁻¹), foliar spray (10 mL L⁻¹), combined application (seeds + foliar), and control. Plants were harvested 40 days after sowing. Growth (height, fresh and dry mass) was negatively affected by salinity, with reductions ranging from 14.9% to 33.5% when comparing extreme salinity levels. Leaf area, specific leaf area, and leaf succulence showed interactions between salinity and application methods. The pH and electrical conductivity of the juice were influenced by the interaction of factors. Vitamin C content was reduced under intermediate salinity, with seed treatment standing out. Titratable acidity, soluble solids, total chlorophyll, and colorimetric parameters remained stable. Thus, Stimulate® improved the vegetative growth of arugula under saline stress, with optimal foliar doses between 10 and 12 mL L⁻¹. Seed application proved to be the most promising method, providing greater physiological stability. Although increased salinity significantly reduced growth and biomass production, the application of the biostimulant partially mitigated these losses, maintaining post-harvest quality.

Keywords: Phytohormones. Salt tolerance; Hydroponics. Post-harvest quality. Sustainable agriculture.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1: EFICIÊNCIA DE MITIGADORES DE ESTRESSE SALINO EM RÚCULA CULTIVADA SOB SISTEMA SEMI-HIDROPÔNICO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Figura 1 Valores médios de massa fresca total (MFT), massa seca total (MST), altura de planta (AP), número de folhas (NF), clorofila (Clo A), clorofila (Clo B), clorofila total (Clo T), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), suculência foliar (SUF) e pH de plantas de rúcula (*Eruca sativa* Mill.) tratadas com diferentes concentrações de Stimulate, cultivadas em sistema semi-hidropônico no município de Mossoró, estado do Rio Grande do Norte, Brasil. Barras seguidas de asterisco (*) diferem da média do controle pelo teste de Dunnett ($P \geq 0,05$).....29

Figura 2 Análise de componentes principais (PCA); (B) Matriz de correlação de Pearson. Variáveis morfológicas e fisiológicas de plantas de rúcula (*Eruca sativa* Mill.) cultivadas em sistema semi-hidropônico sob estresse salino (5,0 dS m⁻¹) e submetidas à aplicação de diferentes doses de Stimulate® (0, 5, 10 e 20 mL L⁻¹). Altura de planta (AP), número de folhas (NF), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), pH foliar (pH), teor de clorofila total (Clo_T), clorofila a (Clo_A), clorofila b (Clo_B), massa fresca total (MFT), massa seca total (MST), suculência foliar (SF) e sólidos solúveis (°Brix).....33

ARTIGO 2: APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTES COMO ESTRATÉGIA PARA MELHORIA DO DESEMPENHO AGRONÔMICO DE RÚCULA CULTIVADA COM ÁGUA DE ELEVADA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

Figura 1 Altura de plantas (A), número de folhas (B), massa fresca total (C) e peso seco total (D) de rúcula em função da condutividade elétrica da solução nutritiva (CE, dS m⁻¹) e das formas de aplicação de Stimulate® (ausente, aplicação via foliar, via tratamento de sementes e via sementes + foliar), em cultivo hidropônico com substrato. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si quanto às formas de aplicação dentro da mesma dose de CE, e médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si quanto às doses de CE dentro da mesma forma de aplicação, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).....49

Figura 2 Área foliar (A), área foliar específica (AFE) (B) e suculência foliar (SUF) (C) de rúcula em função da condutividade elétrica da solução nutritiva (CE, dS m⁻¹) e das formas de aplicação de Stimulate® (ausente, aplicação foliar, tratamento de sementes e sementes + foliar), em cultivo hidropônico com substrato. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si quanto às formas de aplicação dentro de cada nível de CE, e médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si quanto aos níveis de CE dentro de cada forma de aplicação, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).....53

- Figura 3** pH (A), acidez titulável (B), condutividade elétrica do suco (C), sólidos solúveis totais (D) de rúcula em função da condutividade elétrica da solução nutritiva (CE, dS m⁻¹) e das formas de aplicação de Stimulate® (ausente, aplicação via foliar, via tratamento de sementes e via sementes + foliar), em cultivo hidropônico com substrato. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si quanto às formas de aplicação dentro da mesma dose de CE, e médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si quanto às doses de CE dentro da mesma forma de aplicação, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).....56
- Figura 4** Clorofila total (SPAD) (A) e vitamina C (mg 100 g⁻¹) (B) de rúcula em função da condutividade elétrica da solução nutritiva (CE, dS m⁻¹) e das formas de aplicação de Stimulate® (ausente, aplicação via foliar, via tratamento de sementes e via sementes + foliar), em cultivo hidropônico com substrato.....59
- Figura 5** Parâmetros de cor das folhas de rúcula cultivadas sob diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva (CE, dS m⁻¹) e formas de aplicação de Stimulate®. (A) luminosidade (L*), (B) componente a* (variação verde-vermelho), (C) componente b* (variação azul-amarelo), (D) croma (C*) e (E) ângulo de matiz (h°). As diferentes cores nos gráficos representam as formas de aplicação de Stimulate® (ausente, aplicação via foliar, via tratamento de sementes e via sementes + foliar), em cultivo hidropônico com substrato. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si quanto às formas de aplicação dentro da mesma dose de CE, e médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si quanto às doses de CE dentro da mesma forma de aplicação, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).....62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Dr	Doutor
BCOT	Biblioteca Central Orlando Teixeira
CEAGESP	Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo
ETSP	Entrepósito Terminal São Paulo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ONU	Organização das Nações Unidas
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
RN	Rio Grande do Norte
ACP	Análise de Componentes Principais
PC	Componente Principal
PCA	Principal Component Analysis
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
NFT	Nutrient Film Technique
AF	Área Foliar
AFE	Área Foliar Específica
AP	Altura de Planta
ANOVA	Análise de Variância
NF	Número de Folhas
SUF	Suculência Foliar
DAS	Dias Após a Semeadura
MFF	Massa Fresca de Folhas
MFT	Massa Fresca Total
MSD	Massa Seca do Disco Foliar
MSF	Massa Seca de Folhas
MST	Massa Seca Total
Clo A	Clorofila A
Clo B	Clorofila B
Clo T	Clorofila Total
CE	Condutividade Elétrica
MAP	Fosfato Monoamônico

RAS	Razão de Adsorção de Sódio
CIELAB	Sistema de Cores
AT	Acidez Titulável
SS	Sólidos Solúveis
cv.	Cultivar
FeEDDHA	Ferro quelatizado EDDHA
h°	Ângulo de Matiz
IFC	Índice Falker de Clorofila
L*	Luminosidade
PF	Produção de Folhas
PVC	Policloreto de Vinila
RStudio	Software estatístico RStudio
SISVAR	Sistema para Análise de Variância
a*	Componente de cor verde-vermelho
b*	Componente de cor azul-amarelo
C*	Croma (Cromaticidade)

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°C	Grau Celsius
°Brix	Grau Brix (sólidos solúveis totais)
®	Marca registrada
X	Multiplicação / espaçamento
Ca ²⁺	Íon cálcio
Cl ⁻	Íon cloreto
CO ₃ ²⁻	Íon carbonato
Fe	Ferro
HCO ₃ ⁻	Íon bicarbonato
K ⁺	Íon potássio
K ₂ O	Óxido de potássio
Mg ²⁺	Íon magnésio
Mo	Molibdênio
N	Nitrogênio
Na ⁺	Íon sódio
NaCl	Cloreto de sódio
P	Fósforo
P ₂ O ₅	Pentóxido de fósforo
S	Enxofre
cm	Centímetro
Cm ²	Centímetro quadrado
dSm ⁻¹	Decisiemens por metro
g	Grama
g H ₂ Ocm ⁻²	Grama de água por centímetro quadrado
g plant ⁻¹	Grama por planta
kg	Quilograma
L	Litro
L ⁻¹	Por litro
m	Metro
mg	Miligrama

mg g ⁻¹	Miligrama por grama
mg L ⁻¹	Miligrama por litro
mL	Mililitro
mL L ⁻¹	Mililitro por litro
mm	Milímetro
mmolc L ⁻¹	Milimol de carga por litro
pH	Potencial Hidrogeniônico
B	Boro
Cu	Cobre
g m ⁻²	Grama por metro quadrado
HCl	Ácido clorídrico
HNO ₃	Ácido nítrico
KOH	Hidróxido de potássio
M	Molar (concentração)
mg AA 100 g ⁻¹	Miligrama de ácido ascórbico por 100 gramas
mL kg ⁻¹	Mililitro por quilograma
mS cm ⁻¹	Milisiemens por centímetro
NaOH	Hidróxido de sódio
r	Coefficiente de correlação

SUMARIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19
ARTIGO 1: EFICIÊNCIA DE MITIGADOR DE ESTRESSE SALINO EM RÚCULA CULTIVADA SOB SISTEMA SEMI-HIDROPÔNICO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO	22
RESUMO	22
1. INTRODUÇÃO	24
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4. CONCLUSÕES.....	35
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
ARTIGO 2: FORMAS DE APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE NA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DE DIFERENTES NÍVEIS DE SALINIDADE DA ÁGUA NO CULTIVO DE RÚCULA.....	41
RESUMO.....	41
1. INTRODUÇÃO	43
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	44
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4. CONCLUSÕES.....	66
5. REFERÊNCIAS.....	67

INTRODUÇÃO GERAL

A horticultura tem um papel muito importante para garantir a segurança alimentar e nutricional, principalmente nas regiões semiáridas e comunidades periféricas, onde a produção local de alimentos é essencial para o sustento das famílias e o fortalecimento da economia local (Santos *et al.*, 2024). Contudo, essas regiões enfrentam desafios ambientais significativos, tais como a escassez hídrica, as altas temperaturas e a baixa fertilidade do solo, que limitam severamente as atividades agrícolas (Castro, 2024; Mata *et al.*, 2024). Nesse contexto, torna-se essencial adotar estratégias que promovam sistemas produtivos mais sustentáveis e resilientes, assegurando a continuidade da produção e a qualidade de vida das populações rurais. Segundo Altieri e Nicholls (2020), as práticas sustentáveis na agricultura são fundamentais para aumentar a capacidade dos sistemas agrícolas de resistir aos efeitos das mudanças climáticas e manter a segurança alimentar a longo prazo.

No Brasil, a horticultura tem grande importância socioeconômica, com hortaliças como alface, rúcula, coentro e couve contribuindo para a renda e segurança alimentar. A alface lidera a produção de hortaliças folhosas, mas a rúcula tem ganhado espaço nos últimos anos. Em 2016, o Brasil produziu 40.527 toneladas de rúcula, com 20.567 estabelecimentos agrários envolvidos (IBGE, 2017). Em 2023, o Entrepasto Terminal São Paulo (ETSP) comercializou 2.227 toneladas de rúcula hidropônica, com destaque para municípios paulistas como Ibiúna, Piedade e Cotia (CEAGESP, 2024). Apesar desse potencial, limitações climáticas, como a aridez, a irregularidade das precipitações e as altas temperaturas, impõem barreiras significativas ao desenvolvimento da atividade, restringindo ou inviabilizando a produção em determinadas regiões (Castro; Cerezini, 2025).

Os problemas enfrentados pela agricultura no semiárido são multifacetados e interligados, destacando-se o déficit hídrico prolongado, a salinização dos solos e as elevadas taxas de evapotranspiração (Yadav *et al.*, 2020). A escassez e a baixa qualidade da água, frequentemente salina, comprometem a produtividade das culturas e a sustentabilidade dos agroecossistemas (Ma; Dias; Freitas, 2020). Diante disso, o desenvolvimento e a adoção de tecnologias que aumentem a eficiência do uso da água e a resiliência das hortaliças às condições adversas são fundamentais (Alharbi *et al.*, 2024). Práticas como o melhoramento genético para tolerância à seca e o uso de sistemas de irrigação eficientes são estratégias promissoras para mitigar os impactos da escassez hídrica (Soujanya; Gurjar, 2024; Xing; Wang, 2024).

Para mitigar os efeitos deletérios das condições semiáridas, diversas alternativas têm sido estudadas e aplicadas na horticultura. Entre elas, destaca-se o uso de bioestimulantes,

como o Stimulate[®], formulado a partir da combinação dos reguladores vegetais ácido indolbutírico (auxina), cinetina (citocinina) e ácido giberélico (giberelina) (Carvalho *et al.*, 2023), que pode promover o crescimento vegetal e aumentar a tolerância das plantas ao estresse hídrico (Di Nogueira *et al.*, 2023, Sario *et al.*, 2025a;). Além disso, o manejo eficiente da irrigação, por meio de sistemas que otimizam a aplicação de água, e a implementação de práticas que aumentem o aproveitamento hídrico e o crescimento vegetal são indispensáveis (Costa *et al.*, 2024; Sharma; Rallapalli; Magner, 2025).

Os resultados das pesquisas nesta área demonstram que as estratégias adotadas, como o uso de bioestimulantes e o manejo otimizado da irrigação, contribuem significativamente para a melhoria do desempenho das plantas e para a sustentabilidade produtiva nos ambientes semiáridos (Ocwa *et al.*, 2024). Essas abordagens não apenas aumentam a produtividade da rúcula, mas também promovem o uso mais consciente dos recursos naturais, alinhando-se diretamente com o objetivo de desenvolvimento sustentável (ODS) 12 da Agenda 2030 da ONU, que visa assegurar padrões de consumo e produção responsáveis (United Nations, 2022). A redução do desperdício de alimentos e a utilização eficiente de recursos são metas fundamentais que a horticultura sustentável no semiárido pode ajudar a alcançar (Gage *et al.*, 2024).

Destarte, a presente dissertação está estruturada em dois artigos científicos. O primeiro artigo abordou a padronização das doses de Stimulate[®] na atenuação do estresse salino em rúcula, buscando a dose ideal para otimizar o desempenho da cultura. O segundo artigo, por sua vez, investigou os efeitos de diferentes níveis de salinidade e formas de aplicação do Stimulate[®] (tratamento de sementes, pulverização foliar e aplicação combinada) no crescimento, produtividade e qualidade pós-colheita da rúcula cultivada em sistema semi-hidropônico, visando identificar as estratégias mais eficientes à mitigação do estresse salino e o desenvolvimento de práticas sustentáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALHARBI, S.; FELEMBAN, A.; ABDELRAHIM, A.; AL-DAKHIL, M. Agricultural and Technology-Based Strategies to Improve Water-Use Efficiency in Arid and Semiarid Areas. **Water**, v. 16, n. 13, p. 1842, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/16/13/1842>. Acesso em: 22 out. 2025.
- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. Agroecology: Challenges and opportunities for farming in the Anthropocene. **International Journal of Agriculture and Natural Resources**, v. 47, n. 3, p. 204–215, 2020. Disponível em: <https://ojs.uc.cl/index.php/ijanr/article/view/28471>. Acesso em: 22 out. 2025.
- CARVALHO, B. L.; AIRES, E. S.; RODRIGUES, J. D.; ONO, E. O. Use of Plant Regulators for Activation of Antioxidant Enzymes in Basil Plants under Water Deficit Conditions. **Stresses**, v. 3, n. 1, p. 282–301, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-7140/3/1/21>. Acesso em: 21 abr. 2025.
- CASTRO, C. N. de. Capacidade adaptativa às mudanças climáticas de agricultores familiares no semiárido brasileiro. 2024. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/13893>. Acesso em: 22 out. 2025.
- CASTRO, C. N. de; CEREZINI, M. T. CAPACIDADE ADAPTATIVA ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS DE AGRICULTORES FAMILIARES NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. **Agricultura Familiar: Pesquisa, Formação e Desenvolvimento**, v. 18, n. 1, p. 9–29, 2025. Disponível em: <https://www.periodicos.ufpa.br/index.php/agriculturafamiliar/article/view/15131>. Acesso em: 22 out. 2025.
- CEAGESP. Rúcula hidropônica é o produto destaque da semana (23 a 27/09) no atacado da CEAGESP. In: - CEAGESP -. 25 set. 2024. Disponível em: <https://ceagesp.gov.br/comunicacao/noticias/rucula-hidroponica-dica-da-semana/>. Acesso em: 22 out. 2025.
- COSTA, M. D.; COSTA, A. C. B.; SANTOS, D. de S.; GALDINO, W. de O.; SOUSA, J. I. de; SILVA, D. M. R.; SILVA, J. V. Expressão de genes responsivos ao déficit hídrico em plantas do semiárido brasileiro: uma revisão sistemática. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, v. 17, n. 1, p. 7259–7278, 2024. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/4696>. Acesso em: 22 out. 2025.
- DI SARIO, L.; BOERI, P.; MATUS, J. T.; PIZZIO, G. A. Plant Biostimulants to Enhance Abiotic Stress Resilience in Crops. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 26, n. 3, p. 1129, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/26/3/1129>. Acesso em: 22 out. 2025.
- GAGE, E.; WANG, X.; XU, B.; FOSTER, A.; EVANS, J.; TERRY, L. A.; FALAGÁN, N. Reducing food loss and waste contributes to energy, economic and environmental sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v. 451, p. 142068, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652624015166>. Acesso em: 22 out. 2025.

IBGE. **Produção de Rúcula no Brasil** | IBGE. 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/rucula/br>. Acesso em: 22 out. 2025.

MA, Y.; DIAS, M. C.; FREITAS, H. Drought and Salinity Stress Responses and Microbe-Induced Tolerance in Plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, 2020. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2020.591911/full>. Acesso em: 22 out. 2025.

MATA, Djair Alves da; SILVA, T. B. da; SILVA, J. F. da; SILVA, G. de F. da; PAIVA, J. H. S.; MACENA, R. A.; NASCIMENTO, R. R. A.; ARAÚJO, J. V. dos S.; PEREIRA, F. M.; LIMA, A. D. da C.; SILVA, F. G. da; SOARES, J. V.; SILVA, B. O. T. da; MARTINS, A. H. P. da C.; MATA, Daniel Alves da. Fertilidade do solo no semiárido: características e desafios. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 15, n. 9, p. e4278–e4278, 2024. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/4278>. Acesso em: 22 out. 2025.

NOGUEIRA, M.; CRUZ, P. da S.; CRUZ, L. S. da; JESUS, A. C. D. de; SANTOS, P. A.; AQUINO, C. F. Uso de bioestimulante Stimulate® na produção de mudas de pimentão (*Capsicum annum* L.). **Recital - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG**, v. 5, n. 1, p. 45–57, 2023. Disponível em: <https://recital.almenara.ifnmg.edu.br/recital/article/view/305>. Acesso em: 22 out. 2025.

OCWA, A.; BOJTOR, C.; ILLÉS, Á.; SSEMUGENZE, B.; BALAOUT, I.; RÁTONYI, T.; SZÉLES, A.; HARSÁNYI, E. Precision drip Irrigation System and Foliar Application of Biostimulant and Fertilizers Containing Micronutrients Optimize Photochemical Efficiency and Grain Yield of Maize (*Zea mays* L.). **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 24, n. 4, p. 7786–7800, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42729-024-02074-4>. Acesso em: 22 out. 2025.

SANTOS, R. da S.; PEREIRA, A. G.; COARACY, T. do N.; COSTA, D. M.; DE MEIRELES, D. A.; DA SILVA SANTOS, P. C.; BARBOSA NETO, M. A.; SILVA DE MEDEIROS, R. L. Iniciativas de hortas urbanas em espaços reduzidos: cultivando sustentabilidade e saúde nas cidades. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 19, n. 2, p. 116–121, 2024. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9564310>. Acesso em: 22 out. 2025.

SHARMA, R.; RALLAPALLI, S.; MAGNER, J. Optimizing water-efficient agriculture: evaluating the sustainability of soil management and irrigation synergies using fuzzy extent analysis. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 29382, 2025. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-025-15426-6>. Acesso em: 22 out. 2025.

SOUJANYA, B.; GURJAR, D. S. Water-efficient crop production: Agronomic strategies for drought-prone areas. **International Journal of Research in Agronomy**, v. 7, n. 12, p. 187–196, 2024. Disponível em: <https://www.agronomyjournals.com/archives/2024.v7.i12.C.2121>. Acesso em: 22 out. 2025.

UNITED NATIONS. **THE 17 GOALS | Sustainable Development**. 2022. Disponível em: https://sdgs-un-org.translate.goog/goals?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt&_x_tr_pto=tc. Acesso em: 31 out. 2025.

XING, Y.; WANG, X. Precision Agriculture and Water Conservation Strategies for Sustainable Crop Production in Arid Regions. **Plants**, v. 13, n. 22, p. 3184, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/13/22/3184>. Acesso em: 22 out. 2025.

YADAV, S.; MODI, P.; DAVE, A.; VIJAPURA, A.; PATEL, D.; PATEL, M.; YADAV, S. Effect of Abiotic Stress on Crops. *In*: SUSTAINABLE CROP PRODUCTION. : IntechOpen, 2020. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/68945>. Acesso em: 22 out. 2025.

ARTIGO 1: EFICIÊNCIA DE MITIGADOR DE ESTRESSE SALINO EM RÚCULA CULTIVADA SOB SISTEMA SEMI-HIDROPÔNICO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

RESUMO

A salinidade da água de irrigação é um dos principais fatores que limitam o crescimento e a produtividade das culturas em regiões semiáridas. Nesse contexto, bioestimulantes têm sido estudados como alternativas para mitigar os efeitos do estresse salino. Este estudo avaliou a aplicação de Stimulate® no cultivo de rúcula (*Eruca sativa* Mill) em sistema semi-hidropônico sob estresse salino. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 1 + 4 composto por um tratamento controle e quatro doses de Stimulate® (0, 5, 10 e 20 mL L⁻¹), aplicadas via foliar aos 20 dias após a semeadura. O tratamento controle consistiu em uma solução nutritiva preparada com água de baixa condutividade elétrica (0,5 dS m⁻¹), enquanto as condições salinas foram obtidas por meio do ajuste da condutividade elétrica da solução para 5,0 dS m⁻¹, utilizando cloreto de sódio (NaCl). Os resultados indicaram que o Stimulate® promoveu aumentos significativos na altura de plantas, massa fresca e seca e suculência foliar, com melhor desempenho em doses entre 10 e 12 mL L⁻¹. As doses intermediárias favoreceram os teores de clorofila B e total, enquanto o pH permaneceu estável e os sólidos solúveis apresentaram variação. A análise de componentes principais evidenciou que doses estimadas de 5 a 10 mL L⁻¹ estiveram associadas à maior área foliar e qualidade, enquanto doses próximas a 10 mL L⁻¹ favoreceram o acúmulo de biomassa, indicando o potencial do Stimulate® no manejo do estresse salino por meio do estímulo ao crescimento vegetativo e à modulação de respostas fisiológicas.

Palavras-chave: Adaptação fisiológica. Fitotoxicidade salina. Reguladores de crescimento vegetal. Respostas agrônômicas. Tecnologias adaptativas em horticultura.

PAPER 1: EFFECTIVENESS OF BIOSTIMULANT APPLICATION ON ARUGULA GROWN UNDER SALINE CONDITIONS IN A SEMI-HYDROPONIC SYSTEM IN THE BRAZILIAN SEMIARID REGION

ABSTRACT

Salinity in irrigation water is one of the main factors limiting crop growth and productivity in semi-arid regions. In this context, biostimulants have been studied as alternatives to mitigate the effects of saline stress. This study evaluated the application of Stimulate® in the cultivation of rocket (*Eruca sativa* Mill) in a semi-hydroponic system under saline stress. The experiment was conducted in a completely randomized design, in a 1 + 4 factorial scheme consisting of one control treatment and four doses of Stimulate® (0, 5, 10 and 20 mL L⁻¹), applied foliarly 20 days after sowing. The control treatment consisted of a nutrient solution prepared with water of low electrical conductivity (0.5 dS m⁻¹), while the saline conditions were obtained by adjusting the electrical conductivity of the solution to 5.0 dS m⁻¹, using sodium chloride (NaCl). The results indicated that Stimulate® promoted significant increases in plant height, fresh and dry mass, and leaf juiciness, with the best performance at doses between 10 and 12 mL L⁻¹. Intermediate doses enhanced chlorophyll B and total chlorophyll contents, while pH remained stable and soluble solids showed variable behavior. Principal component analysis showed that doses from 5 to 10 mL L⁻¹ were associated with greater leaf area and quality, whereas doses close to 10 mL L⁻¹ favored biomass accumulation, indicating the potential of Stimulate® in managing salt stress by stimulating vegetative growth and modulating physiological responses.

