

Editores

Jorge Luiz Barcelos Oliveira

Rosandro Boligon Minuzzi

ANAIS



XV ENCONTRO e VII SIMPÓSIO
LATINO-AMERICANO
DE HIDROPONIA

(RESUMOS EXPANDIDOS)

Universidade Federal de Santa Catarina/Laboratório de Hidroponia
Florianópolis-SC, 2026.

**24 e 25 de
setembro de 2026
Florianópolis/SC - BRASIL**

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária

da Universidade Federal de Santa Catarina

- E56a Encontro Latino-Americano de Hidroponia (15. : 2026 : Florianópolis,SC)
Anais do XV Encontro Latino-Americano de Hidroponia e VII Simpósio Latino Americano de Hidroponia [recurso eletrônico] / [editores], Jorge Luiz Barcelos Oliveira, Rosandro Boligon Minuzzi. [7. ed.]. – Florianópolis : UFSC/Laboratório de Hidroponia, 2026.
117 p. : il., fots., gráfs.

E-book (PDF)
ISSN 2448-1807
1. Hidroponia – congressos. 2. Hortaliças – cultivo. 3. Cultivo protegido. I. Simpósio Latino Americano de Hidroponia (7. : 2026 : Florianópolis, SC). II. Oliveira, Jorge Luiz Barcelos. III. Minuzzi, Rosandro Boligon. IV. Título.

CDU: 631.589

Elaborada pelo bibliotecário Alexandre Pedro de Oliveira – CRB-14/1167

XV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE HIDROPONIA

VII SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE HIDROPONIA

ANAIS DE RESUMOS EXPANDIDOS
ISSN 2448-1807

Realização:

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Laboratório de Hidroponia – LabHidro

Apoio:

Grupo HidroGood

Hortivinyl

Florianópolis-SC, Brasil

2026

XV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE HIDROPONIA

VII SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE HIDROPONIA

ANAIS DE RESUMOS EXPANDIDOS

Coordenador:

Prof. Dr. Jorge Luiz Barcelos Oliveira

Vice-coordenador:

Prof. Dr. Pedro Roberto Furlani

Comissão científica

Presidente:

Prof. Dr. Rosandro Boligon Minuzzi

Revisores:

Camila Pimentel Martins, Fernando Cesar Sala, Juliano Galina, Luciano Tártaro, Luís Fernando Moreira, Marta Simone Mendonça Freitas, Renês Pinheiro, Sérgio Ricardo Rodrigues de Medeiros, Suélin Rover, Tatiana Duarte.

Sumário

Nutrição de plantas	
Comportamento do cultivo de morangueiro sem solo com o uso de bioestimulantes e redução dos níveis de cálcio e fósforo Mário C. PALOMBINI, Pedro PALENCIA, Johnnatan Duarte de FREITAS, Jessé Marques S. J. J. PAVÃO	7
Doses de nitrogênio nanoformulado via foliar melhora as trocas gasosas foliares em alface hidropônica com redução da adubação nitrogenada Carlos Eduardo da Silva OLIVEIRA, Lucas Roberto Machado SIMÕES, Evelin Camargo GARCIA, Saulo Antônio Sodré BARBOSA, Eduardo Pradi VENDRUSCOLO	12
Avaliação Comparativa do Crescimento de Alface em Sistema Hidropônico Floating Caseiro: Solução Nutritiva Comercial vs. Biofertilizante de Compostagem Doméstica Walber Carvalho MELO, Sergio Eduardo Cabo Pereira DA SILVA, Diana Ferreira BARBOSA	16
Resposta do manjerição à inoculação Azospirillum brasiliense com restrição de nitrogênio em sistema hidropônico NFT Mariana Cristina BARBOSA, Felipe Marcato dos SANTOS, Gabriela Tonini de Oliveira ANDRADE, Carlos Eduardo de Silva OLIVEIRA, Marcelo Carvalho Minhoto TEIXEIRA FILHO	22
Manjerição inoculado com Azospirillum brasiliense e restrição de nitrogênio em sistema hidropônico floating Felipe Marcato dos SANTOS, Mariana Cristina BARBOSA, Gabriela Tonini de Oliveira ANDRADE, Carlos Eduardo de Silva OLIVEIRA, Marcelo Carvalho Minhoto TEIXEIRA FILHO	29
Caracterização do cultivo de Peixinho em sistema hidropônico tipo Nutrient Film Technique Marialva Alvarenga MOREIRA, Antonio Henrique de SOUZA, Carla do Carmo MILAGRES, Sanzio Mollica VIDIGAL, Marinalva Woods PEDROSA	35
Redução do acúmulo de nitrato em couve-flor por meio da aplicação foliar de molibdênio Mayane de Souza BARBOSA, Jailson OLIVEIRA, Sânzio Mollica VIDIGAL, Paulo Roberto CECON, Herminia Emília Prieto MARTINEZ	42
Inoculação com Azospirillum brasiliense e redução da adubação nitrogenada em manjerição cultivado em sistema semi hidropônico Marcelo Carvalho Minhoto TEIXEIRA FILHO, Mariana Cristina BARBOSA, Gabriela Tonini de Oliveira ANDRADE, Felipe Marcato dos SANTOS, Carlos Eduardo de Silva OLIVEIRA	47
Produção vegetal	
Análise econômico-financeira de um sistema de cultivo hidropônico: estudo de caso para a Ilha de São Luís, Maranhão Eduardo Ferreira RODRIGUES, Leonardo Victor Moreira CONCEIÇÃO, Helton Fernandes FERREIRA	53
Extrato aquoso de Kappaphycus alvarezii: efeito bioestimulante do crescimento e da regulação do metabolismo de manjerição em cultivo hidropônico Bruno Adriano SILVEIRA, Aline NUNES, Pedro Correia BAVARESCO, Felipe de Souza DUTRA, Camila Pimentel MARTINS, Alex Ricardo SCHNEIDER, Eva Regina OLIVEIRA, Gadiel Zilto AZEVEDO, Jorge Luiz Barcelos OLIVEIRA, Giuseppina Pace Pereira LIMA, Marcelo MARASCHIN	58
Potencial bioestimulante do extrato aquoso de Kappaphycus alvarezii no cultivo hidropônico de hortelã-pimenta Pedro Bavaresco CORREIA, Aline NUNES, Bruno Adriano SILVEIRA, Felipe de Souza Dutra, Camila Pimentel MARTINS, Alex Ricardo SCHNEIDER, Eva Regina OLIVEIRA, Gadiel Zilto AZEVEDO, Isabella Feijão de ARAUJO, Jorge Luiz Barcelos OLIVEIRA, Giuseppina Pace Pereira LIMA, Marcelo MARASCHIN	63
Nano-N foliar em manjerição hidropônico sob restrição de nitrogênio: impactos nas trocas gasosas e na biomassa Eduardo Pradi VENDRUSCOLO, Sthela Silva MELO, Gabriela Rodrigues Sant'Ana, Edilson Costa, Carlos Eduardo da Silva OLIVEIRA	68
Crescimento de plantas de alface sob aplicação foliar de doses de nano-nitrogênio em cultivo hidropônico Lucas Roberto Machado SIMÕES, Evelin Camargo GARCIA, Eduardo Pradi VENDRUSCOLO, Cássio de Castro SERON, Carlos Eduardo da Silva OLIVEIRA	74
Bioestimulante a base de alga e nicotinamida sobre as trocas gasosas de alface hidropônica Evelin Camargo GARCIA, Carlos Eduardo da Silva OLIVEIRA, Flávio Ferreira Silva BINOTTI, Eliana Duarte Cardoso BINOTTI, Eduardo Pradi VENDRUSCOLO	79
Nano nitrogênio foliar potencializa o crescimento e a produção de massa fresca do manjerição cultivado em hidroponia com restrição de nitrogênio Lucilene Silveira COIMBRA, Sthela Silva MELO, Flávio Ferreira Silva BINOTTI, Eduardo Pradi VENDRUSCOLO, Carlos Eduardo da Silva OLIVEIRA	84
Resposta de grupos varietais de alface à suplementação luminosa com LEDs em cultivo hidropônico Maria Inês DIEL, Tatiele da Silva REINSTEIN, Felicya Bárbara HORST, Ester Nicolly Ferreira MOTA, Laura Ferreira HEINEN	90
Caracterização do cultivo de plantas alimentícias não convencionais e aromáticas em sistema hidropônico tipo Nutrient Film Technique Marinalva Woods PEDROSA, Antonio Henrique de SOUZA, Wendel Amador Vieira dos SANTOS, Júlia dos Santos MOREIRA, Marialva Alvarenga MOREIRA	95
Avaliação morfofisiológica de genótipos tropicalizados de alface em sistema aeropônico indoor sob diferentes espectros de luz LED Bruno Dourado RODRIGUES, Artur Simão LEMOS, Fabia Barbosa DA SILVA, Alexia Giulia Vasques SILVA, Fabiano Guimarães SILVA	102
Luz branca amplia o crescimento e a frutificação de minitomateiros em cultivo indoor aeropônico Porfírio Américo Nunes ROSA, Paula Sperotto Alberto FARIA, Fábica Barbosa DA SILVA, Paulo Mununu João PEDRO, Fabiano Guimarães SILVA	107

Tecnologia	
Modelagem de negócio e transferência de tecnologia na agricultura vertical urbana Artur Simão Lemos, Altair Dias de Moura, Paulo André Aires Medeiros, Bruno Dourado Rodrigues, Fabiano Guimarães Silva	113

Para localizar nomes de autores ou assuntos ao longo dos Anais, utilizar o recurso “Localizar” do leitor de texto.

Comportamento do cultivo de morangueiro sem solo com o uso de bioestimulantes e redução dos níveis de cálcio e fósforo.

Mário C. PALOMBINI¹, Pedro PALENCIA², Johnnatan Duarte de FREITAS³, Jessé Marques S. J. J. PAVÃO³

¹ Pesquisador da Empresa Agrícola Resíduo Zero (RZ agro). E-mail: vermelhonatural@hotmail.com

² Professor do Departamento de Biologia de Organismos e Sistemas (University of Oviedo).

³ Professor do Instituto Federal de Alagoas (IFAL).

⁴ Consultor da Empresa Agrícola Resíduo Zero (RZ agro)

Resumo: O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial agrônomo do morango (*Fragaria x ananassa* Duch.) com a integração de bioestimulantes e redução de nutrientes na fertirrigação. O experimento analisou as variações nutricionais de cálcio (Ca) e a inoculação do bioestimulante *Bacillus amyloliquefaciens* em plantas expostas à presença de *Rhizophagus irregularis* e com disponibilidade reduzida de fósforo (P). Os três tratamentos testados foram: Ri, o controle, consistindo em solução nutritiva com 30% de redução de P e aplicação do fungo micorrízico arbuscular (FMA) *Rhizophagus irregularis*; Ri+Ba, consistindo em solução nutritiva com 30% de redução de P e aplicação de *R. irregularis* e *B. amyloliquefaciens*; e Ri-Ca, consistindo em solução nutritiva com 30% de redução de P e 40% de redução de Ca, e aplicação de *R. irregularis*. Os resultados mostraram que a aplicação de uma solução nutritiva com disponibilidade reduzida de Ca e P em um substrato inoculado com *R. irregularis* aumentou a absorção de NH_4^+ e a produção do metabólito secundário 1-butanol, 3-metil-, com o efeito combinado de aumentar o número de gemas e a produção de frutos. O tratamento com *B. amyloliquefaciens* não produziu variações significativas.

Palavras-chave: *Rhizophagus irregularis*; *Bacillus amyloliquefaciens*; micorrizas; cálcio; *Fragaria x ananassa* Duch.

Introdução

A produção de morangos exige atenção meticulosa à nutrição e ao manejo. Os fungos micorrízicos arbusculares estabelecem uma simbiose benéfica com as raízes das plantas, aumentando a área de superfície para absorção de nutrientes e água, o que é crucial para o desenvolvimento do morango (COCKERTON et al., 2020). Portanto, o uso de fungos micorrízicos arbusculares pode representar uma estratégia eficaz para otimizar a produção de morangos e reduzir o uso de insumos químicos. O objetivo deste experimento foi analisar, em sistema hidropônico, o potencial agrônomo sob duas condições: com diferentes níveis de cálcio e fósforo, e em substrato inoculado com os bioestimulantes *Rhizophagus irregularis* e *Bacillus amyloliquefaciens*.

Material e Métodos

A cultivar 'Albion' foi utilizada como material vegetal para a pesquisa. O trabalho foi realizado de julho (inverno) de 2022 a maio (outono) de 2023. O substrato utilizado foi fibra de coco granulada. O estudo compreendeu três tratamentos: (1) Ri, o controle, consistindo em uma solução nutritiva com redução de 30% no teor de fósforo (P) e inoculação com *Rhizophagus irregularis*; (2) Ri+Ba, uma solução nutritiva com redução de 30% no teor de P e inoculação com *R. irregularis* e *Bacillus amyloliquefaciens*; e (3) Ri-Ca, uma solução nutritiva com redução de 30% no teor de P, redução de 40% no teor de cálcio (Ca) e inoculação com *R. irregularis*. A solução nutritiva utilizada foi uma

modificação da formulação de Steiner (1961). O experimento foi delineado em blocos casualizados completos com quatro plantas por bloco e três repetições. O plantio ocorreu em 5 de julho de 2022. *R. irregularis* foi aplicado em 5 de julho de 2022, 12 de julho de 2022, 9 de agosto de 2022, 22 de agosto de 2022, 6 de março de 2023 e 10 de maio de 2023, com 20 ml de água por planta, na concentração de 1000 esporos por planta. *B. amyloliquefaciens* foi aplicado em 26 de julho de 2022, 9 de agosto de 2022, 22 de agosto de 2022 e 12 de dezembro de 2022, também com 20 ml de água por planta, na concentração de 20×10^7 esporos por planta. Amostras de tecido vegetal foram coletadas para analisar as concentrações de nutrientes durante períodos de alta produtividade e em duas fases: desenvolvimento do sistema radicular, em 6 de dezembro de 2022, e maturação fisiológica das raízes, em 5 de fevereiro de 2023. As concentrações de nitrogênio (N-NO_3^-) e amônio (N-NH_4^+) foram analisadas utilizando fotômetros Laquatwin Horiba NO_3 -11 e HI83325 (Hanna Instruments, Washington, EUA), respectivamente. O material vegetal foi coletado para análise por cromatografia gasosa em 5 de fevereiro de 2023. A cromatografia gasosa (CG) foi realizada utilizando um cromatógrafo gasoso acoplado a um espectrômetro de massas, GCMS-QP2010CN Ultra GC/MS (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão). A análise de colonização micorrízica foi realizada em 5 de junho de 2023. O número de coroa (CC) e o diâmetro médio das plantas (DP, cm) foram registrados semanalmente. Para determinar o diâmetro médio da planta, foram medidos os diâmetros equatorial e longitudinal entre as pontas das folhas mais longas. Para avaliar os atributos de produção, os frutos foram pesados individualmente utilizando uma balança de precisão (0,000 kg). Os dados obtidos foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) de um fator. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), com nível de significância de 5%. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SPSS, versão 27.0 (SPSS, IBM, Chicago, IL, EUA).

