

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CASSILÂNDIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**MICROALGAS E RIZOBACTÉRIAS MITIGADORES DO ESTRESSE
ABIÓTICO EM MANJERICÃO: EFEITOS SOBRE O CRESCIMENTO,
TROCAS GASOSAS E FITOQUÍMICOS**

LETÍCIA OLIVEIRA DOS SANTOS

CASSILÂNDIA – MS
SETEMBRO/2026

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CASSILÂNDIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**MICROALGAS E RIZOBACTÉRIAS MITIGADORES DO ESTRESSE
ABIÓTICO EM MANJERICÃO: EFEITOS SOBRE O CRESCIMENTO,
TROCAS GASOSAS E FITOQUÍMICOS**

LETÍCIA OLIVEIRA DOS SANTOS

Orientador: Prof. Dr. Flávio Ferreira da Silva Binotti

**Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Agronomia da
Universidade Estadual de Mato Grosso do
Sul, como parte das exigências para a
obtenção do título de Mestre em
Agronomia, com área de concentração em
Sustentabilidade na Agricultura.**

CASSILÂNDIA – MS
SETEMBRO/2026

S236m Santos, Letícia Oliveira

Microalgas e rizobactérias mitigadores do estresse abiótico em manjerição: efeitos sobre o crescimento, trocas gasosas e fitoquímicos / Letícia Oliveira dos Santos. – Cassilândia, MS: UEMS, 2026.

39 p.

Dissertação (Mestrado) – Agronomia – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2026.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Ferreira da Silva Binotti

1. Acúmulo de massa seca 2. Estresse Térmico 3. Sustentabilidade I. Binotti, Flávio Ferreira da Silva II. Título

CDD 23. ed. - 631.8

Ficha Catalográfica elaborada pela bibliotecária da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS)
Susy dos Santos Pereira CRB1º1783

Certificado de Aprovação

Governo do Estado de Mato Grosso do Sul
Fundação Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
PROPP - Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
UEMS - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - Sede Dourados
UUCass - Unidade Universitária de Cassilândia
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
PGAC - Área de Concentração em Sustentabilidade na Agricultura

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: MICROALGAS E RIZOBACTÉRIAS MITIGADORES DO ESTRESSE ABIÓTICO
EM MANJERICÃO: EFEITOS SOBRE O CRESCIMENTO, TROCAS GASOSAS E
FITOQUÍMICOS**

AUTOR: LETÍCIA OLIVEIRA DOS SANTOS

ORIENTADOR: PROF. DR. Flávio Ferreira da Silva Binotti

Aprovado como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de concentração: "Sustentabilidade na Agricultura", pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. Flávio Ferreira da Silva Binotti – UEMS
Orientador

Participação via webconferência

Prof. Dr. Edilson Costa – UEMS



Prof. Dr. Eduardo Pradi Vendruscolo – UEMS

Participação via webconferência

Prof.^a Dr.^a Gilda A. Carrasco – UTalca/Chile

Data da realização: 28 de julho de 2026.

EPÍGRAFE

“Quem planta conhecimento colhe inovação; quem cultiva dedicação transforma o mundo.”

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus avós, pelo amor incondicional, pelos ensinamentos e por sempre acreditarem no meu potencial. Aos meus familiares, que estiveram ao meu lado em todos os momentos, oferecendo apoio e incentivo para que eu pudesse alcançar mais esta conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder saúde, força e sabedoria para superar os desafios e concluir esta etapa importante da minha trajetória acadêmica e profissional.

Aos meus familiares, pelo amor, compreensão, incentivo e apoio durante toda a caminhada.

Ao meu orientador, pela orientação, dedicação, paciência e pelos conhecimentos compartilhados ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Agronomia, pelos ensinamentos transmitidos e pela contribuição para minha formação profissional.

Aos colegas de curso, pela convivência, troca de experiências e amizade.

Meu sincero agradecimento a todos que fizeram parte desta jornada e contribuíram para que este sonho se tornasse realidade.

Agradeço ao Programa Institucional de Bolsas aos Alunos de Pós-Graduação (PIBAP) pela concessão da bolsa durante a condução desta pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – PGAC, pela oportunidade de realizar o mestrado, pelo suporte acadêmico e pela contribuição para minha formação profissional e científica.

À Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, pela estrutura, pelos recursos disponibilizados e pelo ambiente acadêmico que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

À Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, pelo apoio financeiro e pelo investimento em infraestrutura e pesquisa, contribuindo para a realização deste estudo.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	9
LISTA DE FIGURAS.....	10
RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	12
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. MATERIAL E METODOS.....	16
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4. CONCLUSÃO.....	38
5. REFERÊNCIAS.....	39

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Concentração interna de CO₂ (C_i - mmol m⁻² s⁻¹), transpiração foliar (E - mmol H₂O m⁻² s⁻¹), condutância estomática (G_s - mol m⁻² s⁻¹), taxa de assimilação líquida de CO₂ (A - μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), eficiência de carboxilação (EICI) e eficiência do uso da água (WUE) de plantas de manjerição em função do sistema biológico (microalga e rizobactéria) em dois ciclos de cultivo (Ciclo 1 - Estufa e Ciclo 2 - Telado)..... 23
- Tabela 2.** Massa fresca do caule, massa fresca das folhas, massa fresca da parte aérea, área foliar, área foliar específica, de plantas de manjerição em função do sistema biológico (microalga e rizobactéria) em dois ciclos de cultivo (Ciclo 1 - Estufa e Ciclo 2 - Telado)..... 25
- Tabela 3.** Massa seca da raiz, massa seca do caule, massa seca das folhas, massa seca da parte aérea e massa seca total de plantas de manjerição em função do sistema biológico (microalga e rizobactéria) em dois ciclos de cultivo (Ciclo 1 - Estufa e Ciclo 2 - Telado)..... 27

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ambiente de cultivo estufa agrícola e ambiente telado.....	16
Figura 2. Transplântio de mudas de manjerição.....	18
Figura 3. Solução de microalga e rizobactéria.....	18
Figura 4. Homogeneização das soluções de microalga e rizobactéria.....	19
Figura 5. Dendrograma de agrupamento hierárquico dos tratamentos aplicados em plantas de manjeri��o em função das variáveis fisiológicas e biométricas de crescimento avaliadas. C: controle; A: microalga; M: microalga + rizobactéria; R: rizobactéria.....	27
Figura 6. Análise de componentes principais das variáveis fisiológicas e biométricas de crescimento de plantas de manjeri��o em função dos tratamentos com microalga e rizobactéria. A: primeiro ciclo experimental; B: segundo ciclo experimental; C: análise conjunta dos dois ciclos.....	29
Figura 7. Análise descritiva das variáveis avaliadas em plantas de manjeri��o submetidas à aplicação de bioinsumos nos dois ciclos experimentais. A: primeiro ciclo experimental; B: segundo ciclo experimental; C: análise conjunta dos dois ciclos.....	30
Figura 8. Correlação entre variáveis fisiológicas e biométricas de crescimento de plantas de manjeri��o submetidas à aplicação de microalga e rizobactéria.	31
Figura 9. Análise multivariada variáveis Canônicas das variáveis fitoquímicas (bioativos) em folhas de manjeri��o em função do sistema biológico (microalga e rizobactéria).....	33
Figura 10. Desenvolvimento vegetativo de plantas de manjeri��o aos 15 dias após transplântio (DAT), com aplicação de microalga e rizobactéria.....	34
Figura 11. Aspecto visual de plantas de manjeri��o no momento da colheita 30 dias após o transplântio (DAT) com aplicação de microalga e rizobactéria.....	35

MICROALGAS E RIZOBACTÉRIAS MITIGADORES DO ESTRESSE ABIÓTICO EM MANJERICÃO: EFEITOS SOBRE O CRESCIMENTO, TROCAS GASOSAS E FITOQUÍMICOS

RESUMO: O manjeriço é uma planta estudada e apresenta elevada sensibilidade às condições de cultivo, sendo uma espécie adequada para avaliar os efeitos de bioinsumos e ambientes protegidos sobre o crescimento vegetal. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de microalga (*Chlorella vulgaris*) e rizobactérias (*Bacillus amyloliquefaciens* e *Bacillus subtilis*) sobre o crescimento e as trocas gasosas de plantas de manjeriço. O experimento foi desenvolvido na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. O delineamento experimental foi composto por combinações (conjunta ou isolada) de dois bioinsumos, um a base de *C. vulgaris* e outro de rizobactéria (*Bacillus amyloliquefaciens* e *B. subtilis*) aplicados diretamente no substrato. Aos 30 dias após a aplicação, foram avaliadas as características de trocas gasosas: concentração interna de CO₂, condutância estomática, transpiração, taxa de assimilação líquida de CO₂, eficiência de carboxilação e eficiência do uso da água. Também foram avaliados os parâmetros de crescimento: área foliar, área foliar específica, massa fresca da parte aérea, do caule e das folhas e massa seca das raízes, folhas, caule, parte aérea e total. Os resultados evidenciaram que entre os bioinsumos, *C. vulgaris* atuou como bioestimulante, promovendo incrementos nas características relacionadas às trocas gasosas e contribuindo para a mitigação dos efeitos do estresse térmico. O bioinsumo à base de *Bacillus* spp. influenciou positivamente os parâmetros de trocas gasosas, preservando a concentração interna de CO₂, a assimilação líquida de CO₂, a condutância estomática e a transpiração sob condições de estresse. O uso de bioinsumos à base de *C. vulgaris* no cultivo de manjeriço apresentou maior crescimento vegetativo nos dois ciclos de cultivo. A aplicação em conjunto dos bioinsumos propicia maior teor de fitoquímicos nas folhas do manjeriço e potencial antioxidante.