Keywords: Physiological adaptation. Saline phytotoxicity. Plant growth regulators. Agronomic responses. Adaptive technologies in horticulture.

1. INTRODUÇÃO

A salinidade é um dos principais problemas que afetam a agricultura, pois dificulta a absorção de água e nutrientes pelas plantas e pode causar estresse e toxicidade (Yang; Guo, 2018). O excesso de sal piora esses problemas, atrapalhando o crescimento das plantas, diminuindo a produtividade e afetando sua qualidade. Dependendo da espécie cultivada, as perdas podem ser irreversíveis, comprometendo a viabilidade comercial da produção (Santos *et al.*, 2020a).

No caso da rúcula (*Eruca sativa*), estudos indicam que o limiar de tolerância à salinidade varia entre 3,5 dS m⁻¹ para a cultivar Folha Larga e 2,0 dS m⁻¹ para a cultivar Cultivada (Oliveira Silva *et al.*, 2011 *et al.*, 2012;). Sob condições de estresse salino, observa-se uma redução no crescimento das plantas, incluindo diminuição na altura, número de folhas e massa seca da parte aérea (Petretto *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2020a).

Diante desse desafio, Estratégias que aumentam a capacidade das plantas de resistir ao estresse salino têm ganhado cada vez mais atenção. Entre elas, os bioestimulantes à base de fitormônios, como auxinas, citocininas e giberelinas, são destacados por seu papel no crescimento das plantas (Li *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2022; Sosnowski; Truba; Vasileva, 2023). Esses compostos promovem o alongamento dos tecidos, a divisão celular e o desenvolvimento das raízes, além de ajudar a manter o equilíbrio hídrico, a integridade das membranas celulares e a eficiência metabólica, permitindo que as plantas cresçam mesmo em condições de salinidade elevada (Cavalcante *et al.*, 2020).

Em ambientes salinos, esses fitormônios auxiliam na manutenção da integridade das membranas celulares, atenuam os efeitos do estresse osmótico e favorecem a absorção de água e nutrientes (Boutahiri *et al.*, 2024). Produtos comerciais como o Stimulate[®], que contém esses princípios ativos em sua formulação, têm sido utilizados como ferramentas para potencializar essas respostas fisiológicas (Carvalho *et al.*, 2023).

Embora a eficácia dos fitormônios presentes em bioestimulantes já tenha sido relatada em diversas culturas, ainda são escassas as informações sobre seus efeitos combinados na cultura da rúcula cultivada em sistemas semi-hidropônicos sob estresse salino. Investigar como esses compostos influenciam o crescimento inicial e o comportamento das plantas em condições salinas pode contribuir para o aprimoramento de estratégias de manejo em regiões com escassez hídrica e elevada salinização dos recursos hídricos. Assim, este estudo tem como objetivo avaliar os efeitos fisiológicos do Stimulate[®] sobre o crescimento e desenvolvimento da rúcula

cultivada em sistema semi-hidropônico sob condições de estresse salino, considerando variáveis morfofisiológicas e de qualidade pós colheita.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida, em casa de vegetação, na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró, RN, Brasil (5°12'48'' de latitude Sul, 37°18'44'' longitude Oeste e altitude de 18 m) o experimento foi desenvolvida entre os meses de maio e junho de 2024. O clima da região, na classificação de Köppen é do tipo BSh.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 1 + 4, composto por um tratamento controle e quatro concentrações de Stimulate® (0, 5, 10 e 20 mL L⁻¹). Todos os tratamentos foram aplicados via foliar aos 20 dias após a semeadura. O tratamento controle consistiu em solução nutritiva preparada com água de baixa condutividade elétrica (0,5 dS m⁻¹), enquanto as condições salinas foram obtidas por meio do ajuste da condutividade elétrica para 5,0 dS m⁻¹, com cloreto de sódio (NaCl).

A água empregada na preparação das soluções foi oriunda do sistema de abastecimento da UFERSA, apresentando as seguintes características químicas: pH= 7,57; CE= 0,54 dS m⁻¹; (Ca²⁺ = 0,83; Mg²⁺ = 1,20; K⁺ = 0,31; Na⁺ = 3,79; Cl⁻ = 2,40; HCO₃⁻ = 3,20 e CO₃²⁻ = 0,60; RAS = 4,90 mmolc L⁻¹).

A rúcula, cultivar Cultivada (Topssed®), foi semeada em bandejas de polietileno com dimensões de 14 cm de altura, 37 cm de largura e 60 cm de comprimento, com capacidade para 20 litros. As bandejas foram preenchidas com substrato preparado a partir da mistura de fibra de coco e areia fina lavada na proporção 2:1 (v/v). Cada bandeja continha 16 covas, nas quais foram semeadas 20 sementes por cova, que se distanciaram em (3 × 9 cm), a uma profundidade de 0,5 cm.

As bandejas foram distribuídas em bancada de madeira com a altura de a 0,5 m, distantes em 10 cm. Até os 7 dias após a semeadura (DAS), as irrigações foram realizadas manualmente, com o objetivo de manter a umidade ideal do substrato para favorecer a germinação e o desenvolvimento inicial. A partir dos 7 DAS, iniciou-se o manejo da fertirrigação, utilizando-se solução nutritiva para hortaliças folhosas cultivadas em sistemas semi-hidropônicos (Furlani, 1997).

Cada bandeja foi equipada com sistema de drenagem eficiente, composto por um ralo de pia em PVC, uma camada de brita com 2,0 cm de espessura e uma manta têxtil, permitindo o escoamento adequado da solução nutritiva. O fornecimento da solução foi automatizado por

um temporizador digital, programado para realizar seis irrigações diárias com duração de 1 minuto, ocorrendo a cada duas horas, iniciando às 7 h e finalizando às 17 h. A fertilização foi feita com um sistema de bombeamento individual, com uma eletrobomba para transportar a solução até as bandejas, distribuindo-a por meio de linhas laterais com tubos de polietileno flexíveis (16 mm) e emissores do tipo microtubos (2 mm) e 4 cm de comprimento.

A formulação da solução nutritiva foi baseada nas diretrizes propostas por (Furlani, 1997) para o cultivo de hortaliças folhosas. Os fertilizantes utilizados como fontes de nutrientes foram: nitrato de cálcio, nitrato de potássio, fosfato monoamônico (MAP), sulfato de magnésio, sulfatos de cobre, zinco e manganês, ácido bórico, molibdato de sódio e Fe-EDTA. Esses insumos proporcionaram à solução nutritiva as seguintes concentrações de nutrientes (mg L^{-1}): 197,8 de N, 89,5 de P_2O_5 , 219,8 de K_2O , 142,5 de Ca, 40 de Mg, 52 de S, 0,31 de B, 0,02 de Cu, 2,08 de Fe, 0,39 de Mn, 0,07 de Zn e 0,06 de Mo. O pH da solução foi ajustado sempre que necessário, utilizando KOH ou HNO_3 , com o objetivo de manter entre 5,5 a 6,5, adequada para o desenvolvimento da cultura.

A colheita foi realizada aos 35 dias após a semeadura, sendo determinada a altura (cm), considerando apenas a parte aérea, e o número de folhas. Em seguida foram amostradas aproximadamente 20 plantas para determinação da massa fresca da parte aérea (g plant^{-1}). A massa seca (g plant^{-1}) foi obtida após secagem das plantas estufa com circulação forçada de ar a 65°C , até atingirem peso constante.

Para aferição da área foliar, foram extraídos 10 discos foliares com anel volumétrico de diâmetro interno de 5 cm. Esse material foi seco em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até atingirem peso constante. A partir dos valores da área e da massa seca dos discos, bem como da massa seca total das folhas, determinou-se a área foliar da planta, conforme descrito na equação 1 (Benincasa, 2003a).

$$AF = \frac{AD \times MSF}{\frac{MSD}{N}} \quad (1)$$

Em que:

AF – área foliar (cm^2);

AD – área foliar do disco, (cm^2);

MSF – massa seca de folhas, (g);

MSD – massa seca do disco foliar, (g);

N – número de discos utilizados na parcela.

A suculência foliar foi determinada pela relação entre a massa de água contida na folha e a área foliar, conforme descrito na equação 2 (Delf, 1912).

$$SUF = \frac{(MFF-MSF)}{AF} \quad (2)$$

Em que:

SUF – suculência foliar, (g H₂O cm⁻²);

MFF – massa fresca de folhas (g);

MSF – massa seca de folhas (g);

AF – área foliar (cm²).

Área foliar específica foi determinada pela razão entre a área foliar e sua respectiva massa seca, segundo a equação 3 (Benincasa, 2003a).

$$AFE = \frac{AF}{MSF} \quad (3)$$

Em que:

AFE – área foliar específica (cm² g⁻¹);

AF – área foliar (cm²);

MSF – massa seca de folhas (g).

As folhas foram previamente processadas em processador para obtenção do suco, o qual foi utilizado nas análises de qualidade físico-química. Para a determinação do pH, foram diluídos 10 mL do suco em 100 mL de água destilada, com leitura realizada em pHmetro de bancada Simpla PH140. O teor de sólidos solúveis totais (°Brix), foi medido com o auxílio de um refratômetro digital da marca Atago®. Já os teores de clorofila A, B e total foram determinados com base nas metodologias descritas por (Bruuinsma, 1963) e (Engel; Poggiani, 1991).

A análise estatística dos dados foi realizada por meio da análise de variância (ANOVA), procedendo-se ao desdobramento dos fatores sempre que houve efeito significativo da interação entre o atenuador e as doses. As variáveis associadas ao atenuador foram avaliadas pelo teste de comparação de médias de Tukey, a 5% de probabilidade, enquanto o efeito das doses foi analisado por meio de regressão polinomial. Posteriormente, aplicou-se o teste de Dunnett para comparação com a testemunha. Os gráficos de regressão foram elaborados a partir das médias das doses, utilizando o software (2025). A Análise de Componentes Principais (ACP) e a matriz de correlação de Pearson foram realizadas no ambiente R. As análises estatísticas dos dados foram conduzidas por meio do software SISVAR (Ferreira, 2019b).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes aos efeitos das diferentes doses de Stimulate[®] sobre as variáveis morfológicas, produtivas e fisiológicas da rúcula cultivada sob estresse salino encontram-se apresentados na Figura 1. Observa-se que a aplicação do bioestimulante promoveu respostas diferenciadas entre os parâmetros avaliados, evidenciando comportamento dependente da dose e indicando possível modulação do crescimento e do metabolismo vegetal em função da concentração aplicada. Esse padrão sugere que o Stimulate[®] atuou modulando processos relacionados ao crescimento vegetativo, ao acúmulo de biomassa e ao metabolismo fotossintético, indicando que doses intermediárias tendem a favorecer o desempenho da cultura, enquanto concentrações mais elevadas podem limitar ou estabilizar as respostas fisiológicas e produtivas.

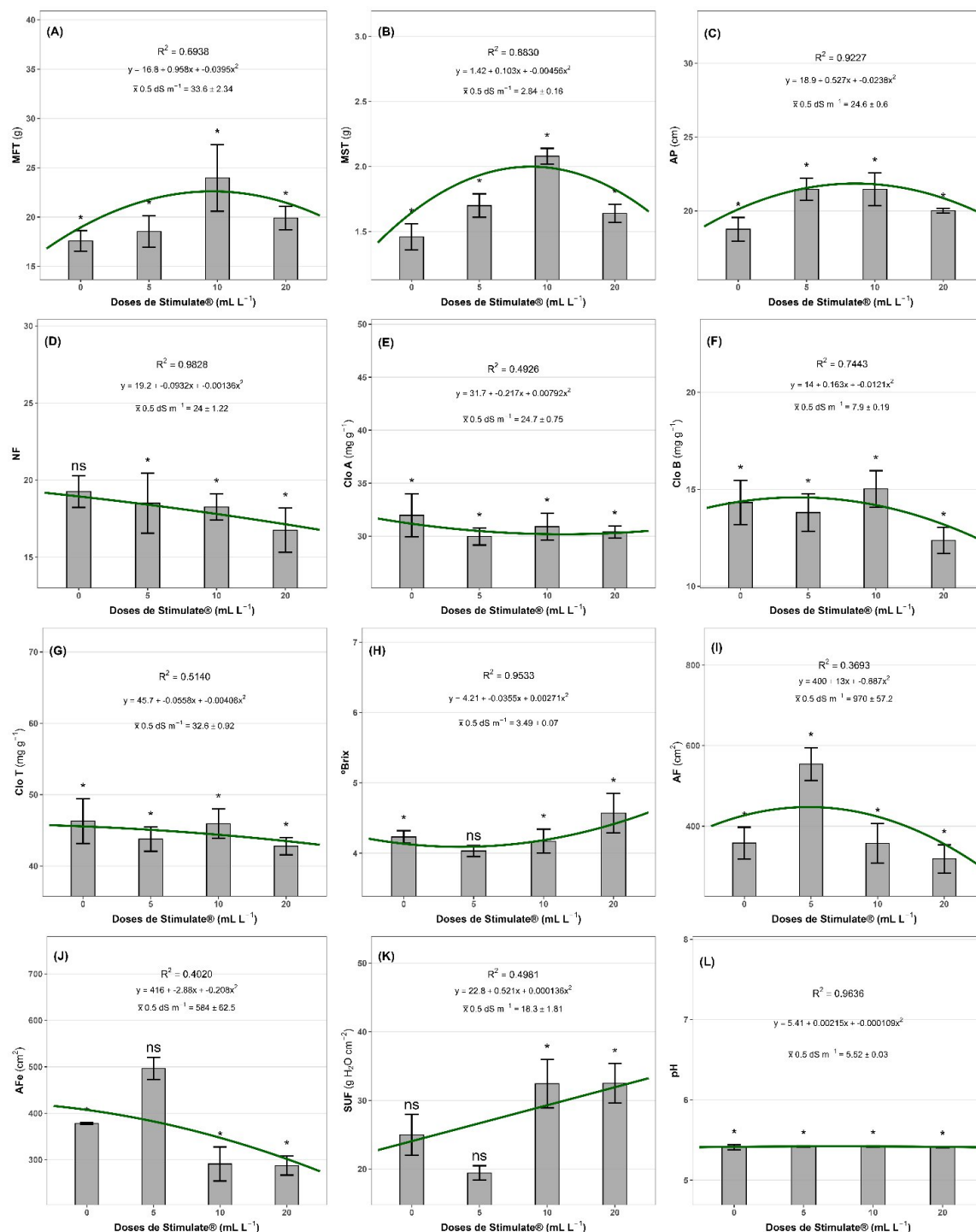


Figura 1. Valores médios de massa fresca total (MFT), massa seca total (MST), altura de planta (AP), número de folhas (NF), clorofila (Clo A), clorofila (Clo B), clorofila total (Clo T), área foliar (AF), área foliar específica (AFe), suculência foliar (SUF) e pH de plantas de rúcula (*Eruca sativa* Mill.) tratadas com diferentes concentrações de Stimulate®, cultivadas em sistema semi-hidropônico no município de Mossoró, estado do Rio Grande do Norte, Brasil. Barras seguidas de asterisco (*) diferem da média do controle pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

Ganhos em massa fresca foram observados no tratamento com Stimulate®, com acúmulo máximo de 22,56 g por planta na dose estimada 11 mL L⁻¹, valor superior ao da testemunha do

mesmo tratamento, que apresentou média de 16,80 g Figura 1A. Esse efeito pode estar associado à maior retenção de água nos tecidos, promovida pela ação dos fitormônios presentes no bioestimulante, que estimulam o alongamento celular e o desenvolvimento do sistema radicular, resultando no aumento do volume celular e da massa fresca acumulada (Martínez-Lorente *et al.*, 2024). Além disso, compostos bioativos presentes em bioestimulantes podem estimular o metabolismo vegetal, favorecendo o crescimento mesmo sob condições adversas Franzoni *et al.* (2022).

A massa seca total aumentou com a aplicação de Stimulate[®], que proporcionou maior acúmulo de biomassa de 2,00 g por planta na dose estimada de 11,22 mL L⁻¹, em comparação à média da testemunha (1,81 g), indicando resposta positiva em doses moderadas Figura 1B. Esse resultado evidencia que, nesse intervalo de aplicação, o bioestimulante atuou de forma eficiente na atenuação dos efeitos do estresse salino, favorecendo o acúmulo de biomassa seca. Achados semelhantes foram relatados em estudos com bioestimulantes microbianos e vegetais, nos quais a biomassa seca total de mudas de alface e tomate aumentou de 15% a 54% em relação ao controle, mesmo sob condições de salinidade, com efeitos mais pronunciados em doses intermediárias (Rouphael *et al.*, 2017; Miceli; Moncada; Vetrano, 2021; Ouhaddou *et al.*, 2022). Esses resultados reforçam a eficácia de bioestimulantes em modular o crescimento de plantas sob estresse salino, especialmente quando aplicados em doses adequadas.

A aplicação de Stimulate[®] afetou a morfologia da rúcula, com a altura máxima de 21,86 cm observada na dose estimada de 11,05 mL L⁻¹, seguida de redução em concentrações mais elevadas Figura 1C. A altura das plantas na dose zero (18,94 cm) foi inferior à da testemunha absoluta, sem aplicação de Stimulate[®] e sem salinidade (24,6 cm), indicando o efeito do estresse salino (0,5 dS m⁻¹) neste ensaio. Estudos sobre biostimulantes indicam que a resposta positiva está fortemente relacionada à dose, sendo comum a diminuição do crescimento em níveis acima do ideal, possivelmente devido à ação dos fitormônios presentes no produto, que estimulam a divisão e o alongamento celular (Taiz, 2017; Shahrajabian *et al.*, 2021; Yuan; Dickinson, 2024).

Por outro lado, observou-se redução linear no número de folhas por planta com o aumento das doses de Stimulate[®], atingindo a menor média (12,22 folhas por planta) na maior dose testada (20,36 mL L⁻¹) Figura 1D. Na ausência de atenuantes, a média foi de 24,00 folhas por planta, o que destaca o potencial produtivo da cultura mesmo sob estresse salino. Resposta semelhante foram observados em rabanete, alface e espinafre, nos quais bioestimulantes aumentaram o número de folhas apenas sob salinidade moderada, mas não evitaram a redução foliar em doses elevadas ou sob salinidade severa (Miceli; Moncada; Vetrano, 2021; El-Nakhel *et al.*, 2022; Kaya, 2025a).

A clorofila A apresentou redução com o aumento das doses de Stimulate®, com teor mínimo de 28,60 mg g⁻¹ na máxima eficiência técnica estimada de 9,68 mL L⁻¹, valor inferior à média observada na testemunha (30,15 mg g⁻¹) e às doses iniciais do tratamento, indicando tendência de decréscimo ao longo da curva de aplicação Figura 1E. Esse comportamento sugere que doses elevadas de bioestimulante podem inibir parcialmente a síntese ou acúmulo de clorofila A, enquanto doses moderadas se mostram mais eficazes para manter ou aumentar esse pigmento, como observado em diferentes culturas (Shayen *et al.*, 2023; Turan *et al.*, 2023; Fiorentino *et al.*, 2025; Popa *et al.*, 2025).

Em contrapartida, verificou-se incremento nos teores de clorofila B até a dose estimada de 13,63 mL L⁻¹ na qual foi obtido valor máximo de (17,24 mg g⁻¹), superior ao valor da testemunha (12,11 mg g⁻¹) Figura 1F, o que pode estar associado à ação dos fitormônios presentes no bioestimulante sobre a síntese de pigmentos. Esse comportamento também foi reportado por Gonçalves *et al.* (2018), que observaram aumento nos teores de clorofila em mudas tratadas com Stimulate®. A clorofila total também apresentou decréscimo com o aumento das doses, com teor máximo estimado de 46,46 mg g⁻¹ na dose determinada pela regressão de 12,47 mL L⁻¹ Figura 1G, indicando que a resposta do aparato fotossintético ao bioestimulante pode variar conforme a concentração aplicada, refletindo ajustes fisiológicos na síntese e degradação dos pigmentos.

A variável teor de sólidos solúveis respondeu de forma quadrática à aplicação de Stimulate®, com valor mínimo estimado de 1,63 °Brix na dose de 13,27 mL L⁻¹ Figura 1H. Embora tenha ocorrido redução nas doses intermediárias, os teores voltaram a elevar-se nas concentrações mais altas, evidenciando ausência de um padrão consistente de acúmulo de sólidos solúveis. Apesar disso, os valores médios permaneceram inferiores aos verificados na testemunha absoluta (3,49 °Brix), indicando que o Stimulate® não promoveu incremento expressivo no teor de sólidos solúveis. De acordo com diferentes autores (Drobek; Frac; Cybulska, 2019; Shahrajabian *et al.*, 2021; Boutahiri *et al.*, 2024) resposta dos sólidos solúveis à aplicação de bioestimulantes é altamente variável, sendo influenciada por fatores como tipo de bioestimulante, espécie cultivada, dose e condições ambientais, o que reforça a inconsistência observada neste estudo.

As variáveis associadas à expansão foliar também demonstraram diferenças significativas entre os compostos, a área foliar (AF) com Stimulate® teve comportamento quadrático, com valor máximo estimado de 469,82 cm² na dose de 5 mL L⁻¹, seguido de redução nas doses mais elevadas Figura 1I, indicando que concentrações elevadas favoreceram o acúmulo de biomassa em vez da expansão laminar. Hassan *et al.* (2021), destacam que

bioestimulantes à base de algas promovem desempenho morfológico máximo em doses intermediárias, corroborando o efeito observado neste estudo. A média de AF no controle salino foi de 970,11 cm², enquanto na ausência de tratamentos foi de 583,83 cm².

Enquanto a AFE na ausência de tratamentos foi de 583,83 cm² g⁻¹, observou-se que a área foliar específica (AFE) reduziu com Stimulate[®], passando de 415,82 cm² g⁻¹ na testemunha para 275,03 cm² g⁻¹ na dose de 20 mL L⁻¹ Figura 1J. Esses dados sugerem que, apesar da maior área foliar, houve acúmulo de massa em detrimento da leveza e da extensão das folhas. Silva *et al.* (2020) apontam que, em tomateiros, a aplicação de diferentes bioestimulantes, incluindo Stimulate[®], favoreceu o acúmulo de massa seca nas folhas, sem aumento significativo no número de folhas ou na taxa fotossintética por área foliar, resultando em folhas mais densas e pesadas e, conseqüentemente, em menor AFE, mesmo com área foliar total elevada.

A suculência foliar (SUF) aumentou com Stimulate[®], atingindo o valor máximo estimado de 42,07 g H₂O cm⁻² na dose de 20,16 mL L⁻¹ Figura 1K. Tal resposta pode ser atribuída à ação dos fitormônios presentes na formulação, os quais estimulam o crescimento e a síntese de biomassa, em concordância com os achados de Oliveira *et al.* (2025), que relataram efeitos semelhantes em rúcula hidropônica cultivada sob inoculação com microrganismos promotores de crescimento. Na dose controle, a SUF foi de 18,27 g H₂O cm⁻², valor consideravelmente inferior ao observado nos tratamentos, reforçando a eficácia na mitigação do estresse salino, em linha com trabalhos que destacam o potencial de bioestimulantes na melhoria da qualidade vegetal em condições adversas (Hernández-Huerta *et al.*, 2025).

O pH manteve-se estável com a aplicação de Stimulate[®]. O valor mínimo foi estimado em 4,40 na dose de 19,64 mL L⁻¹ Figura 1L. No controle salino sem reguladores, o pH médio observado foi de 5,52, indicando uma acidificação mais acentuada da solução nutritiva em condição salina não mitigada. A estabilização do pH nos tratamentos com Stimulate[®] pode estar associada ao maior controle do transporte de íons e à redução de distúrbios metabólicos sob estresse, como destacado por Franzoni *et al.* (2022), que relataram efeitos semelhantes em alface com o uso de bioestimulantes sob salinidade.