Resultados e Discussão

Não foram observadas variações significativas em *R. irregularis* entre os tratamentos (Tabela 1). Entre dezembro de 2022 e fevereiro de 2023, as concentrações de NO_3^- na seiva do pecíolo foliar apresentaram reduções significativas ao longo dos meses, sem variação entre os tratamentos, enquanto as concentrações de NH_4^+ apresentaram variações significativas entre os tratamentos, sem variação entre os meses (Tabela 1). As variações de NH_4^+ entre dezembro de 2022 e fevereiro de 2023 variaram entre os tratamentos na seiva do pecíolo foliar: no tratamento Ri-Ca, aumentou de 1105 para 2280 ppm; no tratamento Ri, diminuiu de 1840 para 1490 ppm; e no tratamento Ri+Ba, diminuiu de 1850 para 1552 ppm.

Tabela 1 - Colonização micorrízica da raiz do morangueiro e concentrações de nitrogênio no pecíolo foliar ('Albion') em diferentes períodos.

Mes	CM (%) ¹	NO_3 (ppm)	NH_4^+ (ppm)
Dezembro 2022	56.67±11.55	3383±1003	1599±455
Fevereiro 2023	73.33±25.17	1506±526	1764±501
Significância	NS		
Significância M*T ²		NS	*
Significância M ³		*	NS

Os dados são apresentados como média $\pm$ desvio padrão. *Significativo ao nível de probabilidade de 5% ($p < 0,05$); NS: Não significativo.

¹CM: Percentagem de colonização micorrízica; NO₃: Nitrato; NH₄⁺: Amônio.

²M*T: Importância entre tratamentos e meses.

³M: Importância entre meses.

Nas análises de cromatografia gasosa realizadas em folhas de plantas durante fevereiro de 2023, os tratamentos Ri e Ri+Ba não detectaram nenhuma molécula. No tratamento Ri-Ca, foram detectadas 15 moléculas, representadas principalmente por 1-butanol, 3-metil, que corresponderam a 84,11% das áreas dos picos (Tabela 2).

Tabela 2 - Moléculas detectadas em folhas de plantas ('Albion') com bioestimulante *Rhizophagus irregularis* e redução de cálcio na fertirrigação.

Picos	Moléculas	Área (%)
1	1-Butanol, 3-methyl-	84,11
2	Butanoic acid, ethyl ester	1,56
3	Oxime-, methoxy-phenyl-	0,29
4	1,2-Cyclopentanedione	0,23
5	2-Hydroxy-gamma-butyrolactone	0,43
6	1-Tridecene	0,66
7	Decanoic acid, ethyl ester	0,48
8	Methanone, (1-hydroxycyclohexyl) phenyl-	0,47
9	Tetradecanoic acid	0,43
10	Pentadecanoic acid	0,42
11	Oleic Acid	0,73
12	n-Hexadecanoic acid	6,98
13	Hexadecanoic acid, ethyl ester	0,46
14	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methy	1,71
15	9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	1,04

Durante o período experimental, os atributos de produção e morfológicos apresentaram variações significativas entre os tratamentos Ri e Ri-Ca. O tratamento Ri-Ca apresentou variações significativas na produtividade, diâmetro da planta e número médio de coroas por planta. O tratamento Ri+Ba apresentou valores intermediários em relação à produtividade média por planta e ao número de coroas por planta (Tabela 3).

Tabela 3 - Produtividade média mensal e morfologia da planta de morango ('Albion') com bioestimulantes e redução de nutrientes na fertirrigação.

Tratamentos ¹	PMP (g) ²	DP (cm)	CP (número) ²
Ri	49.12±47.83 b	20.49±3,94 b	1.76±0.66 b
Ri+Ba	61.30±46.84 ab	20.35±3,65 b	1.97±0.56 ab
Ri-Ca	76.24±50.58 a	23.12±3,80 a	2.28±0.80 a
Significância	*	**	*

Os dados são apresentados como média ± desvio padrão. Médias consecutivas com a mesma letra na coluna não diferiram significativamente de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$); **Significativo ao nível de probabilidade de 1% ($p < 0,01$); *Significativo ao nível de probabilidade de 5% ($p < 0,05$); NS: Não significativo.

¹Ri: *Rhizophagus irregularis*; Ri+Ba: *Rhizophagus irregularis* + *Bacillus amyloliquefaciens*; Ri-Ca: *Rhizophagus irregularis* com cálcio reduzido.

²PMP: Produtividade média mensal por planta. DP: Diâmetro da planta; CP: Número médio de coroas por planta.

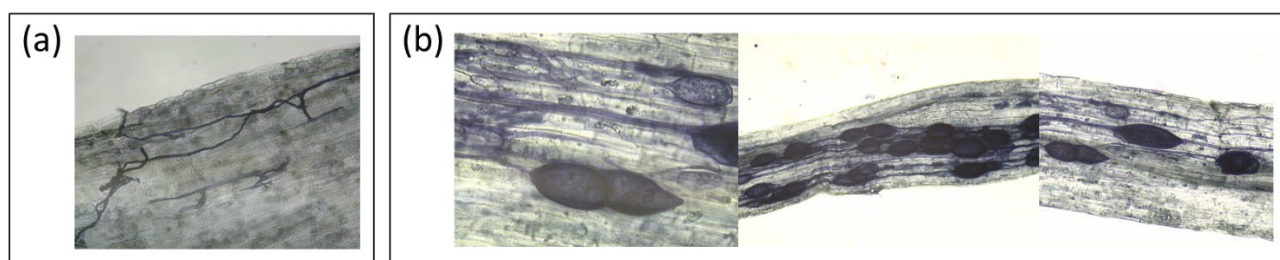


Figura 1 - Hifas, arbúsculos (a) e vesículas (b) de *R. irregularis* em raízes de morango. A figura “a” foi observada em microscópio óptico com aumento de 400x e as figuras “b” foram observadas com aumento de 100x.

O aumento na concentração de NH_4^+ na seiva do pedúnculo foliar durante o tratamento com Ri-Ca (Tabela 1) foi devido ao Ca micelial ser um elemento de sinalização nuclear para o mecanismo de simbiose micorrízica arbuscular (SHI et al., 2023) e à participação do P no transporte de N micorrízico (GOVINDARAJULU et al., 2005). Nas micorrizas (Figura 1), o NH_4^+ é absorvido e armazenado no micélio extrarradical na forma do aminoácido arginina (Arg), que, sendo carregado positivamente, é translocado negativamente do micélio extrarradical para o intrarradical através da formação de polifosfato (poli-P). Posteriormente, no micélio intrarradical, a arginina é decomposta em ureia ou ornitina e fica disponível para a planta quando é convertida em NH_4^+ na interface periárbuscular (JOHANSEN et al., 1996), além de micorrizas apresentarem alta concentração de transportadores de amônio (AMTs), como GintAMTs em *R. irregularis* (SHI et al., 2023), especialmente no micélio extrarradical. Os AMTs também são responsáveis pela transferência de NH_4^+ na interface periárbuscular planta-fungo para a planta hospedeira, pois são induzidos durante a formação micorrízica (HAO et al., 2020).

A maior absorção de NH_4^+ no tratamento Ri-Ca (Tabela 1), juntamente com a formação do metabólito 1-Butanol, 3-metil- (Tabela 2), que é um inibidor do desenvolvimento vegetativo (Duc et al.; 2022), fez com que o tamanho adequado da planta aumentasse a produtividade, o diâmetro da planta e o número de copas (Tabela 3).

Conclusões

A aplicação de uma solução nutritiva com disponibilidade reduzida de cálcio e fósforo em um substrato inoculado com *Rhizophagus irregularis* levou ao aumento da absorção de NH_4^+ e à produção do metabólito secundário 1-butanol, 3-metil-. O efeito combinado da ação inibitória do metabólito sobre o crescimento vegetativo e o aumento da absorção de NH_4^+ resultaram em aumento do diâmetro da planta, do número de coroas e da produtividade. O tratamento com *B. amyloliquefaciens* não produziu variações significativas. Esses tratamentos mostraram-se viáveis para uso em uma estratégia de produção dentro das práticas agronômicas atuais.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer ao Professor José Luís Trevizan Chiomento, da Universidade de Passo Fundo (Brasil), por sua contribuição para a análise da colonização micorrízica das raízes e da morfologia radicular do morangueiro.

Literatura citada

- COCKERTON, L.M. et al. Genetic and phenotypic associations between root architecture, arbuscular mycorrhizal fungi colonization and low phosphate tolerance in strawberry (*Fragaria × ananassa*). **BMC Plant Biology**, v. 20, p. 154, 2020.
- DUC, N.H. et al. Volatile organic compounds shape belowground plant–fungi interactions. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 2980-2991, 2022.
- GOVINDARAJULU, M. et al. Nitrogen transfer in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Nature**, v. 435, p. 819-823, 2025.
- HAO, D. et al. Function and Regulation of Ammonium Transporters in Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 10, p. 3557, 2020.
- JOHANSEN, A. et al. Nitrogen metabolism of external hyphae of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. **New Phytologist**, v. 133, p. 705-712, 1996.
- SHI, J. et al. Mycorrhizal Symbiosis in Plant Growth and Stress Adaptation: From Genes to Ecosystems. **Annual Review of Plant Biology**, v. 74, p. 569-607, 2023.

Doses de nitrogênio nanoformulado via foliar melhora as trocas gasosas foliares em alface hidropônico com redução da adubação nitrogenada

Carlos Eduardo da Silva OLIVEIRA¹, Lucas Roberto Machado SIMÕES², Evelin Camargo GARCIA², Saulo Antônio Sodré BARBOSA² e Eduardo Pradi VENDRUSCOLO¹

¹Professor do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (UEMS). e-mail: eduardo.vendruscolo@uems.br, carlos.eduardo@uems.com

²Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (UEMS). e-mail: lucasrobertosimoess@gmail.com, evelincamargo20122015@gmail.com, saulinho_apore@hotmail.com.

Resumo: A agricultura busca viabilizar a sustentabilidade ambiental buscando novos recursos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de doses de nano-N no desenvolvimento da alface. O experimento foi conduzido na UEMS, em Cassilândia-MS, em casa de vegetação com sistema hidropônico. O delineamento foi em blocos ao acaso, com 4 repetições e 6 tratamentos (0; 2,5; 5,0; 10; 12,5 e 15,0 mL L⁻¹), sob solução com redução de 40% de N. As variáveis fisiológicas concentração interna de CO₂ (Ci), transpiração (E), condutância estomática (gS) e assimilação líquida de CO₂ (A) foram avaliadas por meio de analisador de gases por infravermelho (IRGA). Os dados foram submetidos à análise de regressão. A aplicação de Nano-N influenciou significativamente as trocas gasosas da alface. A concentração interna de CO₂, a transpiração e a condutância estomática apresentaram comportamento quadrático, com valores mínimos estimados nas doses de 4,77; 5,0 e 5,1 mL L⁻¹, respectivamente. A redução dessas variáveis nas doses intermediárias sugere maior eficiência na utilização do CO₂ assimilado e melhor regulação estomática. A assimilação líquida de CO₂ apresentou tendência de aumento nas maiores doses avaliadas, indicando maior atividade fotossintética mesmo sob restrição de nitrogênio. Conclui-se que a aplicação de Nano-N promove ajustes fisiológicos capazes de melhorar a eficiência das trocas gasosas da alface sob redução de 40% do nitrogênio na solução nutritiva, evidenciando seu potencial.

Palavras-chave: Assimilação de CO₂, Mudanças climáticas, Fertilizante nitrogenado, nanotecnologia.

Introdução

A alface é uma das hortaliças mais cultivadas e consumidas no mundo, destacando-se pelo rápido crescimento, aceitação comercial. Dessa forma, o processo fisiológico em especial aqueles relacionados a fotossíntese é fundamental para aumentar as taxas de produtividade e qualidade para a venda (SHI et al., 2022).

Dentre os nutrientes minerais, o nitrogênio é considerado o elemento de maior influência sobre a atividade fotossintética das plantas. Isso ocorre porque ele participa da constituição da clorofila, dos aminoácidos, das proteínas, dos ácidos nucleicos e da enzima Rubisco, responsável pela fixação de carbono durante a fotossíntese (EVANS; CLARKE, 2019). Estudos recentes mostram que a limitação da disponibilidade de nitrogênio reduz a condução estimativa e a capacidade fotossintética da alface, estreitando a relação entre os nutrientes e o desempenho fisiológico da cultura (MOFOKENG et al., 2021). Para He, et al. (2010) a disponibilidade de nutrientes e as condições de cultivo alteram significativamente a assimilação de CO₂ e a eficiência fotossintética em plantas de alface cultivadas em sistema de cultivo de alface.

A nanotecnologia tem sido aplicada na agricultura como desenvolvimento de bioinsumos mais eficientes. A dimensão reduzida de suas partículas, os nano fertilizantes possibilitam a liberação controlada de compostos ambientais. Esse mecanismo tem uma absorção de nutrientes pelas plantas mais lenta, fazendo com que haja uma redução de perdas por lixiviação ou volatilização e, consequentemente, eleva a produtividade das culturas (ABHIRAM, 2023; LIU, et al., 2023).

Compreender o impacto do nano N no desempenho vegetal é fundamental para o desenvolvimento de sistemas mais eficientes e sustentáveis. Diante disso, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação foliar de diferentes concentrações.

Material e Métodos

O experimento foi implantado e conduzido nas dependências da Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade de Cassilândia (Coordenadas 19°05'46"S e 51°48'50"O e altitude de 521 m em relação ao nível do mar). Segundo classificação de Köppen, o clima da região era do tipo tropical chuvoso (Aw), com verão chuvoso e inverno seco (precipitação no inverno menor que 60 mm), com precipitação e temperatura média anual de 1.520 mm e 24,1 °C, respectivamente.

O ambiente utilizado para a condução do experimento é caracterizado como uma estrutura de casa de vegetação, a qual possui dimensões de 14,64 x 6,40 x 3,5 m, antecâmara de 3,66 x 3,20 m, fechada na cobertura e lateral por filme de polietileno de baixa densidade, com 150 microns, difusor de luz, camada dupla, com tela termorrefletora aluminizada de 35% de sombreamento (Aluminet®) sob o filme da cobertura e sistema de climatização do tipo pad/fan Humil Cool (CELDEX®).