PALAVRAS-CHAVE: Acúmulo de massa seca, Estresse térmico, Sustentabilidade.

MICROALGAE AND RHIZOBACTERIA AS MITIGATORS OF ABIOTIC STRESS IN BASIL: EFFECTS ON GROWTH, GAS EXCHANGE, AND PHYTOCHEMICALS

ABSTRACT: Basil is a widely studied plant and exhibits high sensitivity to cultivation conditions, making it a suitable species for evaluating the effects of biological inputs and protected environments on plant growth. Therefore, this study aimed to evaluate the effects of applying the microalga *Chlorella vulgaris* and rhizobacteria (*Bacillus amyloliquefaciens* and *Bacillus subtilis*) on the growth and gas exchange of basil plants. The experiment was conducted at the Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brazil. The experimental design consisted of combinations, either jointly or separately, of two biological inputs: one based on *C. vulgaris* and the other on rhizobacteria (*Bacillus amyloliquefaciens* and *B. subtilis*), applied directly to the substrate. At 30 days after application, gas-exchange characteristics were evaluated, including internal CO₂ concentration, stomatal conductance, transpiration, net CO₂ assimilation rate, carboxylation efficiency, and water-use efficiency. Growth parameters were also assessed, including leaf area, specific leaf area, fresh mass of the shoot, stem, and leaves, as well as dry mass of the roots, leaves, stem, shoot, and total plant. The results showed that, among the biological inputs, *C. vulgaris* acted as a biostimulant, promoting increases in gas-exchange characteristics and contributing to the mitigation of thermal stress effects. The *Bacillus* spp.-based biological input positively influenced gas-exchange parameters, maintaining internal CO₂ concentration, net CO₂ assimilation, stomatal conductance, and transpiration under stress conditions. The use of *C. vulgaris*-based biological inputs in basil cultivation resulted in greater vegetative growth in both cultivation cycles. The combined application of the biological inputs promoted higher phytochemical content in basil leaves and greater antioxidant potential.

KEYWORDS: Dry matter accumulation, Heat stress, Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

O manjerição (*Ocimum basilicum* L.) é uma planta pertencente à família Lamiaceae, suas folhas podem ser utilizadas in natura, frescas, secas ou como óleos essenciais (Silva et al., 2020). Possui propriedades medicinais e aromáticas de grande importância, apresentando atividades antioxidante, anti-inflamatória e antimicrobiana. Devido a essas características, apresenta potencial de utilização nas indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica, além de aplicações fitoterápicas (Zagoto, 2026)

Ele é cultivado no Brasil, de forma anual ou perene, principalmente pela agricultura familiar, sendo utilizado em hortas, jardins, canteiros e em vasos. A produção é realizada em diferentes regiões, entretanto, o Nordeste se destaca pelas condições climáticas favoráveis ao cultivo perene, permitindo a realização de vários cortes ao longo do ano (Souza, 2020).

O manejo adequado da cultura, aliado à uma adubação é essencial para atender às exigências nutricionais das plantas, favorecendo seu crescimento, desenvolvimento e produtividade (Freitas, 2022). A agricultura brasileira depende fortemente da importação de fertilizantes minerais, especialmente de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK), tornando o setor vulnerável às oscilações do mercado internacional em especial com a guerra atual entre Rússia e Ucrânia. A dificuldade no fornecimento de insumos e aumento dos preços, reforça a necessidade de desenvolver alternativas que reduzem a dependência de fertilizantes e promovam maior sustentabilidade na produção agrícola (Oliveira, 2024).

Dentro deste contexto, destaca-se o uso de bioinsumos como recursos biológicos naturais, incrementos sustentáveis e viáveis ao crescimento das plantas, em contrastes aos fertilizantes tradicionais, melhorando a saúde do solo, reduzindo custos de produção e promovendo desenvolvimento vegetal de forma equilibrada (Araujo e Balsamo, 2023). São classificados em várias categorias, incluindo biofertilizantes, biopesticidas e bioestimulantes, cada um com papel na promoção da saúde das plantas e aumento da eficiência da produção agrícola (Mazaro et al., 2022).

Destacam-se alternativas como bioinsumos, para uso no crescimento de plantas, as microalgas, que são organismos fotossintéticos que crescem tanto em ambientes marinhos quanto em água doce (Ronga et al., 2019). Outro bioinsumo, as rizobactérias do gênero *Bacillus*, são microrganismos associados às raízes das plantas que estabelecem

interações benéficas, contribuindo para o crescimento, desenvolvimento e saúde vegetal (Sousa, 2025).

As microalgas vêm sendo reconhecidas como alternativa de bioestimulante em razão do seu cultivo simples, taxa de crescimento elevada e perfil sustentável. Dentre as microalgas, as do gênero *Chlorella sp.*, se destaca pelo alto potencial biotecnológico, favorecendo sua aplicação em diversas áreas agrícolas (Ferreira et al., 2025).

A *Chlorella vulgaris* é uma microalga unicelular do filo *Chlorophyta*, amplamente utilizada devido à sua elevada capacidade de produção de biomassa e às baixas exigências nutricionais. Sua composição inclui proteínas, carboidratos, lipídios, vitaminas, minerais e compostos bioativos, como clorofilas, carotenoides, compostos fenólicos, ácidos graxos e fitormônios, incluindo giberelinas e brassinosteroides, que favorecem o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Oliveira et al., 2024).

Outro grupo de relevância na promoção de crescimento vegetal é o das bactérias do gênero *Bacillus*, que são microrganismos de vida livre presentes na região rizosférica das plantas, utilizando os exsudatos liberados por mecanismos diretos e indiretos dos vegetais (Silva, 2025). Estas rizobactérias promovem o crescimento vegetal por meio de diferentes mecanismos, influenciando diretamente o desenvolvimento das raízes e da parte aérea das plantas. Entre esses mecanismos, destaca-se a produção de fitormônios, como auxinas, citocininas e giberelinas, que atuam na divisão e no alongamento celular (Stolte, 2019).

Os bioinsumos se destacam por sua aplicabilidade, podem ser aplicados via foliar, tratamento de sementes e incorporação no solo, permitindo uma adaptação flexível às necessidades específicas de cada cultura e sistema agrícola (Ramos et al., 2015).

Além dos bioinsumos, a luz e a temperatura constituem fatores ambientais fundamentais para o crescimento e desenvolvimento vegetal, uma vez que interferem diretamente em processos fisiológicos e metabólicos das plantas. A disponibilidade luminosa está relacionada à atividade fotossintética e ao metabolismo de açúcares, influenciando o crescimento e a capacidade de adaptação das plantas às condições ambientais (Wu et al., 2025). Em contrapartida, condições térmicas extremas podem provocar alterações morfológicas e fisiológicas, comprometendo o desenvolvimento e o desempenho produtivo das culturas (Ferrante; Mariani, 2018). A interação entre esses fatores ambientais pode ainda intensificar as respostas de estresse das plantas, tornando o

manejo das condições de cultivo um aspecto relevante para a produção agrícola. Nesse sentido, o cultivo protegido surge como estratégia que possibilita maior controle das condições ambientais, reduzindo os efeitos adversos sobre o desenvolvimento vegetal.

Eles permitem o manejo de fatores como temperatura, umidade e luminosidade, contribuindo para a produção de alimentos de qualidade e para a maior regularidade da oferta ao longo do ano (Dores et al., 2020). Entre esses sistemas, as estufas agrícolas e o ambiente telado constituem alternativas tecnológicas para o cultivo de diferentes espécies, possibilitando maior estabilidade das condições de produção e favorecendo o uso eficiente de recursos, como água e nutrientes (Guedes et al., 2024).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência da aplicação de microalga e rizobactéria no crescimento, nas trocas gasosas e nas características fitoquímicas de plantas de manjerição, em dois ciclos de cultivo conduzidos sob diferentes condições ambientais, sendo um em estufa e outro em telado.

2. MATERIAL E METODOS

O experimento foi conduzido no setor experimental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (Cassilândia – MS). De acordo com a classificação climática de Koppen, a região apresenta clima tropical chuvoso (Aw) com verão chuvoso e inverno seco. A cultivar utilizada foi a manjerição basilicão.

Conduzido em dois ciclos de cultivo (Ciclo 1 – estufa e Ciclo 2 – telado), realizados em ambientes distintos. Em cada ciclo, adotou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), constituído por quatro sistemas biológicos, sendo: T1 – microalga; T2 – rizobactéria; T3 – combinação de microalga + rizobactéria; e T4 – controle, com seis repetições por tratamento.

O primeiro ciclo de cultivo foi conduzido em estufa agrícola, com cobertura de filme de polietileno, enquanto o segundo ciclo foi realizado em ambiente telado (Figura 1). Dessa forma, os ciclos foram avaliados separadamente, considerando-se as características específicas de cada ambiente de cultivo.

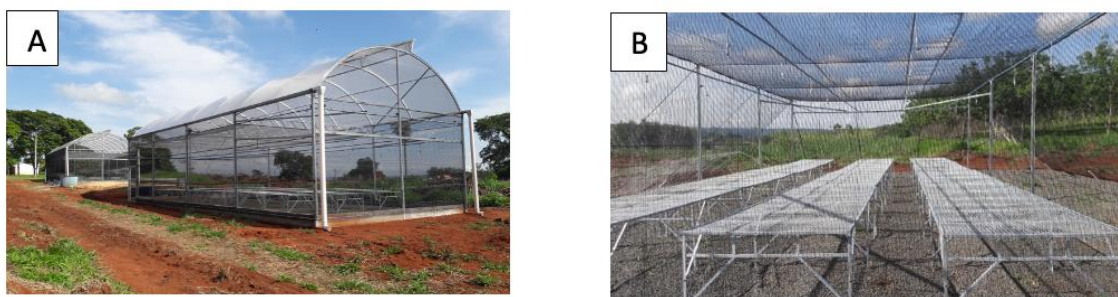


Figura 1. Ciclo de cultivo. A: estufa agrícola com cobertura de filme de polietileno; B: ambiente telado.