Os padrões multivariados das variáveis morfofisiológicas da rúcula em resposta às doses de Stimulate[®] estão apresentados na Figura 2, por meio da Análise de Componentes Principais (A) e da matriz de correlação de Pearson (B). A ordenação dos tratamentos no espaço bidimensional evidencia a contribuição relativa dos atributos produtivos e fisiológicos para a variabilidade total dos dados, enquanto a matriz de correlação permite identificar a magnitude e a direção das associações entre as variáveis avaliadas. Em conjunto, essas análises fornecem uma visão integrada das inter-relações entre crescimento, acúmulo de biomassa e parâmetros

fisiológicos, possibilitando interpretar de forma mais robusta os efeitos dependentes da dose do bioestimulante sob condição de estresse salino.

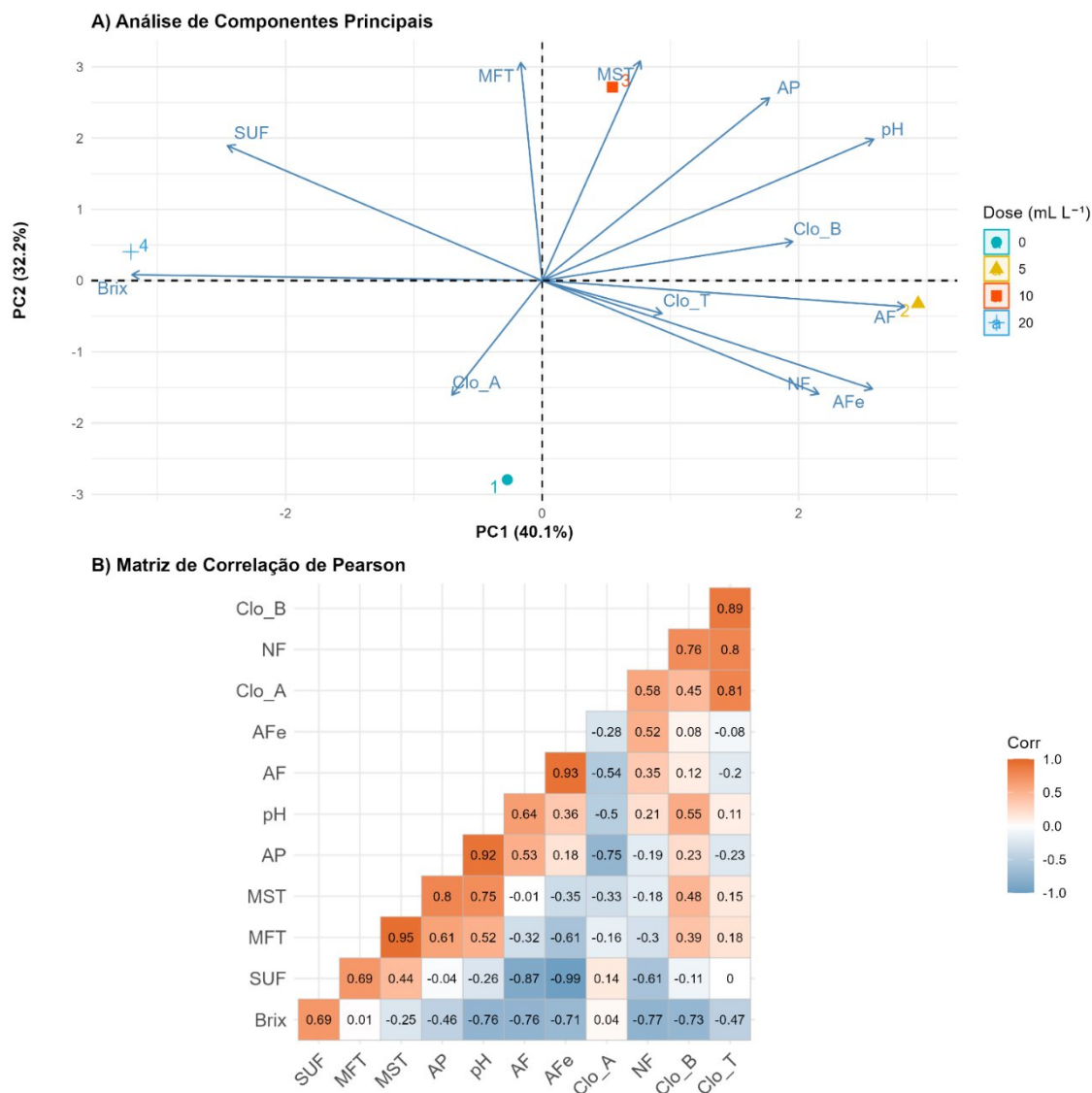


Figura 2. (A) Análise de componentes principais (PCA); (B) Matriz de correlação de Pearson. Variáveis morfológicas e fisiológicas de plantas de rúcula (*Eruca sativa* Mill.) cultivadas em sistema semi-hidropônico sob estresse salino ($5,0 \text{ dS m}^{-1}$) e submetidas à aplicação de diferentes doses de Stimulate® (0, 5, 10 e 20 mL L^{-1}). Altura de planta (AP), número de folhas (NF), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), pH foliar (pH), teor de clorofila total (Clo_T), clorofila a (Clo_A), clorofila b (Clo_B), massa fresca total (MFT), massa seca total (MST), suculência foliar (SF) e sólidos solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$).

A análise de Componentes Principais (PCA) da rúcula tratada com Stimulate® revelou que os dois primeiros componentes (PC1 e PC2) explicam, respectivamente, 40,1% e 32,2% da variância total dos dados Figura 2A. O PC1 foi predominantemente influenciado pelo teor de sólidos solúveis, expresso em $^{\circ}\text{BRIX}$ (20,0% de contribuição) e AF (15,6%), enquanto o

PC2 refletiu atributos morfológicos, como MFT (22,8%) e MST (23,2%). Carillo *et al.* (2019, 2022) e Cunha-Chiamolera *et al.* (2025) demonstram que, em alface e espinafre tratados com bioestimulantes, a PCA permitiu separar claramente variáveis fisiológicas e rendimento, teores de clorofila, sólidos solúveis e biomassa das morfológicas, como área foliar, espessura e massas fresca e seca, com os dois primeiros componentes explicando 49,3% e 20% da variância total no espinafre e 38,1% e 20,6% na alface. As análises indicam que a PCA é capaz de destacar padrões funcionais distintos entre variáveis fisiológicas e morfológicas em diferentes espécies hortícolas submetidas a bioestimulantes.

A disposição dos tratamentos no espaço bidimensional mostrou que a dose de 10 mL L⁻¹ associou-se à maiores valores de massa fresca e seca (MFT/MST), enquanto a dose de 5 mL L⁻¹ correlacionou-se com área foliar (AF) e teor de sólidos solúveis (°BRIX). Esses resultados corroboram com observações relatadas por diversos autores (Rouphael *et al.*, 2018a; El-Hady *et al.*, 2021; Cristiano; De Lucia, 2021; Carillo *et al.*, 2022), os quais indica que doses elevadas de bioestimulantes aumentam a biomassa, enquanto doses intermediárias melhoram área foliar e qualidade, incluindo sólidos solúveis (°Brix). A análise de componentes principais (PC1 e PC2) evidencia essas correlações e discrimina os tratamentos no espaço bidimensional, reforçando a robustez dos resultados.

A análise de correlação de Pearson Figura 2B identificou relações significativas ($p < 0,05$) entre as variáveis avaliadas. MFT e MST apresentaram forte correlação positiva ($r = 0,95$), evidenciando a interdependência entre a fração fresca e a massa seca acumulada. NF correlacionou-se positivamente com CLO_TOT ($r = 0,80$), indicando que plantas com maior número de folhas tendem a apresentar maior conteúdo total de clorofila. Em contrapartida, BRIX apresentou correlação negativa com NF ($r = -0,77$) e com pH ($r = -0,76$), sugerindo que o acúmulo de açúcares solúveis pode ser modulado negativamente pelo crescimento foliar e pelo estado iônico do tecido.

Além disso, a forte correlação negativa entre SUF e AFe ($r = -0,99$) aponta para um possível trade-off fisiológico, descrito em plantas C₃, no qual folhas com maior área efetiva tendem a apresentar menor fluxo estomático por unidade de área (Petrík *et al.*, 2023), onde folhas com maior área efetiva exibem menor fluxo estomático por unidade de área, por outro lado, correlações próximas de zero (ex.: MFT-BRIX, $r = 0,01$) indicam independência funcional entre o crescimento vegetativo e o acúmulo de carboidratos solúveis nas condições avaliadas.

4. CONCLUSÕES

A aplicação de Stimulate® demonstrou eficácia na atenuação dos efeitos do estresse salino em rúcula cultivada em sistema semi-hidropônico, promovendo ganhos expressivos no crescimento vegetativo, especialmente em altura, massa fresca, massa seca e suculência foliar.

As doses intermediárias, particularmente próximas a 10 - 12 mL L⁻¹, proporcionaram os melhores resultados biométricos e fisiológicos, evidenciando que a resposta da cultura ao bioestimulante é dependente da concentração aplicada, sendo que doses elevadas podem reduzir alguns atributos morfofisiológicos.

Assim, o uso de Stimulate® representa uma alternativa promissora no manejo da salinidade em ambientes protegidos, desde que aplicado de forma estratégica e em doses adequadas. Estudos futuros devem considerar diferentes fases fenológicas e estratégias de aplicação para potencializar os efeitos fisiológicos e produtivos da cultura.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENINCASA, M. M. P. **Análise de Crescimento de Plantas (Noções Básicas)**. Jabotical-SP: Funep, 2003.

BOUTAHIRI, S.; BENRKIA, R.; TEMBENI, B.; IDOWU, O. E.; OLATUNJI, O. J. Effect of biostimulants on the chemical profile of food crops under normal and abiotic stress conditions. **Current Plant Biology**, v. 40, p. 100410, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214662824000926>. Acesso em: 21 abr. 2025.

BRUUNSMA, J. The Quantitative Analysis of Chlorophylls A and B in Plant Extracts. **Photochemistry and Photobiology**, v. 2, n. 2, p. 241–249, 1963. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1751-1097.1963.tb08220.x>. Acesso em: 24 jun. 2025.

CARILLO, P.; COLLA, G.; FUSCO, G. M.; DELL' AVERSANA, E.; EL-NAKHEL, C.; GIORDANO, M.; PANNICO, A.; COZZOLINO, E.; MORI, M.; REYNAUD, H.; KYRIACOU, M. C.; CARDARELLI, M.; ROUPHAEL, Y. Morphological and Physiological Responses Induced by Protein Hydrolysate-Based Biostimulant and Nitrogen Rates in Greenhouse Spinach. **Agronomy**, v. 9, n. 8, p. 450, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/8/450>. Acesso em: 26 out. 2025.

CARILLO, P.; DE MICCO, V.; CIRIELLO, M.; FORMISANO, L.; EL-NAKHEL, C.; GIORDANO, M.; COLLA, G.; ROUPHAEL, Y. Morpho-Anatomical, Physiological, and Mineral Composition Responses Induced by a Vegetal-Based Biostimulant at Three Rates of Foliar Application in Greenhouse Lettuce. **Plants**, v. 11, n. 15, p. 2030, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/15/2030>. Acesso em: 26 out. 2025.

CARVALHO, B. L.; AIRES, E. S.; RODRIGUES, J. D.; ONO, E. O. Use of Plant Regulators for Activation of Antioxidant Enzymes in Basil Plants under Water Deficit Conditions. **Stresses**, v. 3, n. 1, p. 282–301, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-7140/3/1/21>. Acesso em: 21 abr. 2025.

CAVALCANTE, W. S. da S.; SILVA, N. F. da; TEIXEIRA, M. B.; FILHO, F. R. C.; NASCIMENTO, P. E. R.; CORRÊA, F. R. Eficiência Dos Bioestimulantes No Manejo Do Déficit Hídrico Na Cultura Da Soja. **IRRIGA**, v. 25, n. 4, p. 754–763, 2020. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4186>. Acesso em: 21 abr. 2025.

CRISTIANO, G.; DE LUCIA, B. Petunia Performance Under Application of Animal-Based Protein Hydrolysates: Effects on Visual Quality, Biomass, Nutrient Content, Root Morphology, and Gas Exchange. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2021.640608/full>. Acesso em: 26 out. 2025.

CUNHA-CHIAMOLERA, T. P. L.; CHILEH-CHELH, T.; EZZAITOUNI, M.; URRESTARAZU, M.; CARRILLO MONTALBÁN, J. de D.; GUIL-GUERRERO, J. L. A *Rugulopteryx okamurae*-Based Biostimulant Enhances Growth and Phytochemicals in

Lettuce. **Horticulturae**, v. 11, n. 5, p. 558, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/11/5/558>. Acesso em: 26 out. 2025.

DELFT, E. M. Transpiration in Succulent Plants. **Annals of Botany**, v. os-26, n. 2, p. 409–442, 1912. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a089398>. Acesso em: 18 dez. 2025.

DROBEK, M.; FRĄC, M.; CYBULSKA, J. Plant Biostimulants: Importance of the Quality and Yield of Horticultural Crops and the Improvement of Plant Tolerance to Abiotic Stress—A Review. **Agronomy**, v. 9, n. 6, p. 335, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/6/335>. Acesso em: 25 out. 2025.

EL-HADY, N. A. A. A.; ELSAYED, A. I.; EL-SAADANY, S. S.; DELIGIOS, P. A.; LEDDA, L. Exogenous Application of Foliar Salicylic Acid and Propolis Enhances Antioxidant Defenses and Growth Parameters in Tomato Plants. **Plants**, v. 10, n. 1, p. 74, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/1/74>. Acesso em: 26 out. 2025.

EL-NAKHEL, C.; COZZOLINO, E.; OTTAIANO, L.; PETROPOULOS, S. A.; NOCERINO, S.; PELOSI, M. E.; ROUPHAEL, Y.; MORI, M.; DI MOLA, I. Effect of Biostimulant Application on Plant Growth, Chlorophylls and Hydrophilic Antioxidant Activity of Spinach (*Spinacia oleracea* L.) Grown under Saline Stress. **Horticulturae**, v. 8, n. 10, p. 971, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/8/10/971>. Acesso em: 25 out. 2025.

ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 3, n. 1, p. 39–45, 1991. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/000815695>. Acesso em: 24 jun. 2025.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A COMPUTER ANALYSIS SYSTEM TO FIXED EFFECTS SPLIT PLOT TYPE DESIGNS: Sisvar. **REVISTA BRASILEIRA DE BIOMETRIA**, v. 37, n. 4, p. 529–535, 2019. Disponível em: <https://biometria.ufpa.br/index.php/BBJ/article/view/450>. Acesso em: 16 jun. 2025.

FIorentino, S.; BELLANI, L.; SANTIN, M.; CASTAGNA, A.; ECHEVERRIA, M. C.; GIORGETTI, L. Effects of Microalgae as Biostimulants on Plant Growth, Content of Antioxidant Molecules and Total Antioxidant Capacity in *Chenopodium quinoa* Exposed to Salt Stress. **Plants**, v. 14, n. 5, p. 781, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/14/5/781>. Acesso em: 25 out. 2025.

FRANZONI, G.; COCETTA, G.; PRINSI, B.; FERRANTE, A.; ESPEN, L. Biostimulants on Crops: Their Impact under Abiotic Stress Conditions. **Horticulturae**, v. 8, n. 3, p. 189, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/8/3/189>. Acesso em: 28 abr. 2025.

FURLANI, P. R. **Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia - NFT.**: Boletim Técnico 168. Campinas-SP: Instituto Agrônomo de Campinas - IAC, 1997.

GONÇALVES, B. H. L.; SOUZA, J. M. A.; FERRAZ, R. A.; TECCHIO, M. A.; LEONEL, S. Efeito do bioestimulante Stimulate® no desenvolvimento de mudas de

maracujazeiro cv. BRS Rubi do Cerrado. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 1, p. 147–155, 2018. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/16634>. Acesso em: 2 jul. 2025.

HASSAN, S. M.; ASHOUR, M.; SOLIMAN, A. A. F.; HASSANIEN, H. A.; ALSANIE, W. F.; GABER, A.; ELSHOBARY, M. E. The Potential of a New Commercial Seaweed Extract in Stimulating Morpho-Agronomic and Bioactive Properties of *Eruca vesicaria* (L.) Cav. **Sustainability**, v. 13, n. 8, p. 4485, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/8/4485>. Acesso em: 2 jul. 2025.

HERNÁNDEZ-HUERTA, J.; GUERRERO, B. I.; ACEVEDO-BARRERA, A. A.; BALANDRÁN-VALLADARES, M. I.; YAÑEZ-MUÑOZ, R. M.; DE DIOS-AVILA, N.; GUTIÉRREZ-CHÁVEZ, A. Biostimulant Effects of *Trichoderma asperellum* in Hydroponic Spinach Production. **Life**, v. 15, n. 3, p. 428, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-1729/15/3/428>. Acesso em: 2 jul. 2025.

KAYA, G. A plant-derived biostimulant Aminolom Enzimatico® application stimulates chlorophyll content, electrolyte leakage, stomata density and root yield of radishes under salinity stress. **PeerJ**, v. 13, p. e18804, 2025. Disponível em: <https://peerj.com/articles/18804>. Acesso em: 25 out. 2025.

LI, S.-M.; ZHENG, H.-X.; ZHANG, X.-S.; SUI, N. Cytokinins as central regulators during plant growth and stress response. **Plant Cell Reports**, v. 40, n. 2, p. 271–282, 2021.

MARTÍNEZ-LORENTE, S. E.; MARTÍ-GUILLÉN, J. M.; PEDREÑO, M. Á.; ALMAGRO, L.; SABATER-JARA, A. B. Higher Plant-Derived Biostimulants: Mechanisms of Action and Their Role in Mitigating Plant Abiotic Stress. **Antioxidants**, v. 13, n. 3, p. 318, 2024. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10967762/>. Acesso em: 26 out. 2025.

MICELI, A.; MONCADA, A.; VETRANO, F. Use of Microbial Biostimulants to Increase the Salinity Tolerance of Vegetable Transplants. **Agronomy**, v. 11, n. 6, p. 1143, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/6/1143>. Acesso em: 25 out. 2025.

OLIVEIRA, F. de A. de; OLIVEIRA, M. K. T. de; NETA, M. L. de S.; SILVA, R. T. da; SOUZA, A. A. T.; SILVA, O. M. dos P. da; GUIMARÃES, I. P. Desempenho de cultivares de rúcula submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **AGROPECUÁRIA CIENTÍFICA NO SEMIÁRIDO**, v. 8, n. 3, p. 67–73, 2012. Disponível em: <https://acsa.revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/190>. Acesso em: 10 abr. 2025.

OLIVEIRA, C. E. da S.; SENA OLIVEIRA, T. J. S.; JALAL, A.; FERNANDES, G. C.; BASTOS, A. de C.; DA SILVA, M. R.; SANT’ANA, G. R.; AGUILAR, J. V.; DE CAMARGOS, L. S.; ZOZ, T.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Inoculation and co-inoculation of lettuce and arugula hydroponically influence nitrogen metabolism, plant growth, nutrient acquisition and photosynthesis. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, 2025. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2025.1547821/full>. Acesso em: 2 jul. 2025.

OUHADDOU, R.; BEN-LAOUANE, R.; LAHLALI, R.; ANLI, M.; IKAN, C.; BOUTASKNIT, A.; SLIMANI, A.; OUFDOU, K.; BASLAM, M.; AIT BARKA, E.; MEDDICH, A. Application of Indigenous Rhizospheric Microorganisms and Local Compost as Enhancers of Lettuce Growth, Development, and Salt Stress Tolerance. **Microorganisms**, v. 10, n. 8, p. 1625, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-2607/10/8/1625>. Acesso em: 25 out. 2025.

PETRETTO, G. L.; URGEGHE, P. P.; MASSA, D.; MELITO, S. Effect of salinity (NaCl) on plant growth, nutrient content, and glucosinolate hydrolysis products trends in rocket genotypes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 141, p. 30–39, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0981942819302001>. Acesso em: 10 abr. 2025.

PETRÍK, P.; PETEK-PETRIK, A.; MUKARRAM, M.; SCHULDT, B.; LAMARQUE, L. J. Leaf physiological and morphological constraints of water-use efficiency in C3 plants. **AoB PLANTS**, v. 15, n. 4, p. plad047, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aobpla/plad047>. Acesso em: 23 jul. 2025.

POPA, D. G.; TRITEAN, N.; GEORGESCU, F.; LUPU, C.; SHAPOSHNIKOV, S.; CONSTANTINESCU-ARUXANDEI, D.; OANCEA, F. SL-6 Mimic Is a Biostimulant for *Chlorella sorokiniana* and Enhances the Plant Biostimulant Effect of Microalgal Extract. **Plants**, v. 14, n. 7, p. 1010, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/14/7/1010>. Acesso em: 25 out. 2025.

ROUPHAEL, Y.; CARDARELLI, M.; BONINI, P.; COLLA, G. Synergistic Action of a Microbial-based Biostimulant and a Plant Derived-Protein Hydrolysate Enhances Lettuce Tolerance to Alkalinity and Salinity. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 2017. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2017.00131/full>. Acesso em: 25 out. 2025.

ROUPHAEL, Y.; GIORDANO, M.; CARDARELLI, M.; COZZOLINO, E.; MORI, M.; KYRIACOU, M. C.; BONINI, P.; COLLA, G. Plant- and Seaweed-Based Extracts Increase Yield but Differentially Modulate Nutritional Quality of Greenhouse Spinach through Biostimulant Action. **Agronomy**, v. 8, n. 7, p. 126, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/8/7/126>. Acesso em: 26 out. 2025.

RSTUDIO. **RStudio**. Versão 2025.05.1. Boston, Massachusetts, EUA: Posit, 2025. Disponível em: <https://www.posit.co/>. Acesso em: 24 jun. 2025.

SANTOS, R. H. S. dos; REIS, L. S.; DIAS, M. dos S.; SILVA, F. de A. da; SANTOS, J. P. de O.; SANTOS, S. C. dos; REIS, L. S.; TAVARES, C. L. Desempenho da rúcula sob condições de sombreamento e níveis de salinidade da água de irrigação. **Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215**, v. 16, n. 4, 2020. Disponível em: <https://journal.unoeste.br/index.php/ca/article/view/3356>. Acesso em: 4 abr. 2025.

SHAHRAJABIAN, M. H.; CHASKI, C.; POLYZOS, N.; PETROPOULOS, S. A. Biostimulants Application: A Low Input Cropping Management Tool for Sustainable Farming of Vegetables. **Biomolecules**, v. 11, n. 5, p. 698, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2218-273X/11/5/698>. Acesso em: 25 out. 2025.

- SHAYEN, M. P.; NOLI, Z. A.; MAIDELIZA, T.; SUWIRMEN, S. Pengaruh Aplikasi Nanobiostimulan Rumput Laut (*Padina minor* Yamada) terhadap Kadar Klorofil Kedelai (*Glycine max* (L.) Merr.). **Bioscientist : Jurnal Ilmiah Biologi**, v. 11, n. 2, p. 1176–1185, 2023. Disponível em: <https://e-journal.undikma.ac.id/index.php/bioscientist/article/view/9063>. Acesso em: 25 out. 2025.
- SILVA, T. V.; MELO, H. C. de; TARAIZI, M. F. de A.; JUNIOR, L. C. C.; CAMPOS, L. F. C.; NASCIMENTO, A. dos R. Biostimulants isolated or integrated with paclobutrazol as tomato development triggering factors. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, p. 255–262, 2020. Disponível em: <https://ejfa.me/index.php/journal/article/view/2091>. Acesso em: 26 out. 2025.
- SILVA, A. O. da; SILVA, D. J. R. da; SOARES, T. M.; SILVA, Ê. F. de F. e; SANTOS, A. N. dos; ROLIM, M. M. Produção de rúcula em sistema hidropônico NFT utilizando água salina do Semiárido - PE e rejeito de dessalinizador. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 1, p. 147–155, 2011. Disponível em: <https://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v6i1a929>. Acesso em: 10 abr. 2025.
- SOSNOWSKI, J.; TRUBA, M.; VASILEVA, V. The Impact of Auxin and Cytokinin on the Growth and Development of Selected Crops. **Agriculture**, v. 13, n. 3, p. 724, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/3/724>. Acesso em: 25 out. 2025.
- TAIZ, L. **TAIZ & ZEIGER Fisiologia Vegetal, 6ª Ed.**, 2017. Disponível em: <http://archive.org/details/taiz-zeiger-fisiologia-vegetal-6a-ed>. Acesso em: 30 jun. 2025.
- TURAN, M.; EKINCI, M.; ARGIN, S.; BRINZA, M.; YILDIRIM, E. Drought stress amelioration in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings by biostimulant as regenerative agent. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 2023. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1211210/full>. Acesso em: 25 out. 2025.
- YANG, Y.; GUO, Y. Unraveling salt stress signaling in plants. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 60, n. 9, p. 796–804, 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jipb.12689>. Acesso em: 3 abr. 2025.
- YUAN, Y.; DICKINSON, N. Revealing the Complex Interplay of Biostimulant Applications. **Plants**, v. 13, n. 16, p. 2188, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/13/16/2188>. Acesso em: 25 out. 2025.
- ZHANG, X.; ZHAO, B.; SUN, Y.; FENG, Y. Effects of gibberellins on important agronomic traits of horticultural plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 2022. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2022.978223/full>. Acesso em: 25 out. 2025.