O sistema hidropônico foi constituído por uma telha de fibrocimento com dimensões de 2,44 x 1,10 m, contendo seis canaletas para a produção das plantas. O sistema para injeção de solução nutritiva no sistema era composto por um reservatório de 100 L, uma bomba submersa, com capacidade de bombeamento de 2.000 L h⁻¹ e tubulação de meia polegada para distribuição da solução nas canaletas de cultivo. O sistema coletor do excedente de solução foi composto por uma calha de PVC posicionada na parte mais baixa do sistema e um tubo direcionador de PVC para retorno da solução ao reservatório.

O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, composto por seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram compostos pela aplicação de diferentes concentrações de fertilizante foliar a base de nano nitrogênio (0, 2,5, 5,0, 10, 12,5 e 15,0 mL L⁻¹). O fertilizante foliar possui garantia de composição com 25% de nano nitrogênio, com partículas menores que 50 nm. As aplicações foram realizadas a cada dez dias, por meio de jato dirigido sobre as plantas, em volume de 2 mL planta⁻¹. A solução nutritiva utilizada, com redução de 40% sobre a composição de nitrogênio, foi composta por: 7,2% N, 8% P, 30% K, 3% S, 3% Mg, 0.14% Fe, 0.04% B, 0.04% Mn, 0.03% Cu, 0.019% Mo, 0.006% Ni, 0.002% Co, and 15% Ca.

No dia da colheita aos 28 dias após o transplantio das mudas, foram avaliadas as características fisiológicas através das tocas gasosas foliares com o equipamento Infra Red Gas Analyser – IRGA (LCi, ADC Bioscientific, Hertfordshire, UK), serão realizadas em oito plantas aleatoriamente, mensurando a concentração subestomática de carbono (C_i - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s - $\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E - $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), a taxa de fotossíntese líquida (A - $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Os dados foram submetidos à análise de variância, em seguida foi aplicada a análise de regressão às médias das variáveis.

Resultados e Discussão

Observa-se redução da concentração interna de CO₂ nas doses intermediárias de N nanoformulado, com posterior incremento nas dosagens mais elevadas, sendo que o menor valor estimado na dose próxima de 4,8 mL L⁻¹ (Figura 1A). Essa redução inicial pode indicar maior consumo de CO₂ pela atividade fotossintética. Por outro lado, a maior concentração de CO₂ nas doses mais elevadas sugere maior eficiência de assimilação de carbono, que ocorrer durante o aumento da condutância estomática ou de limitações bioquímica da fotossíntese. Na dose de 5,0 mL L⁻¹ do nano-N, observamos menores valores de transpiração indicando que o aumento das concentrações de N nanoformulado modula o balanço hídrico da planta, favorecendo maior fluxo de água através dos estômatos (Figura 1B).

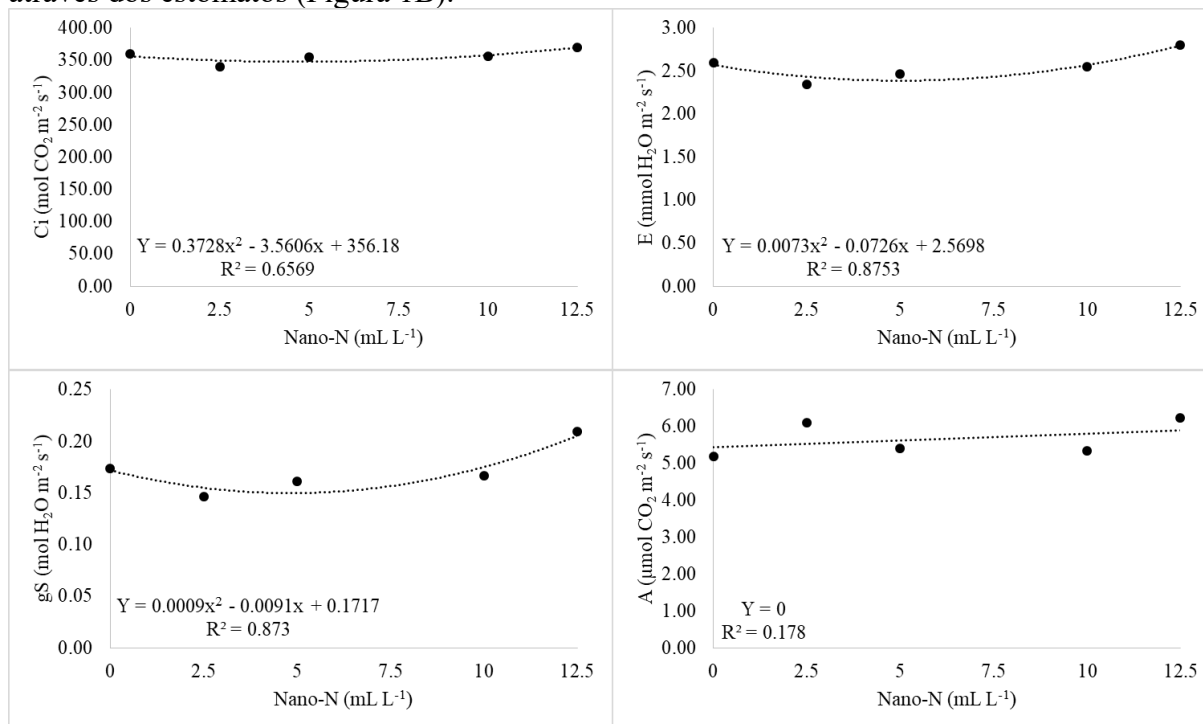


Figura 1 – Concentração de CO₂ intracelular (A), taxa de transpiração (B), condutância estomática (C) e taxa de assimilação de CO₂ (D) em plantas de alface cultivadas sob redução de 40% de nitrogênio na solução nutritiva e tratadas com diferentes concentrações de nano-N foliar.

Assim como observado para transpiração, na dose de 5,1 mL L⁻¹ de Nano-N houve menor condutância estomática, posteriormente, houve um aumento da condutância nas doses mais elevadas (Figura 1C). Como condutância estomática e a transpiração são variáveis fisiologicamente relacionadas, o comportamento semelhante era esperado. O aumento das atividades nas maiores doses sugere que o Nano-N pode favorecer a atividade estomática e melhorar as trocas gasosas. Já para taxa de assimilação líquida de CO₂ não houve uma representatividade com ajuste significativo ($R^2=0,178$) não indicando alterações expressivas na assimilação de carbono durante o período avaliado (Figura 1D). Estes resultados demonstraram que a taxa fotossintética e o crescimento da alface são fortemente dependentes da integração entre disponibilidade de CO₂, intensidade luminosa e difusão gasosa ao redor das folhas. Nesse contexto, a aplicação de N-Nano pode ter potencializado a capacidade fotossintética das plantas por meio do aumento da disponibilidade de nitrogênio para síntese de clorofila, proteínas do

aparato fotossintético e enzimas relacionadas à fixação de carbono, especialmente a Rubisco (HE et al., 2022).

Em síntese, os resultados demonstram que o uso de nitrogênio nanoformulado atua na manutenção da homeostase fisiológica de plantas de alface em sistemas hidropônicos submetidos a restrição nitrogenada. A tecnologia surge como uma alternativa viável para incrementar a eficiência do uso do nitrogênio e mitigar os impactos ambientais associados ao uso de grandes quantidades de fertilizantes convencionais.

Conclusão

A aplicação foliar de nano N nas doses entre 4,7 e 5,1 mL L⁻¹ modulam o comportamento fisiológico de plantas de alface em hidropônicos, sob a redução de 40% do nitrogênio via solução nutritiva. O nitrogênio nanoformulado apresenta potencial técnico para completar o manejo nutricional na olericultura hidropônica, promovendo a otimização do uso de insumos e o desenvolvimento de sistemas produtivos mais sustentáveis.

Agradecimentos

À Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT/MS) pelo financiamento desta pesquisa (Nº. outorga: 227/2024, Nº. SIAFIC: 280) e à Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – (Processo nº 404229/2025-5). À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) Rede Biodiversa Centro-Oeste - Programa CAPES: PDPG-FAP, Processo n. 88887.128945/2025-00. À empresa Alfa Nano Brazil pelo apoio e parceria em pesquisas. À Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) pelo suporte financeiro para a aquisição dos equipamentos utilizados neste estudo. À Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PGAC) da UEMS, Unidade Universitária de Cassilândia.

Literatura citada

- ABHIRAM, G. Contributions of Nano-Nitrogen Fertilizers to Sustainable Development Goals: A Comprehensive Review. **Nitrogen**, v. 4, n. 4, p. 397–415, 2023.
- EVANS, J. R.; CLARKE, V. C. The nitrogen cost of photosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, v. 70, n. 1, p. 7-15, 2019.
- HE, F. et al. Integrative effects of CO₂ concentration, illumination intensity and air speed on the growth, gas exchange and light use efficiency of lettuce plants grown under artificial lighting. **Horticulturae**, v. 8, n. 3, p. 270, 2022.
- HE, J.; LEE, S. K.; DODD, I. C. Effects of elevated root-zone CO₂ and air temperature on photosynthetic gas exchange, nitrate uptake and total reduced nitrogen content in aeroponically grown lettuce plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, p. 3957–3969, 2010.
- MOFOKENG, M. et al. Integrating biostimulants in agrosystem to promote soil health and plant growth. **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, n. 12, p. 1822-1835, 2021.
- SHI, M. et al. Phytochemicals, nutrition, metabolism, bioavailability, and health benefits in lettuce - a comprehensive review. **Antioxidants**, v. 11, n. 6, p. 1-23, 2022.

Avaliação Comparativa do Crescimento de Alface em Sistema Hidropônico Floating Caseiro: Solução Nutritiva Comercial vs. Biofertilizante de Compostagem Doméstica

Walber Carvalho MELO¹, Sergio Eduardo Cabo Pereira DA SILVA², Diana Ferreira BARBOSA³

¹Professor Titular do Departamento de Química (CP2/MEC). E-mail: cmwalber@gmail.com

² Professor do Departamento de Biologia e Ciências (CP2/MEC)

³Geógrafa e Servidora do Colégio Pedro II (CP2/MEC)

Resumo: O presente estudo comparou o crescimento de alface em sistema hidropônico floating caseiro utilizando solução nutritiva comercial e biofertilizante (chorume) proveniente da compostagem doméstica, avaliando seu potencial como alternativa sustentável. As mudas foram cultivadas em sistema floating adaptado, com dois tratamentos em triplicata e condutividade elétrica ajustada para cerca de 1800 ppm. O crescimento foi acompanhado por 21 dias. A compostagem de 18 kg de resíduos orgânicos produziu 2 L de biofertilizante, com condutividade elétrica de 8800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ambos os tratamentos promoveram o desenvolvimento das plantas, porém a solução comercial apresentou maior crescimento, alcançando $8,83 \pm 0,29$ cm, enquanto o biofertilizante atingiu $4,33 \pm 1,04$ cm. O menor desempenho foi associado ao pH elevado do biofertilizante, que pode limitar a absorção de nutrientes. Apesar disso, o biofertilizante sustentou o crescimento da alface, evidenciando potencial como insumo de baixo custo e ambientalmente sustentável. Seu aproveitamento contribui para reduzir resíduos orgânicos destinados a aterros, diminuir a dependência de fertilizantes minerais e fortalecer a economia circular na agricultura urbana.

Palavras-chave: hidroponia orgânica, biofertilizante, compostagem.

Introdução

A cidade do Rio de Janeiro apresenta um volume expressivo na geração de resíduos sólidos urbanos, recolhendo, diariamente, até 8,4 mil toneladas de detritos direcionados ao Centro de Tratamento de Resíduos. Desse total, o lixo essencialmente domiciliar responde por aproximadamente 4,7 mil toneladas diárias. Segundo dados do Estudo de Gravimetria da Comlurb, a fração orgânica desponta historicamente como o principal componente em massa do lixo carioca, correspondendo a 45,92% do total amostrado. Essa predominância evidencia que quase metade do lixo descartado diariamente pelas famílias no Rio é composto por matéria compostável (COMLURB, 2026).

De acordo com as determinações legais (BRASIL, 2010), políticas públicas e novas tecnologias precisam fomentar as diretrizes sobre a obrigatoriedade de distinção entre resíduos recicláveis, rejeitos e a valorização da fração orgânica, pois esta apresenta outros potenciais, como a geração de gás e biofertilizante.

A agricultura urbana em pequenos espaços emerge como uma estratégia vital para a segurança alimentar e sustentabilidade nas grandes metrópoles, como a cidade do Rio de Janeiro (ALTIERI, 2012; SCHMAUTZ, Z. 2021). Paralelamente, a gestão de resíduos sólidos urbanos representa um desafio crítico, onde a fração orgânica, se não gerenciada corretamente em aterros sanitários, contribui significativamente para a

emissão de gases de efeito estufa e contaminação do solo e lençóis freáticos (IBGE, 2020).

Neste contexto, o presente trabalho, desenvolvido no âmbito do curso técnico em Meio Ambiente do Colégio Pedro II, propõe a integração da hidroponia caseira com a compostagem doméstica, fundamentada nos princípios da economia circular. A utilização do chorume (biofertilizante líquido) como solução nutritiva para o cultivo hidropônico, visa reduzir a dependência de insumos químicos comerciais e dar uma destinação nobre a um resíduo doméstico (BRASIL/MMA, 2017). Esta abordagem demonstra a viabilidade de sistemas de produção de alimentos sustentáveis, eficientes e de baixo custo em ambientes urbanos confinados. O estudo compa o crescimento e desenvolvimento de alface (*Lactuca sativa* L.) cultivados em um sistema hidropônico tipo *floating*, avaliando a eficácia comparativa entre uma solução nutritiva comercial padrão e o biofertilizante (chorume) oriundo de composteira doméstica.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em etapas. Inicialmente, procedeu-se à produção das mudas com uso de sementes nuas Feltrin de alface do tipo quarto estações em substrato de espuma fenólica comercial (marca *Green-up*), mantendo-as em ambiente controlado até atingirem o estágio para transplante, com 7 dias. Para a produção de biofertilizante, foi utilizada uma composteira doméstica preta, em PVC, de 60L, contendo 4 módulos de 15L.