Ciclo 1 - o ciclo de cultivo foi realizado em ambiente - Estufa agrícola de 18,0 m x 8,0 m x 4,0 m (144 m²), coberta com filme de polietileno de baixa densidade (PEBD) de 150 microns, difusor de luz, antegotejo, abertura zenital vedada com tela branca de 30%, com tela lateral e frontal de monofilamento de 30% de sombreamento.

Ciclo 2 - o ciclo de cultivo foi realizado em ambiente - Telado agrícola de 18,0 m x 8,0 m x 3,5 m (144 m²), fechado em 45 graus, com Tela de monofilamento preta de 18% de sombreamento.

Solução com microalga *Chlorella vulgaris* foi produzida no Laboratório de Microalgas e Biotecnologia do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Bolsão Sul-Mato-Grossense (CEDESU). Suas propriedades físico-químicas foram as seguintes: pH 6,7; potencial redox de 280 mV; sólidos totais dissolvidos (STD) de 600 mg·L⁻¹; condutividade elétrica de 1.132 µS·cm⁻¹; concentração de biomassa seca de 0,8 g·L⁻¹;

A rizobactéria utilizada foi associação de *Bacillus subtilis* e *Bacillus amyloliquefaciens* (Rhizobio® 5 × 10⁹ UFC·mL⁻¹). Este estudo utilizou uma dose de 4 mL por litro de água.

O experimento teve início em novembro de 2025, onde mudas produzidas pelo viveiro Agromudas® com 14 dias de idade, foram transplantadas para recipientes plásticos com capacidade volumétrica de 1,5 L. Os vasos foram preenchidos com substrato Carolina® previamente homogeneizado (Figura 2). O transplântio das mudas foi realizado manualmente, sendo efetuada, no mesmo dia a aplicação dos tratamentos. Foram aplicados 150 mL das diferentes soluções de microalga e rizobactéria por vaso (Figura 3), diretamente no substrato, na região próxima ao sistema radicular das mudas. A aplicação conjunta da microalga+bacillus passou por uma homogeneização das duas soluções em um recipiente e após 10 minutos foi realizado a aplicação no substrato de cultivo (Figura 4).



Figura 2. Transplântio de mudas de manjericão.



Figura 3. Solução do bioinsumo: microalga e rizobactéria.



Figura 4. Homogeneização das soluções de microalga e rizobactéria.

Durante o período experimental, os vasos foram irrigados manualmente, conforme a necessidade hídrica das plantas, buscando manter condições adequadas de umidade do substrato. No ambiente telado, considerou-se também a possibilidade de contribuição de água proveniente de precipitações, devido à característica aberta desse sistema de cultivo.

Aos 12 e 22 dias após transplantio (DAT), foram realizadas aplicações de solução nutritiva, com o objetivo de suprir a demanda nutricional das plantas durante o desenvolvimento vegetativo. Foi aplicado 100 mL de solução nutritiva por vaso diretamente no substrato. A solução nutritiva foi preparada utilizando uma combinação de dois fertilizantes minerais. O primeiro continha 13,5% N, 15% Ca e 2,85% de Mg. O segundo fertilizante mineral continha N 9,0%; Mn 0,048%; P₂O₅ 9,5%; Cu 0,030%; K₂O 36,0%; Zn 0,019%; S 3,0%; Mo 0,009%; Mg 0,6%; Ni 0,006%; Fe 0,148%; Co 0,002%; B 0,048%. A solução foi preparada para ambos os fertilizantes utilizando uma concentração de 4,29 g de produto por 10 litros de água.

As avaliações experimentais iniciaram aos 30 dias após transplantio (DAT), quando as plantas atingiram estágio para mensuração das variáveis de crescimento e fisiológicas (trocas gasosas). As variáveis avaliadas foram: área foliar, expressa em cm², foi obtida com o auxílio de do software *Easy Leaf Area*; área foliar específica; matéria fresca e seca das folhas; matéria fresca e seca do caule; matéria fresca e seca das raízes, matéria fresca e seca da parte aérea, expressas em gramas, determinadas em estufa de circulação forçada a 65°C.

Aos 30 dias após transplantio (DAT), 5 plantas por repetição foram submetidas avaliações fisiológicas (trocas gasosas) por meio de medidor de gases por infravermelho (IRGA), para determinação das variáveis relacionadas às trocas gasosas. Durante a medição, a temperatura média das folhas foi de 28°C, a concentração de CO₂ foi de 432 µmol mol⁻¹ e a intensidade da luz foi de 1000 µmol m⁻² s⁻¹ de densidade de fluxo fotoquímico fotossintético. Obtiveram-se leituras referentes às características de concentração no mesófilo foliar CO₂ (C_i), taxa de transpiração (E), condutância estomática (gS) e taxa de assimilação de CO₂ (A). Também foram calculadas a eficiência do uso da água (WUE) e a eficiência de carboxilação (EICI), as quais são derivadas da relação entre A/E e A/C_i, respectivamente.

Avaliação dos fitoquímicos (bioativos) como compostos fenólicos, flavonoides, taninos, clorofila *a* e clorofila *b*, também o potencial antioxidante e fator de proteção solar: as folhas do manjeriço foram secas em estufa de ventilação forçada, a 40 °C, posteriormente submetido a extração com etanol 70% utilizando proporção 5% (m/v). A extração aconteceu a temperatura ambiente (20±1°C) por 48 horas.

O conteúdo de compostos fenólicos foi determinado utilizando o método de Folin–Ciocalteu (Djeridane et al. 2006). Uma mistura reacional foi preparada com 1 mL da amostra, 0,5 mL do reagente de Folin–Ciocalteu (1:10 v:v) e 1 mL de água destilada. Após reagir por 1 minuto, adicionou-se 1,5 mL de carbonato de sódio a 20% (m:v). A mistura foi incubada à temperatura ambiente por 120 minutos, e a absorbância foi medida a 760 nm utilizando um espectrofotômetro (Global Trade Technology, Brasil). A quantificação foi baseada em uma curva de calibração de ácido gálico ($10\text{--}1000\text{ }\mu\text{g mL}^{-1}$; $y = 0,0015x + 0,0008$, $R^2 = 0,9875$), e os resultados foram expressos como μg de equivalente de ácido gálico por mL de extrato ($\mu\text{g EAG mL}^{-1}$). O branco foi feito substituindo a amostra pelo solvente de extração. O teste foi realizado em triplicata.

O conteúdo de flavonoides foi determinado utilizando um ensaio com cloreto de alumínio a 2% (m:v) (Djeridane et al. 2006). Volumes iguais (1 mL) da solução de cloreto de alumínio e de amostra foram misturados. Após 15 minutos à temperatura ambiente, a absorbância foi lida a 430 nm utilizando um espectrofotômetro. A quantificação foi baseada em uma curva de calibração de rutina ($10\text{--}50\text{ }\mu\text{g mL}^{-1}$; $y = 0,0105x + 0,0019$, $R^2 = 0,9990$), e os resultados foram expressos como μg de equivalente de rutina por mL de extrato ($\mu\text{g ER mL}^{-1}$). O branco foi feito substituindo a amostra pelo solvente de extração. O teste foi realizado em triplicata.

O conteúdo de taninos foi determinado utilizando o método de Folin-Denis (Pansera et al. 2003). Volumes iguais (0,5 mL) da solução de Folin-Denis e da amostra foram misturados, e após 3 minutos, 0,5 mL de carbonato de sódio 8% (m:v) foram adicionados a mistura reacional. Após 120 minutos à temperatura ambiente, a absorbância foi lida a 725 nm utilizando um espectrofotômetro. A quantificação foi baseada em uma curva de calibração de ácido tânico ($0,5\text{--}80\text{ }\mu\text{g mL}^{-1}$; $y = 0,009x + 0,03837$, $R^2 = 0,99826$), e os resultados foram expressos como μg de equivalente de ácido tânico por mL de extrato ($\mu\text{g EAT mL}^{-1}$). O branco foi feito substituindo a amostra pelo solvente de extração. O teste foi realizado em triplicata.

Os extratos obtidos foram analisados usando um espectrofotômetro em comprimentos de onda de 470, 649 e 665 nm. A clorofila a (Ca) foi calculada usando a Equação 1, a clorofila b (Cb) foi calculada usando a Equação 2 (Lichtenthaler e Wellburn, 1983).

$$(1) \quad Ca = 13.95 \times A_{665} - 6.88 \times A_{649}$$

$$(2) \quad Cb = 24.96 \times A_{649} - 7.32 \times A_{665}$$

Para avaliação do potencial antioxidante em cada 100 µL de amostra, foram adicionados 2000 µL de uma solução de DPPH a 0,1 mmol L⁻¹ em metanol. A reação foi conduzida por 30 minutos protegida da luz, seguida da leitura em espectrofotômetro em comprimento de onda de 517 nm. A porcentagem de inibição foi calculada conforme a Equação: %I = 100 × (AbsC – AbsA) / AbsC, onde %I representa a inibição (%), AbsC é a absorbância do controle e AbsA é a absorbância da amostra após a reação. O controle foi feito substituindo a amostra pelo solvente de extração. O teste foi realizado em triplicata.