ARTIGO 2: FORMAS DE APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE NA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DE DIFERENTES NÍVEIS DE SALINIDADE DA ÁGUA NO CULTIVO DE RÚCULA

RESUMO

A salinidade da água de irrigação é um dos principais fatores que limitam o crescimento e a produtividade das culturas em regiões semiáridas, motivando a busca por alternativas como bioestimulantes para mitigar o estresse salino. Este estudo avaliou a aplicação de um bioestimulante no cultivo de rúcula (*Eruca sativa* Mill.) em sistema semi-hidropônico sob estresse salino. O experimento, em delineamento inteiramente casualizado e esquema fatorial 3×4, testou três níveis de salinidade da água (0,5; 2,5 e 5,0 dS m⁻¹), induzidos com NaCl e quatro métodos de aplicação do bioestimulante Stimulate®: tratamento de sementes (20 mL kg⁻¹), pulverização foliar (10 mL L⁻¹), aplicação combinada (sementes+foliar) e controle. Os resultados indicaram que o bioestimulante influenciou o crescimento da rúcula, favorecendo a altura de plantas e o acúmulo de biomassa, com respostas pontuais na suculência foliar dependentes da salinidade. A área foliar e a área foliar específica reduziram-se com o aumento da salinidade, com atenuação parcial das perdas em função da forma de aplicação. O pH e a condutividade elétrica do suco apresentaram interação entre salinidade e aplicação, enquanto a qualidade pós-colheita, incluindo cor, sólidos solúveis, acidez titulável e clorofila, manteve-se estável. O tratamento de sementes (20 mL kg⁻¹) com Stimulate® é a estratégia mais eficaz para mitigar o estresse salino na cultura, pois preserva a estabilidade fisiológica e a qualidade nutricional (vitamina C), otimizando o desempenho agrônômico sob elevada salinidade.

Palavras-chave: Cultivo sem solo. Metabolismo antioxidante. Vigor vegetativo. Adaptação fisiológica. Potencial osmótico.

ARTICLE 2: APPLICATION OF BIOSTIMULANT AS A STRATEGY TO IMPROVE THE AGRONOMIC PERFORMANCE OF ARUGULA CULTIVATED WITH HIGH ELECTRICAL CONDUCTIVITY WATER

ABSTRACT

Salinity of irrigation water is one of the main factors limiting crop growth and productivity in semi-arid regions, motivating the search for alternatives such as biostimulants to mitigate salt stress. This study evaluated the application of a biostimulant in the cultivation of arugula (*Eruca sativa* Mill.) under salt stress in a semi-hydroponic system. The experiment, in a completely randomized design and 3×4 factorial scheme, tested three salinity levels (0.5, 2.5, and 5.0 dS m⁻¹, induced by NaCl) and four methods of applying the biostimulant Stimulate®: seed treatment (20 mL kg⁻¹), foliar spray (10 mL L⁻¹), combined application (seed + foliar), and control. The results indicated that the biostimulant influenced arugula growth, promoting plant height and biomass accumulation, with site-specific responses in leaf succulence depending on salinity. Leaf area and specific leaf area decreased with increasing salinity, with partial attenuation of growth losses depending on the application method. The juice pH and electrical conductivity showed an interaction between salinity and application, while post-harvest quality, including color, soluble solids, titratable acidity, and chlorophyll, remained stable. Seed treatment (20 mL kg⁻¹) with Stimulate® is the most effective strategy to mitigate saline stress in the crop, as it preserves physiological stability and nutritional quality (vitamin C), optimizing agronomic performance under high salinity.

Keywords: Soilless cultivation. Antioxidant metabolism. Vegetative vigor. Physiological adaptation. Osmotic potential.

1. INTRODUÇÃO

A rúcula (*Eruca sativa* Mill.) se destaca no cenário da olericultura brasileira, ocupando uma posição relevante no mercado de hortaliças e sendo uma das folhosas mais comercializadas no país (Amâncio; Botrel, 2024). Esta hortaliça pertence à família Brassicaceae, a qual abrange um vasto número de espécies de importância agronômica e nutricional (Yang *et al.*, 2021a). A espécie é apreciada devido ao seu valor nutricional, apresentando elevadas quantidades de fibras e compostos antioxidantes, como carotenoides, polifenóis e vitamina C. Suas folhas são, em geral, consumidas frescas, especialmente em saladas (Hassan *et al.*, 2024).

Para que a cultura atinja seu máximo potencial produtivo, ela necessita de condições climáticas e de manejo adequadas, apresentando melhor desempenho em climas mais amenos e temperaturas moderadas (Khan *et al.*, 2022). Além disso, o manejo da irrigação deve ser realizado de forma racional para garantir o desenvolvimento adequado da planta (Neto *et al.*, 2021). Apesar do potencial produtivo da cultura, regiões semiáridas, como o Nordeste brasileiro, enfrentam desafios hídricos significativos, levando muitos produtores a utilizar águas com elevado teor salino na irrigação como alternativa para suprir a demanda da cultura (Lessa *et al.*, 2023). No entanto, essa prática pode causar efeitos deletérios à fisiologia e à produtividade de hortaliças folhosas, sobretudo em espécies sensíveis como a rúcula (Santos *et al.*, 2020b).

O estresse salino imposto pela alta concentração de sais na água ou no solo provoca desequilíbrios osmóticos e iônicos, que resultam em diminuição da absorção de água, toxicidade e, conseqüentemente, na redução do crescimento e do rendimento das plantas (Shahid *et al.*, 2020; Balasubramaniam *et al.*, 2023a). Diante da crescente problemática da salinidade, a agricultura em regiões semiáridas busca estratégias que possam mitigar os danos fisiológicos nas culturas. Nesse contexto, a aplicação de bioestimulantes tem se consolidado como uma alternativa promissora (Di Sario *et al.*, 2025b).

Os bioestimulantes são substâncias ou microrganismos que, quando aplicados às plantas, atuam na melhoria da eficiência nutricional, tolerância ao estresse abiótico e qualidade da colheita, independentemente de seu teor de nutrientes (Rai; Sarma, 2021; Asif *et al.*, 2023). Além desses efeitos metabólicos e antioxidantes, muitos bioestimulantes atuam como análogos ou moduladores de fitormônios, ajustando a homeostase hormonal endógena e, conseqüentemente, os processos de crescimento e desenvolvimento vegetal (Cristofano; El-Nakhel; Rouphael, 2021; Waadt *et al.*, 2022). Seu uso visa promover o crescimento e a eficiência metabólica das plantas, além de estimular mecanismos de defesa antioxidantes que

são cruciais para a homeostase celular sob condições de estresse salino (Rouphael; Colla, 2018; Hasanuzzaman *et al.*, 2021). A eficácia de bioestimulantes comerciais tem sido amplamente investigada, evidenciando seu potencial na mitigação dos efeitos do estresse salino e na promoção do crescimento vegetal (Melito *et al.*, 2024).

Dentre os produtos comerciais disponíveis, o Stimulate[®] destaca-se por sua formulação composta por citocinina, auxina e giberelina, fitormônios que regulam processos como divisão celular, alongamento dos tecidos e desenvolvimento radicular, promovendo maior vigor e crescimento vegetal (Carvalho *et al.*, 2023; Lu *et al.*, 2024). Estudos indicam que sua aplicação pode aumentar a produção em condições de baixa a moderada salinidade, com redução dos efeitos benéficos em níveis mais elevados. (Souza *et al.*, 2020; Lakhdar; Trigui; Montemurro, 2023; Mola *et al.*, 2024a). Dessa forma, sua utilização fundamenta-se na capacidade de modular o balanço hormonal interno, reduzindo os efeitos do estresse salino e contribuindo para a manutenção do desempenho fisiológico e metabólico das plantas.

Destarte, esta pesquisa buscou avaliar a produção de rúcula cultivada em sistema semi-hidropônico sob diferentes níveis de salinidade, associados a distintas formas de aplicação do bioestimulante Stimulate[®], visando compreender seus efeitos benéficos no desempenho fisiológico e produtivo da cultura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em casa de vegetação localizada no setor experimental do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, no campus oeste da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, em Mossoró, Rio Grande do Norte (5° 11' LS; 37° 20' LO e 18 m de altitude ao nível do mar).

O experimento foi conduzido no delineamento de inteiramente casualizados, com arranjo fatorial 3×4 , sendo três níveis de salinidade da água (baixa = 0,5 dS m⁻¹; média = 2,5 dS m⁻¹ e alta = 5,0 dS m⁻¹) em solução nutritiva e quatro formas de aplicação do bioestimulante Stimulate[®] (ausência, tratamento de sementes, pulverização foliar, aplicação combinada via semente + foliar). As dosagens aplicadas foram de 20 mL kg⁻¹ para o tratamento das sementes e 10 mL L⁻¹ para a pulverização foliar. Após o preparo de cada solução nutritiva obteve-se as seguintes CE: 2,2 dS m⁻¹(baixa); (média) 4,0 e 6,5 dS m⁻¹ (alta).

O bioestimulante utilizado no ensaio foi o Stimulate[®], um produto líquido composto por três reguladores vegetais contendo 90 mg L⁻¹ (0,009%) de cinetina, 50 mg L⁻¹ (0,005%) de

ácido giberélico, 50 mg L⁻¹ (0,005%) de ácido indolbutírico e 99,981% de ingredientes inertes (Stoller, 2024).

Foram utilizadas sementes de rúcula (cv. cultivada) da marca comercial Topseed®, com taxa de germinação de 80% e pureza de 99,9%. A semeadura foi realizada diretamente nas bandejas preenchidas com substrato composto por fibra de coco e areia fina lavada, na proporção 2:1 (v/v), nas quais foram feitas 18 covas, sendo distribuídas 20 sementes por cova, a uma profundidade uniforme de 0,5 cm. Após a semeadura, as bandejas foram submetidas a irrigação diária, com o objetivo de assegurar condições ótimas de germinação e desenvolvimento inicial das plântulas.

O sistema hidropônico foi montado utilizando bandejas plásticas (14 cm × 37 cm 60 cm), com capacidade para 20 L. As bandejas foram dispostas sobre uma bancada de madeira com 0,5 m de altura, utilizando o espaçamento de 0,10 m entre bandejas. O substrato utilizado foi preparado a partir da mistura de fibra de coco e areia fina lavada, na proporção de 2:1 (v/v), proporcionando adequada aeração, retenção de umidade e sustentação das plantas.

Cada bandeja foi equipada com um sistema de drenagem composto por ralo de PVC, camada de brita com espessura de 2,0 cm e manta têxtil, cuja função foi permitir o escoamento eficiente da solução nutritiva e evitar a obstrução do sistema. As bandejas foram interligadas por tubos e conexões de PVC com diâmetro de 40 mm, possibilitando a coleta da solução drenada e sua posterior recirculação até o reservatório. Cada tratamento contou com um sistema de bombeamento individual, no qual uma eletrobomba transportou a solução nutritiva de um reservatório inferior com capacidade de 100 L até as bandejas, distribuindo-a por meio de microtubos tipo espaguete com aproximadamente 5 cm de comprimento.

A água utilizada no preparo das soluções foi proveniente do setor de abastecimento da UFERSA, apresentando as seguintes características químicas: pH 7,57; condutividade elétrica (CE) de 0,50 dS m⁻¹; Ca²⁺ = 0,83; Mg²⁺ = 1,20; K⁺ = 0,31; Na⁺ = 3,79; Cl⁻ = 2,40; HCO₃⁻ = 3,20; CO₃²⁻ = 0,60 mmolc L⁻¹; e razão de adsorção de sódio (RAS) de 4,90 RAS = 4,90 mmolc L⁻¹).

O controle das irrigações ocorreu por meio de um temporizador digital, programado para realizar cinco irrigações diárias (às 06:00 h, 09:00 h, 12:00 h, 15:00 h e 18:00h), cada ciclo teve duração de 1 min, tempo considerado suficiente para manter a umidade adequada do substrato e assegurar a drenagem eficiente do excedente.

Todas as soluções nutritivas foram preparadas com base na recomendação de Furlani *et al.* (1997), para o cultivo hidropônico de hortaliças folhosas, apresentando as seguintes concentrações de fertilizantes, em mg L⁻¹, 750 de nitrato de cálcio; 500 de nitrato de potássio;

150 de fosfato monoamônio (MAP); 400 de sulfato de magnésio; 0,15 de sulfato de cobre; 0,50 de sulfato de zinco; 1,50 de sulfato de manganês; 1,50 de ácido bórico; 0,15 de molibdato de sódio e 60 de FeEDDHA-6%.

As diferentes salinidades das águas utilizadas no preparo da solução nutritiva (0,5; 2,5 e 5,0 dS m⁻¹) foram obtidas pela dissolução de cloreto de sódio (NaCl) em água coletada no sistema de abastecimento do campus da UFERSA (CE = 0,5 dS m⁻¹). Após o preparo da solução nutritiva foi feito o ajuste dos valores de pH (faixa de 5,5 a 6,5) adicionando NaOH (1M) ou HCl (1M), para corrigir a acidez ou a alcalinidade.

O pH da solução nutritiva foi ajustado sempre que necessário, por meio da adição de KOH ou HNO₃, de modo a mantê-lo na faixa de 5,5 a 6,5, considerada adequada para o desenvolvimento da cultura da rúcula. Esse manejo rigoroso teve como objetivo assegurar o equilíbrio nutricional e a uniformidade das condições experimentais durante todo o período de condução do estudo.

Aos 20 dias após a semeadura, iniciou-se a aplicação do Stimulate[®] sobre as folhas utilizando um pulverizador manual. A aplicação foi realizada diretamente sobre as folhas, utilizando-se um pulverizador manual, de modo a garantir a cobertura uniforme da parte aérea das plantas. Esse momento foi definido considerando o estágio inicial de desenvolvimento vegetativo da cultura, período no qual a absorção foliar de reguladores vegetais é favorecida, potencializando seus efeitos fisiológicos.

As plantas foram colhidas aos 40 dias após a semeadura e avaliadas com base nas seguintes variáveis: altura da planta (AP), medida com uma régua graduada em centímetros, considerando apenas a parte aérea das plantas, medida do nível do substrato até o ponto mais alto da estrutura vegetativa; número de folhas (NF), a contagem do número total de folhas foi realizada no momento da colheita, contabilizando-se todas as folhas presentes em cada planta; massa fresca (MFT): determinada logo após a coleta das plantas, considerando a média obtida em 10 plantas, utilizando uma balança analítica (0,01 g) com caule e folhas; massa seca (MST): determinada após secagem das amostras em estufa de circulação forçada a 65 °C (± 1 °C) até massa constante, com posterior pesagem em balança com precisão de 0,01 g; área foliar (AF): determinada pelo método dos discos foliares, utilizando um anel volumétrico de aço inoxidável com diâmetro interno de 5 cm. Para cada planta, foram coletados 10 discos foliares representativos, retirados de diferentes partes da planta, a fim de garantir amostragem uniforme. Após a coleta, os discos foram acondicionados em sacos de papel adequados e submetidos à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, até atingirem peso constante. Com base nos valores obtidos da área dos discos foliares e da massa seca, bem como na massa seca

total das folhas, a área foliar total da planta foi calculada utilizando a equação 1 (Benincasa, 2003b).

$$AF = \frac{AD \times MSF}{\frac{MSD}{N}} \quad (1)$$

Em que:

AF – área foliar, cm²;

AD – área do disco, cm²;

MSF – massa seca de folhas, g;

MSD – massa seca dos discos, g;

N – número de discos utilizados na parcela.

Área foliar específica foi determinada pela razão entre a área foliar e sua respectiva massa seca, segundo a equação 2 (Benincasa, 2003b).

$$AFE = \frac{AF}{MSF} \quad (2)$$

Em que:

AFE – área foliar específica (cm² g⁻¹);

AF – área foliar (cm²);

MSF – massa seca de folhas (g).

Suculência foliar (SUF): Determinada a partir da razão entre o teor de água na folha e área foliar, utilizando-se a seguinte equação 2 (Delf, 1912).

$$SUF = \frac{(MFF - MSF)}{AF} \quad (2)$$

Em que:

SUF – suculência foliar, (g H₂O cm⁻²);

MFF – massa fresca de folhas (g);

MSF – massa seca de folhas (g);

AF – área foliar (cm²).

Para a avaliação da qualidade pós-colheita, as folhas foram homogeneizadas em processador de alimentos, e o suco obtido foi utilizado nas análises físico-químicas. O pH foi determinado a partir da diluição de 10 mL do suco em 100 mL de água destilada, com leitura realizada em pHmetro de bancada Simpla PH140. A acidez titulável foi determinada por titulação com solução padronizada de hidróxido de sódio (NaOH), sendo os valores expressos em porcentagem de ácido cítrico. A condutividade elétrica do suco foi mensurada com condutivímetro, e os resultados expressos em dS m⁻¹. O teor de sólidos solúveis totais (°Brix) foi determinado com refratômetro digital Atago®. O teor relativo de clorofila foi determinado

de forma não destrutiva, utilizando-se um clorofilômetro portátil ClorofiLOG® modelo CFL1030 (Falker Automação Agrícola, Brasil). As leituras foram realizadas em folhas completamente expandidas de rúcula, posicionando-se o sensor na região mediana do limbo foliar, evitando-se a nervura central. Os valores foram expressos em índice Falker de clorofila (IFC), conforme leitura direta do equipamento. O teor de vitamina C foi determinado a partir de amostras descongeladas de 2,5 g, diluídas em balões volumétricos de 25 mL. Alíquotas de 2 mL do suco foram utilizadas para titulação, e os resultados expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g de matéria fresca.

A coloração foi avaliada a partir do suco de rúcula obtido por homogeneização das folhas, com o objetivo de caracterizar alterações na cor associadas à qualidade pós-colheita. As determinações foram realizadas por meio de análise colorimétrica, utilizando-se um equipamento portátil, operando no sistema de cores CIELAB.

Após a homogeneização, o suco foi transferido para recipientes plásticos individuais, devidamente identificados, correspondentes a cada tratamento e repetição. As leituras colorimétricas foram realizadas diretamente no suco, posicionando-se o sensor do equipamento de forma perpendicular à superfície do extrato, garantindo condições uniformes de leitura.

Foram obtidos os parâmetros L^* , a^* e b^* , em que L^* representa a luminosidade da amostra, a^* indica a variação do verde ao vermelho e b^* expressa a variação do azul ao amarelo. A partir dos valores de a^* e b^* , foram determinados a cromaticidade (C^*) e o ângulo de tonalidade (h°), os quais expressam, respectivamente, a intensidade e a tonalidade predominante da cor, conforme metodologia descrita por McGuire (1992).

Os parâmetros colorimétricos foram utilizados como indicadores da coloração e da qualidade visual do suco de rúcula, uma vez que alterações nesses atributos estão relacionadas a processos fisiológicos, como degradação de clorofila e escurecimento do material vegetal, especialmente sob diferentes níveis de salinidade e formas de aplicação do Stimulate®.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p \leq 0,05$), com desdobramento dos fatores sempre que se observou efeito significativo na interação entre eles. As variáveis relacionadas às condutividades elétricas, bem como as formas de aplicação do Stimulate® foram analisadas por meio do teste de comparação de médias (Tukey, $p \leq 0,05$). Os gráficos foram elaborados a partir das médias dos tratamentos, utilizando o software estatístico R, no ambiente RStudio (2025). As análises estatísticas foram conduzidas utilizando o software SISVAR versão 5.6 (Ferreira, 2019a).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os efeitos da salinidade da solução nutritiva e das formas de aplicação de Stimulate[®] sobre as variáveis de crescimento da rúcula estão apresentadas na Figura 1 análise de variância não evidenciou interação significativa entre os fatores para altura de plantas, número de folhas, massa fresca total e peso seco total ($p \leq 0,05$), indicando que os efeitos da condutividade elétrica e das formas de aplicação ocorreram de maneira independente sobre os parâmetros de crescimento avaliados.

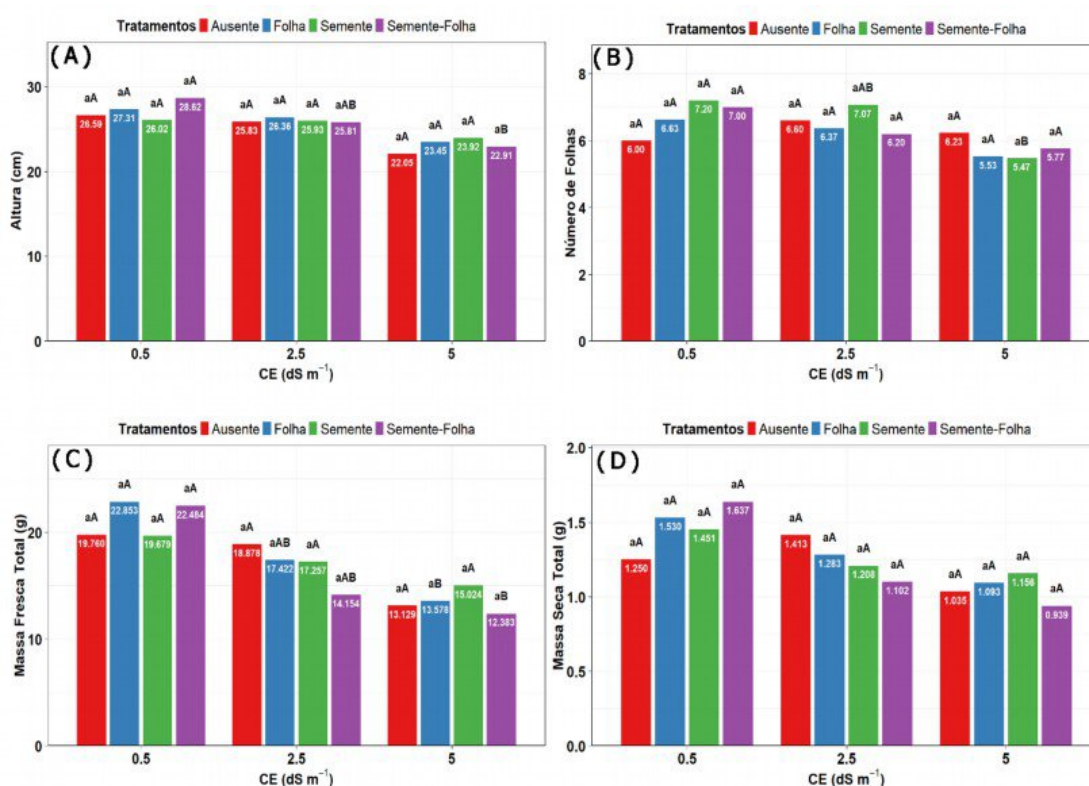


Figura 1. Altura de plantas (A), número de folhas (B), massa fresca total (C) e peso seco total (D) de rúcula em função da condutividade elétrica da solução nutritiva (CE, dS m⁻¹) e das formas de aplicação de Stimulate[®] (ausente, aplicação via foliar, via tratamento de sementes e via sementes + foliar), em cultivo hidropônico com substrato. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si quanto às formas de aplicação dentro da mesma dose de CE, e médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si quanto às doses de CE dentro da mesma forma de aplicação, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A salinidade da solução nutritiva afetou a altura das plantas, sendo observada redução da altura com o aumento da condutividade elétrica, conforme apresentado na Figura 1A, embora não tenha sido verificada interação significativa entre os fatores ($p = 0,9360$). Comparando-se as plantas cultivadas sob baixa salinidade (0,5 dS m⁻¹) com aquelas submetidas à maior

salinidade ($5,0 \text{ dS m}^{-1}$), verificou-se redução de 14,9% na altura das plantas, evidenciando o efeito negativo do estresse salino sobre o crescimento. Quanto às formas de aplicação, não houve efeito significativo, obtendo-se altura média geral de 25,40 cm, o que indica que esse fator não interferiu no crescimento em altura.