Durante um mês foi feita a coleta total de 18 kg de resíduos orgânicos compostáveis, oriundo de uma residência de classe média do Rio de Janeiro, constituída por 4 pessoas. O material foi misturado a 2kg de matéria seca estruturante (serragem), sobre leito de 2 kg de terra contendo minhocas californianas, totalizando uma carga inicial de 22 kg. O modelo hidrológico da compostagem aeróbica considera a partição da massa de água inicial em três rotas biocinéticas: perda por evaporação induzida por calor termofílico (50%), retenção higroscópica na matriz de húmus estabilizado (25%) e percolação gravitacional.

O sistema hidropônico *floating* (FURLANI, 2009) foi construído utilizando potes de sorvete de 1,5 litro como reservatórios, adaptando copos de isopor para flutuação e fixação das mudas. Foram preparados dois tratamentos em triplicata: solução nutritiva comercial (marca Plantpar) e biofertilizante de compostagem. Ambas as soluções foram diluídas e ajustadas para uma eletrocondutividade (Ec) em torno de 1800 ppm, monitorada por condutivímetro portátil Akrom KR60. O experimento teve duração de 21 dias, mantido sob iluminação individual de uma lâmpada Led Grow Full Spectrum (UV +IR) de 28w por 14 h/dia. Os parâmetros de crescimento monitorados foram a quantidade e tamanho das folhas.

Resultados e Discussão

Como produto da lixiviação do volume hídrico dos resíduos orgânicos, quantificou-se uma produção líquida final de 2 L de chorume, compatível com a estimativa. O chorume apresentou pH 9,18 e condutividade elétrica de 8800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.



Figura 1 – Ilustração das etapas de compostagem e obtenção de chorume biofertilizante em composteira doméstica.

Durante o ciclo de cultivo, semanalmente foram coletados dados biométricos das plantas de ambos os tratamentos. A Figura 2 evidencia as etapas de crescimento de uma das plantas analisadas.



Figura 2 – Visualização do crescimento foliar de uma das plantas de alface da variedade quarto estações em solução de biofertilizante diluído.

Na Tabela 1 constam os dados médios de crescimento foliar das triplicadas de alfaces cultivadas em triplicata com biofertilizante e com solução nutritiva comercial.

Tabela 1 - Parâmetros biométricos de alface cultivada em sistema *floating* com diferentes soluções nutritivas

Tempo	Média de Crescimento Biofertilizante (cm)	Desvio Padrão Biofertilizante	Média Crescimento Fert. Químico (cm)	Desvio Padrão Fertilizante Químico
1 dias	1,00	0,00	1,00	0,00
07 dias	2,13	0,12	2,53	0,25
14 dias	3,57	0,12	6,33	0,58
21 dias	4,33	1,04	8,83	0,29

A avaliação do crescimento das plantas ao longo de 21 dias demonstrou que ambos os tratamentos promoveram desenvolvimento vegetal, porém em intensidades distintas. No início do experimento, não houve diferença entre os tratamentos. Aos 14 dias, observou-se um aumento no crescimento em ambos os tratamentos, sendo registrada média de $2,13 \pm 0,12$ cm para o biofertilizante e $2,53 \pm 0,25$ cm para o fertilizante químico.

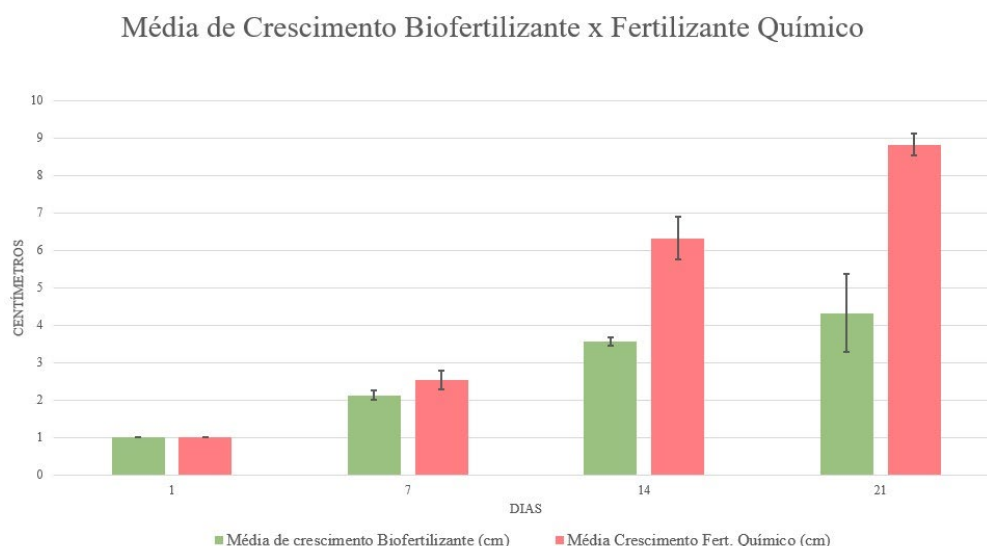


Figura 3 – Evolução biométrica das plantas de alfaces em meio comparativo do biofertilizante com a solução nutritiva comercial.

A partir dos 14 dias, o fertilizante químico passou a apresentar crescimento mais acelerado, atingindo média de $6,33 \pm 0,58$ cm, enquanto as plantas tratadas com biofertilizante alcançaram $3,57 \pm 0,12$ cm. Essa tendência tornou-se ainda mais evidente aos 28 dias, quando o fertilizante químico proporcionou crescimento médio de $8,83 \pm 0,29$ cm, aproximadamente o dobro do observado para o biofertilizante ($4,33 \pm 1,04$ cm).

Apesar do maior crescimento apresentado pelas plantas tratadas com o fertilizante químico, se considerarmos que o biofertilizante é um insumo de custo zero, os dados sugerem que o biofertilizante constitui uma alternativa tecnicamente viável para promover o desenvolvimento vegetal. Além disso, seu uso transforma um passivo ambiental, representado pelos resíduos orgânicos úmidos, em um ativo produtivo, destinado à produção de alimentos, reduzindo simultaneamente a necessidade de aquisição de fertilizantes minerais e contribuindo para práticas mais sustentáveis e alinhadas aos princípios da economia circular.

A provável causa para o crescimento reduzido no biofertilizante foi o pH elevado do chorume (aproximadamente 8,5), fenômeno explicado pelo metabolismo da decomposição pelas minhocas associadas ao gás carbônico e à amônia gerada (PADMAVATHIAMMA *et. al*, 2008). Alfaces preferem pH ligeiramente ácido a neutro (5,5 a 6,5). Um pH acima de 8,0 bloqueia a absorção de nutrientes essenciais (como

ferro, fósforo e manganês), explicando por que, mesmo com uma CE alta (disponibilidade de sais), a planta não conseguiu se desenvolver plenamente.

Apesar de estudos de GOMES & ROCHA (2018) validarem cientificamente a eficácia do uso de chorume estabilizado e comprovarem os aspectos não patogênicos no cultivo de hortaliças, o chorume utilizado foi encaminhado para o Instituto de Agronomia da UFRRJ, para análises da composição de macro e micronutrientes. Essa caracterização subsidiará a avaliação sobre possíveis ajustes nutricionais/minerais necessários ou ao uso de chorumes com valores de Ec mais elevados de modo a se obter os níveis de concentração mineral desejados, conforme orientam outros estudos (MARTINEZ, 2015).

Conclusões

Este estudo comprovou a viabilidade técnica do biofertilizante de compostagem doméstica como substituto da solução comercial na hidroponia de alface (*floating* adaptado), exigindo apenas o aprimoramento do monitoramento de CE, pH e fotoperíodo. Socialmente, a prática viabiliza a produção acessível de alimentos em espaços urbanos reduzidos. Ambientalmente, promove a economia circular ao desviar resíduos orgânicos de aterros no Rio de Janeiro, gerando economia nos custos públicos de coleta e mitigando a poluição do solo e da água. Novos estudos deverão focar na equalização do pH e na relação com a composição mineral evidenciada na caracterização química do chorume.

Agradecimentos

À PROEN/Reitoria, pelo apoio e à Coordenação da Área Verde que, juntamente com a Direção-Geral do campus São Cristóvão III tem criado condições para o projeto no Horto.

Literatura citada

- ALTIERI, M. A. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 5. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2012.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**. Brasília, DF, 2010.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Manual de compostagem doméstica, comunitária e institucional: gestão de resíduos orgânicos**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2017.
- COMPANHIA MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA (COMLURB). **Estudo de gravimetria dos resíduos sólidos domiciliares da cidade do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: COMLURB, 2026.
- FURLANI, P. R. et al. **Cultivo hidropônico de plantas: solução nutritiva, salinidade e manejo de pragas**. Campinas: Instituto Agrônomo (IAC), 2009. (Boletim Técnico, n. 200).
- GOMES, J. M. A.; ROCHA, M. S. Avaliação microbiológica e físico-química de biofertilizantes líquidos para fins de fertirrigação e hidroponia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 4, p. 251-257, 2018.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico: perfil dos resíduos sólidos urbanos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 maio 2026.

MARTINEZ, H. E. P. **O cultivo de plantas em soluções nutritivas: hidroponia.** Viçosa, MG: Editora UFV, 2015.

SCHMAUTZ, Z. Circular economy in urban agriculture: the role of organic waste recycling via home composting for hydroponic food production. *Sustainability*, **Basel**, v. 13, n. 8, p. 4125-4138, 2021.

Resposta do manjeriço à inoculação *Azospirillum brasilense* com restrição de nitrogênio em sistema hidropônico NFT

Mariana Cristina BARBOSA¹, Felipe Marcato dos SANTOS², Gabriela Tonini de Oliveira ANDRADE², Carlos Eduardo de Silva OLIVEIRA³, Marcelo Carvalho Minhoto TEIXEIRA FILHO⁴

¹Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Sistemas de Produção (UNESP/FEIS). E-mail: mariana.c.barbosa@unesp.br

²Estudante de graduação em Engenharia Agrônoma (UNESP/FEIS).

³Centro de Desenvolvimento Sustentável do Bolsão Sul Mato Grossense (UEMS/CEDESU).

⁴Professor do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos (UNESP/FEIS).

Resumo: O manjeriço (*Ocimum basilicum*) possui relevância culinária e medicinal, mas seu cultivo hidropônico em regiões tropicais de clima quente é escasso. Este estudo objetivou avaliar o efeito da inoculação com *Azospirillum brasilense* associada à redução da adubação nitrogenada na nutrição e produtividade do manjeriço em sistema NFT. O delineamento foi em blocos casualizados, com cinco repetições e quatro tratamentos: 100% da dose de N recomendada (100N); 100% de N + *A. brasilense* (A100N); 80% de N (80N); e 80% de N + *A. brasilense* (A80N). A redução do Ca do nitrato de cálcio foi compensada com cloreto de cálcio. A inoculação (estirpes AbV5 e AbV6; 44 mL/100 L) ocorreu no transplantio. Aos 30 dias após o transplantio (DAT), avaliaram-se a massa seca da parte aérea (MSPA) e o acúmulo de nutrientes. A MSPA não diferiu significativamente entre os tratamentos, mostrando que a redução de N não afetou a produção de biomassa; o acúmulo de N foi superior nas doses N recomendada (100N e A100N); para micronutrientes, os maiores acúmulos de B e Fe ocorreram com 100N, enquanto para o Mn foi superior em 100N e A80N. Assim, a redução de 20% na adubação nitrogenada é viável para manter a produtividade; a inoculação com *A. brasilense* pode auxiliar na absorção de macronutrientes, mas evidencia potencial interferência na absorção de micronutrientes.

Palavras-chave: acúmulo de nutrientes, bactéria promotora de crescimento de planta, hidroponia, *Ocimum basilicum* L.

Introdução

Até junho de 2025, o Centro Estadual de Abastecimento do Brasil já havia comercializado 400 mil toneladas de hortaliças (CONAB, 2025). Diante da projeção de que a população mundial atingirá 9,7 bilhões de habitantes até 2050 (FAO, 2025), fica evidente necessidade de uma produção de alimentos mais intensiva, eficiente e em menor espaço (SAUSEN et al., 2020). Nesse cenário, novas tecnologias que reduzem o desgaste ambiental ganham espaço, destacando-se a hidroponia por aliar altas produtividades a um menor impacto ecológico, favorecendo a segurança alimentar global.

Além da produção de alimentos, as plantas aromáticas possuem grande potencial medicinal e condimentar. Estudos comprovam o uso de óleos essenciais de manjeriço (*Ocimum basilicum*), orégano (*Origanum vulgare*), tomilho (*Thymus vulgaris*) e canela-da-china (*Cinnamomum cassia*) no controle de infecções por microrganismos,

mitigando o uso exacerbado de antibióticos. Consumidas também *in natura* por suas propriedades funcionais, essas espécies trazem compostos bioativos com ações antioxidante, antimicrobiana e anti-inflamatória, reforçando sua importância econômica (NOMAN et al., 2025).

O cultivo hidropônico otimiza a produção ao reduzir o ciclo biológico devido à pronta disponibilidade de água e nutrientes, permitindo aumentar em até 50% a densidade de plantas por metro quadrado em relação ao cultivo convencional através do sistema vertical em canaletas ou torres (LÓPEZ MORA et al., 2024). Essa técnica viabiliza a produção contínua ao longo do ano sob ambiente protegido e sem solo, minimizando pragas e patógenos. Contudo, pesquisas sobre o cultivo hidropônico de plantas aromáticas ainda são escassas em regiões tropicais de clima quente.

O manejo da solução nutritiva requer precisão, pois desequilíbrios iônicos podem inibir o crescimento vegetal por toxicidade ou deficiência (NOZZI et al., 2018). Para atenuar esse problema, o uso de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) tem favorecido o desenvolvimento das culturas, reduzindo a condutividade elétrica e a demanda por fertilizantes (MOUROUZIDOU et al., 2023). Esses microrganismos atuam em processos fisiológicos e metabólicos, melhorando o aproveitamento de nutrientes e a resistência a estresses ambientais (BUENO et al., 2017).

Na literatura, destaca-se que *Azospirillum spp.* sintetiza fitormônios que estimulam o crescimento radicular, conforme verificado por Tien et al. (1979). A inoculação com *A. brasilense* eleva a atividade da enzima nitrato redutase foliar, reduzindo os teores de nitrato no tecido (REIS JUNIOR et al., 2008). Adicionalmente, o fornecimento de amônio evita gastos energéticos na redução assimilatória do nitrato, convertendo essa economia em maior acúmulo de biomassa (LUZ et al., 2008). Esses mecanismos proporcionam maior absorção de água e minerais, além de tolerância a estresses (BASHAN; HOLGUIN; DE-BASHAN, 2004). Pressupõe-se, assim, que a inoculação com *A. brasilense* em hidroponia estimulará o desenvolvimento radicular e a eficiência nutricional, permitindo reduzir o aporte de nitrogênio (N).