As amostras foram submetidas à varredura em um espectrofotômetro em comprimentos de onda de 290 a 320 nm com intervalos de 5 nm. O fator de proteção solar (FPS) foi calculado usando a Equação 4. FC representa o fator de correção, $EE_{\lambda} \times I_{\lambda}$ representa o espectro de eficiência eritemal por comprimento de onda, e Abs_{λ} representa o espectro de absorbância da amostra (Mansur et al., 1986). O FC utilizado foi 10. Os valores de EE foram retirados do trabalho de Sayre et al. (1979).

$$(4) \quad FPS = FC \times \sum_{290}^{320} EE_{\lambda} \times I_{\lambda} \times Abs_{\lambda}$$

Antes da análise de variância (ANOVA), avaliou-se a homogeneidade das variâncias e a normalidade dos resíduos (Crescimento e trocas gasosas). Os dados foram então submetidos à ANOVA e as médias dos tratamentos foram comparadas utilizando o teste Scott-Knott e F a 5% de probabilidade no fator sistema biológico e ambiente de cultivo.

Foi realizada uma análise multivariada utilizando componentes principais utilizando os pacotes Ggplot2, Factoextra e Ggrepel. O agrupamento dos tratamentos foi realizado utilizando o método de ligação de Ward, e os resultados são apresentados na forma de dendrograma (pacotes dplyr, cluster e RColorBrewer). Os dados foram inicialmente agrupados por tratamento e as médias das variáveis analisadas foram calculadas. Posteriormente, os valores foram normalizados em uma escala percentual (0–100%) para permitir a comparação entre variáveis com unidades diferentes.

A visualização multivariada foi realizada utilizando gráficos de radar (spider plots), a análise foi conduzida utilizando os pacotes fmsb, dplyr e scales. A análise de agrupamento hierárquico foi realizada para avaliar a similaridade entre os tratamentos

com base nas variáveis analisadas. Inicialmente, os dados foram padronizados e, posteriormente, a matriz de distância foi calculada utilizando a distância euclidiana.

Os dados também foram submetidos à análise de correlação de Pearson (pacote Corrplot) por meio de uma matriz de correlação com diferentes gradientes de cores entre as variáveis do estudo. As correlações foram interpretadas da seguinte forma: valores mais próximos do azul indicaram correlações positivas, enquanto correlações negativas foram destacadas em vermelho. Correlações com nível de erro de 5% foram marcadas com um asterisco, aquelas com nível de erro de 1% com dois asteriscos e aquelas com nível de erro de 0,1% com três asteriscos. Todas as análises foram realizadas utilizando o software R versão 4.3.3 (R Core Team, 2024).

A análise multivariada por variáveis Canônicas foi realizada na avaliação dos fotoquímicos (bioativos).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os resultados referentes às variáveis fisiológicas e às trocas gasosas das plantas de manjerição em função da aplicação dos diferentes tipos de bioinsumos. Os resultados demonstraram que a aplicação dos bioinsumos influenciou significativamente ($p < 0,05$) as trocas gasosas e as avaliações biométricas de crescimento das plantas de manjerição (Tabela 1). As respostas observadas variaram entre os ciclos de cultivo, indicando diferentes efeitos dos tratamentos sobre as características fisiológicas avaliadas.

No Ciclo 1, a aplicação dos bioinsumos contendo rizobactérias proporcionou incrementos significativos ($p < 0,05$) em relação ao tratamento controle, com ganhos de 21,36% para a concentração interna de CO_2 (Ci), 19,20% para a transpiração (E), 138,00% para a condutância estomática (gs), 69,54% para a taxa de assimilação líquida de CO_2 (A) e 55,46% para a eficiência da carboxilação (EC). Esses resultados indicam que a aplicação das rizobactérias favoreceu as trocas gasosas das plantas de manjerição, refletindo em maior atividade fotossintética e eficiência no processo de assimilação de CO_2 .

No Ciclo 2, foram observados efeitos significativos ($p < 0,05$) dos bioinsumos sobre algumas das variáveis avaliadas. Para a taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), a aplicação das rizobactérias proporcionou incremento de 70,30% em relação ao controle. Para a condutância estomática (gs), foram observados ganhos de 77,66% com a aplicação das rizobactérias e de 44,33% com a associação entre rizobactérias e microalga. Para a transpiração (E), a aplicação das rizobactérias promoveu incremento de 42,00%. Já para a eficiência da carboxilação (EC) e a eficiência do uso da água (EUA), a aplicação da microalga proporcionou incrementos de 88,83% e 28,60%, respectivamente, em relação ao tratamento controle.

Tabela 1. Concentração interna de CO₂ (Ci - mmol m⁻² s⁻¹), transpiração foliar (E - mmol H₂O m⁻² s⁻¹), condutância estomática (Gs - mol m⁻² s⁻¹), taxa de assimilação líquida de CO₂ (A - μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), eficiência de carboxilação (EICI) e eficiência do uso da água (WUE) de plantas de manjerição em função do sistema biológico (microalga e rizobactéria) em dois ciclos de cultivo (Ciclo 1 - Estufa e Ciclo 2 - Telado), 2025.

Tratamentos	Clico de cultivo	
	Ciclo 1 (Estufa)	Ciclo 2 (Telado)
Sistema biológico		
	Concentração interna de CO ₂	
Controle	220b	200a
Microalga	223b	141c
Rizobactéria	267a	203a
Microalga + Rhizobacteria	192c	173b
C.V.(%)	8,08	
	Transpiração foliar	
Controle	0,86c	0,59c
Microalga	1,30b	0,62c
Rizobactéria	1,66a	1,01a
Microalga + Rizobactéria	0,81c	0,99b
C.V.(%)	7,99	
	Condutância estomática	
Controle	0,0433c	0,0300b
Microalga	0,0667b	0,0333b
Rizobactéria	0,1033a	0,0533a
Microalga + Rizobactéria	0,0567b	0,0433a
C.V.(%)	12,01	
	Taxa de assimilação líquida de CO ₂	
Controle	5,22c	4,04c
Microalga	7,91b	5,48b
Rizobactéria	8,85a	6,88a
Microalga + Rizobactéria	7,22b	6,08b
C.V.(%)	6,58	
	Eficiência de carboxilação	
Controle	0,0238b	0,0206c
Microalga	0,0355a	0,0389a
Rizobactéria	0,0376a	0,0351b
Microalga + Rizobactéria	0,0333a	0,0339b
C.V.(%)	5,47	
	Eficiência do uso da água	
Controle	6,10b	6,96c
Microalga	6,12b	8,95a
Rizobactéria	5,33c	6,82c
Microalga + Rizobactéria	7,40a	7,55b
C.V.(%)	3,7	

Médias seguidas de letras diferentes minúsculas nas colunas, diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

No ciclo 1 o acúmulo de massa fresca foi maior com a aplicação isolada e combinada do bioinsumo de microalga, com incrementos correspondentes de 66,25% e 65,3% para a massa fresca do caule, de 58,60% e 52,24% para a massa fresca das folhas e de 60,77% e 55,85% para a massa fresca da parte aérea em relação ao controle (Tabela 2). Para a área foliar o bioinsumo de microalga proporcionou os maiores ganhos ($p<0,05$) de 72,16%. Por outro lado, com a aplicação isolada dos bioinsumos de microalga e rizobactéria, os índices de área foliar específica aumentaram em 14,07% e 18,02%, respectivamente.

No ciclo 2 houveram incrementos ($p<0,05$) na massa fresca com a aplicação isolada dos bioinsumos de microalga e seu uso combinado. Os benefícios ganhos correspondentes destes tratamentos para a massa fresca do caule foram de 21,62% e 33,6%, para as folhas foram de 19,72% e 27,72%, para a parte aérea foram de 20,12% e 29,26%, em relação ao controle. Para área foliar neste ciclo, a aplicação combinada dos bioinsumos foi o único tratamento que gerou ganhos significativos 45,3% em relação ao controle. Os tratamentos contendo microalga, isolada ou associada à rizobactéria, apresentaram os maiores valores de massa fresca das folhas, caule e da parte aérea e área foliar, especialmente no ciclo 1.

O aumento da área foliar observado nos tratamentos com microalga no ciclo 1 demonstra maior capacidade de expansão foliar e potencial fotossintético das plantas. Esse resultado é relevante, pois folhas maiores contribuem diretamente para maior interceptação luminosa e produção de fotoassimilados.

No ciclo 1 - estufa, a aplicação combinada dos bioinsumos de microalga e rizobactéria gerou os maiores ganhos ($p<0,05$) no acúmulo de massa seca em relação ao controle, de 40,17% para massa seca da raiz, de 81,25% para massa seca do caule, de 69% para massa seca das folhas, de 72,27% para a massa seca da parte aérea e de 55,1% para a massa seca total (Tabela 3). No ciclo 2 - telado os incrementos com essa combinação foram verificados na massa seca do caule (35,71%), das folhas (33%), da parte aérea (33,6%) e total (25,67%).

Tabela 2. Massa fresca do caule, massa fresca das folhas, massa fresca da parte aérea, área foliar, área foliar específica, de plantas de manjerição em função do sistema biológico (microalga e rizobactéria) em dois ciclos de cultivo (Ciclo 1 - Estufa e Ciclo 2 - Telado), 2025.