Resultados semelhantes foram observados em estudos com rúcula cultivada sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação ou da solução nutritiva, em substratos ou sistemas hidropônicos, nos quais o aumento da condutividade elétrica resultou em redução da altura das plantas, evidenciando a sensibilidade da cultura ao estresse salino (Yang *et al.*, 2021a; Ferrarezi *et al.*, 2024). Esses efeitos são atribuídos ao aumento da pressão osmótica e ao desequilíbrio nutricional, que limitam o desenvolvimento vegetal (Santos *et al.*, 2020b).

A redução da altura das plantas sob condições salinas está relacionada ao acúmulo excessivo de Na^+ e Cl^- no substrato ou na solução nutritiva, o que eleva o potencial osmótico e reduz a absorção de água pelas raízes, resultando em menor turgescência e alongamento celular (Álvarez *et al.*, 2012; Byrt *et al.*, 2018). Além disso, o estresse salino provoca alterações metabólicas e hormonais, que inibem a atividade meristemática e a divisão celular, resultando em menor crescimento das plantas (Liu *et al.*, 2015; Yu *et al.*, 2022; Xing *et al.*, 2023).

O número de folhas de rúcula não apresentou efeito significativo em função da salinidade da solução nutritiva nem das formas de aplicação (Figura 1B). A média geral foi de 6,30 folhas por planta, demonstrando comportamento estável da variável frente aos tratamentos avaliados. Assim, dentro do intervalo de salinidade estudado, não se verificaram alterações estatisticamente detectáveis no desenvolvimento foliar.

Esse resultado mostra que, embora o número de folhas não seja a variável mais sensível ao estresse salino, há uma tendência de limitação na emissão de novas folhas sob maiores níveis de salinidade. Em rúcula, esse comportamento é atribuído à capacidade da planta em regular o crescimento foliar como estratégia de adaptação, reduzindo a área transpirante e o consumo de água em condições adversas, enquanto outros parâmetros, como altura de plantas e massa da parte aérea, tendem a ser mais afetados (Dias *et al.*, 2019; Afsar *et al.*, 2020a).

A massa fresca total da rúcula foi influenciada negativamente pelo aumento da salinidade da solução nutritiva, conforme apresentado na Figura 1C, embora não tenha sido observada interação significativa entre salinidade e formas de aplicação de Stimulate®. De modo geral, verificou-se que os maiores valores de massa fresca total ocorreram na menor salinidade ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$), independentemente da forma de aplicação, evidenciando melhor crescimento das plantas em condições de menor estresse osmótico. Nessa salinidade, os valores

variaram de 19,679 a 22,853 g planta⁻¹, indicando maior acúmulo de biomassa fresca quando a disponibilidade de água e nutrientes não foi limitada pela presença excessiva de sais.

Com o aumento da salinidade para 2,5 dS m⁻¹, observou-se redução consistente da massa fresca total em todos os tratamentos, com valores entre 14,154 e 18,878 g planta⁻¹, demonstrando que níveis intermediários de salinidade já são suficientes para comprometer o crescimento das plantas. Na maior salinidade (5,0 dS m⁻¹), essa redução tornou-se mais acentuada, com valores variando de 12,383 a 15,024 g planta⁻¹, caracterizando efeito mais severo do estresse salino sobre o desenvolvimento da parte aérea. A comparação entre as salinidades extremas revelou redução aproximada de 34,6% na massa fresca total, confirmando a elevada sensibilidade dessa variável ao aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva.

Em sistemas hidropônicos, o aumento da condutividade elétrica intensifica o estresse osmótico de forma imediata, reduzindo o potencial hídrico da solução e dificultando a absorção de água (Magalhães *et al.*, 2010; Renganathan; Gaysina; Rueda-Puente, 2025). Esse processo compromete a turgescência celular, limita a expansão foliar e pode desencadear desequilíbrios iônicos, especialmente pela competição entre Na⁺ e nutrientes essenciais como K⁺ e Ca²⁺, refletindo diretamente no acúmulo de biomassa (Afsar *et al.*, 2020a; Kusvuran; Ellialtioglu, 2021; Torres *et al.*, 2024). A rúcula, por ser uma hortaliça folhosa de ciclo curto e alto teor de água, apresenta elevada sensibilidade da massa fresca ao estresse salino, sendo amplamente relatada a redução da biomassa sob incremento da salinidade em cultivo em solo e hidroponia (Vetrano *et al.*, 2020; Yang *et al.*, 2021b; Santander *et al.*, 2022; Balasubramaniam *et al.*, 2023b).

O peso seco total da rúcula não apresentou interação significativa entre a salinidade da solução nutritiva e as formas de aplicação de Stimulate[®], conforme apresentado na Figura 1D, indicando que esses fatores atuaram de forma independente. De modo geral, verificou-se que os maiores valores de peso seco total foram registrados na menor salinidade (0,5 dS m⁻¹), independentemente da forma de aplicação de Stimulate[®]. Nessa condição, os valores variaram de 1,25 g planta⁻¹, na ausência de Stimulate[®], a 1,637 g planta⁻¹, quando houve aplicação via sementes + foliar, enquanto a aplicação via foliar e o tratamento de sementes resultaram em 1,53 e 1,451 g planta⁻¹, respectivamente. Esses resultados indicam maior acúmulo de matéria seca quando as plantas foram cultivadas sob menor estresse salino (0,5 dS m⁻¹), favorecendo a formação de biomassa estrutural.

Com o aumento da salinidade para 2,5 dS m⁻¹, observou-se redução nos valores de peso seco total em todos os tratamentos, com médias variando entre 1,102 e 1,413 g planta⁻¹,

evidenciando que níveis intermediários de salinidade já são suficientes para limitar o acúmulo de matéria seca da rúcula. Na maior salinidade (5,0 dS m⁻¹), essa redução tornou-se mais acentuada, com valores de peso seco total entre 0,939 e 1,156 g planta⁻¹, caracterizando efeito mais severo do estresse salino sobre o crescimento das plantas. A comparação entre as salinidades extremas revelou redução aproximada de 42,6% no peso seco total, ao se comparar os maiores valores obtidos em 0,5 dS m⁻¹ com os menores registrados em 5,0 dS m⁻¹, confirmando a sensibilidade dessa variável ao aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva.

Esse comportamento confirma um padrão amplamente descrito em culturas submetidas ao estresse salino, nas quais o incremento da concentração de sais compromete o crescimento vegetativo e o acúmulo de biomassa estrutural, mesmo na presença de bioestimulantes (Moncada *et al.*, 2020; Kapadia *et al.*, 2021). Os maiores valores de peso seco sob baixa salinidade indicam resposta semelhante à observada em outras hortaliças folhosas, como alface e acelga, nas quais a elevação da condutividade elétrica acima de uma faixa considerada ótima 2,0 a 3,3 dS·m⁻¹ promove redução progressiva da biomassa seca (Silva *et al.*, 2021; Breś *et al.*, 2022; Puccinelli *et al.*, 2022). Em salinidades mais elevadas, as perdas de peso seco aproximam-se daquelas relatadas para rúcula exposta a altas concentrações de NaCl, estando associadas à combinação de estresse osmótico, toxicidade iônica e maior custo energético para manutenção metabólica e ativação de sistemas antioxidantes, comportamento típico de espécies não halófitas (Afsar *et al.*, 2020b; Soothar *et al.*, 2021; Corti *et al.*, 2023).

A análise de variância evidenciou interação significativa entre a condutividade elétrica da solução nutritiva (CE) e as formas de aplicação do regulador vegetal para as variáveis área foliar, área foliar específica e suculência foliar, indicando que a resposta das plantas ao estresse salino depende da via de aplicação do Stimulate[®]. Assim, os resultados são apresentados considerando o desdobramento da interação entre os fatores Figura 2.

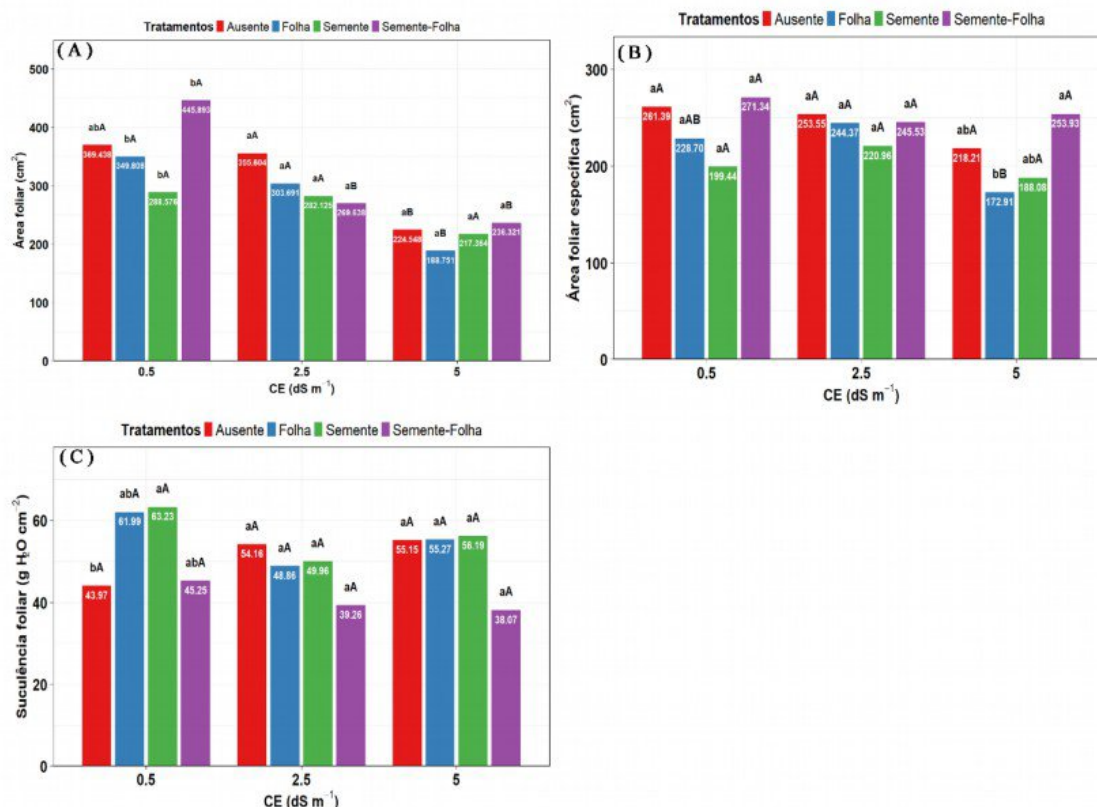


Figura 2. Área foliar (A), área foliar específica (AFE) (B) e suculência foliar (SUF) (C) de rúcula em função da condutividade elétrica da solução nutritiva (CE, dS m⁻¹) e das formas de aplicação de Stimulate® (ausente, aplicação foliar, tratamento de sementes e sementes + foliar), em cultivo hidropônico com substrato. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si quanto às formas de aplicação dentro de cada nível de CE, e médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si quanto aos níveis de CE dentro de cada forma de aplicação, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A área foliar foi significativamente influenciada pela interação entre a condutividade elétrica da solução nutritiva (CE) e os tratamentos aplicados Figura 2A, evidenciando que a resposta das plantas ao estresse salino depende da forma de aplicação do regulador vegetal. Na menor salinidade (0,5 dS m⁻¹), o tratamento via aplicação combinada semente-folha apresentou o maior valor de área foliar (445,893 cm²), diferindo estatisticamente dos tratamentos folha e semente, os quais apresentaram reduções de aproximadamente 21,5% e 35,3%, respectivamente, em relação ao maior valor observado Figura 2A. O tratamento ausente apresentou valor intermediário (369,438 cm²), não diferindo estatisticamente dos demais, indicando que, em condições de baixa salinidade, o efeito da aplicação conjunta se manifesta principalmente em ganhos absolutos de área foliar.

Sob salinidade intermediária (2,5 dS m⁻¹), não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos folha, semente e ausente, cujos valores variaram entre 282,125 e 355,604 cm² Figura 2A. Entretanto, o tratamento via semente e via aplicação foliar apresentou redução

significativa da área foliar em comparação aos demais, com decréscimo de até 24,2% em relação ao tratamento ausente, evidenciando menor eficiência da aplicação conjunta sob estresse salino moderado.

Na maior salinidade (5,0 dS m⁻¹), verificou-se redução expressiva da área foliar em todos os tratamentos Figura 2A, confirmando o efeito deletério do estresse salino sobre a expansão foliar. O tratamento via aplicação de semente apresentou o maior valor absoluto (217,364 cm²), diferindo estatisticamente do tratamento aplicação via foliar (188,751 cm²), o que representa incremento de aproximadamente 15,2%, sugerindo maior eficiência da aplicação via semente na manutenção do crescimento foliar sob elevada salinidade.

De forma geral, a redução da área foliar com o aumento da CE está associada às limitações osmóticas e ao acúmulo de íons, que restringem a expansão celular e o crescimento vegetativo, conforme relatado para hortaliças folhosas (Bulgari; Trivellini; Ferrante, 2019; Li *et al.*, 2023a; Atero-Calvo *et al.*, 2024; Cunha-Chiamolera *et al.*, 2025a; Kaya, 2025b). Em alta salinidade, o Stimulate[®] promoveu apenas atenuação parcial das perdas, sem alterar o limiar de tolerância da rúcula, comportamento semelhante ao observado em outras variáveis de crescimento sob estresse salino (Adhikari *et al.*, 2023a; Li *et al.*, 2023b; Simko *et al.*, 2025).

A área foliar específica apresentou resposta significativa à interação entre CE e tratamentos, principalmente na maior salinidade Figura 2B. Na CE de 0,5 dS m⁻¹, não houve diferença estatística entre os tratamentos, com valores variando de 199,44 a 271,34 cm², indicando que, em condições favoráveis, a estrutura foliar é pouco influenciada pela forma de aplicação.

Na salinidade intermediária (2,5 dS m⁻¹), também não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos, embora o tratamento ausente tenha apresentado valor numericamente superior (253,55 cm²), cerca de 14,8% maior que o tratamento via aplicação Semente.

Já na maior salinidade (5,0 dS m⁻¹), o tratamento via aplicação combinada semente-folha apresentou o maior valor de AFE (253,93 cm²), diferindo estatisticamente do tratamento Folha, que apresentou o menor valor (172,91 cm²). Esse incremento corresponde a um aumento de aproximadamente 46,8%, indicando folhas mais finas e com maior área por unidade de massa, característica frequentemente associada a estratégias de ajuste morfológico sob estresse. A redução da AFE sob maior salinidade indica a formação de folhas mais espessas ou com maior densidade de tecidos, caracterizando um ajuste morfofisiológico associado à conservação de água e maior tolerância ao estresse salino (He *et al.*, 2022; Menon-Martínez *et al.*, 2024).

Para a suculência foliar SUF, observou-se interação significativa entre CE e tratamentos apenas na menor salinidade ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$) Figura 2C. Nessa condição, o tratamento via aplicação semente apresentou o maior valor de suculência ($63,23 \text{ g H}_2\text{O cm}^{-2}$), diferindo estatisticamente do tratamento ausente, que apresentou o menor valor ($43,97 \text{ g H}_2\text{O cm}^{-2}$). Esse incremento representa aumento de aproximadamente 43,8%, indicando maior capacidade de retenção hídrica nas folhas quando o regulador é aplicado via semente.

Os tratamentos via foliar e via aplicação semente-folha apresentaram valores intermediários e não diferiram estatisticamente entre si na menor salinidade. Nas salinidades de $2,5$ e $5,0 \text{ dS m}^{-1}$, não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos, com valores de suculência variando entre $38,07$ e $56,19 \text{ g H}_2\text{O cm}^{-2}$. Ainda assim, em $5,0 \text{ dS m}^{-1}$, os tratamentos via aplicação foliar, via semente e ausente apresentaram valores cerca de 45% superiores ao tratamento via aplicação combinada semente-folha, evidenciando tendência fisiológica relevante, mesmo na ausência de significância estatística. O aumento da suculência foliar é um mecanismo adaptativo importante sob estresse salino, pois contribui para a diluição de sais nos tecidos e manutenção do turgor celular (Zhao *et al.*, 2020a; Shams; Khadivi, 2023; Liu *et al.*, 2024). A ausência de diferença estatística em salinidades mais elevadas sugere que, sob estresse severo, a capacidade adaptativa das plantas se torna limitada, independentemente da forma de aplicação do regulador.

Houve interação significativa entre a condutividade elétrica da solução nutritiva e as formas de aplicação de Stimulate® para o pH e a condutividade elétrica do suco. Para acidez titulável, sólidos solúveis totais e teor de clorofila total, não foi observada interação, indicando efeito independente dos fatores. Assim, os resultados são apresentados conforme o desdobramento da interação quando significativo e, nos demais casos, considerando-se os efeitos principais Figura 3.

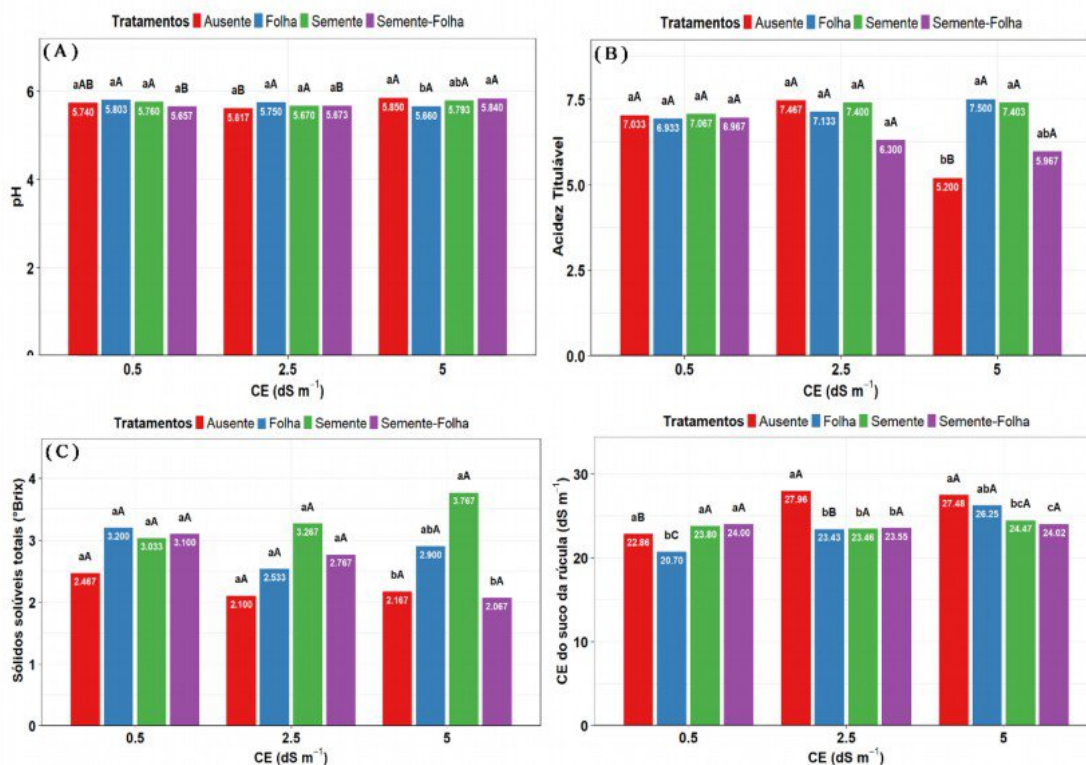


Figura 3. pH (A), acidez titulável (B), condutividade elétrica do suco (C), sólidos solúveis totais (D) de rúcula em função da condutividade elétrica da solução nutritiva (CE, dS m⁻¹) e das formas de aplicação de Stimulate[®] (ausente, aplicação via foliar, via tratamento de sementes e via sementes + foliar), em cultivo hidropônico com substrato. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si quanto às formas de aplicação dentro da mesma dose de CE, e médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si quanto às doses de CE dentro da mesma forma de aplicação, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O pH da rúcula apresentou interação significativa entre a condutividade elétrica da solução nutritiva e as formas de aplicação de Stimulate[®], conforme apresentado na Figura 3A, indicando que a resposta dessa variável depende da combinação entre os fatores avaliados. Na ausência de Stimulate[®], observou-se aumento do pH com a elevação da salinidade, passando de 5,74 sob 0,5 dS m⁻¹ para 5,85 em 5,0 dS m⁻¹, o que corresponde a um incremento de 1,92%, com diferença estatística entre as doses. Para a aplicação de Stimulate[®] via combinação semente-folha, comportamento semelhante foi verificado, com aumento do pH de 5,66 para 5,84 entre as salinidades extremas, representando acréscimo de 3,18%, evidenciando que o efeito da salinidade sobre o pH foi dependente dessa forma de aplicação.

Por outro lado, na aplicação de Stimulate[®] via foliar, o pH apresentou leve redução com o aumento da salinidade, variando de 5,80 em 0,5 dS m⁻¹ para 5,66 em 5,0 dS m⁻¹, correspondendo a redução de 2,41%, sem diferença estatística significativa entre as doses. No tratamento de sementes, os valores de pH mantiveram-se praticamente constantes, variando de

5,76 a 5,79, com variação inferior a 0,5%, indicando estabilidade dessa variável frente ao incremento da condutividade elétrica. De modo geral, o pH permaneceu dentro de uma faixa estreita (5,62 a 5,85), embora com interação significativa entre os fatores, demonstrando que as variações observadas, apesar de estatisticamente detectáveis em alguns tratamentos, apresentaram baixa magnitude absoluta.

De forma geral, as variações de pH observadas em função da salinidade e das formas de aplicação de Stimulate® refletem ajustes fisiológicos associados ao balanço iônico e ao metabolismo orgânico das plantas sob estresse salino (Ma; Freitas; Dias, 2022). Estudos indicam que o aumento da condutividade elétrica pode induzir modificações na absorção de íons e no conteúdo de ácidos orgânicos, influenciando o equilíbrio ácido-base dos tecidos vegetais (Munns; Tester, 2008; Zhao *et al.*, 2020b).

Nesse contexto, observa-se que, embora tais ajustes sejam estatisticamente detectáveis, o pH tende a apresentar maior estabilidade fisiológica em hortaliças folhosas, quando comparado a outros atributos de qualidade pós-colheita mais sensíveis às condições ambientais e ao estresse, como sólidos solúveis e compostos bioativos (Tonto *et al.*, 2023; Silva; Florêncio; Santos, 2024). Assim, os resultados demonstram que as alterações no pH não comprometeram a qualidade da rúcula, indicando que o efeito da salinidade e do Stimulate® sobre essa variável apresentou baixa relevância prática nas condições avaliadas.

A acidez titulável, não apresentou interação significativa entre a condutividade elétrica da solução nutritiva e as formas de aplicação de Stimulate®, conforme apresentado na Figura 3B, indicando que os efeitos desses fatores ocorreram de forma independente. De maneira geral, os valores de acidez titulável variaram entre 5,20 e 7,47 mL, não sendo observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos ou níveis de salinidade.

Na menor salinidade ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$), os valores oscilaram de 6,93 a 7,07 mL, correspondendo a uma diferença percentual máxima de aproximadamente 2,0% entre as formas de aplicação, evidenciando comportamento bastante uniforme dessa variável. Na salinidade intermediária ($2,5 \text{ dS m}^{-1}$), os valores variaram de 6,30 mL, na aplicação de Stimulate® via semente-folha, a 7,47 mL, na ausência, o que representa redução numérica de 15,7% entre os valores extremos, embora sem significância estatística.

Na maior salinidade ($5,0 \text{ dS m}^{-1}$), observou-se redução apenas na ausência de Stimulate®, com diminuição de 7,47 para 5,20 mL, correspondendo a redução de 30,4%. Nos demais tratamentos, os valores mantiveram-se entre 5,97 e 6,30 mL, com variações percentuais inferiores a 6%. Apesar dessas variações numéricas, a ausência de diferença estatística indica que a acidez titulável apresentou relativa estabilidade, não sendo significativamente afetada

pelo aumento da salinidade da solução nutritiva nem pelas formas de aplicação de Stimulate® nas condições avaliadas.