Assim, o objetivo do trabalho foi entender o efeito da inoculação com *Azospirillum brasilense* associada a redução da adubação nitrogenada, na nutrição e produção de massa seca *Ocimum basilicum* no sistema NFT em região de clima quente.

Material e Métodos

O experimento com manjerição folha fina. foi conduzido em casa de vegetação hidropônica na Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Ilha Solteira - SP (22°25'05" S, 51°20'30" O, altitude de 335 m), sob sombreamento de 35%. O clima local é classificado como Aw (Köppen), com temperatura média anual de 23,5 °C (HERNANDEZ et al., 2023). Utilizou-se um delineamento em blocos casualizados, com cinco repetições e quatro tratamentos: 100% da dose de N recomendada (100N); 100N + *Azospirillum brasilense* (A100N); 80% da dose de N recomendada (80N); e 80N + *Azospirillum brasilense* (A80N). Nos tratamentos com restrição, a redução de 20% do nitrato de cálcio foi compensada em relação ao Ca com cloreto de cálcio.

O sistema hidropônico NFT consistiu em bancadas individuais de 6 m de comprimento, declividade de 10%, seis canais de cultivo espaçados em 20 cm e furos a cada 25 cm. O reservatório individual de 280 L operou com vazão de 1 L min⁻¹ sob fluxo contínuo. A solução nutritiva padrão foi preparada utilizando fertilizantes comerciais (Hidrogood Fert Nacional, Nitrato de Cálcio e Hidrogood Fert Ferro EDDHA 6%). Adicionalmente, suplementou-se 35 mg L⁻¹ de KCl para mitigar o estresse térmico.

A condutividade elétrica (CE) inicial foi de 1,2 dS m⁻¹ e final de 1,5 dS m⁻¹. O pH e a CE foram monitorados e corrigidos diariamente, mantendo-se o pH entre 5,6 e 6,4 com soluções de H₂SO₄ ou NaOH (25%). A inoculação ocorreu apenas no transplantio das mudas de manjerição, utilizando as estirpes AbV5 e AbV6 de *A. brasilense* (2x10⁸ UFC mL⁻¹) na dose de 44 mL por 100 L de solução (OLIVEIRA, 2023a).

Aos 30 dias após o transplantio (DAT), as plantas foram coletadas, secas em estufa de ventilação forçada a 60 °C até massa constante para obtenção da massa seca da parte aérea (MSPA). O material foi moído em moinho tipo Wiley para a determinação das concentrações de macro e micronutrientes, conforme metodologia de Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). O acúmulo de nutrientes foi calculado multiplicando-se a MSPA pela concentração dos nutrientes.

Inicialmente os dados das variáveis foram analisados quanto à distribuição normal e variâncias homogêneas (Shapiro Wilk-Test), em seguida os resultados serão avaliados pela análise de variância (teste F) e teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação de médias dos tratamentos, utilizando-se o programa R Studio.

Resultados e Discussão

Não houve diferença estatística significativa para a MSPA entre os tratamentos (Tabela 1), evidenciando a elevada eficiência técnica do sistema NFT. Como há total disponibilidade de água e nutrientes, a reposição constante e não há perdas por lixiviação ou volatilização, permitindo que a planta supra suas demandas metabólicas mesmo sob restrição de N (REN et al., 2022). A manutenção da biomassa com 80% de N indica um incremento na eficiência do uso do nitrogênio (EUN), corroborando que sistemas hidropônicos bem manejados admitem reduções no aporte químico sem perdas produtivas (VULTAGGIO et al., 2026; RENGANATHAN et al., 2025).

Tabela 1 – Acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea do manjerição aos 30 DAT.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
----- g m ⁻² -----						
100N	14,3 a	3,9	18,8	11,4	1,7	0,9
A100N	14,9 a	3,7	20,6	8,6	1,8	1,0
80N	9,2 b	3,1	16,3	8,2	1,2	0,8
A80N	10,6 b	3,4	13,4	9,3	1,4	0,8
CV (%)	10,4	13,4	16,2	12,8	15,9	14,1
Média	12,2	3,5	17,3	9,4	1,5	0,9
FC	0,0*	0,2 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,2 ^{ns}
Tratamento	B	Cu	Fe	Mn	Zn	MSPA
----- mg m ⁻² -----						kg m ²
--						
100N	12,4 a	8,5	61,4 a	40,9 a	32,2	0,41

A100N	9,7 b	6,3	44,8 b	26,1 b	29,8	0,39
80N	7,6 b	6,1	38,9 b	36,5 ab	26,0	0,35
A80N	8,3 b	6,2	48,4 ab	49,4 a	26,0	0,34
CV (%)	8,5	18,5	11,8	13,3	18,5	12,8
Média	9,5	6,8	48,4	38,2	28,5	0,37
FC	0,0*	0,2 ^{ns}	0,02**	0,01*	0,4 ^{ns}	0,3 ^{ns}

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; B = boro; Cu = cobre; Fe = ferro; Mn = manganês; Zn = zinco; MSPA = massa seca de parte aérea; * = $P < (0,01)$; ** = $P < (0,05)$; ns = não significativo.

Embora o acúmulo de N tenha sido estatisticamente superior nos tratamentos 100N e A100N (Tabela 1), a inoculação com *A. brasilense* promoveu incrementos no acúmulo do nutriente tanto na dose reduzida (de 9,2 para 10,6 g m⁻²) quanto na dose recomendada (de 14,3 para 14,9 g m⁻²). Esse comportamento evidencia a ação promotora da bactéria, que otimiza a assimilação via fixação biológica de nitrogênio e estímulo ao desenvolvimento radicular por fitormônios (CASSÁN; DIAZ-ZORITA, 2016), aumentando a absorção de N.

O acúmulo dos demais macronutrientes e de Cu e Zn na parte aérea do manjeriço não foram influenciados pelos tratamentos, indicando que a redução da dose de N em 20% não compromete a extração de P, K, Ca, Mg e S (Tabela 1).

Quanto aos micronutrientes, os maiores acúmulos de B e Fe ocorreram no tratamento 100N (Tabela 1). A menor translocação desses micronutrientes nos tratamentos inoculados pode decorrer de modificações biológicas na rizosfera. A colonização por *A. brasilense* altera o perfil de exsudação de ácidos orgânicos e altera o pH na interface raiz-solução (CONSENTINO et al., 2022). Como a absorção de Fe e B é altamente dependente do pH micro-localizado, tais variações ou a imobilização temporária no biofilme bacteriano justificam as respostas observadas (PII et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2023b).

Por outro lado, o acúmulo de Mn apresentou elevado acúmulo tanto em 100N quanto no tratamento A80N (Tabela 1). Sob limitação moderada de N, a associação bacteriana pode desencadear mecanismos compensatórios, como a modulação seletiva de transportadores de membrana ou secreção de quelantes específicos (CONSENTINO et al., 2022). Sendo o Mn crucial no fotossistema II, sua maior absorção em A80N sugere uma resposta adaptativa coordenada com as demandas metabólicas da planta intermediada pela bactéria (OLIVEIRA et al., 2025).

Conclusões

O sistema hidropônico NFT, associado à inoculação com *A. brasilense* e ao manejo nutricional diário permite reduzir o aporte de nitrogênio em 20% sem comprometer a produção de massa seca da parte aérea de manjeriço.

A inoculação com *A. brasilense* promoveu incrementos no acúmulo de nitrogênio e modulou diferencialmente a absorção de micronutrientes, com redução na absorção de Fe e B e incremento na absorção de Mn nos tratamentos sob restrição de N.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão da bolsa de Doutorado (Nº Processo 2025/17961-0) e pela bolsa de IC (2026/02437-7).

Literatura citada

BASHAN, Y.; HOLGUIN, G; DE-BASHAN, L. E. *Azospirillum*-plant relations physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 50, n. 8, p. 521-577, 2004.

BUENO, A. C. S. O. et al. Response of photosynthesis and chlorophyll a fluorescence in leaf scald-infected rice under influence of rhizobacteria and silicon fertilizer. **Plant Pathology**, Winnipeg, v. 66, n. 9, p. 1487-1495, 2017. Disponível em: <https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ppa.12690>. Acesso em: 29 jul. 2025.

CASSÁN, F., & DIAZ-ZORITA, M. *Azospirillum* sp. in current agriculture: From the laboratory to the field. **Soil Biology and Biochemistry**, 2016, 103, 117-130. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.08.020>.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento do Brasil. **Boletim Hortigranjeiro**. Brasília, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/hortigranjeiros-prohort/boletim-hortigranjeiro/boletins-hortigranjeiros-2025/boletim-hortigranjeiro-julho-2025.pdf>. Acesso em: 8 ago. 2025.

CONSENTINO, B.B. et al. Grafting Eggplant Onto Underutilized *Solanum* Species and Biostimulatory Action of *Azospirillum brasilense* Modulate Growth, Yield, NUE and Nutritional and Functional Traits. **Horticulturae**, 8, 722, 2022. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8080722>

DALASTRA, C. **Nutrição e produção de alface americana em função da vazão, periodicidade de exposição e condutividade elétrica da solução nutritiva em sistema hidropônico**. 2017. 98 f. Tese (doutorado em agronomia) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Pós-graduação em sistema de produção, 2017.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Food and agriculture projections to 2050**. Global Perspectives Studies. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2025. Disponível em: <https://www.fao.org/global-perspectives-studies/food-agriculture-projections-to-2050/en/>. Acesso em: 10 jun. 2025.

LÓPEZ MORA, M. F. et al. Predictive Model to Evaluate Water and Nutrient Uptake in Vertically Grown Lettuce under Mediterranean Greenhouse Conditions. **Horticulturae**, Switzerland, v. 10, n. 2, p. 117, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/10/2/117>. Acesso em: 28 jul. 2025.

LUZ, G. L. et al. A questão do nitrato em alface hidropônica e a saúde humana. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 2388- 2394, 2008.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba. 1997.

MOUROUZIDOU, S. et al. Introducing the Power of Plant Growth Promoting Microorganisms in Soilless Systems: A Promising Alternative for Sustainable Agriculture. **Sustainability**, Switzerland, v. 15, n. 7, p. 5959, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/7/5959>. Acesso em: 29 jul. 2025.

NOMAN, A. M. et al. Eugenol: An Insight Into the Anticancer Perspective and Pharmacological Aspects. **Food Science & Nutrition**, United States, v. 13, n. 8, p. e70727, 2025.

NOZZI, V. et al. Nutrient Management in Aquaponics: Comparison of Three Approaches for Cultivating Lettuce, Mint and Mushroom Herb. **Agronomy**, Switzerland, v. 8, n. 3, p. 27, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/8/3/27>. Acesso em: 29 jul. 2025.

OLIVEIRA, C. E. S. **Inoculação de rizobactérias em sistema hidropônico na nutrição, produção e qualidade da alface americana**. 2023. 275 f. Tese (doutorado em agronomia) Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2023a. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/242968>. Acesso em: 30 jul. 2025.

OLIVEIRA, C.E.S, et al. Inoculation with *Azospirillum brasilense* Strains AbV5 and AbV6 Increases Nutrition, Chlorophyll, and Leaf Yield of Hydroponic Lettuce. **Plants**, 12, 3107. 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12173107>

OLIVEIRA, C.E.S., et al. Rhizobacteria co-inoculation Methods Improve Grain Yield, Nutrient Absorption and Leaf Gas Exchange in Soybean. **Int. J. Plant Prod.** 19, 469–490 (2025). <https://doi.org/10.1007/s42106-025-00349-z>

PII, Y, et al. Plant-microorganism-soil interactions influence the Fe availability in the rhizosphere of cucumber plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, 2015, 87, 45–52. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.12.014>.

R Core Team **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna <https://www.R-project.org/2015>.

REIS JUNIOR, F. B. et al. Inoculation of *Azospirillum amazonense* in two maize genotypes under different N treatments. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1139-1146, 2008.

REN, X. et al. Growth and Nutrient Utilization in Basil Plant as Affected by Applied Nutrient Quantity in Nutrient Solution and Light Spectrum. **Biology** 2022, 11, 991. <https://doi.org/10.3390/biology11070991>.

RENGANATHAN, P. et al. Nitrogen Fixation by Diazotrophs: A Sustainable Alternative to Synthetic Fertilizers in Hydroponic Cultivation. **Sustainability** 2025, 17, 5922. <https://doi.org/10.3390/su17135922>.

SAUSEN, D. et al. Cultivo fora do solo: uma alternativa para áreas marginais / Soilless cultivation: an alternative for marginal áreas. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 14888–14903, 2020. Acesso em: 10 jun. 2025.

TIEN, T. M.; GASKINS, M. H.; HUBBELL, D. H. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v.37, n.5, p.1016-1024, 1979.

VULTAGGIO, L., et al. Exploring the potential of *Azospirillum brasilense* and *Bacillus subtilis* to improve productivity, quality and nitrogen use efficiency. 2026. **International Journal of Agriculture and Biology**, 100084. <https://doi.org/10.1016/j.ijagro.2026.100084>.

Manjeriço inoculado com *Azospirillum brasilense* e restrição de nitrogênio em sistema hidropônico floating

Felipe Marcato dos SANTOS², Mariana Cristina BARBOSA¹, Gabriela Tonini de Oliveira ANDRADE², Carlos Eduardo de Silva OLIVEIRA³, Marcelo Carvalho Minhoto TEIXEIRA FILHO⁴

¹Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Sistemas de Produção (UNESP/FEIS). E-mail: mariana.c.barbosa@unesp.br

²Estudante de graduação em Engenharia Agrônoma (UNESP/FEIS).

³Centro de Desenvolvimento Sustentável do Bolsão Sul Mato Grossense (UEMS/CEDESU).

⁴Professor do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos (UNESP/FEIS).

Resumo: A planta de manjeriço (*Ocimum basilicum*) possui relevância culinária e medicinal, mas seu cultivo hidropônico em regiões tropicais de clima quente é escasso. Objetivou-se avaliar o efeito da inoculação com *Azospirillum brasilense* associada à redução da adubação nitrogenada na extração de nutrientes e produtividade da cultura no sistema floating. O delineamento foi em blocos casualizados com cinco repetições e quatro tratamentos: 100% da dose de N recomendada (100N); 100% de N + *A. brasilense* (A100N); 80% de N (80N); e 80% de N + *A. brasilense* (A80N). A redução do Ca do nitrato de cálcio foi compensada com cloreto de cálcio. A inoculação desta bactéria foi comestirpes AbV5 e AbV6; 44 mL/100 L apenas no transplantio das mudas. Aos 30 dias após o transplantio (DAT), avaliaram-se a massa seca da parte aérea (MSPA) e o acúmulo de macro e micronutrientes. Para MSPA houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo que o tratamento A100N promoveu menor biomassa; houve acúmulo de N, P, K, Ca, B e Cu nos tratamentos 100N e 80N; não houve efeito significativo para os acúmulos de Mg, S e Fe. Assim, a redução de 20% na adubação nitrogenada é viável para manter a produtividade; a inoculação com *A. brasilense* pode auxiliar na absorção de macronutrientes, mas evidencia potencial interferência na absorção de micronutrientes.