Tratamentos	Clico de cultivo	
	Ciclo 1 (Estufa)	Ciclo 2 (Telado)
Sistema biológico		
	Massa fresca do caule	
Controle	3,17b	2,59b
Microalga	5,27a	3,15a
Rizobactéria	3,24b	2,82b
Microalga + Rizobactéria	5,24a	3,46a
C.V. (%)	8,43	
	Massa fresca das folhas	
Controle	8,02b	7,25b
Microalga	12,72a	8,68a
Rizobactéria	7,50b	7,29b
Microalga + Rizobactéria	12,21a	9,26a
C.V. (%)	6,27	
	Massa fresca parte aérea	
Controle	11,19b	9,84b
Microalga	17,99a	11,82a
Rizobactéria	10,74b	10,11b
Microalga + Rizobactéria	17,44a	12,72a
C.V. (%)	6,03	
	Área Foliar (cm²)	
Controle	352c	223b
Microalga	606a	246b
Rizobactéria	369c	231b
Microalga + Rizobactéria	546b	324a
C.V. (%)	7,00	
	Área Foliar Específica (cm² g¹)	
Controle	405b	233a
Microalga	462a	223a
Rizobactéria	478a	234a
Microalga + Rizobactéria	371b	252a
C.V. (%)	6,27	

Médias seguidas de letras diferentes minúsculas nas colunas, diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os tratamentos influenciaram significativamente o acúmulo de massa seca das plantas de manjerição. Em geral, os maiores valores de massa seca das folhas, caule, parte aérea e massa seca total foram observados nos tratamentos com microalga associada à rizobactéria, principalmente no ciclo 1.

Tabela 3. Massa seca da raiz, massa seca do caule, massa seca das folhas, massa seca da parte aérea e massa seca total de plantas de manjerição em função do sistema biológico (microalga e rizobactéria) em dois ciclos de cultivo (Ciclo 1 - Estufa e Ciclo 2 - Telado), 2025.

Tratamentos	Clico de cultivo	
	Ciclo 1 (Estufa)	Ciclo 2 (Telado)
Sistema biológico		
	Massa seca da raiz (g planta ⁻¹)	
Controle	1,17b	0,97a
Microalga	1,57a	0,92a
Rizobactéria	0,97c	0,91a
Microalga + Rizobactéria	1,61a	1,12a
C.V. (%)	9,23	
	Massa seca do caule (g planta ⁻¹)	
Controle	0,32b	0,28b
Microalga	0,55a	0,37a
Rizobactéria	0,30b	0,29b
Microalga + Rizobactéria	0,58a	0,38a
C.V. (%)	8,06	
	Massa seca das folhas (g planta ⁻¹)	
Controle	0,87c	0,97c
Microalga	1,33b	1,10b
Rizobactéria	0,77d	0,99c
Microalga + Rizobactéria	1,47a	1,29a
C.V. (%)	4,6	
	Massa seca da parte aérea (g planta ⁻¹)	
Controle	1,19c	1,25c
Microalga	1,88b	1,48b
Rizobactéria	1,07c	1,27c
Microalga + Rizobactéria	2,05a	1,67a
C.V. (%)	5,01	
	Massa seca total (g planta ⁻¹)	
Controle	2,36c	2,22b
Microalga	3,44b	2,40b
Rizobactéria	2,04d	2,18b
Microalga + Rizobactéria	3,66a	2,79a
C.V. (%)	4,35	

Médias seguidas de letras diferentes minúsculas nas colunas, diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A combinação dos bioinsumos proporcionou incremento significativo na massa seca das plantas, demonstrando efeito positivo sobre o crescimento vegetal. Esse resultado sugere que a interação entre microalgas e *Bacillus* favoreceu as trocas gasosas e também a eficiência do mesmo para alocação em massa de matéria seca das plantas.

A aplicação isolada da microalga também promoveu elevado acúmulo de massa seca, principalmente na massa seca da raiz e da parte aérea (Tabela 3). Esse maior acúmulo de biomassa pode estar associado à presença de aminoácidos, vitaminas e reguladores vegetais produzidos pelas microalgas, os quais estimulam o crescimento radicular e o desenvolvimento vegetativo das plantas (Mendes et al., 2024).

A similaridade entre os tratamentos foi evidenciada pelo dendrograma apresentado na Figura 5. O dendrograma de agrupamento evidenciou similaridade entre os tratamentos contendo microalga e microalga + rizobactéria, indicando comportamento semelhante dessas combinações em relação às variáveis avaliadas.

A análise multivariada demonstrou clara separação entre os tratamentos avaliados, evidenciando influência dos tipos de bioinsumos sobre as variáveis fisiológicas e biométricas das plantas de manjeriço. Observou-se agrupamento distinto entre os tratamentos contendo microalga, indicando maior associação dessas plantas com variáveis relacionadas ao crescimento das plantas (Figura 6).

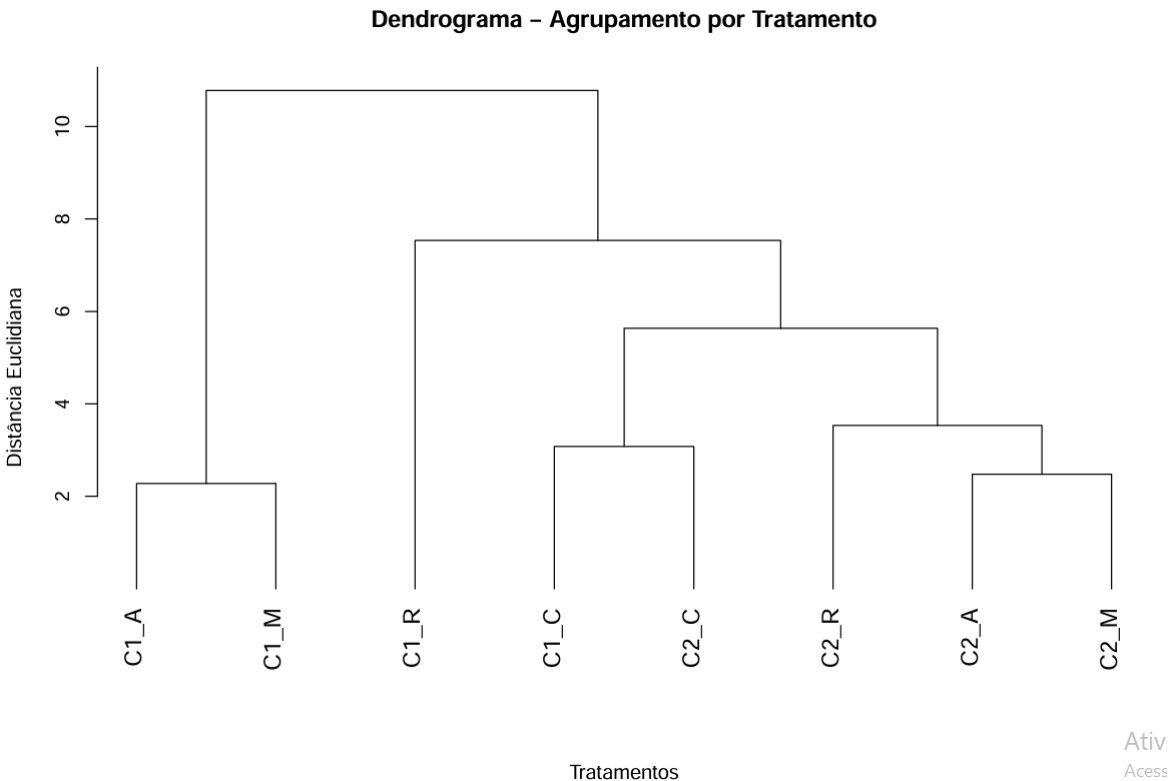


Figura 5. Dendrograma de agrupamento hierárquico dos tratamentos aplicados em plantas de manjeriço em função das variáveis fisiológicas e biométricas de crescimento avaliadas. C: controle; A: microalga; M: microalga + rizobactéria; R: rizobactéria.