Resultados semelhantes foram observados em análises de qualidade físico-química de rúcula pós-colheita, nas quais a acidez titulável apresentou variações relativamente pequenas ao longo do tempo ou entre tratamentos, mesmo quando outros atributos sensoriais e bioquímicos variaram de forma mais expressiva, indicando relativa estabilidade dessa variável físico-química em hortaliças folhosas (Matos *et al.*, 2021; Meinerz *et al.*, 2021; Komerowski *et al.*, 2024). Corroborando esses achados, Silva *et al.* (2020) relataram que a acidez total titulável de rúcula (*Eruca sativa*) não apresentou diferenças significativas entre tratamentos, mesmo diante de variações observadas no pH e nos sólidos solúveis, reforçando que essa variável apresenta menor sensibilidade às alterações de manejo e às condições ambientais.

O teor de sólidos solúveis totais (°Brix) também não apresentou interação significativa Figura 3C, nem diferenças estatísticas entre tratamentos ou níveis de salinidade. Apesar da ausência de significância estatística, os valores de °Brix variaram numericamente entre 2,07 e 3,77. Na menor salinidade (0,5 dS m⁻¹), os valores oscilaram de 2,47 °Brix, na ausência de Stimulate®, a 3,20 °Brix, na aplicação de Stimulate® via foliar, correspondendo a uma diferença numérica de 29,6%. Na salinidade intermediária (2,5 dS m⁻¹), os valores variaram de 2,10 a 3,27 °Brix, enquanto, na maior salinidade (5,0 dS m⁻¹), observaram-se valores entre 2,07 e 3,77 °Brix, representando incremento numérico de 82,1% entre os valores extremos. Essas variações percentuais, embora expressivas, não foram estatisticamente significativas, indicando que o teor de sólidos solúveis apresentou relativa estabilidade frente às variações de salinidade e às formas de aplicação de Stimulate®.

Dessa forma, a ausência de interação significativa e de diferenças estatísticas consistentes para o teor de sólidos solúveis da rúcula, mesmo com variações numéricas expressivas, indica que essa variável apresenta resposta moderada ou estabilidade frente às variações de salinidade e às formas de aplicação de Stimulate®, em concordância com resultados reportados para outras culturas (Al-Saif *et al.*, 2023; Mola *et al.*, 2024b; Giovanelli *et al.*, 2025).

A condutividade elétrica do suco de rúcula Figura 3D, apresentou interação significativa entre a condutividade elétrica da solução nutritiva e as formas de aplicação de Stimulate®. Na ausência de Stimulate®, os valores de CE aumentaram de 22,86 mS cm⁻¹, sob 0,5 dS m⁻¹, para 27,96 mS cm⁻¹ em 2,5 dS m⁻¹, mantendo-se elevados em 5,0 dS m⁻¹ (27,48 mS cm⁻¹), o que representa incremento de 22,3% entre as salinidades extremas, com diferença estatística entre as doses.

Para a aplicação de Stimulate® via foliar, a CE variou de 20,70 mS cm⁻¹ em 0,5 dS m⁻¹ para 26,25 mS cm⁻¹ em 5,0 dS m⁻¹, correspondendo a aumento de 26,8%, também com diferença estatística entre as doses. No tratamento de sementes, os valores oscilaram entre 23,80 e 24,47 mS cm⁻¹, resultando em variação percentual mais discreta (2,8%), enquanto, na aplicação via sementes + foliar, a CE variou de 23,55 a 27,96 mS cm⁻¹, representando incremento de 18,7%.

De modo semelhante, em diferentes culturas sob estresse salino, a resposta da CE dos tecidos vegetais também varia conforme o nível de salinidade e o tipo, dose ou forma de aplicação de bioestimulantes ou reguladores de crescimento, que podem atenuar ou, em algumas condições, até acentuar os efeitos do sal sobre crescimento, trocas gasosas e qualidade das plantas (Figueiredo *et al.*, 2021; Ahmad; Blasco; Martos, 2022; Liu *et al.*, 2023; Zuzunaga-Rosas *et al.*, 2023). Esses achados reforçam que a CE em plantas ou no ambiente de cultivo é altamente sensível tanto à intensidade da salinidade quanto à estratégia de uso de bioestimulantes, o que é coerente com a interação observada para a CE do suco de rúcula.

Os teores de clorofila total e de vitamina C da rúcula variaram em função da condutividade elétrica da solução nutritiva e das formas de aplicação de Stimulate® Figura 4. Não foi observada interação significativa entre os fatores para essas variáveis. O teor de clorofila total não apresentou efeito dos tratamentos, enquanto o teor de vitamina C foi influenciado apenas pela condutividade elétrica da solução nutritiva.

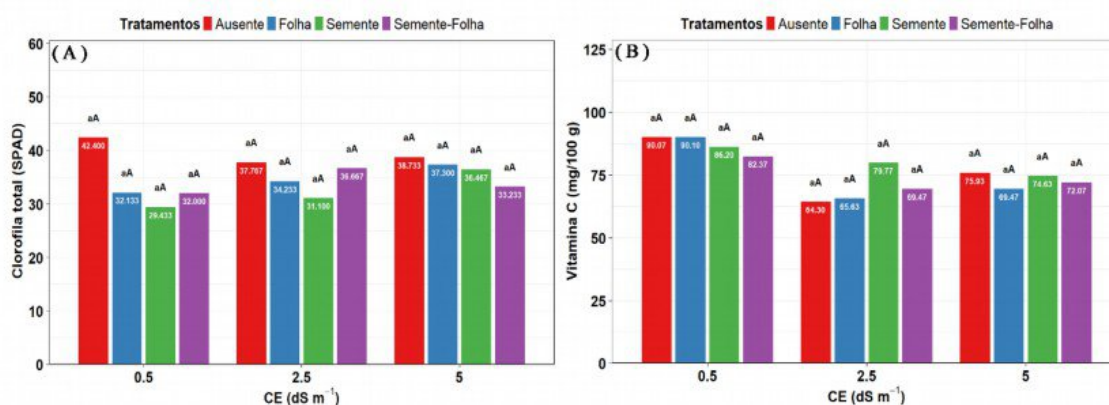


Figura 4. Clorofila total (SPAD) (A) e vitamina C (mg 100 g⁻¹) (B) de rúcula em função da condutividade elétrica da solução nutritiva (CE, dS m⁻¹) e das formas de aplicação de Stimulate® (ausente, aplicação via foliar, via tratamento de sementes e via sementes + foliar), em cultivo hidropônico com substrato. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si quanto às formas de aplicação dentro da mesma dose de CE, e médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si quanto às doses de CE dentro da mesma forma de aplicação, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Para a clorofila total, não houve interação significativa entre salinidade e formas de aplicação de Stimulate® Figura 4A, indicando efeitos independentes. Não foram observadas diferenças estatísticas entre tratamentos ou níveis de salinidade, embora os valores tenham variado numericamente. Na menor salinidade ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$), os valores variaram de 29,43 (via sementes) a 42,40 (sem aplicação), diferença de 44,1%. Na intermediária ($2,5 \text{ dS m}^{-1}$), oscilaram entre 31,10 e 37,77, e na maior ($5,0 \text{ dS m}^{-1}$), de 33,23 (sementes + foliar) a 38,73, com diferenças de 21,4% e 16,6%, respectivamente.

Ao comparar os níveis extremos de salinidade, observa-se que, na ausência de Stimulate®, houve redução numérica de 8,6% na clorofila total, passando de 42,40 em $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ para 38,73 em $5,0 \text{ dS m}^{-1}$. Apesar dessas variações percentuais, a ausência de significância estatística indica que o teor de clorofila total apresentou baixa sensibilidade ao aumento da salinidade da solução nutritiva e às formas de aplicação de Stimulate® nas condições deste estudo.

Estudos em hortaliças mostram que o teor de pigmentos pode ser pouco afetado por salinidade moderada, mesmo com alterações significativas no crescimento, devido a mecanismos de proteção fotossintética e ajustes fisiológicos (Bayat; Shafie; Shahraki, 2022; Adhikari *et al.*, 2023b). Em alface, a salinidade elevada alterou parâmetros fotossintéticos e pigmentos correlacionados, embora nem sempre de forma estatisticamente significativa, dependendo do nível de estresse e da duração do tratamento (Shin *et al.*, 2020). Em espécies adaptadas, a clorofila pode ser modulada pelo ambiente, explicando a estabilidade observada neste estudo (Fitzner; Schreiner; Baldermann, 2023).

Os teores de vitamina C da rúcula variaram em função da condutividade elétrica da solução nutritiva, conforme apresentado na Figura 4B, não havendo interação significativa entre salinidade e formas de aplicação. De modo geral, os maiores valores de vitamina C foram observados na menor salinidade ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$), independentemente da forma de aplicação, com valores variando de 82,37 a 90,10 mg AA 100 g^{-1} , superiores à média geral do experimento ($76,67 \text{ mg AA } 100 \text{ g}^{-1}$). Esses resultados indicam melhor manutenção do teor de ácido ascórbico sob condições de menor estresse salino.

Na salinidade intermediária ($2,5 \text{ dS m}^{-1}$), observou-se redução expressiva dos teores de vitamina C em relação à menor salinidade, especialmente nos tratamentos ausente e via foliar, nos quais os valores diminuíram de 90,07 para 64,30 mg AA 100 g^{-1} (redução de 28,6%) e de 90,10 para 65,63 mg AA 100 g^{-1} (redução de 27,1%), respectivamente. Por outro lado, o tratamento com aplicação via sementes apresentou maior teor de vitamina C nessa salinidade

(79,77 mg AA 100 g⁻¹), valor aproximadamente 24,1% superior ao observado na ausência de aplicação na mesma condutividade elétrica, destacando-se numericamente entre os tratamentos.

Na maior salinidade avaliada (5,0 dS m⁻¹), os teores de vitamina C apresentaram valores intermediários, variando de 69,47 a 75,93 mg AA 100 g⁻¹. Na ausência de aplicação, por exemplo, houve aumento do teor de vitamina C de 64,30 para 75,93 mg AA 100 g⁻¹ em relação à salinidade intermediária, correspondendo a um incremento de 18,1%. Comportamento semelhante foi observado no tratamento via sementes, em que o teor se manteve relativamente elevado (74,63 mg AA 100 g⁻¹), mesmo sob maior condutividade elétrica. Apesar dessas variações numéricas, não foram constatadas diferenças estatísticas entre as formas de aplicação dentro de cada nível de salinidade, sendo o efeito significativo atribuído exclusivamente à condutividade elétrica da solução nutritiva, com coeficiente de variação de 18,67%.

A redução dos teores de vitamina C sob salinidade intermediária indica maior consumo do ácido ascórbico no sistema antioxidante para neutralização das espécies reativas de oxigênio induzidas pelo estresse salino (Silva *et al.*, 2025). Em contraste, o melhor desempenho do tratamento com aplicação de Stimulate® via sementes sugere que o condicionamento hormonal prévio, composto por auxinas, citocininas e giberelinas, contribuiu para maior estabilidade fisiológica das plantas, uma vez que as citocininas atuam retardando processos oxidativos e de senescência, favorecendo a manutenção dos níveis de antioxidantes (Mughal *et al.*, 2024).

A recuperação dos teores na maior salinidade indica uma resposta adaptativa ao estresse, associada à ativação de rotas metabólicas protetoras e à síntese de compostos antioxidantes (Plocek; Kathi; Simpson, 2023). Assim, o Stimulate®, especialmente via sementes, atua como modulador do metabolismo antioxidante, auxiliando a preservação da qualidade nutricional da rúcula sob condições elevadas de salinidade (Ellouzi *et al.*, 2023; Hussain *et al.*, 2023; Rady *et al.*, 2025).

Os parâmetros colorimétricos das folhas de rúcula, representados pela luminosidade (L*), coordenadas cromáticas (a* e b*), croma (C*) e ângulo de matiz (h°), não foram influenciados significativamente pela interação entre a condutividade elétrica da solução nutritiva e as formas de aplicação do regulador Figura 5. De modo geral, observou-se uma manutenção da qualidade visual das plantas, com variações numéricas discretas que não comprometeram o padrão comercial da cultura.

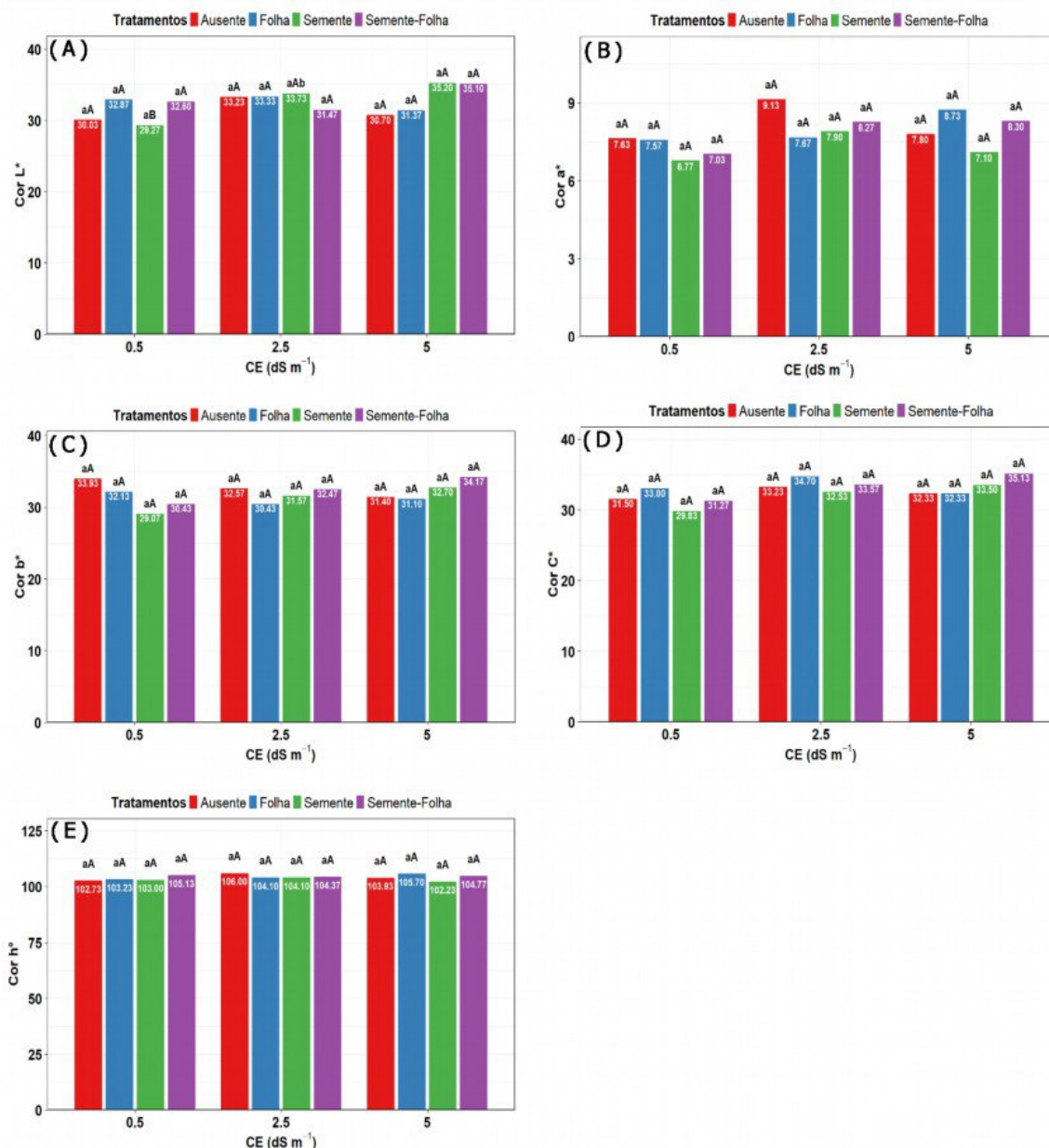


Figura 5. Parâmetros de cor das folhas de rúcula cultivadas sob diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva (CE, dS m⁻¹) e formas de aplicação de Stimulate[®]. (A) luminosidade (L*), (B) componente a* (variação verde-vermelho), (C) componente b* (variação azul-amarelo), (D) croma (C*) e (E) ângulo de matiz (h°). As diferentes cores nos gráficos representam as formas de aplicação de Stimulate[®] (ausente, aplicação via foliar, via tratamento de sementes e via sementes + foliar), em cultivo hidropônico com substrato. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si quanto às formas de aplicação dentro da mesma dose de CE, e médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si quanto às doses de CE dentro da mesma forma de aplicação, pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05).

Conforme apresentado na Figura 5A, os valores de L* mostraram variação de baixa magnitude entre os tratamentos, sem diferenças estatísticas significativas. Embora tenham sido observadas oscilações numéricas, a amplitude das variações foi reduzida. Considerando os valores médios, a maior diferença observada entre os tratamentos foi inferior a

aproximadamente 5% (ou poucos pontos na escala de L^*), evidenciando que, do ponto de vista prático, a luminosidade das folhas permaneceu estável independentemente do nível de salinidade ou da forma de aplicação do regulador.

A ausência de efeito significativo indica que os níveis de estresse salino avaliados não foram suficientes para provocar alterações na intensidade de coloração das folhas. Reduções nos valores de L^* estão associadas à degradação de clorofilas, ao escurecimento dos tecidos ou ao acúmulo de compostos fenólicos, respostas típicas de condições de estresse mais severas ou de senescência acelerada (Asad *et al.*, 2019; Gad *et al.*, 2021; Isgandarova *et al.*, 2024). Assim, a estabilidade observada sugere a manutenção da integridade fisiológica dos tecidos e da qualidade visual das plantas. Resultados semelhantes foram relatados por Corrado *et al.* (2021), que verificaram que concentrações de NaCl variando de 1 a 30 mM (0,09 a 2,8 dS m^{-1}) não promoveram alterações significativas nos parâmetros de cor L^* , a^* , b^* , croma e hue em folhas de alface cultivadas em sistema hidropônico. De forma consistente, estudos sob estresse salino moderado indicam que a luminosidade foliar (L) apresenta relativa estabilidade, enquanto variáveis de crescimento e biomassa são mais sensíveis ao aumento da salinidade (Shin *et al.*, 2020; Santander *et al.*, 2022).

O parâmetro de cor a^* da rúcula não apresentou interação significativa entre a condutividade elétrica da solução nutritiva e as formas de aplicação, conforme apresentado na Figura 5B. De modo geral, os valores de a^* variaram entre 6,77 e 9,13, indicando predominância de tonalidade verde com leve variação em direção ao vermelho. Embora não tenham sido observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, verificou-se aumento numérico do valor de a^* na salinidade intermediária (2,5 dS m^{-1}), especialmente na ausência de aplicação, em que o valor passou de 7,63 para 9,13, correspondendo a incremento de aproximadamente 19,6%. Esses resultados indicam que o aumento da salinidade promoveu apenas alterações discretas na tonalidade verde-vermelha das folhas, sem impacto estatisticamente relevante.

Do ponto de vista fisiológico, pequenas variações no parâmetro a^* sob salinidade moderada estão associadas a ajustes no metabolismo dos pigmentos, sem necessariamente indicar degradação significativa da clorofila (Bantis *et al.*, 2020; Hossain *et al.*, 2022a; Homayouni *et al.*, 2024). Estudos em hortaliças folhosas reforçam que doses moderadas de sal podem alterar significativamente a composição química e parâmetros fisiológicos, enquanto a cor e a aparência externa se mantêm dentro do padrão exigido pelo mercado, evidenciando que as primeiras respostas ao estresse são sutis e muitas vezes não resultam em diferenças

estatisticamente significativas em parâmetros visuais (Rouphael *et al.*, 2018b; Toscano *et al.*, 2023).

O parâmetro de cor b^* da rúcula não apresentou interação significativa entre a condutividade elétrica da solução nutritiva e as formas de aplicação, conforme apresentado na Figura 5C. Os valores de b^* variaram entre 29,07 e 34,17, indicando manutenção da intensidade da coloração amarela das folhas. Apesar da ausência de diferença estatística, observou-se redução numérica do valor de b^* na ausência de aplicação, passando de 33,93, na salinidade de $0,5 \text{ dS m}^{-1}$, para 31,40, em $5,0 \text{ dS m}^{-1}$, correspondendo a decréscimo de aproximadamente 7,5%. Esses resultados indicam que o aumento da salinidade promoveu apenas variações discretas na coloração amarelada das folhas.

A estabilidade do parâmetro b^* indica que o estresse salino aplicado não foi suficiente para intensificar a senescência nem promover acúmulo excessivo de carotenoides nas folhas. Em salinidade moderada, a coloração amarela tende a permanecer pouco alterada, mesmo com redução de crescimento e biomassa, padrão descrito para hortaliças folhosas sob estresse salino leve a moderado (Carillo *et al.*, 2020; Hossain *et al.*, 2022a; Santander *et al.*, 2022). Nesses casos, níveis moderados de NaCl podem atuar como estímulo fisiológico, elevando compostos funcionais e, ocasionalmente, pigmentos, sem prejuízo da aparência comercial, como observado em hortaliças folhosas (Šamec *et al.*, 2021). A ausência de variação expressiva em b^* neste estudo é, portanto, compatível com resultados observados sob salinidade controlada ou moderada (Adhikari *et al.*, 2019a; Abdelkader *et al.*, 2024).

O croma (C^*) da rúcula não apresentou interação significativa entre a condutividade elétrica da solução nutritiva e as formas de aplicação, conforme apresentado na Figura 5D. Os valores variaram entre 29,83 e 35,13, indicando manutenção da intensidade da cor das folhas. Apesar da ausência de diferença estatística, observou-se aumento numérico do croma no tratamento sementes + foliar, passando de 31,27, na salinidade de $0,5 \text{ dS m}^{-1}$, para 35,13, em $5,0 \text{ dS m}^{-1}$, correspondente a incremento de aproximadamente 12,3%.

A manutenção do croma (C^*) indica que a intensidade da cor das folhas de rúcula foi preservada mesmo sob aumento da salinidade, sugerindo estabilidade da coloração foliar entre os tratamentos. O aumento numérico observado no tratamento sementes + foliar sob maior condutividade elétrica indica possível concentração de pigmentos fotossintéticos em resposta ao estresse salino, associada à redução da expansão foliar, contribuindo para a manutenção da qualidade visual das folhas, conforme descrito para hortaliças folhosas sob salinidade moderada (Corrado *et al.*, 2021; Hossain *et al.*, 2022; Sarker *et al.*, 2023; Gkotzamani *et al.*, 2024).

A estabilidade do croma (C^*) frente à condutividade elétrica e às formas de aplicação indica que a intensidade da cor das folhas de rúcula foi preservada, mantendo o aspecto visual de “verde intenso” essencial para o mercado (Corrado *et al.*, 2021). O aumento numérico observado sugere concentração de pigmentos fotossintéticos, como clorofilas e carotenoides, em resposta à redução da expansão foliar induzida pelo estresse salino (Hossain *et al.*, 2022b). Esse fenômeno corrobora a atuação da salinidade moderada como um eustressor, capaz de estimular a síntese de compostos secundários e pigmentos que intensificam a vivacidade da cor em hortaliças folhosas (Sarker *et al.*, 2023). Assim, a aplicação combinada via semente e foliar demonstra potencial para mitigar os efeitos deletérios da salinidade, assegurando a manutenção da qualidade visual mesmo em condições de estresse (Gkotzamani *et al.*, 2024).

O ângulo de matiz (h°) não foi influenciado significativamente pela interação entre os fatores avaliados, conforme apresentado na Figura 5E. Os valores de h° permaneceram próximos, variando entre 102,23 e 106,00, indicando predominância da tonalidade verde nas folhas de rúcula em todos os tratamentos. Apesar da ausência de diferença estatística, observou-se pequena elevação numérica do ângulo de matiz na salinidade intermediária (2,5 dS m^{-1}), especialmente na ausência de aplicação, com aumento de 102,73 para 106,00, correspondente a incremento de 3,2%.