Palavras-chave: acúmulo de macro e micronutrientes, bactéria promotora de crescimento de planta, hidroponia, *Ocimum basilicum* L.

Introdução

Diante da projeção de que a população mundial atingirá 9,7 bilhões de habitantes até 2050 (FAO, 2025), fica evidente a necessidade de uma produção de alimentos mais intensiva, eficiente e em menor espaço (SAUSEN et al., 2020). Até junho de 2025, o Centro Estadual de Abastecimento do Brasil já havia comercializado 400 mil toneladas de hortaliças (CONAB, 2025). Nesse cenário, novas tecnologias que reduzem o dano ambiental ganham espaço, destacando-se a hidroponia por aliar altas produtividades a um menor impacto ecológico, favorecendo a segurança alimentar global.

As plantas aromáticas não são apenas alimentos, mas possuem grande potencial medicinal e condimentar. Estudos comprovam o uso de óleos essenciais de manjeriço (*Ocimum basilicum*), orégano (*Origanum vulgare*), tomilho (*Thymus vulgaris*) e canela-

da-china (*Cinnamomum cassia*) no controle de infecções por microrganismos, mitigando o uso exacerbado de antibióticos. Consumidas também *in natura* por suas propriedades funcionais, essas espécies trazem compostos bioativos com ações antioxidante, antimicrobiana e anti-inflamatória, reforçando sua importância econômica (NOMAN et al., 2025).

A hidroponia otimiza a produção ao reduzir o ciclo biológico devido à pronta disponibilidade de água e nutrientes, permitindo aumentar em até 50% a densidade de plantas por metro quadrado em relação ao cultivo convencional através do sistema vertical em canaletas ou torres (LÓPEZ MORA et al., 2024), o que viabiliza a produção contínua ao longo do ano sob ambiente protegido e sem solo, minimizando pragas e patógenos. Contudo, pesquisas sobre o cultivo hidropônico de plantas aromáticas ainda são escassas em regiões tropicais de clima quente.

Manejar a solução nutritiva requer precisão, pois desequilíbrios iônicos podem inibir o crescimento vegetal por toxicidade ou deficiência (NOZZI et al., 2018). Para atenuar esse problema, o uso de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) tem favorecido o desenvolvimento das culturas, reduzindo a condutividade elétrica e a demanda por fertilizantes (MOUROUZIDOU et al., 2023). Esses microrganismos atuam em processos fisiológicos e metabólicos, melhorando o aproveitamento de nutrientes e a resistência a estresses ambientais (BUENO et al., 2017).

O *Azospirillum spp.* sintetiza fitormônios que estimulam o crescimento radicular, conforme verificado por Tien et al. (1979). Estes mecanismos proporcionam maior absorção de água e minerais, além de tolerância a estresses (BASHAN; HOLGUIN; DE-BASHAN, 2004). Pressupõe-se, assim, que a inoculação com *A. brasilense* em hidroponia estimulará o desenvolvimento radicular e a eficiência nutricional, permitindo reduzir o aporte de nitrogênio (N).

Assim, o objetivo do trabalho foi estudar o efeito da inoculação com *Azospirillum brasilense* associada a redução da adubação nitrogenada, na extração de nutrientes e produção de massa seca *Ocimum basilicum* no sistema Floating em região de clima quente.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido com manjerição de folha fina em casa de vegetação hidropônica na Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Ilha Solteira - SP (22°25'05" S, 51°20'30" O, altitude de 335 m), sob sombreamento de 35%. O clima local é classificado como Aw (Köppen), com temperatura média anual de 23,5 °C (HERNANDEZ et al., 2023). Utilizou-se um delineamento em blocos casualizados, com cinco repetições e quatro tratamentos: 100% da dose de N recomendada (100N); 100N + *Azospirillum brasilense* (A100N); 80% da dose de N recomendada (80N); e 80N + *Azospirillum brasilense* (A80N). Nos tratamentos com restrição, a redução de 20% do nitrato de cálcio foi compensada em relação ao Ca com cloreto de cálcio.

O sistema hidropônico Floating consistiu em caixas d'água de 280 L com uso de isopor para apoio das plantas. Cada caixa d'água operou com bombas que mantiveram a solução em movimento constante para oxigenação. A solução nutritiva padrão foi preparada utilizando fertilizantes comerciais (Hidrogood Fert Nacional, Nitrato de

Cálcio e Hidrogood Fert Ferro EDDHA 6%). Adicionalmente, suplementou-se 35 mg L⁻¹ de KCl para mitigar o estresse térmico.

A condutividade elétrica (CE) inicial foi de 1,2 dS m⁻¹ e CE final de 1,5 dS m⁻¹. O pH e a CE foram monitorados e corrigidos diariamente, mantendo-se o pH entre 5,6 e 6,4 com soluções de H₂SO₄ ou NaOH (25%). A inoculação com a bactéria ocorreu apenas no transplantio das mudas de manjerição, utilizando as estirpes AbV5 e AbV6 de *A. brasilense* (2x10⁸ UFC mL⁻¹) na dose de 44 mL por 100 L de solução (OLIVEIRA, 2023).

Aos 30 dias após o transplantio (DAT), as plantas foram coletadas, secas em estufa de ventilação forçada a 60 °C até a massa constante para obtenção da massa seca da parte aérea (MSPA). O material foi moído em moinho tipo Wiley para a determinação das concentrações de macro e micronutrientes, conforme metodologia de Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). O acúmulo de nutrientes foi calculado multiplicando-se a MSPA pela concentração do nutriente.

Inicialmente os dados das variáveis foram analisados quanto à distribuição normal e variâncias homogêneas (Shapiro Wilk-Test), em seguida os resultados serão avaliados pela análise de variância (teste F) e teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação de médias dos tratamentos, utilizando-se o programa R Studio.

Resultados e Discussão

Os maiores acúmulos de N, P, K, Ca, B, Cu e Mn na parte aérea do manjerição foram constatados no tratamento 80N, porém sem diferir significativamente do tratamento 100N, e o Ca e Cu também do tratamento A80N (Tabela 1). A inoculação com *A. brasilense* não promoveu incrementos no acúmulo de N tanto na dose reduzida em comparação a dose recomendada. O tratamento A100N propiciou a menor quantidade de MSPA do manjerição (0,36 kg m²), quando comparado aos demais tratamentos que estão acima de 0,70 kg m², o que concorda com resultados apresentados por JUÁREZ-LÓPEZ et al. (2022). Os maiores acúmulos de Zn foram observados nos tratamentos 100N, A80N e A100N. Para a extração de Mg, S e Fe não houve efeito significativo entre os tratamentos, assim como observado por DAŞGAN et al. (2022).

Tabela 1 – Acúmulos de macro e micronutrientes na parte aérea do manjerição aos 30 DAT.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- g m ⁻² -----					
100N	23,24 ab	7,58 a	28,50 ab	14,71 ab	2,38	1,77
A100N	13,73 c	3,53 b	19,16 b	8,22 b	2,03	0,87
80N	32,32 a	7,59 a	37,64 a	27,86 a	3,15	2,29
A80N	16,62 bc	4,70 b	26,47 b	16,70 a	2,54	1,8

CV (%)	15,18	9,27	14,13	17,69	36,66	34,81
Média	21,48	5,88	27,94	14,36	2,53	1,68
FC	0,0*	0,0*	0,0*	0,01*	0,5 ^{ns}	0,1 ^{ns}
Tratamento	B	Cu	Fe	Mn	Zn	MSPA
	mg m⁻²					kg m²
100N	14,91 ab	7,52 ab	159,36	51,75 ab	21,84 a	0,73 a
A100N	8,02 c	4,26 b	62,51	34,93 b	18,80 a	0,36 b
80N	19,10 a	8,55 a	128,19	64,20 a	21,30 a	0,79 a
A80N	12,10 bc	7,92 ab	122,13	46,88 ab	13,13b	0,70 a
CV (%)	14,08	19,75	27,77	17,62	7,64	14,64
Média	13,54	7,07	118,05	49,44	18,77	0,65
FC	0,0*	0,0*	0,05 ^{ns}	0,03**	0,0*	0,0*

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; B = boro; Cu = cobre; Fe = ferro; Mn = manganês; Zn = zinco; MSPA = massa seca de parte aérea; * = $P < (0,01)$; ** = $P < (0,05)$; NS = não significativo.

A diferença estatística significativa para a MSPA entre os tratamentos (Tabela 1), pode ser explicada pela constante disponibilidade de água, nutrientes e a reposição diária por meio da solução estoque, além não haver perdas por lixiviação ou volatilização, o que permite que a planta supra suas demandas metabólicas mesmo sob restrição de N (REN et al., 2022). A manutenção da biomassa com 80% de N indica um incremento na eficiência do uso do nitrogênio, corroborando que sistemas hidropônicos bem manejados admitem a redução no aporte de nutrientes, sem perdas produtivas (VULTAGGIO et al., 2026; RENGANATHAN et al., 2025).

Conclusões

As maiores extrações de N, P, K, Ca, B, Cu, Mn e Zn pelo manjeriço foram observadas no tratamento 80N, porém sem diferir significativamente do tratamento 100N, e o Ca, Cu e Zn também do tratamento A80N.

O sistema hidropônico floating, associado ou não à inoculação com *A. brasilense* e ao manejo nutricional diário permite reduzir o aporte de nitrogênio em 20%, sem comprometer a produção de massa seca da parte aérea de manjeriço.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão da bolsa de Doutorado (Nº Processo 2025/17961-0) e pela bolsa de IC (2026/02437-7).

Literatura citada

- BASHAN, Y.; HOLGUIN, G; DE-BASHAN, L. E. *Azospirillum*-plant relations physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 50, n. 8, p. 521-577, 2004.
- BUENO, A. C. S. O. et al. Response of photosynthesis and chlorophyll a fluorescence in leaf scald-infected rice under influence of rhizobacteria and silicon fertilizer. **Plant Pathology**, Winnipeg, v. 66, n. 9, p. 1487–1495, 2017. Disponível em: <https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ppa.12690>. Acesso em: 29 jul. 2025.
- CASSÁN, F., & DIAZ-ZORITA, M. *Azospirillum* sp. in current agriculture: From the laboratory to the field. **Soil Biology and Biochemistry**, 2016, 103, 117–130. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.08.020>.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento do Brasil. **Boletim Hortigranjeiro**. Brasília, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/hortigranjeiros-prohort/boletim-hortigranjeiro/boletins-hortigranjeiros-2025/boletim-hortigranjeiro-julho-2025.pdf>. Acesso em: 8 ago. 2025.
- DALASTRA, C. **Nutrição e produção de alface americana em função da vazão, periodicidade de exposição e condutividade elétrica da solução nutritiva em sistema hidropônico**. 2017. 98 f. Tese (doutorado em agronomia) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Pós-graduação em sistema de produção, 2017.
- DAŞGAN, H. et al. (2022). Effect of biofertilizers on leaf yield, nitrate amount, mineral content and antioxidants of basil (*Ocimum basilicum* L.) in a floating culture. **Scientific Reports**. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24799-x>.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Food and agriculture projections to 2050**. Global Perspectives Studies. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2025. Disponível em: <https://www.fao.org/global-perspectives-studies/food-agriculture-projections-to-2050/en/>. Acesso em: 10 jun. 2025.
- JUÁREZ-LÓPEZ, P. et al. (2022). Growth of 'Sweet Nufar' basil (*Ocimum basilicum* L.) inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi and *Azospirillum brasilense*. **Revista Chapingo Serie Horticultura**. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2022.03.005>
- LÓPEZ MORA, M. F. et al. Predictive Model to Evaluate Water and Nutrient Uptake in Vertically Grown Lettuce under Mediterranean Greenhouse Conditions. **Horticulturae**, Switzerland, v. 10, n. 2, p. 117, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/10/2/117>. Acesso em: 28 jul. 2025.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, Piracicaba. 1997.

MOUROUZIDOU, S. et al. Introducing the Power of Plant Growth Promoting Microorganisms in Soilless Systems: A Promising Alternative for Sustainable Agriculture. **Sustainability**, Switzerland, v. 15, n. 7, p. 5959, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/7/5959>. Acesso em: 29 jul. 2025.

NOMAN, A. M. et al. Eugenol: An Insight Into the Anticancer Perspective and Pharmacological Aspects. **Food Science & Nutrition**, United States, v. 13, n. 8, p. e70727, 2025.

NOZZI, V. et al. Nutrient Management in Aquaponics: Comparison of Three Approaches for Cultivating Lettuce, Mint and Mushroom Herb. **Agronomy**, Switzerland, v. 8, n. 3, p. 27, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/8/3/27>. Acesso em: 29 jul. 2025.

OLIVEIRA, C. E. S. **Inoculação de rizobactérias em sistema hidropônico na nutrição, produção e qualidade da alface americana**. 2023. 275 f. Tese (doutorado em agronomia) Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2023. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/242968>. Acesso em: 30 jul. 2025.

OLIVEIRA, C.E.S., et al. Rhizobacteria co-inoculation Methods Improve Grain Yield, Nutrient Absorption and Leaf Gas Exchange in Soybean. **Int. J. Plant Prod.** 19, 469–490 (2025). <https://doi.org/10.1007/s42106-025-00349-z>.

R Core Team **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna <https://www.R-project.org/2015>.

REN, X. et al. Growth and Nutrient Utilization in Basil Plant as Affected by Applied Nutrient Quantity in Nutrient Solution and Light Spectrum. **Biology** 2022, 11, 991. <https://doi.org/10.3390/biology11070991>.

RENGANATHAN, P. et al. Nitrogen Fixation by Diazotrophs: A Sustainable Alternative to Synthetic Fertilizers in Hydroponic Cultivation. **Sustainability** 2025, 17, 5922. <https://doi.org/10.3390/su17135922>.

SAUSEN, D. et al. Cultivo fora do solo: uma alternativa para áreas marginais / Soilless cultivation: an alternative for marginal áreas. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 14888–14903, 2020. Acesso em: 10 jun. 2025.

TIEN, T. M.; GASKINS, M. H.; HUBBELL, D. H. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v.37, n.5, p.1016-1024, 1979.