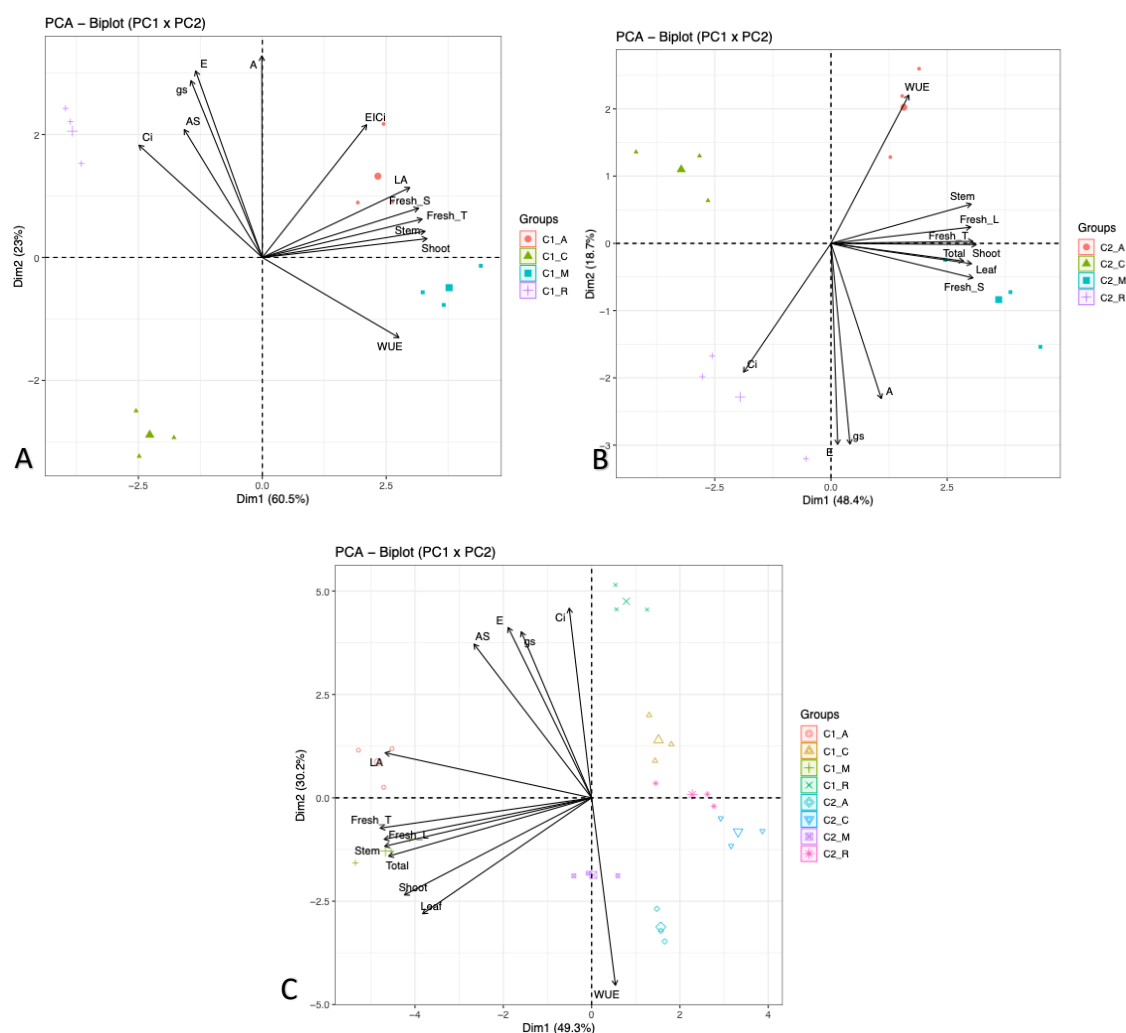


Figura 6. Análise de componentes principais das variáveis fisiológicas e biométricas de crescimento de plantas de manjericão em função dos tratamentos com microalga e rizobactéria. A: primeiro ciclo experimental; B: segundo ciclo experimental; C: análise conjunta dos dois ciclos. Concentração interna de CO₂ (Ci); taxa de assimilação líquida de CO₂ (A); transpiração (E); condutância estomática (gs); eficiência do uso da água (WUE); eficiência da carboxilação (EICi); área foliar (LA); massa fresca do caule (Fresh_T); massa fresca das folhas (Fresh_L); massa fresca da parte aérea (Fresh_S); massa seca do caule (Stem); massa seca total (Total); massa seca das folhas (Leaf). Tratamentos: controle (C), microalga (M), rizobactéria (R) e microalga + rizobactéria (A).

A análise descritiva demonstrou maior dispersão dos dados nos tratamentos contendo microalgas, refletindo maior variabilidade no crescimento das plantas. Entretanto, também foram observadas maiores médias para variáveis relacionadas à biomassa e área foliar nesses tratamentos. Apesar de não apresentar alta troca gasosa a microalga consegue converter biomassa em crescimento, utilizando para seu benefício,

diferente da rizobactéria que tem mais parâmetros para fotossíntese, que não refletiu nas avaliações biométricas de crescimento (Figura 7).

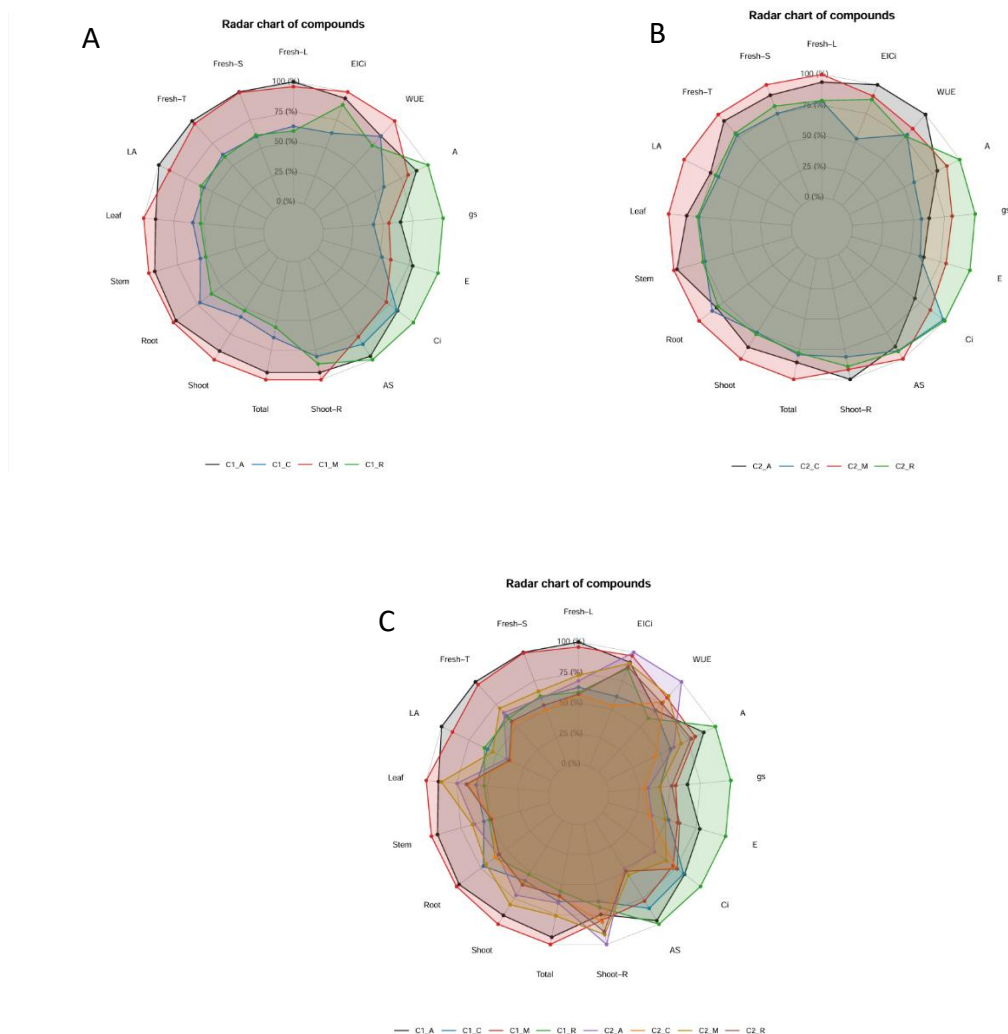


Figura 7. Análise descritiva das variáveis avaliadas em plantas de manjericão submetidas à aplicação de bioinsumos nos dois ciclos experimentais. A: primeiro ciclo experimental; B: segundo ciclo experimental; C: análise conjunta dos dois ciclos. Concentração interna de CO_2 (Ci); taxa de assimilação líquida de CO_2 (A); transpiração (E); condutância estomática (g_s); eficiência do uso da água (WUE); eficiência da carboxilação ($EICI$); área foliar (LA); massa fresca do caule ($Fresh_T$); massa fresca das folhas ($Fresh_L$); massa fresca da parte aérea ($Fresh_S$); massa seca do caule ($Stem$); massa seca total ($Total$); massa seca das folhas ($Leaf$). Tratamentos: C: controle; A: microalga; M: microalga + rizobactéria; R: rizobactéria.

A análise de correlação apresentada na Figura 8 evidenciou a existência de associações positivas e negativas entre as variáveis fisiológicas e biométricas avaliadas nas plantas de manjericão, permitindo compreender melhor as relações entre crescimento vegetal, atividade fisiológica e produção de biomassa.

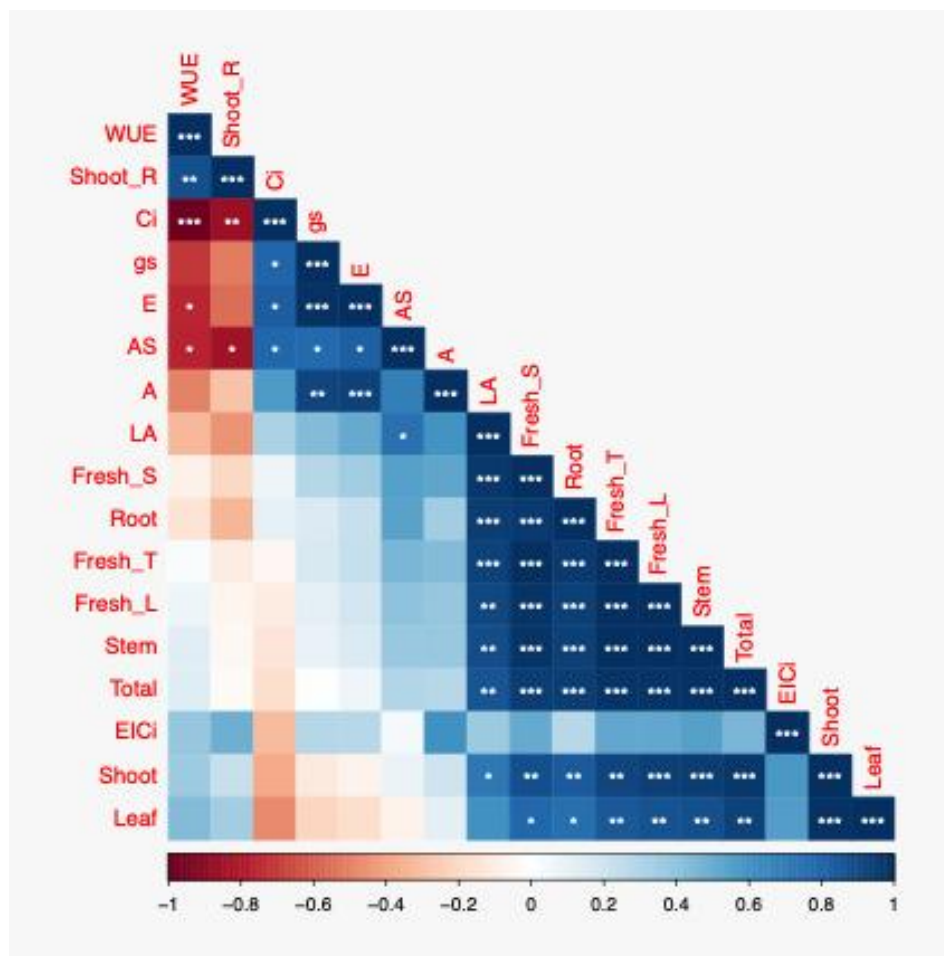


Figura 8. Correlação entre variáveis fisiológicas e biométricas de crescimento de plantas de manjerição submetidas à aplicação de microalga e rizobactéria. Concentração interna de CO₂ (Ci); taxa de assimilação líquida de CO₂ (A); transpiração (E); condutância estomática (gs); eficiência do uso da água (WUE); eficiência da carboxilação (EICI); área foliar (LA), massa fresca do caule (Fresch_T); massa fresca das folhas (Fresch_L); massa fresca da parte aérea (Fresch_S); massa seca do caule (Steam); massas seca total (total); massa seca das folhas (Leaf).