Esses resultados indicam que a saturação da cor foi preservada mesmo sob aumento da salinidade, sugerindo que o croma é uma variável menos sensível ao estresse salino moderado. Comportamento semelhante tem sido relatado em outras hortaliças folhosas cultivadas em ambiente protegido, nas quais a intensidade da cor se mantém relativamente estável, mesmo quando ocorre redução do crescimento vegetativo em função do estresse salino ou de condições ambientais adversas (Adhikari *et al.*, 2019b; Conversa *et al.*, 2021; Lu *et al.*, 2023). Dessa forma, a manutenção dos valores de C^* observada neste estudo está de acordo com a literatura, indicando que a coloração das folhas pode ser menos afetada que o desenvolvimento biométrico em condições de salinidade moderada.

4. CONCLUSÕES

O aumento da salinidade da água de irrigação promoveu reduções expressivas no crescimento, na área foliar e na produção de biomassa das plantas, evidenciando que a elevação da condutividade elétrica compromete o desempenho fisiológico e os atributos de qualidade, com reflexos diretos no rendimento comercial.

Por outro lado, a aplicação do atenuador favoreceu maior tolerância ao estresse salino, reduzindo as perdas de crescimento e produção. Entre as formas de aplicação, o tratamento via sementes destacou-se por proporcionar maior estabilidade fisiológica e melhor desempenho produtivo em comparação às demais estratégias.

Além disso, o uso de reguladores de crescimento contribuiu para a manutenção da qualidade pós-colheita mesmo sob condições de salinidade, reforçando seu potencial como ferramenta de manejo em ambientes adversos.

Tais resultados contribuem para o avanço de estratégias voltadas à produção agrícola em ambientes com limitação hídrica, alinhando-se a iniciativas que buscam maior segurança alimentar e uso eficiente dos recursos naturais.

De forma específica, a salinidade de $5,0 \text{ dS m}^{-1}$ caracterizou-se como o nível mais limitante ao desenvolvimento da cultura, enquanto a aplicação do bioestimulante via sementes (20 mL kg^{-1}) mostrou-se a estratégia mais indicada para mitigar os efeitos do estresse salino, sendo recomendada para sistemas de cultivo conduzidos sob elevada condutividade elétrica.

5. REFERÊNCIAS

- ABDELKADER, M.; SULIMAN, A. A.; SALEM, S. S.; ASSIYA, A.; VORONINA, L.; PUCHKOV, M.; LOKTIONOVA, E.; BHUKER, A.; ATAYA, F. S.; MAHMOUD, M. H.; ABDELKADER, M. F. M.; ABDELKADER, M.; SULIMAN, A. A.; SALEM, S. S.; ASSIYA, A.; VORONINA, L.; PUCHKOV, M.; LOKTIONOVA, E.; BHUKER, A.; ATAYA, F. S.; MAHMOUD, M. H.; ABDELKADER, M. F. M. Studying the Combined Impact of Salinity and Drought Stress-Simulated Conditions on Physio-Biochemical Characteristics of Lettuce Plant. **Horticulturae**, v. 10, n. 11, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/10/11/1186>. Acesso em: 14 jan. 2026.
- ADHIKARI, B.; OLORUNWA, O. J.; BRAZEL, S.; BARICKMAN, T. C.; BHEEMANAHALI, R. Impact of salt stress on physiology, leaf mass, and nutrient accumulation in romaine lettuce. **Photosynthetica**, v. 61, n. 3, p. 342–353, 2023a. Disponível em: <https://doi.org/10.32615/ps.2023.027>. Acesso em: 8 jan. 2026.
- ADHIKARI, B.; OLORUNWA, O. J.; BRAZEL, S.; BARICKMAN, T. C.; BHEEMANAHALI, R. Impact of salt stress on physiology, leaf mass, and nutrient accumulation in romaine lettuce. **Photosynthetica**, v. 61, n. 3, p. 342–353, 2023b. Disponível em: <https://doi.org/10.32615/ps.2023.027>. Acesso em: 14 jan. 2026.
- ADHIKARI, N. D.; SIMKO, I.; MOU, B.; ADHIKARI, N. D.; SIMKO, I.; MOU, B. Phenomic and Physiological Analysis of Salinity Effects on Lettuce. **Sensors**, v. 19, n. 21, 2019a. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/21/4814>. Acesso em: 14 jan. 2026.
- ADHIKARI, N. D.; SIMKO, I.; MOU, B.; ADHIKARI, N. D.; SIMKO, I.; MOU, B. Phenomic and Physiological Analysis of Salinity Effects on Lettuce. **Sensors**, v. 19, n. 21, 2019b. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/21/4814>. Acesso em: 15 jan. 2026.
- AFSAR, S.; BIBI, G.; AHMAD, R.; BILAL, M.; NAQVI, T. A.; BAIG, A.; SHAH, M. M.; HUANG, B.; HUSSAIN, J. Evaluation of salt tolerance in Eruca sativa accessions based on morpho-physiological traits. **PeerJ**, v. 8, p. e9749, 2020a. Disponível em: <https://peerj.com/articles/9749>. Acesso em: 7 jan. 2026.
- AFSAR, S.; BIBI, G.; AHMAD, R.; BILAL, M.; NAQVI, T. A.; BAIG, A.; SHAH, M. M.; HUANG, B.; HUSSAIN, J. Evaluation of salt tolerance in Eruca sativa accessions based on morpho-physiological traits. **PeerJ**, v. 8, p. e9749, 2020b. Disponível em: <https://peerj.com/articles/9749>. Acesso em: 7 jan. 2026.
- AFSAR, S.; BIBI, G.; AHMAD, R.; BILAL, M.; NAQVI, T. A.; BAIG, A.; SHAH, M. M.; HUANG, B.; HUSSAIN, J. Evaluation of salt tolerance in Eruca sativa accessions based on morpho-physiological traits. **PeerJ**, v. 8, p. e9749, 2020c. Disponível em: <https://peerj.com/articles/9749>. Acesso em: 8 jan. 2026.
- AHMAD, A.; BLASCO, B.; MARTOS, V. Combating Salinity Through Natural Plant Extracts Based Biostimulants: A Review. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 2022.

Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2022.862034/full>. Acesso em: 14 jan. 2026.

AL-SAIF, A. M.; ALI, M. M.; HIFAA, A. B. S. B.; MOSA, W. F. A.; AL-SAIF, A. M.; ALI, M. M.; HIFAA, A. B. S. B.; MOSA, W. F. A. Influence of Spraying Some Biostimulants on Yield, Fruit Quality, Oil Fruit Content and Nutritional Status of Olive (*Olea europaea* L.) under Salinity. **Horticulturae**, v. 9, n. 7, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/9/7/825>. Acesso em: 14 jan. 2026.

ÁLVAREZ, S.; GÓMEZ-BELLOT, M. J.; CASTILLO, M.; BAÑÓN, S.; SÁNCHEZ-BLANCO, M. J. Osmotic and saline effect on growth, water relations, and ion uptake and translocation in *Phlomis purpurea* plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 78, p. 138–145, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S009884721100342X>. Acesso em: 7 jan. 2026.

AMÂNCIO, M. A. de S.; BOTREL, P. P. AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES DE CRESCIMENTO DE *Eruca Vesicaria* L. CULTIVADA in Vitro SOB CONDIÇÕES DE LUZ NATURAL E ARTIFICIAL. **17º JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA E 14º SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO IFSULDEMINAS**, v. 13, n. 1, 2024. Disponível em: <https://josif.ifsuldeminas.edu.br/ojs/index.php/anais/article/view/2557>. Acesso em: 28 out. 2025.

ASAD, M. A. U.; ZAKARI, S. A.; ZHAO, Q.; ZHOU, L.; YE, Y.; CHENG, F. Abiotic Stresses Intervene with ABA Signaling to Induce Destructive Metabolic Pathways Leading to Death: Premature Leaf Senescence in Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 2, p. 256, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/2/256>. Acesso em: 14 fev. 2026.

ASIF, A.; ALI, M.; QADIR, M.; KARTHIKEYAN, R.; SINGH, Z.; KHANGURA, R.; DIGIOIA, F.; AHMED, Z. F. R. Enhancing crop resilience by harnessing the synergistic effects of biostimulants against abiotic stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 2023. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1276117/full>. Acesso em: 31 out. 2025.

ATERO-CALVO, S.; MAGRO, F.; MASETTI, G.; NAVARRO-LEÓN, E.; BLASCO, B.; RUIZ, J. M. Salinity stress mitigation by radicular and foliar humic substances application in lettuce plants. **Plant Growth Regulation**, v. 104, n. 1, p. 151–167, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10725-024-01151-z>. Acesso em: 8 jan. 2026.

BALASUBRAMANIAM, T.; SHEN, G.; ESMAEILI, N.; ZHANG, H. Plants' Response Mechanisms to Salinity Stress. **Plants**, v. 12, n. 12, p. 2253, 2023a. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/12/2253>. Acesso em: 28 out. 2025.

BALASUBRAMANIAM, T.; SHEN, G.; ESMAEILI, N.; ZHANG, H.; BALASUBRAMANIAM, T.; SHEN, G.; ESMAEILI, N.; ZHANG, H. Plants' Response Mechanisms to Salinity Stress. **Plants**, v. 12, n. 12, 2023b. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/12/2253>. Acesso em: 7 jan. 2026.

BANTIS, F.; FOTELLI, M.; ILIĆ, Z. S.; KOUKOUNARAS, A.; BANTIS, F.; FOTELLI, M.; ILIĆ, Z. S.; KOUKOUNARAS, A. Physiological and Phytochemical Responses of

Spinach Baby Leaves Grown in a PFAL System with LEDs and Saline Nutrient Solution. **Agriculture**, v. 10, n. 11, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/10/11/574>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BAYAT, H.; SHAFIE, F.; SHAHRAKI, B. Salinity effects on growth, chlorophyll content, total phenols, and antioxidant activity in *Salvia lavandulifolia* Vahl. **Advances in Horticultural Science**, v. 36, n. 2, p. 145–153, 2022. Disponível em: <https://oaj.fupress.net/index.php/ahs/article/view/12015>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BENINCASA, M. M. P. **Análise De Crescimento De Plantas (nócos Básicas)**. : Funep, 2003.

BREŚ, W.; KLEIBER, T.; MARKIEWICZ, B.; MIELOSZYK, E.; MIELOCH, M.; BREŚ, W.; KLEIBER, T.; MARKIEWICZ, B.; MIELOSZYK, E.; MIELOCH, M. The Effect of NaCl Stress on the Response of Lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Agronomy**, v. 12, n. 2, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/2/244>. Acesso em: 7 jan. 2026.

BULGARI, R.; TRIVELLINI, A.; FERRANTE, A. Effects of Two Doses of Organic Extract-Based Biostimulant on Greenhouse Lettuce Grown Under Increasing NaCl Concentrations. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, 2019. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2018.01870/full>. Acesso em: 8 jan. 2026.

BYRT, C. S.; MUNNS, R.; BURTON, R. A.; GILLIHAM, M.; WEGE, S. Root cell wall solutions for crop plants in saline soils. **Plant Science**, v. 269, p. 47–55, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168945217309184>. Acesso em: 7 jan. 2026.

CARILLO, P.; GIORDANO, M.; RAIMONDI, G.; NAPOLITANO, F.; STASIO, E. D.; KYRIACOU, M. C.; SIFOLA, M. I.; ROUPHAEL, Y.; CARILLO, P.; GIORDANO, M.; RAIMONDI, G.; NAPOLITANO, F.; STASIO, E. D.; KYRIACOU, M. C.; SIFOLA, M. I.; ROUPHAEL, Y. Physiological and Nutraceutical Quality of Green and Red Pigmented Lettuce in Response to NaCl Concentration in Two Successive Harvests. **Agronomy**, v. 10, n. 9, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/9/1358>. Acesso em: 14 jan. 2026.

CARVALHO, B. L.; AIRES, E. S.; RODRIGUES, J. D.; ONO, E. O. Use of Plant Regulators for Activation of Antioxidant Enzymes in Basil Plants under Water Deficit Conditions. **Stresses**, v. 3, n. 1, p. 282–301, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-7140/3/1/21>. Acesso em: 21 abr. 2025.

CONVERSA, G.; BONASIA, A.; LAZZIZERA, C.; LA ROTONDA, P.; ELIA, A. Reduction of Nitrate Content in Baby-Leaf Lettuce and *Cichorium endivia* Through the Soilless Cultivation System, Electrical Conductivity and Management of Nutrient Solution. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2021.645671/full>. Acesso em: 15 jan. 2026.

CORRADO, G.; VITAGLIONE, P.; GIORDANO, M.; RAIMONDI, G.; NAPOLITANO, F.; DI STASIO, E.; DI MOLA, I.; MORI, M.; ROUPHAEL, Y. Phytochemical Responses

to Salt Stress in Red and Green Baby Leaf Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Varieties Grown in a Floating Hydroponic Module. **Separations**, v. 8, n. 10, p. 175, 2021a. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2297-8739/8/10/175>. Acesso em: 14 fev. 2026.

CORRADO, G.; VITAGLIONE, P.; GIORDANO, M.; RAIMONDI, G.; NAPOLITANO, F.; STASIO, E. D.; MOLA, I. D.; MORI, M.; ROUPHAEL, Y.; CORRADO, G.; VITAGLIONE, P.; GIORDANO, M.; RAIMONDI, G.; NAPOLITANO, F.; STASIO, E. D.; MOLA, I. D.; MORI, M.; ROUPHAEL, Y. Phytochemical Responses to Salt Stress in Red and Green Baby Leaf Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Varieties Grown in a Floating Hydroponic Module. **Separations**, v. 8, n. 10, 2021b. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2297-8739/8/10/175>. Acesso em: 15 jan. 2026.

CORTI, E.; FALSINI, S.; SCHIFF, S.; TANI, C.; GONNELLI, C.; PAPINI, A.; CORTI, E.; FALSINI, S.; SCHIFF, S.; TANI, C.; GONNELLI, C.; PAPINI, A. Saline Stress Impairs Lipid Storage Mobilization during Germination in *Eruca sativa*. **Plants**, v. 12, n. 2, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/2/366>. Acesso em: 7 jan. 2026.

CRISTOFANO, F.; EL-NAKHEL, C.; ROUPHAEL, Y. Biostimulant Substances for Sustainable Agriculture: Origin, Operating Mechanisms and Effects on Cucurbits, Leafy Greens, and Nightshade Vegetables Species. **Biomolecules**, v. 11, n. 8, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2218-273X/11/8/1103>. Acesso em: 12 fev. 2026.

CUNHA-CHIAMOLERA, T. P. L.; CHILEH-CHELH, T.; EZZAITOUNI, M.; GUIL-GUERRERO, J. L.; URRESTARAZU, M.; CUNHA-CHIAMOLERA, T. P. L.; CHILEH-CHELH, T.; EZZAITOUNI, M.; GUIL-GUERRERO, J. L.; URRESTARAZU, M. Effect of Electrical Conductivity of Nutrient Solution and Light Spectra on the Main Phytochemical Content of *Sonchus tenerrimus* L. Under Wild and Controlled Environments. **Plants**, v. 14, n. 17, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/14/17/2811>. Acesso em: 8 jan. 2026.

DELF, E. M. Transpiration in Succulent Plants. **Annals of Botany**, v. os-26, n. 2, p. 409–442, 1912. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a089398>. Acesso em: 18 dez. 2025.

DI SARIO, L.; BOERI, P.; MATUS, J. T.; PIZZIO, G. A. Plant Biostimulants to Enhance Abiotic Stress Resilience in Crops. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 26, n. 3, p. 1129, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/26/3/1129>. Acesso em: 31 out. 2025.

DIAS, M. dos S.; REIS, L. S.; SANTOS, R. H. S. dos; ALMEIDA, C. A. C. de; PAES, R. de A.; ALBUQUERQUE, A. W. de; SILVA, F. de A. D. Crescimento De Plantas De Rúcula Em Substratos E Níveis De Salinidade Da Água De Irrigação. v. 15, n. 4, p. 22–30, 2019. Disponível em: <https://journal.unoeste.br/index.php/ca/article/view/2865>. Acesso em: 7 jan. 2026.

ELLOUZI, H.; ZORRIG, W.; AMRAOUI, S.; OUESLATI, S.; ABDELLY, C.; RABHI, M.; SIDDIQUE, K. H. M.; HESSINI, K.; ELLLOUZI, H.; ZORRIG, W.; AMRAOUI, S.; OUESLATI, S.; ABDELLY, C.; RABHI, M.; SIDDIQUE, K. H. M.; HESSINI, K. Seed Priming with Salicylic Acid Alleviates Salt Stress Toxicity in Barley by Suppressing ROS Accumulation and Improving Antioxidant Defense Systems, Compared to Halo- and

Gibberellin Priming. **Antioxidants**, v. 12, n. 9, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3921/12/9/1779>. Acesso em: 15 jan. 2026.

FERRAREZI, R. S.; QIN, K.; NGUYEN, L. X.; POOLE, S. D.; CÁRDENAS-GALLEGOS, J. S.; OLIVEIRA, H. F. E. de; HOUSLEY, M. J. Multi-season Evaluation of Substrates for Optimized Arugula and Lettuce Production in Hydroponics. **HortScience**, v. 59, n. 3, p. 403–411, 2024. Disponível em: <https://journals.ashs.org/view/journals/hortsci/59/3/article-p403.xml>. Acesso em: 7 jan. 2026.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **REVISTA BRASILEIRA DE BIOMETRIA**, v. 37, n. 4, p. 529–535, 2019. Disponível em: <http://177.105.60.251:80/index.php/BBJ/article/view/450>. Acesso em: 15 jul. 2025.

FIGUEIREDO, F. R. A.; NÓBREGA, J. S.; DE FÁTIMA, R. T.; FERREIRA, J. T. A.; DA SILVA LEAL, M. P.; MELO, M. F.; DIAS, T. J.; DE ALBUQUERQUE, M. B. Impact of biostimulant and saline water on cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) in Brazil. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 27, n. 9, p. 2141–2150, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12298-021-01058-3>. Acesso em: 14 jan. 2026.

FITZNER, M.; SCHREINER, M.; BALDERMANN, S. The interaction of salinity and light regime modulates photosynthetic pigment content in edible halophytes in greenhouse and indoor farming. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 2023. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1105162/full>. Acesso em: 14 jan. 2026.

FURLANI, P. R. **Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia - NFT.**: Boletim Técnico 168. Campinas-SP: Instituto Agrônômico de Campinas - IAC, 1997.

GAD, A. G.; HABIBA; ZHENG, X.; MIAO, Y. Low Light/Darkness as Stressors of Multifactor-Induced Senescence in Rice Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 8, p. 3936, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/22/8/3936>. Acesso em: 14 fev. 2026.

GIOVANELLI, F.; SILVESTRI, C.; CRISTOFORI, V.; GIOVANELLI, F.; SILVESTRI, C.; CRISTOFORI, V. Effect of Biostimulant Applications on Eco-Physiological Traits, Yield, and Fruit Quality of Two Raspberry Cultivars. **Horticulturae**, v. 11, n. 8, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/11/8/906>. Acesso em: 14 jan. 2026.

GKOTZAMANI, A.; IPSILANTIS, I.; MENEXES, G.; KATSIOTIS, A.; MATTAS, K.; KOUKOUNARAS, A.; GKOTZAMANI, A.; IPSILANTIS, I.; MENEXES, G.; KATSIOTIS, A.; MATTAS, K.; KOUKOUNARAS, A. The Impact of Salinity in the Irrigation of a Wild Underutilized Leafy Vegetable, *Sonchus oleraceus* L. **Plants**, v. 13, n. 11, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/13/11/1552>. Acesso em: 15 jan. 2026.

HASANUZZAMAN, M.; PARVIN, K.; BARDHAN, K.; NAHAR, K.; ANEE, T. I.; MASUD, A. A. C.; FOTOPOULOS, V. Biostimulants for the Regulation of Reactive Oxygen Species Metabolism in Plants under Abiotic Stress. **Cells**, v. 10, n. 10, p. 2537,

2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4409/10/10/2537>. Acesso em: 3 nov. 2025.

HASSAN, A. H. A.; MARIDUEÑA-ZAVALA, M. G.; ALSHERIF, E. A.; ALOUFI, A. S.; KORANY, S. M.; ALDILAMI, M.; BOUQELLAH, N. A.; REYAD, A. M.; ABDELGAWAD, H. Inoculation with *Jeotgalicoccus* sp. improves nutritional quality and biological value of *Eruca sativa* by enhancing amino acid and phenolic metabolism and increasing mineral uptake, unsaturated fatty acids, vitamins, and antioxidants. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, 2024. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2024.1412426/full>. Acesso em: 28 out. 2025.

HE, H.; ZHOU, W.; LÜ, H.; LIANG, B. Growth, Leaf Morphological and Physiological Adaptability of Leaf Beet (*Beta vulgaris* var. *cicla*) to Salt Stress: A Soil Culture Experiment. **Agronomy**, v. 12, n. 6, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/6/1393>. Acesso em: 9 fev. 2026.

HOMAYOUNI, H.; RAZI, H.; IZADI, M.; ALEMZADEH, A.; KAZEMEINI, S. A.; NIAZI, A.; VICENTE, O.; HOMAYOUNI, H.; RAZI, H.; IZADI, M.; ALEMZADEH, A.; KAZEMEINI, S. A.; NIAZI, A.; VICENTE, O. Temporal Changes in Biochemical Responses to Salt Stress in Three *Salicornia* Species. **Plants**, v. 13, n. 7, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/13/7/979>. Acesso em: 14 jan. 2026.

HOSSAIN, M. N.; SARKER, U.; RAIHAN, M. S.; AL-HUQAIL, A. A.; SIDDIQUI, M. H.; OBA, S.; HOSSAIN, M. N.; SARKER, U.; RAIHAN, M. S.; AL-HUQAIL, A. A.; SIDDIQUI, M. H.; OBA, S. Influence of Salinity Stress on Color Parameters, Leaf Pigmentation, Polyphenol and Flavonoid Contents, and Antioxidant Activity of *Amaranthus lividus* Leafy Vegetables. **Molecules**, v. 27, n. 6, 2022a. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/6/1821>. Acesso em: 14 jan. 2026.

HOSSAIN, M. N.; SARKER, U.; RAIHAN, M. S.; AL-HUQAIL, A. A.; SIDDIQUI, M. H.; OBA, S.; HOSSAIN, M. N.; SARKER, U.; RAIHAN, M. S.; AL-HUQAIL, A. A.; SIDDIQUI, M. H.; OBA, S. Influence of Salinity Stress on Color Parameters, Leaf Pigmentation, Polyphenol and Flavonoid Contents, and Antioxidant Activity of *Amaranthus lividus* Leafy Vegetables. **Molecules**, v. 27, n. 6, 2022b. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/6/1821>. Acesso em: 15 jan. 2026.

HUSSAIN, S.; AHMED, S.; AKRAM, W.; LI, G.; YASIN, N. A. Selenium seed priming enhanced the growth of salt-stressed *Brassica rapa* L. through improving plant nutrition and the antioxidant system. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 2023. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2022.1050359/full>. Acesso em: 15 jan. 2026.

ISGANDAROVA, T. Y.; RUSTAMOVA, S. M.; ALIYEVA, D. R.; RZAYEV, F. H.; GASIMOV, E. K.; HUSEYNOVA, I. M. Antioxidant and Ultrastructural Alterations in Wheat During Drought-Induced Leaf Senescence. **Agronomy**, v. 14, n. 12, p. 2924, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/12/2924>. Acesso em: 14 fev. 2026.

KAPADIA, C.; SAYYED, R. Z.; ENSHASY, H. A. E.; VAIDYA, H.; SHARMA, D.; PATEL, N.; MALEK, R. A.; SYED, A.; ELGORBAN, A. M.; AHMAD, K.; ZUAN, A. T. K.; KAPADIA, C.; SAYYED, R. Z.; ENSHASY, H. A. E.; VAIDYA, H.; SHARMA, D.; PATEL, N.; MALEK, R. A.; SYED, A.; ELGORBAN, A. M.; AHMAD, K.; ZUAN,

A. T. K. Halotolerant Microbial Consortia for Sustainable Mitigation of Salinity Stress, Growth Promotion, and Mineral Uptake in Tomato Plants and Soil Nutrient Enrichment. **Sustainability**, v. 13, n. 15, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/15/8369>. Acesso em: 7 jan. 2026.