VULTAGGIO, L., et al. Exploring the potential of *Azospirillum brasilense* and *Bacillus subtilis* to improve productivity, quality and nitrogen use efficiency. 2026. **International Journal of Agriculture and Biology**, 100084. <https://doi.org/10.1016/j.ijagro.2026.100084>.

Caracterização do cultivo de Peixinho em sistema hidropônico tipo *Nutrient Film Technique*

Marialva Alvarenga MOREIRA¹, Antonio Henrique de SOUZA², Carla do Carmo MILAGRES², Sanzio Mollica VIDIGAL¹, Marinalva Woods PEDROSA¹

¹Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG). E-mail: marialva.moreira@epamig.br

²Bolsista de Desenvolvimento em Ciência, Tecnologia e Inovação FAPEMIG/EPAMIG.

Resumo: O peixinho (*Stachys byzantina* K. Koch) é uma planta alimentícia não convencional (PANC) que tem despertado crescente interesse comercial e científico devido ao seu potencial nutricional e funcional. Sabe-se que as características morfológicas das plantas podem ser influenciadas pelas condições de cultivo, tornando importante sua avaliação em diferentes sistemas de produção. Entre os sistemas de produção, a hidroponia do tipo *Nutrient Film Technique* (NFT) destaca-se pela elevada eficiência no uso da água e dos nutrientes, sendo amplamente empregada na produção de hortaliças. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar os aspectos morfológicos de plantas de peixinho cultivadas em sistema hidropônico do tipo NFT. As plantas apresentaram boa adaptação ao sistema de cultivo, com antecipação do ciclo da cultura, maior produção de biomassa, maior desenvolvimento vegetativo e aumento no número de perfilhos, sem prejuízos na coloração das folhas. Esses resultados evidenciam o potencial do cultivo hidropônico NFT para a produção de peixinho, proporcionando ganhos em produtividade, na propagação e comercialização da espécie. Estudos futuros poderão aprofundar a avaliação das características bioativas das folhas e do sistema radicular, bem como de atributos sensoriais e nutricionais da cultura.

Palavras-chave: biometria, conhecimento tradicional, hidroponia, segurança alimentar e nutricional, *Stachys byzantina* K. Koch.

Introdução

A espécie *Stachys byzantina* K. Koch é uma espécie herbácea perene originária da Turquia, da região do Cáucaso e da Ásia Central. No Brasil, é considerada uma planta alimentícia não convencional (PANC), conhecida popularmente como “peixinho” ou “peixinho-da-horta”, sendo cultivada principalmente nas regiões Sul e Sudeste do país. A espécie atinge aproximadamente 40 cm de altura, com folhas simples e espessas, com comprimento variando entre 5 a 14 cm (KINUPP e LORENZI, 2014). Suas folhas são fontes de vitamina A, compostos antioxidantes, e minerais, como ferro e cálcio (LIMA et al., 2024). Em razão de sua composição química e potencial funcional, o peixinho tem despertado crescente interesse comercial e científico, sendo alvo de estudos relacionados, principalmente, às suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas (BENEDEC et al., 2023).

A caracterização morfológica é uma ferramenta amplamente utilizada para a identificação de espécies, caracterização de germoplasma e distinção entre genótipos e cultivares, devido à facilidade de aplicação, tempo de aquisição dos resultados e ao

baixo custo (MIRANDA et al., 2024). No caso de uma PANC, a caracterização morfológica torna-se ainda mais importante, uma vez que muitas espécies são conhecidas apenas regionalmente e sua correta identificação é fundamental para evitar equívocos ao serem consumidas (PEREIRA et al., 2021). Além disso, diferentes sistemas de cultivo podem influenciar características morfológicas relacionadas ao crescimento e ao desenvolvimento das plantas (BALLIU et al., 2021), tornando necessária sua avaliação.

Entre os sistemas de produção hidropônico, um dos mais utilizados é o do tipo *Nutrient Film Technique* (NFT), caracterizado pelo cultivo das plantas em canais onde uma lâmina de solução nutritiva circula continuamente pelas raízes. Esse sistema apresenta elevada eficiência no uso da água e dos nutrientes fornecidos, além de proporcionar adequada oxigenação radicular, sendo amplamente utilizado na produção de hortaliças (PALMITESSA et al., 2024).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar os aspectos morfológicos de plantas de peixinho (*Stachys byzantina* K. Koch) cultivadas em sistema hidropônico do tipo NFT.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido na Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), no Campo Experimental Santa Rita (CESR), localizado em Prudente de Moraes, Minas Gerais, Brasil, sob condições de casa de vegetação. Foram utilizadas sementes da hortaliça não convencional *Stachys byzantina* K. Koch, adquiridas comercialmente. O semeio foi realizado em areia previamente autoclavada, e o transplântio para os canais de cultivo ocorreu 70 dias após a emergência das plântulas, quando estas apresentavam desenvolvimento adequado para o cultivo hidropônico.

As mudas foram transplantadas para canais contendo solução nutritiva, mantida sob recirculação contínua em sistema hidropônico do tipo NFT. O sistema consistia em um reservatório com capacidade para 300 L de solução nutritiva, conectado a uma motobomba responsável pelo bombeamento da solução para as bancadas de cultivo. Cada bancada era composta por oito canais espaçados em 24 cm, contendo 56 perfurações de 5 cm de diâmetro, distribuídas com espaçamento de 35 cm entre si. Ao final de cada canal, a solução retornava ao reservatório por gravidade, caracterizando um sistema fechado de recirculação.

O pH da solução nutritiva foi mantido entre 5,5 e 6,5, enquanto a condutividade elétrica permaneceu entre 1,8 e 2,0 dS m⁻¹. Ambos os parâmetros foram monitorados diariamente, sendo realizadas reposições de água para compensar as perdas por evapotranspiração e renovação completa da solução nutritiva sempre que necessário.

A solução nutritiva foi preparada conforme a formulação de Furlani (1998), utilizando-se, para um volume final de 300 L de água: 225 g de nitrato de cálcio [Ca(NO₃)₂], 150 g de nitrato de potássio (KNO₃), 45 g de fosfato monoamônico (MAP; NH₄H₂PO₄), 133 g de sulfato de magnésio heptahidratado (MgSO₄·7H₂O), 3,65 g de cloreto férrico (FeCl₃), 5,03 g de EDTA dissódico (Na₂EDTA), 0,45 g de sulfato de manganês monohidratado (MnSO₄·H₂O), 0,45 g de ácido bórico (H₃BO₃), 0,15 g de

sulfato de zinco heptahidratado ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), 0,045 g de molibdato de sódio dihidratado ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e 0,04 g de cloreto de cobre dihidratado ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

As plantas foram coletadas 30 dias após o transplantio (DAT) e foram avaliadas as seguintes características morfológicas: diâmetro do caule, largura da folha, largura máxima da folha, área foliar total e número de perfilhos. As dimensões foliares e a área foliar foram determinadas utilizando um medidor de área foliar portátil. O diâmetro do caule foi obtido com o paquímetro digital e o número de perfilhos foi obtido por contagem direta em cada planta. Adicionalmente, a parte aérea e o sistema radicular foram separados, pesados e secos em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até massa constante (*ca.* 72 h), para determinação de suas respectivas massas de matéria seca.

A análise da cor foi realizada com o auxílio de um colorímetro, utilizando-se o espaço de cor: L* (luminosidade), eixo -a* (*greenness*), eixo b* (*yellowness*), C (*chroma*) e ângulo matiz Hue, seguindo a classificação proposta pela Comissão Internacional de Iluminação (MCLELLAN et al., 1995). A leitura foi realizada após a calibração os padrões branco e preto. O índice SPAD foi determinado usando o medidor portátil de clorofila.

O cultivo foi conduzido sem a utilização de agroquímicos, sendo os tratamentos culturais realizados conforme o desenvolvimento das plantas. Os dados de temperatura média e umidade relativa média do ar na casa de vegetação foram de $29,4 \pm 4,6$ °C e $44,4 \pm 15,6\%$, respectivamente.

Foram avaliadas 20 plantas, selecionadas aleatoriamente dentre um total de 135 plantas cultivadas. A amostragem foi distribuída de forma uniforme entre os cinco grupos de plantas estabelecidos durante o cultivo, com quatro plantas avaliadas por grupo. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, sendo os resultados apresentados como média $\pm$ desvio-padrão.

Resultados e Discussão

Plantas de peixinho apresentaram bom desempenho quando cultivadas em sistema hidropônico do tipo NFT. Observou-se que esse sistema de cultivo parece antecipar o ciclo de desenvolvimento da espécie em relação ao cultivo convencional, resultando em maior produção de biomassa após 30 dias de cultivo (Figura 1 e Tabela 1). Esse desempenho é comparável ao observado em plantas cultivadas em sistema convencional por aproximadamente 60–70 dias. As implicações desses resultados e sua comparação com estudos anteriores são discutidas a seguir.



Figura 1 - Registro das alterações morfológicas visuais em plantas de peixinho cultivadas em sistema hidropônico do tipo NFT. A imagem A (esquerda) corresponde às plantas de peixinho no momento do transplante para os canais de cultivo, enquanto a imagem B (direita) corresponde às plantas 30 DAT. A barra branca no canto esquerdo inferior da imagem representa uma escala de 10 cm.

Tabela 1 - Características de crescimento vegetativo, parâmetros colorimétricos e índice SPAD de plantas de peixinho cultivadas em sistema hidropônico do tipo NFT.

Característica	Média ± Desvio Padrão	Característica	Média ± Desvio Padrão
MF PA (g)	48,7 ± 10,2	Número de perfilhos	8,8 ± 0,8
MF SR (g)	26,5 ± 4	L*	24,6 ± 0,8
MS PA (g)	7,63 ± 1,24	-a*	12,4 ± 0,4
MS SR (g)	2,4 ± 0,3	b*	38,2 ± 1,4
Diâmetro do caule	5,2 ± 0,1	C	40,2 ± 1,5
Área foliar total (cm ²)	1536 ± 254	°Hue	108,1 ± 0,2
Largura da folha (cm)	2,54 ± 0,3	Índice SPAD	33,6 ± 1,2
Larg. máx. da folha (cm)	7,7 ± 1,1		

MF = massa de matéria fresca; MS = massa de matéria seca; PA = parte aérea; SR = sistema radicular; L*: luminosidade; -a*: *greenness*; b*: *yellowness*; C: *chroma*; °Hue: ângulo Hue.

As plantas de peixinho cultivadas em sistema hidropônico do tipo NFT apresentaram maior produção de biomassa fresca e seca em comparação às cultivadas em sistema semi-hidropônico, conforme observado por Mucciolo (2025). Além disso, esse sistema favoreceu a emissão de perfilhos, estruturas responsáveis pela formação de novas plantas. O número de perfilhos produzidos em cultivo hidropônico foi aproximadamente três vezes superior ao observado no cultivo convencional (SILVA, 2025), em que o substrato atua simultaneamente como fonte de nutrientes e suporte para as plantas. Do ponto de vista da propagação comercial, esse resultado é particularmente relevante, pois evidencia o potencial do sistema hidropônico para aumentar a produção de mudas a partir de plantas matrizes, tornando a propagação da espécie mais eficiente e contribuindo para a ampliação do cultivo.

Um sistema radicular robusto e bem desenvolvido, aliado ao maior diâmetro do caule, favorece a absorção e o transporte de água e nutrientes para a parte aérea (POORTER e RYSER, 2015). Como consequência, as plantas apresentaram maior área foliar total e folhas de maiores dimensões (maior largura e largura máxima). Considerando que as folhas constituem a parte comercial de interesse do peixinho, esses resultados são relevantes por indicarem maior potencial produtivo e um produto visualmente mais atraente ao consumidor.

A cor das folhas também é um importante parâmetro de qualidade, pois está diretamente relacionada à percepção visual e à aceitação do consumidor (OLIVEIRA et al., 2021). Considerando que a aparência é o primeiro atributo avaliado no momento da compra, alterações na coloração podem reduzir a atratividade comercial e a intenção de compra da hortaliça (HOPPU et al., 2021). Oliveira et al. (2021) relataram valores de °Hue semelhantes aos observados no presente estudo, indicando que o cultivo hidropônico do tipo NFT mantém características colorimétricas comparáveis às de plantas cultivadas em sistema convencional. A avaliação de parâmetros colorimétricos em sistemas de cultivo controlados apresenta grande potencial para a agricultura de precisão, especialmente no desenvolvimento de sensores capazes de relacionar a qualidade funcional e nutricional das plantas com características de cor, desde que existam correlações consistentes entre esses atributos (CÖMERT et al., 2020). Além dos parâmetros colorimétricos, o índice SPAD apresentou valor médio de $33,6 \pm 1,2$, indicando adequado teor relativo de clorofila nas folhas. Esse resultado é coerente com os valores observados para o parâmetro $-a^*$, que evidenciam a predominância da coloração verde característica da espécie.

Nesse contexto, estudos vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de estabelecer relações entre parâmetros instrumentais de cor e atributos fisiológicos, bioquímicos e nutricionais das plantas, buscando disponibilizar ferramentas rápidas, de baixo custo e não destrutivas para o monitoramento da qualidade vegetal. Para PANC essa abordagem não é novidade. Hossain et al. (2022) mostraram que diferentes condições de cultivo podem influenciar a cor das folhas de plantas de caruru (*Amaranthus lividus*). Essa estratégia pode reduzir a necessidade de análises laboratoriais e de equipamentos complexos, tornando seu uso mais acessível, especialmente para pequenos produtores.

Conclusões

É mostrado que o cultivo de peixinho em sistema hidropônico do tipo NFT é viável e garante a produção de plantas vigorosas, além de favorecer uma maior produção de perfilhos. Trabalhos futuros poderão explorar a produção de compostos bioativos das folhas dessas plantas cultivadas em sistema hidropônico do tipo NFT e também outras características sensoriais das plantas comparadas ao sistema de cultivo convencional e/ou orgânico.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo suporte financeiro e concessão das bolsas.

Literatura citada

- BALLIU, A. et al. Environmental and cultivation factors affect the morphology, architecture and performance of root systems in soilless grown plants. **Horticulturae**, v. 7(8), p. 243, 2021.
- BENEDEC, D. et al. *Stachys* species: Comparative evaluation of phenolic profile and antimicrobial and antioxidant potential. **Antibiotics**, v. 12(11), p. 1644, 2023.