Nas avaliações de fitoquímicos e potencial antioxidante, realizou-se análise multivariada por variáveis Canônicas (Figura 9). A primeira variável canônica explica praticamente toda a variação, ou seja, praticamente toda a diferenciação entre os tratamentos ocorre ao longo do eixo horizontal (Can1), formando dois grupos 1 Grupo à direita (C2_A, C2_R, C2_C, C1_R, C1_C e C1_A) 2 Grupo à esquerda (C2_M e C1_M) sendo que o mix - microalga e rizobactéria (M) apresentaram comportamento bastante distinto dos demais.

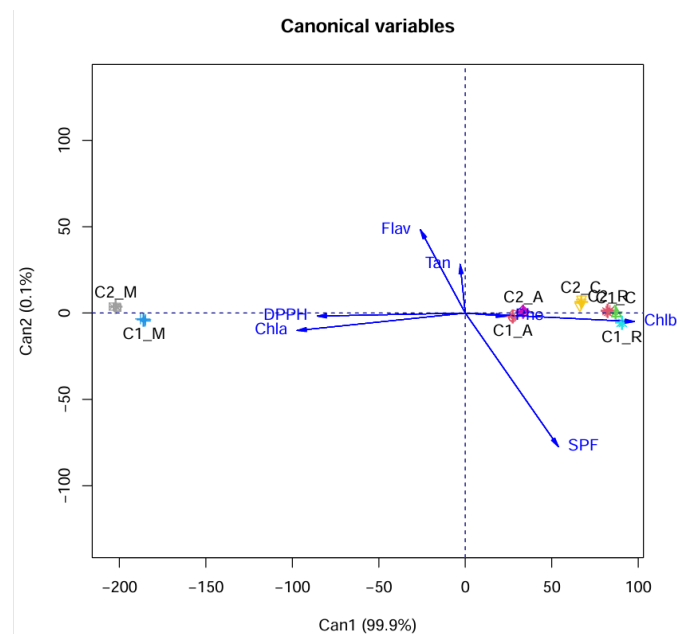


Figura 9. Análise multivariada variáveis Canônicas das variáveis fitoquímicas (bioativos) em folhas de manjeriço em função do sistema biológico (microalga e rizobactéria). Clorofila *a* (Chla); Clorofila *b* (Chlb), flavonóides (Flav); compostos fenólicos (Phe); Taninos (Tan); Atividade antioxidante (DPPH); fator de proteção solar (SPF).

Os resultados de massa fresca total reforçam o potencial das microalgas como promotoras de crescimento em mudas de manjeriço, principalmente quando associadas à melhoria das condições fisiológicas das plantas, o que corrobora como o obtido por Ferreira et al. (2024) para mudas de manjeriço, em que a microalga se mostrou como um eficiente material bioestimulante de crescimento (Tabela 2 e 3)

Essas associações podem estar relacionada a natureza da microalga, que é um microrganismo clorofilado que produz diversos compostos como proteínas aminoácidos essenciais, lipídios, carboidrato, minerais, vitaminas, compostos antioxidantes, carotenoides compostos capazes de alterar a fisiologia e morfologia vegetal (Mendes et al., 2024). No ciclo 1 (estufa) houve um maior acúmulo de massa fresca e seca com a aplicação da microalga, isto pode estar associado à sua capacidade bioestimulante, na qual esses compostos citados acima, e associado a alta concentração de fitormônios de crescimento como as auxinas, também presentes no composto podem ter induzido (Minaoui et al., 2024; Miranda et al., 2024).

No ciclo 2 (telado) a microalga pode ter atuado como um bioestimulante ou como bioprotetor. Isto por que este ambiente pode ter produzido condições de elevada radiação, na qual pode ocorrer a fotoinibição e deste processo ocorrem alterações na taxa de

absorção e transferência de energia para os centros de reação da fotossíntese, o que desencadeia modificações no transporte de elétrons e formação de ROS (espécies reativas de oxigênio) (Mathur et al., 2014).

Por outro lado, a presença das rizobactérias do bioinsumos à base de *B. amyloliquefaciens* e *B. subtilis* também proporcionaram resultados significativos em ambos os ciclos. O *B. amyloliquefaciens* é uma bactéria gram-positiva altamente adaptável, que na agricultura apresenta grande potencial como agente de biocontrole (patógenos do solo), biofertilizante (aumento na assimilação de nutrientes) e promotor de resistência em condições de estresse (Zalila-Kolsi et al., 2023).

O *B. subtilis* é descrito como uma bactéria solubilizadora de nutrientes, produtora de fitormônios, que além de aumentar a atividade microbiana do solo é capaz de reduzir a população de fitopatógenos através de substâncias antimicrobianas (Sarenkova et al., 2026). Essa espécie é conhecida por sintetizar o AIA (ácido indol-3-acético), o composto associado diretamente ao alongamento celular e desenvolvimento geral da planta (Sarenkova et al., 2026).

No presente estudo, os resultados mais significativos com a adição do bioinsumo dessas bactérias foram obtidos para as trocas gasosas. No ciclo 1 para a Ci, A, gs, E e EICi, e, no ciclo 2 para E, gs, A, EICi (Tabela 1). Contudo, no ciclo 2 (telado) esses parâmetros de trocas gasosas não foram convertidos, em acúmulo de massa fresca e seca (Tabela 2 e 3).

A aplicação *C. vulgaris* neste estudo, corroboram como o obtido por Ferreira et al. (2024) para mudas de manjerição, em que a microalga se mostrou como um eficiente material bioestimulante de crescimento (Figuras 10 e 11).

O bioinsumo a base de *C. vulgaris* atuou como um bioestimulante, elevando as características de trocas gasosas e acúmulo de massa fresca e seca, independente do ciclo ou ambiente de cultivo. O bioinsumo de *Bacillus* sp. atuaram nos parâmetros de trocas gasosas, e preservaram a concentração interna de CO₂, a assimilação líquida de CO₂, a condutância estomática e a transpiração do manjerição em condições de cultivo de alta luminosidade e provável estresse (ciclo 2).

As plantas de manjerição de modo geral (Figura 9), quando produzidas com aplicação em conjunto da microalga + rizobactéria, obtiveram um maior teor de bioativos

como clorofila *a* e flavonóides, propiciando uma maior atividade antioxidante, evidenciando a grande influencia dos flavonóides na atividade antioxidante (DPPH), todavia com menor teor de compostos fenólicos e clorofila *b*. Assim, o mix microalga + rizobactéria proporcionou para as plantas de manjerição com um maior valor nutricional (flavonóides ações antioxidantes e anti-inflamatórias). No manjerição, Singh et al. (2013) observaram que a adição de bioinoculantes, com *Bacillus* spp. além de elevar a produção de óleos essenciais, podem aumentar a biomassa e estimular o desenvolvimento radicular.

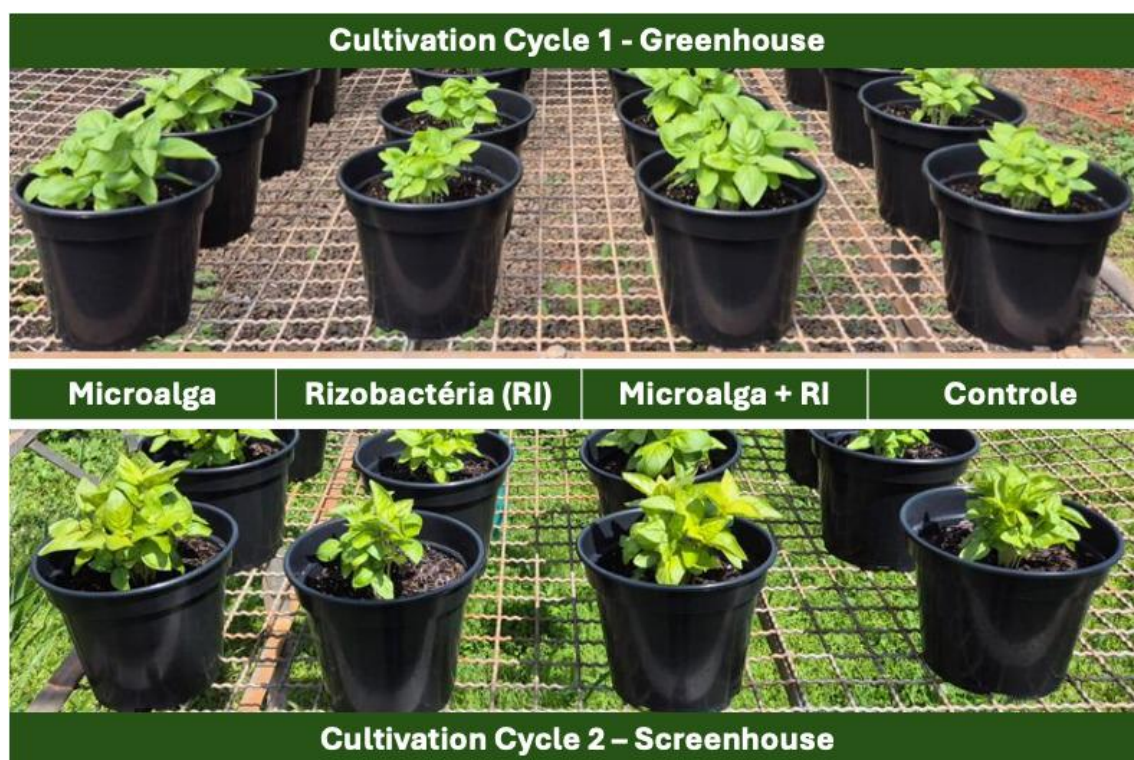


Figura 10. Desenvolvimento vegetativo de plantas de manjerição aos 15 dias após transplântio (DAT), com aplicação de microalga e rizobactéria.