KAYA, G. A plant-derived biostimulant Aminolom Enzimatico® application stimulates chlorophyll content, electrolyte leakage, stomata density and root yield of radishes under salinity stress. **PeerJ**, v. 13, p. e18804, 2025. Disponível em: <https://peerj.com/articles/18804>. Acesso em: 8 jan. 2026.

KHAN, S.; ULLAH, A.; ULLAH, S.; SALEEM, M. H.; OKLA, M. K.; AL-HASHIMI, A.; CHEN, Y.; ALI, S. Quantifying Temperature and Osmotic Stress Impact on Seed Germination Rate and Seedling Growth of *Eruca sativa* Mill. via Hydrothermal Time Model. **Life**, v. 12, n. 3, p. 400, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-1729/12/3/400>. Acesso em: 28 out. 2025.

KOMEROSKI, M. R.; BENINCA, T.; PORTAL, K. A.; MALHEIROS, P. S.; KLUG, T. V.; FLORES, S. H.; RIOS, A. O.; KOMEROSKI, M. R.; BENINCA, T.; PORTAL, K. A.; MALHEIROS, P. S.; KLUG, T. V.; FLORES, S. H.; RIOS, A. O. Postharvest Quality of Arugula (*Eruca sativa*) Microgreens Determined by Microbiological, Physico-Chemical, and Sensory Parameters. **Foods**, v. 13, n. 19, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/13/19/3020>. Acesso em: 9 jan. 2026.

KUSVURAN, S.; ELLIALTIOGLU, S. S. Assessment of different organic matters on antioxidative enzyme activities and nutritional components under salt stress in salad rocket (*Eruca sativa*). **Journal of Animal and Plant Sciences**, v. 31, n. 5, 2021. Disponível em: <https://avesis.ankara.edu.tr/yayin/c5510e82-1e09-46ab-87a1-f426f20114dd/assessment-of-different-organic-matters-on-antioxidative-enzyme-activities-and-nutritional-components-under-salt-stress-in-salad-rocket-eruca-sativa>. Acesso em: 7 jan. 2026.

LAKHDAR, A.; TRIGUI, M.; MONTEMURRO, F. An Overview of Biostimulants' Effects in Saline Soils. **Agronomy**, v. 13, n. 8, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/8/2092>. Acesso em: 12 fev. 2026.

LESSA, C. I. N.; DE LACERDA, C. F.; CAJAZEIRAS, C. C. de A.; NEVES, A. L. R.; LOPES, F. B.; SILVA, A. O. da; SOUSA, H. C.; GHEYI, H. R.; NOGUEIRA, R. da S.; LIMA, S. C. R. V.; COSTA, R. N. T.; SOUSA, G. G. de. Potential of Brackish Groundwater for Different Biosaline Agriculture Systems in the Brazilian Semi-Arid Region. **Agriculture**, v. 13, n. 3, p. 550, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/3/550>. Acesso em: 28 out. 2025.

LI, F.; YUAN, Y.; GONG, P.; IMAZUMI, Y.; NA, R.; SHIMIZU, N. Comparative effects of mineral fertilizer and digestate on growth, antioxidant system, and physiology of lettuce under salt stress. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 64, n. 3, p. 379–391, 2023a. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13580-022-00492-w>. Acesso em: 8 jan. 2026.

LI, F.; YUAN, Y.; GONG, P.; IMAZUMI, Y.; NA, R.; SHIMIZU, N. Comparative effects of mineral fertilizer and digestate on growth, antioxidant system, and physiology of lettuce under salt stress. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 64, n. 3, p.

379–391, 2023b. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13580-022-00492-w>. Acesso em: 8 jan. 2026.

LIU, W.; LI, R.-J.; HAN, T.-T.; CAI, W.; FU, Z.-W.; LU, Y.-T. Salt Stress Reduces Root Meristem Size by Nitric Oxide-Mediated Modulation of Auxin Accumulation and Signaling in Arabidopsis. **Plant Physiology**, v. 168, n. 1, p. 343–356, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.15.00030>. Acesso em: 7 jan. 2026.

LIU, R.; WANG, T.; LI, Q.; WANG, L.; SONG, J. The role of tissue succulence in plant salt tolerance: an overview. **Plant Growth Regulation**, v. 103, n. 2, p. 283–292, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10725-024-01122-4>. Acesso em: 10 fev. 2026.

LIU, M.; WANG, G.; LIU, G.; MA, F.; BAO, Z. Biostimulants Promote the Sedimentation of Salts to Restore Tomato Plant Growth Under Salt Stress. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 23, n. 2, p. 1830–1844, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01140-7>. Acesso em: 14 jan. 2026.

LU, Q.; JIN, L.; TONG, C.; LIU, F.; HUANG, B.; ZHANG, D. Research Progress on the Growth-Promoting Effect of Plant Biostimulants on Crops. **Phyton-International Journal of Experimental Botany**, v. 93, n. 4, p. 661–679, 2024. Disponível em: <https://www.techscience.com/phyton/v93n4/56365>. Acesso em: 12 fev. 2026.

LU, C.; LI, L.; LIU, X.; CHEN, M.; WAN, S.; LI, G.; LU, C.; LI, L.; LIU, X.; CHEN, M.; WAN, S.; LI, G. Salt Stress Inhibits Photosynthesis and Destroys Chloroplast Structure by Downregulating Chloroplast Development-Related Genes in Robinia pseudoacacia Seedlings. **Plants**, v. 12, n. 6, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/6/1283>. Acesso em: 15 jan. 2026.

MA, Y.; FREITAS, H.; DIAS, M. C. Strategies and prospects for biostimulants to alleviate abiotic stress in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 2022. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2022.1024243/full>. Acesso em: 9 jan. 2026.

MAGALHÃES, A. G.; MENEZES, D.; RESENDE, L. V.; BEZERRA NETO, E. Desempenho de cultivares de alface em cultivo hidropônico sob dois níveis de condutividade elétrica. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 316–320, 2010. Disponível em: https://www.scielo.br/j/hb/a/S3tyCx3BtWJGqyCXRq86hC/?lang=pt&utm_sourceE. Acesso em: 11 fev. 2026.

MATOS, P. N.; COUTO, H. G. S. de A.; GRAÇA, G. A. da; SOARES, A. C.; FURTADO, M. de C.; MENEZES, Y. B. S.; CARNELOSSI, M. A. G. Qualidade de rúcula minimamente processada acondicionada em embalagens de polietileno de alta densidade e nylon poli. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, p. e401101321501–e401101321501, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/21501>. Acesso em: 9 jan. 2026.

MCGUIRE, R. G. Reporting of Objective Color Measurements. **HortScience**, v. 27, n. 12, p. 1254–1255, 1992. Disponível em: <https://journals.ashs.org/view/journals/hortsci/27/12/article-p1254.xml>. Acesso em: 17 jun. 2025.

MEINERZ, M. J. A. O.; SANTOS, E. C. dos; PORTO, V. C. N.; LIMA, R. K. B.; SILVA, F. S. O. Qualidade química e físico-química de rúcula orgânica em função do período de colheita e armazenamento. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 3, p. 783–792, 2021. Disponível em:

<https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/8320>. Acesso em: 9 jan. 2026.

MELITO, S.; SARAIS, G.; DESSI, D.; SANTANIELLO, A.; POVERO, G.; PIGA, G.; GIANNINI, V. Root-promoting Biostimulant Enhances Salinity Tolerance in Wild and Cultivated Rocket Salads. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 24, n. 4, p. 6268–6282, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01960-1>. Acesso em: 3 nov. 2025.

MENON-MARTÍNEZ, F. E.; GRIMOLDI, A. A.; STRIKER, G. G.; DI BELLA, C. E. Changes in morphological traits associated with waterlogging, salinity and saline waterlogging in *Festuca arundinacea*. **Functional plant biology: FPB**, v. 51, n. 1, p. NULL, 2024.

MOLA, I. D.; OTTAIANO, L.; COZZOLINO, E.; EL-NAKHEL, C.; FIORENTINO, N.; PELOSI, M. E.; ROUPHAEL, Y.; MORI, M. Impact of Salinity and Biostimulants on Cherry Tomato Yield and Quality. **Horticulturae**, v. 10, n. 12, 2024a. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/10/12/1239>. Acesso em: 12 fev. 2026.

MOLA, I. D.; OTTAIANO, L.; COZZOLINO, E.; EL-NAKHEL, C.; FIORENTINO, N.; PELOSI, M. E.; ROUPHAEL, Y.; MORI, M.; MOLA, I. D.; OTTAIANO, L.; COZZOLINO, E.; EL-NAKHEL, C.; FIORENTINO, N.; PELOSI, M. E.; ROUPHAEL, Y.; MORI, M. Impact of Salinity and Biostimulants on Cherry Tomato Yield and Quality. **Horticulturae**, v. 10, n. 12, 2024b. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/10/12/1239>. Acesso em: 14 jan. 2026.

MONCADA, A.; VETRANO, F.; MICELI, A.; MONCADA, A.; VETRANO, F.; MICELI, A. Alleviation of Salt Stress by Plant Growth-Promoting Bacteria in Hydroponic Leaf Lettuce. **Agronomy**, v. 10, n. 10, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/10/1523>. Acesso em: 7 jan. 2026.

MUGHAL, N.; SHOAIB, N.; CHEN, J.; LI, Y.; HE, Yuhong; FU, M.; LI, X.; HE, Yuanyuan; GUO, J.; DENG, J.; YANG, W.; LIU, J. Adaptive roles of cytokinins in enhancing plant resilience and yield against environmental stressors. **Chemosphere**, v. 364, p. 143189, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653524020861>. Acesso em: 15 jan. 2026.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 651–681, 2008.

NETO, A. M.; SANTOS, C. G. dos; SANTOS, A. B.; SILVA, J. C. S.; REIS, L. S. Cultivo de rúcula sob irrigação com água salina. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 16, n. 4, p. 421–426, 2021. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/9251>. Acesso em: 28 out. 2025.

PLOCEK, G.; KATHI, S.; SIMPSON, C. Effects of eustress induced by low concentrations of salinity on broccoli (*Brassica oleracea*) and purslane (*Portulaca oleracea*) microgreens. **Technology in Horticulture**, v. 3, n. 1, p. 4, 2023. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023TeHor...3....4P/abstract>. Acesso em: 15 jan. 2026.

PUCCINELLI, M.; CARMASSI, G.; BOTRINI, L.; BINDI, A.; ROSSI, L.; FIERRO-SAÑUDO, J. F.; PARDOSSI, A.; INCROCCI, L.; PUCCINELLI, M.; CARMASSI, G.; BOTRINI, L.; BINDI, A.; ROSSI, L.; FIERRO-SAÑUDO, J. F.; PARDOSSI, A.; INCROCCI, L. Growth and Mineral Relations of *Beta vulgaris* var. *cicla* and *Beta vulgaris* ssp. *maritima* Cultivated Hydroponically with Diluted Seawater and Low Nitrogen Level in the Nutrient Solution. **Horticulturae**, v. 8, n. 7, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/8/7/638>. Acesso em: 7 jan. 2026.

RADY, M. M.; ELKELISH, A.; NADY, N. M.; KUSVURAN, S.; KUSVURAN, A.; SHAABAN, A.; ALHAITHLOUL, H. A. S.; ALI, M. A. M.; ABU-ELSAUD, A. M.; FRANÇOIS, T.; SAYED, A. A. S. Role of seed priming using natural biostimulants in reducing salt stress effects by reshaping physio-biochemical and antioxidant defense systems in glycine max seedlings. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, 2025. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2025.1630537/full>. Acesso em: 15 jan. 2026.

RAI, N.; RAI, S. P.; SARMA, B. K. Prospects for Abiotic Stress Tolerance in Crops Utilizing Phyto- and Bio-Stimulants. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 5, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-food-systems/articles/10.3389/fsufs.2021.754853/full>. Acesso em: 31 out. 2025.

RENGANATHAN, P.; GAYSINA, L. A.; RUEDA-PUENTE, E. O. Microbial Biofertilizers for Salinity Stress Mitigation in Hydroponic Systems. **Current Issues in Molecular Biology**, v. 47, n. 12, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1467-3045/47/12/1029>. Acesso em: 11 fev. 2026.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Synergistic Biostimulatory Action: Designing the Next Generation of Plant Biostimulants for Sustainable Agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, 2018. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2018.01655/full>. Acesso em: 3 nov. 2025.

ROUPHAEL, Y.; PETROPOULOS, S. A.; CARDARELLI, M.; COLLA, G. Salinity as eustressor for enhancing quality of vegetables. **Scientia Horticulturae**, v. 234, p. 361–369, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423818301237>. Acesso em: 14 jan. 2026.

RSTUDIO. **RStudio**. Versão 2025.05.1. Boston, Massachusetts, EUA: Posit, 2025. Disponível em: <https://www.posit.co/>. Acesso em: 24 jun. 2025.

ŠAMEC, D.; LINIĆ, I.; SALOPEK-SONDI, B.; ŠAMEC, D.; LINIĆ, I.; SALOPEK-SONDI, B. Salinity Stress as an Elicitor for Phytochemicals and Minerals Accumulation in Selected Leafy Vegetables of Brassicaceae. **Agronomy**, v. 11, n. 2, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/2/361>. Acesso em: 14 jan. 2026.

SANTANDER, C.; VIDAL, G.; RUIZ, A.; VIDAL, C.; CORNEJO, P.; SANTANDER, C.; VIDAL, G.; RUIZ, A.; VIDAL, C.; CORNEJO, P. Salinity Eustress Increases the Biosynthesis and Accumulation of Phenolic Compounds That Improve the Functional and Antioxidant Quality of Red Lettuce. **Agronomy**, v. 12, n. 3, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/3/598>. Acesso em: 7 jan. 2026.

SANTOS, R. H. S. dos; REIS, L. S.; DIAS, M. dos S.; SILVA, F. de A. da; SANTOS, J. P. de O.; SANTOS, S. C. dos; REIS, L. S.; TAVARES, C. L. Desempenho da rúcula sob condições de sombreamento e níveis de salinidade da água de irrigação. **Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215**, v. 16, n. 4, 2020. Disponível em: <https://journal.unoeste.br/index.php/ca/article/view/3356>. Acesso em: 28 out. 2025.

SARKER, U.; HOSSAIN, M. N.; OBA, S.; ERCISLI, S.; MARC, R. A.; GOLOKHAVAST, K. S. Salinity Stress Ameliorates Pigments, Minerals, Polyphenolic Profiles, and Antiradical Capacity in Lalshak. **Antioxidants (Basel, Switzerland)**, v. 12, n. 1, p. 173, 2023.

SHAHID, M. A.; SARKHOSH, A.; KHAN, N.; BALAL, R. M.; ALI, S.; ROSSI, L.; GÓMEZ, C.; MATTSON, N.; NASIM, W.; GARCIA-SANCHEZ, F. Insights into the Physiological and Biochemical Impacts of Salt Stress on Plant Growth and Development. **Agronomy**, v. 10, n. 7, p. 938, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/7/938>. Acesso em: 28 out. 2025.

SHAMS, M.; KHADIVI, A. Mechanisms of salinity tolerance and their possible application in the breeding of vegetables. **BMC Plant Biology**, v. 23, n. 1, p. 139, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04152-8>. Acesso em: 10 fev. 2026.

SHIN, Y. K.; BHANDARI, S. R.; JO, J. S.; SONG, J. W.; CHO, M. C.; YANG, E. Y.; LEE, J. G. Response to Salt Stress in Lettuce: Changes in Chlorophyll Fluorescence Parameters, Phytochemical Contents, and Antioxidant Activities. **Agronomy**, v. 10, n. 11, p. 1627, 2020a. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/11/1627>. Acesso em: 14 fev. 2026.

SHIN, Y. K.; BHANDARI, S. R.; JO, J. S.; SONG, J. W.; CHO, M. C.; YANG, E. Y.; LEE, J. G.; SHIN, Y. K.; BHANDARI, S. R.; JO, J. S.; SONG, J. W.; CHO, M. C.; YANG, E. Y.; LEE, J. G. Response to Salt Stress in Lettuce: Changes in Chlorophyll Fluorescence Parameters, Phytochemical Contents, and Antioxidant Activities. **Agronomy**, v. 10, n. 11, 2020b. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/11/1627>. Acesso em: 14 jan. 2026.

SILVA, A. L. J.; DE FARIAS, O. R.; CORRÊA, É. B.; DE LACERDA, C. F.; DE MELO, A. S.; OLIVEIRA, M. D. de M. Biostimulant modulate the physiological and biochemical activities, improving agronomic characteristics of bell pepper plants under salt stress. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 14969, 2025. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-025-99414-w>. Acesso em: 15 jan. 2026.

SILVA, T. P. de P.; FLORÊNCIO, R. R.; SANTOS, A. E. O. Qualidade pós-colheita de hortaliças Biofortificadas: revisão bibliográfica. **Revista Ouricuri**, v. 14, n. 1, p. 03–20, 2024. Disponível em: <https://www.revistas.uneb.br/ouricuri/article/view/19764>. Acesso em: 9 jan. 2026.

SILVA, A. V.; MEDEIROS, A.; GONZAGA, G.; MAGALHÃES, I.; ARAÚJO-NETO, R.; FERRAZ, R.; MAIA JÚNIOR, S.; MELO, L.; COSTA, P.; PIMENTA, T.; BARBOSA, J.; PEREIRA, M. Productive performance and quality of arugula (*Eruca sativa*) under different doses of cassava wastewater containing potassium source. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, p. 985–990, 2020.

SILVA, A. C. R. A. da; SILVA, G. F. da; MENEZES, S. M. de; CRUZ, R. Í. F.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; ROLIM, M. M. Accumulation of cations in lettuce cultivars under low-cost hydroponic system with brackish waters. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, p. 833–839, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/vF3kWqpjRnyNFtCV57Ds5VB/?lang=en>. Acesso em: 7 jan. 2026.

SIMKO, I.; ZHAO, R.; PENG, H.; SIMKO, I.; ZHAO, R.; PENG, H. Differential Impact of SiO₂ Foliar Application on Lettuce Response to Temperature, Salinity, and Drought Stress. **Plants**, v. 14, n. 12, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/14/12/1845>. Acesso em: 8 jan. 2026.

SOOTHAR, M. K.; HAMANI, A. K. M.; SOOTAHAR, M. K.; SUN, J.; YANG, G.; BHATTI, S. M.; TRAORE, A.; SOOTHAR, M. K.; HAMANI, A. K. M.; SOOTAHAR, M. K.; SUN, J.; YANG, G.; BHATTI, S. M.; TRAORE, A. Assessment of Acidic Biochar on the Growth, Physiology and Nutrients Uptake of Maize (*Zea mays* L.) Seedlings under Salinity Stress. **Sustainability**, v. 13, n. 6, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/6/3150>. Acesso em: 7 jan. 2026.

SOUZA, M. W. de L.; TORRES, S. B.; OLIVEIRA, F. de A. de; MARQUES, I. C. da S.; PEREIRA, K. T. O.; GUIMARÃES, Í. T. Saline-water irrigation and plant growth regulator application on zucchini fruit yield and quality. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 679–684, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/7Fn5VLkCd47FFTy3HDcxZnt/?lang=en>. Acesso em: 12 fev. 2026.

STOLLER. Stimulate®. In: STOLLER BRASIL. 2024. Disponível em: <https://www.stoller.com.br/produtos/fisiologicos/stimulate/bula-stimulate/>. Acesso em: 27 nov. 2025.

TONTO, T. C.; CIMINI, S.; GRASSO, S.; ZOMPANTI, A.; SANTONICO, M.; DE GARA, L.; LOCATO, V. Methodological pipeline for monitoring post-harvest quality of leafy vegetables. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 20568, 2023. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-47873-4>. Acesso em: 9 jan. 2026.

TORRES, M. B.; GONÇALVES, F. R. de F.; SOUZA, M. V. P. D.; LIMA, A. F. D. S.; SILVA, A. O. D.; SOUSA, G. G. Growth and physiological aspects of arugula subjected to soil salinity and fertilizer doses. **Revista Caatinga**, 2024. Disponível em: <https://consensus.app/papers/growth-and-physiological-aspects-of-arugula-subjected-to-torres-gon%C3%A7alves/f4fec7a4a6e756419799445c6d9f7806/>. Acesso em: 25 mar. 2025.

TOSCANO, S.; ROMANO, D.; FERRANTE, A.; TOSCANO, S.; ROMANO, D.; FERRANTE, A. Molecular Responses of Vegetable, Ornamental Crops, and Model Plants

to Salinity Stress. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 4, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/24/4/3190>. Acesso em: 14 jan. 2026.

VETRANO, F.; MONCADA, A.; MICELI, A.; VETRANO, F.; MONCADA, A.; MICELI, A. Use of Gibberellic Acid to Increase the Salt Tolerance of Leaf Lettuce and Rocket Grown in a Floating System. **Agronomy**, v. 10, n. 4, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/4/505>. Acesso em: 7 jan. 2026.

WAADT, R.; SELLER, C. A.; HSU, P.-K.; TAKAHASHI, Y.; MUNEMASA, S.; SCHROEDER, J. I. Plant hormone regulation of abiotic stress responses. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, v. 23, n. 10, p. 680–694, 2022. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41580-022-00479-6>. Acesso em: 12 fev. 2026.

XING, L.; ZHANG, L.; ZHENG, H.; ZHANG, Z.; LUO, Y.; LIU, Y.; WANG, L. ZmmiR169q/ZmNF-YA8 is a module that homeostatically regulates primary root growth and salt tolerance in maize. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 2023. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1163228/full>. Acesso em: 7 jan. 2026.

YANG, T.; SAMARAKOON, U.; ALTLAND, J.; LING, P. Photosynthesis, Biomass Production, Nutritional Quality, and Flavor-Related Phytochemical Properties of Hydroponic-Grown Arugula (*Eruca sativa* Mill.) ‘Standard’ under Different Electrical Conductivities of Nutrient Solution. **Agronomy**, v. 11, n. 7, p. 1340, 2021a. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/7/1340>. Acesso em: 28 out. 2025.

YANG, T.; SAMARAKOON, U.; ALTLAND, J.; LING, P.; YANG, T.; SAMARAKOON, U.; ALTLAND, J.; LING, P. Photosynthesis, Biomass Production, Nutritional Quality, and Flavor-Related Phytochemical Properties of Hydroponic-Grown Arugula (*Eruca sativa* Mill.) ‘Standard’ under Different Electrical Conductivities of Nutrient Solution. **Agronomy**, v. 11, n. 7, 2021b. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/7/1340>. Acesso em: 7 jan. 2026.

YU, Z.; REN, Y.; LIU, J.; ZHU, J.-K.; ZHAO, C. A novel mitochondrial protein is required for cell wall integrity, auxin accumulation and root elongation in Arabidopsis under salt stress. **Stress Biology**, v. 2, n. 1, p. 13, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s44154-022-00036-3>. Acesso em: 7 jan. 2026.

ZHAO, C.; ZHANG, H.; SONG, C.; ZHU, J.-K.; SHABALA, S. Mechanisms of Plant Responses and Adaptation to Soil Salinity. **The Innovation**, v. 1, n. 1, 2020a. Disponível em: [https://www.cell.com/the-innovation/abstract/S2666-6758\(20\)30017-5](https://www.cell.com/the-innovation/abstract/S2666-6758(20)30017-5). Acesso em: 10 fev. 2026.

ZHAO, C.; ZHANG, H.; SONG, C.; ZHU, J.-K.; SHABALA, S. Mechanisms of Plant Responses and Adaptation to Soil Salinity. **The Innovation**, v. 1, n. 1, p. 100017, 2020b. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666675820300175>. Acesso em: 9 jan. 2026.

ZUZUNAGA-ROSAS, J.; SILVA-VALDIVIEZO, D.; CALONE, R.; LUPUȚ, I.; IBÁÑEZ-ASENSIO, S.; BOSCAIU, M.; MORENO-RAMÓN, H.; VICENTE, O.; ZUZUNAGA-ROSAS, J.; SILVA-VALDIVIEZO, D.; CALONE, R.; LUPUȚ, I.; IBÁÑEZ-ASENSIO, S.; BOSCAIU, M.; MORENO-RAMÓN, H.; VICENTE, O.

Biochemical Responses to Salt Stress and Biostimulant Action in Tomato Plants Grown in Two Different Soil Types. **Horticulturae**, v. 9, n. 11, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/9/11/1209>. Acesso em: 14 jan. 2026.