Figura 11. Aspecto visual de plantas de manjeriço no momento da colheita 30 dias após o transplantio (DAT) com aplicação de microalga e rizobactéria.

4. CONCLUSÃO

A aplicação dos bioinsumos influenciou o crescimento, as trocas gasosas e as características fitoquímicas das plantas de manjerição, com respostas distintas entre os ciclos de cultivo.

A microalga *Chlorella vulgaris*, aplicada isoladamente, destacou-se nas características relacionadas à produção de biomassa, proporcionando maior área foliar e maior acúmulo de massa fresca, sendo uma alternativa promissora para sistemas de produção voltados ao maior desenvolvimento vegetativo.

As rizobactérias promoveram maiores respostas nas trocas gasosas, especialmente na assimilação líquida de CO₂, enquanto a aplicação conjunta dos bioinsumos apresentou potencial para favorecer características fitoquímicas.

A escolha do bioinsumo deve considerar a finalidade da produção, destacando-se a microalga para maior produção de biomassa e as rizobactérias para o favorecimento das trocas gasosas. Novos estudos são necessários para confirmar os efeitos da aplicação conjunta sobre as características fitoquímicas do manjerição.

5. REFERÊNCIAS

- ARAUJO, S. E. E. S.; BALSAMO, R. **Biossegurança aplicada à produção de bioinsumos: estratégia para redução do uso de insumos sintéticos**. Curso de Agronomia, 2023. DOI: 10.34117/bjdv6n8-380.
- DORES, G. H. S.; VALENTE, C. O.; GUATIMOSIM, E. . Estufas de baixo custo aplicadas à produção de hortaliças pela agricultura familiar. *Cadernos de Agroecologia*, São Cristóvão, v. 15, n. 2, 2020
- FERRANTE, A.; MARIANI, L. Agronomic Management for Enhancing Plant Tolerance to Abiotic Stresses: High and Lo Values of Temperature, Light Intensity, and Relative Humidity. *Horticulturae*, v. 4, n. 3, p. 21, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae4030021>
- FERREIRA, A. P. N. et al. **Produção de melão com aplicação de bioestimulante a partir de biomassa de *Chlorella* sp.** 34º CONIRD, 9º Inovagri International Meeting e 5º SBS-Agris, 2025.
- FERREIRA, E. S.; BINOTTI, F. F. da S.; BINOTTI, E. D. C.; COSTA, E.; VENDRUSCOLO, E. P.; DE LIMA, S. F.; COLI NETO, F. A. Potentiating *Chlorella vulgaris* bioinput as a growth biostimulant in the production of basil seedlings with the addition of vitamin B₃. *Alga Researche*, v. 83, p. e103706, 2024. DOI: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211926424003187>
- FREITAS, P. S. P. M. **Produção de manjerição (*Ocimum basilicum* cv. Cinnamon) no outono-inverno em sistemas de cultivo e adubações**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2022.
- GUEDES, I. M. R. et al. Cultivo protegido de hortaliças em solo e em substrato. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 45, n. 326, p. 30-37, 2024.
- MANSUR, J. S., BREDER, M. N. R., MANSUR, M. C. A.; AZULAY, R. D.; 1986. Determinação do Fator de Proteção Solar por Espectrofotometria. *Anais Brasileiros de Dermatologia*, 61(3): 121-124.
- MATHUR, S.; AGRAWAL, D.; JAJOO, A. Photosynthesis: Response to high temperature stress. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, v. 137, p. 116-126, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2014.01.010>
- MAZARO, S. N. et al. Desafios na adoção de bioinsumos. In: MEYER, M. C. et al. **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília: Embrapa Soja, 2022. p. 3-12.
- MENDES, A. R.; SPÍNOLA, M. P.; LORDELO, M.; PRATES, J. A. M. Chemical Compounds, Bioactivities, and Applications of *Chlorella vulgaris* in Food, Feed and Medicine. *Applied Sciences*, v. 14, n. 23, p. e10810, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/app142310810>

- MINAOUI, F.; HAKKOUM, Z.; CHABILI, A.; DOUMA, M.; MOUHRI, K.; LOUDIKI, M. Biostimulant effect of green soil microalgae *Chlorella vulgaris* suspensions on germination and growth of wheat (*Triticum aestivum* var. Achtar) and soil fertility. **Algal Research**, v. 82, p. e103655, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103655>
- MIRANDA, A. M.; HERNANDEZ-TENORIO, F.; VILLALTA, F.; VARGAS, G. J.; SÁEZ, A. A. Advances in the Development of Biofertilizers and Biostimulants from Microalgae. **Biology**, v. 13, n. 3, p. 199, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology13030199>
- OLIVEIRA, R. A.; JUNQUEIRA, D. I.; SANTOS, R. F. Biofertilizante à base de microalgas testado na germinação de sementes de *Lactuca sativa* L. (Alface Americana). **Acta Biologica Brasiliensia**, v. 7, n. 2, p. 151-162, 2024.
- OLIVEIRA, L. V. **Os impactos causados pela guerra entre Rússia e Ucrânia na comercialização de fertilizantes no Brasil**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão do Agronegócio) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha, Campus Santo Augusto, Santo Augusto, RS, 2024.
- RAMOS, A. R. et al. Bioestimulante no condicionamento fisiológico e tratamento de sementes de feijão. **Revista Biociências**, v. 21, n. 1, p. 76-88. Taubaté, 2015.
- RONGA, D. et al. Microalgal Biostimulants and Biofertilisers in Crop Productions. *Agronomy*, 2019. Doi:10.3390/agronomy9040192.
- SARENKOVA, I.; RAZANAKOTO, O. R.; KREKE-KALNINA, S.I.; ULME, K. The role of *Bacillus subtilis* in promoting plant growth under diverse agricultural and environmental conditions. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, v. 25, n. 41, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1007/s44447-026-00128-w>
- SAYRE, R. M., AGIN, P. P., LEVEE, G. J., MARLOWE, E., 1979. A comparison of in vivo and in vitro testing of sunscreens formulas. *Photochemistry and Photobiology* 29 (3), 559–566. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1979.tb07090.x>.
- SILVA, J. E. et al. Eficiência de substratos orgânicos no desenvolvimento do manjeriço (*Ocimum basilicum* L.). **Diversitas Journal**, v. 5, n. 3, p. 1442-1450. Santana do Ipanema, 2020.
- SILVA, K. G. V. C.; ESPOSITO, E. Inoculação individual e combinada de *Bacillus* sp. em sementes de hortaliças orgânicas: bioinsumos para o manejo sustentável. **Avanços da Pesquisa e Inovação em Sistemas Agrícolas: Conjunturas da Ciências Agrárias**, v. 4, p. 81-98, 2025. Doi: 10.37885/250819996.
- SOUZA, R. V. **Produção de manjeriço na primavera verão em sistema de cultivo e adubações**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.
- SOUSA, E. B. de. Respostas morfofisiológicas de plântulas de soja ao bioinsumo à base de *Bacillus* spp. 2025. 31 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia)

— Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, Rio Verde, 2025.

STOLTE, L. M. Influência de *Bacillus* spp. na promoção de crescimento de plantas de arroz. 2019. 29 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) — Universidade Federal do Pampa, Itaquí, 2019.

WU, W. CHEN, L.; LIANG, R.; HUANG, S.; LI, X.; HUANG, B.; LUO, H.; ZHANG, M.; WANG, X.; ZHU, H. The role of light in regulating plant growth, development and sugar metabolism: a review. **Frontiers in plant science**, v. 15, p. 1507628, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1507628>

YOKOTA, L. H. T. et al. Adubação foliar no desenvolvimento e produção de óleo essencial de manjerição. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 4, p. 975-979, Campinas, 2015.

ZAGOTO, M. Atividades biológicas do óleo essencial de manjerição: uma revisão das evidências atuais. In: *Ciências Biológicas: fundamentos da vida e biodiversidade*. [S. l.: s. n.], 2026. cap. 3, p. 21-25. DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.988112512023>.

ZALILA -KOLSI, I.; BEM-MAHMOUND, A.; BARAZIE, R. A. *Bacillus amyloliquefaciens*: Harnessing Its Potential for Industrial, Medical, and Agricultural Applications—A Comprehensive Review. **Microorganisms**, v. 11, n. 9, p. e2215, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11092215>