- CÖMERT, E.D. et al. Relationship between color and antioxidant capacity of fruits and vegetables. **Current Research in Food Science**, v. 2, p. 1-10, 2020.
- FURLANI, P.R. Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia NFT. Boletim técnico 168, 1.ed., Campinas: IAC, 1998. 30 p.
- HOPPU, U. et al. Factors related to sensory properties and consumer acceptance of vegetables. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 61(10), p. 1751-1761, 2021.
- HOSSAIN, M.N. et al. Influence of salinity stress on color parameters, leaf pigmentation, polyphenol and flavonoid contents, and antioxidant activity of *Amaranthus lividus* leafy vegetables. **Molecules**, v. 27(6), p. 1821, 2022.
- KINUPP, V.F; LORENZI, H. **Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC) no Brasil**: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas. 1ª ed. Editora: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2014, 768 p.
- LIMA, J.A.D.S. et al. *Stachys byzantina* K. Koch in the treatment of skin inflammation: A comprehensive evaluation of its therapeutic properties. **ACS Omega**, v. 9(50), p. 49899-49912, 2024.
- MCLELLAN, M.R. et al. Hue angle determinations and statistical analysis for multiquadrant Hunter L, a, b data. **Journal of Food Quality**, v. 18(3), p. 235–240, 1995.
- MIRANDA, C.T.C.D.S. et al. Unconventional edible plants of the Amazon: Bioactive compounds, health benefits, challenges, and future trends. **Foods**, v. 13(18), p. 2925, 2024.
- MUCCIOLO, E.S.O. **Avaliação do crescimento e anatomia foliar da *Stachys byzantina* K. Koch (peixinho-da-horta) sob diferentes intensidades luminosas em sistema de cultivo em painéis verticais semi-hidropônicos**. 2025. 42 p. Dissertação (Mestrado) - Fitotecnia, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2025.
- OLIVEIRA, G.C. et al. Influence of packaging on the conservation of quality attributes of lamb's-ear leaves during storage. **Research, Society and Development**, v. 10(6), p. e56210613410-e56210613410, 2021.
- PALMITESSA, O.D. et al. Advancements and future perspectives in nutrient film technique hydroponic system: a comprehensive review and bibliometric analysis. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, p. 1504792, 2024.
- PEREIRA, F.O. et al. **Natural toxins in Brazilian unconventional food plants: uses and safety**. In: Local food plants of Brazil, Cham: Springer International Publishing, 2021, p. 89-114.
- POORTER, H.; RYSER, P. (2015). The limits to leaf and root plasticity: what is so special about specific root length?. **New Phytologist**, v. 206(4), p. 1188-1190, 2015.
- SILVA, K.I.S. **Avaliação de produção de mudas do peixinho (*Stachys byzantina* K. Koch) em diferentes substratos**. 2025. 41 p. Trabalho de Conclusão de Curso

(Graduação) - Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de São João *del*-Rei. Sete Lagoas, 2025.

Redução do acúmulo de nitrato em couve-flor por meio da aplicação foliar de molibdênio

Mayane de Souza BARBOSA¹, Jailson OLIVEIRA², Sânzio Mollica VIDIGAL³,
Paulo Roberto CECON⁴, Hermínia Emília Prieto MARTINEZ⁵

¹Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia (UFV). E-mail:mayane.barbosa@ufv.br

²Doutorando do Programa de Pós-graduação agrícola (UFAPE).

³Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG).

⁴Professor do Departamento de Estatística (UFV).

⁵Professora do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia (UFV).

Resumo: Objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de Mo na redução do teor de nitrato em couve-flor. Foi realizado um experimento em casa de vegetação utilizando o delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições. Os tratamentos consistiram da aplicação foliar de 120 mL de calda contendo molibdênio, na forma de molibdato de sódio, e nas concentrações de 0; 0,32; 0,64; 1,28; 1,92 g L⁻¹, pulverizadas sete dias antes da colheita. As plantas de couve-flor da cultivar verona foram cultivadas em sistema hidropônico estático aerado empregando-se a solução nutritiva proposta por Hoagland e Arnon. Observou-se que, com o aumento da concentração de Mo, houve aumento do teor de Mo e redução do teor de nitrato no tecido foliar. Não foi verificada diferença significativa ($p > 0,05$) para as variáveis biométricas analisadas. O teor de nitrogênio total na parte aérea variou de 46 a 52 g kg⁻¹. Com o aumento da concentração de Mo, o teor deste elemento na massa seca das inflorescências aumentou linearmente, de 0,67 até 1,80 mg/kg, enquanto o teor de nitrato reduziu-se de 201 mg/kg de massa fresca ao valor mínimo de 65 mg/kg, com 0,78 g L⁻¹ de molibdato de sódio. Os teores de nitrato na massa de matéria seca da parte aérea reduziram-se seguindo um modelo quadrático, com pontos de mínima em 0,78 g L⁻¹.

Palavras-chave: *Brassica oleracea* var. *botrytis*, hidroponia, metabolismo do nitrogênio, nutrição mineral.

Introdução

O cultivo hidropônico de hortaliças, como a couve-flor (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.), destaca-se como uma alternativa para a produção intensiva, proporcionando maior controle do fornecimento de nutrientes e elevada produtividade. No entanto, essa cultura exige altas concentrações de nitrogênio (N) para alcançar crescimento vigoroso e o desenvolvimento das inflorescências (Chakkal *et al.*, 2023). A aplicação intensiva de nitrogênio pode levar ao acúmulo de nitrato livre (NO₃⁻) nos tecidos vegetais, gerando preocupações quanto à saúde devido à sua conversão em nitrito e em compostos associados à metemoglobinemia e à produção de substâncias cancerígenas (Colla *et al.*, 2018).

Nesse contexto, o molibdênio (Mo) desempenha um papel fundamental como componente do cofator de molibdênio (Moco), essencial para o funcionamento da nitrato redutase (NR), uma enzima essencial na assimilação de nitrogênio (Huang *et al.*, 2022). A NR facilita a conversão de nitrato em nitrito, etapa necessária para a síntese de proteínas. A suplementação com Mo, especialmente via aplicação foliar, contribui para reativar a NR e otimizar o metabolismo do nitrogênio, reduzindo, assim, o acúmulo excessivo de nitrato nos tecidos (Huang *et al.*, 2022; Gadallah *et al.*, 2022). Para as brássicas, a disponibilidade adequada desse micronutriente é vital, visto que sua

deficiência pode causar alterações morfológicas significativas, como o distúrbio conhecido como "whiptail" (cauda de chicote), afetando negativamente a viabilidade comercial das plantas (Chakkal *et al.*, 2023).

Apesar da importância crítica do molibdênio na assimilação de NO_3^- e de sua função essencial nos processos metabólicos do nitrogênio, há escassez de informações sobre as doses ideais para a aplicação foliar desse micronutriente em couve-flor em sistemas hidropônicos. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação foliar de diferentes doses de molibdênio para determinar a dose ótima de Mo que proporcione a redução do acúmulo de NO_3^- em couve-flor cultivada em solução estática aerada.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais, Brasil (20°45'14" S, 42°52'55" W; 648 m de altitude), entre maio e agosto de 2023. A casa de vegetação utilizada era não climatizada, revestida com vidro transparente, com fechamento lateral por tela antiafídica e pé-direito de 2,4 m. Durante o ciclo de cultivo, foram registradas diariamente as temperaturas máxima e mínima e a umidade relativa máxima e mínima do ar, com auxílio de termômetro e termohigrômetro digital com datalogger HOBO, a fim de caracterizar as condições ambientais às quais as plantas foram submetidas.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, composto por cinco doses de molibdênio (0; 0,32; 0,64; 1,28; 1,92 g L⁻¹), aplicadas via pulverização foliar, com três repetições. Cada repetição correspondeu a uma planta avaliada, totalizando 15 unidades experimentais úteis. As plantas foram conduzidas em sistema hidropônico de solução estática aerada, utilizando-se a solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) modificada, contendo 15, 1, 6, 5, 2 e 2 mmol L⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente, e 46, 0,3, 12,5, 0,10 e 1,3 µmol L⁻¹ de B, Cu, Mn, Mo e Zn, respectivamente. Na produção de mudas, utilizou-se 50% da força iônica da solução. O Fe foi fornecido na dose de 120 µmol L⁻¹. A condutividade elétrica inicial das soluções foi de aproximadamente 2357 µS cm⁻¹, sendo restaurada pela adição de nutrientes sempre que ocorreu redução próxima de 30%. O pH foi ajustado diariamente para a faixa entre 5,5 e 6,5, mediante adição de ácido ou base.

Além da dose de Mo fornecida via solução nutritiva foi realizada uma pulverização foliar com molibdato de sódio. A aplicação foi realizada com pulverizador costal pressurizado com CO₂ sete dias antes da coleta final.

Ao final do período experimental, as plantas de cada parcela foram coletadas e submetidas à pré-higienização, com remoção de resíduos e folhas senescentes, seguida de lavagem em água deionizada. Foram mensuradas a altura da planta (AP, cm), o comprimento radicular (CR, cm), o número de folhas (NF), o diâmetro do caule (DC, mm), a massa fresca da parte aérea (MFPA, g planta⁻¹), a massa fresca da raiz (MFPR, g planta⁻¹) e a massa fresca da inflorescência (MFI, g planta⁻¹). Em seguida, o material vegetal foi seco em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até massa constante,

para determinação da massa seca da parte aérea (MSPA, g planta⁻¹), da raiz (MSPR, g planta⁻¹) e da inflorescência (MSIF, g planta⁻¹). As amostras foram moídas em moinho tipo Wiley para posterior determinação dos teores de Mo, NO₃⁻ e nitrogênio total.

O nitrogênio total foi quantificado pelo método de micro-Kjeldahl. A determinação de Mo foi realizada por espectrofotometria com plasma acoplado e a extração de nitrato seguiu o método de Cataldo *et al.* (1975), com conversão dos teores da massa seca para massa fresca. O N também foi avaliado por métodos não destrutivos, mediante leitura do índice SPAD, com clorofilômetro Minolta SPAD-502, e mensuração de flavonoides e clorofila com o equipamento DUALEX-DX4. As leituras foram realizadas na região mediana de folhas jovens completamente expandidas, sete dias antes da pulverização e no momento da colheita. Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão por meio do programa estatístico R.

Resultados e Discussão

As características biométricas da couve-flor não foram influenciadas significativamente pelas doses de molibdênio ($p > 0,05$) fornecidas via pulverização. Registraram-se os seguintes valores médios: altura de 9,89 cm; diâmetro do caule de 15,69 cm; 17,66 folhas; e comprimento radicular de 43,34 cm. A produção de biomassa apresentou médias de 276,08 g para massa fresca da parte aérea e 18,09 g para massa seca da parte aérea.

O teor de nitrogênio total na parte aérea variou entre 46 e 52 g kg⁻¹, demonstrando absorção eficiente do elemento. Os teores de clorofila e índices SPAD e Dualex também não apresentaram variação estatística ($p > 0,05$), indicando que a solução nutritiva base já atendia à demanda nutricional. Observou-se aumento linear positivo no teor de Mo nos tecidos da parte aérea e da inflorescência proporcional ao incremento das doses aplicadas. Os teores de Mo mantiveram-se abaixo de 60 mg kg⁻¹, valores considerados seguros para o consumo.

O teor de nitrato na massa fresca da parte aérea (MFPA) exibiu comportamento quadrático em função das doses de Mo ($p \leq 0,05$). Os valores variaram entre 65 e 201 mg kg⁻¹ de NO₃⁻ na massa fresca. A dose ideal de molibdato de sódio estimada para a redução máxima de nitrato foi calculada, considerando-se a parte aérea das plantas, a partir dos pontos de mínima das equações de regressão ajustadas para teor de nitrato como variável da dose de molibdênio. A dose ideal estimada de molibdênio, na forma de molibdato de sódio (Na₂MoO₄·2H₂O), foi de 0,78 g L⁻¹. Nas inflorescências, o teor de nitrato não foi afetado pelos tratamentos ($p > 0,05$), o que corrobora a literatura que indica menor acúmulo de NO₃⁻ em órgãos reprodutivos supridos via floema (Colla *et al.*, 2018).

Moncada *et al.* (2018) e Steiner *et al.* (2018) também observaram redução do nitrato com pulverização foliar de Mo, contudo neste trabalho foram observados teores de nitrato inferiores aos reportados por Moncada *et al.* (2018) em alface hidropônica (1039,2 mg kg⁻¹) e Steiner *et al.* (2018) em solo (680 a 1020 mg kg⁻¹). Os valores de NO₃⁻ encontrados neste estudo para couve-flor podem ser explicados pelas distintas condições dos sistemas de cultivo (solo versus hidroponia), pelos métodos de aplicação (pulverização foliar versus solução nutritiva) e condições ambientais, tais como às

temperaturas elevadas máximas de 38,2°C registradas na casa de vegetação, que aceleram o metabolismo da NR e favorecem a rápida assimilação do nitrogênio. De acordo com a classificação de Chilvers *et al.* (1984), a couve-flor situou-se no grupo de hortaliças com médio teor de nitrato nos pontos de mínima, porém os valores finais permanecem dentro dos limites de segurança para a saúde humana.

Conclusões

Nas condições em que foi realizado este trabalho conclui-se que:

A pulverização foliar com Mo, sete dias antes da colheita, promove redução do acúmulo de NO_3^- no tecido foliar da couve-flor

Para alcançar mínima concentração de NO_3^- em tecido foliar de couve-flor a dose ideal de Mo na calda de pulverização é de 0,78 g L⁻¹.

A pulverização com Mo sete dias antes da colheita não altera o teor de NO_3^- da inflorescência de couve-flor, o qual varia de 65 a 201 mg kg⁻¹.

Literatura citada

- CATALDO, D. A.; HAROON, M.; SCHRADER, L. E.; YOUNGS, V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 6, n. 1, p. 71-80, 1975.
- CHAKKAL, A. S.; KUMAR, P.; BUTAIL, N. P.; SHARMA, M.; KUMAR, P.; SURI, D.; SHUKLA, A. K. Influence of molybdenum application on soil nutrient status and uptake. **Environment Conservation Journal**, v. 24, n. 1, p. 1-11, 2023.
- CHILVERS, C.; INSKIP, H.; CAYGILL, C. A survey of dietary nitrate in well-water users. **International Journal of Epidemiology**, Oxford, v. 13, p. 324-331, 1984.
- COLLA, G.; KIM, H. J.; KYRIACOU, M. C.; ROUPHAEL, Y. Nitrate in fruits and vegetables. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 237, p. 221-238, 2018.
- GADALLAH, F. M.; EL-SAWAH, N. A.; BELAL, H. E. E.; MAJRASHI, A.; EL-TAHAN, A. M.; EL-SAADONY, M. T.; ELRYS, A. S.; EL-SAADONY, F. M. A. Nitrogen-molybdenum-manganese co-fertilization reduces nitrate accumulation and enhances spinach (*Spinacia oleracea* L.) yield and its quality. **Saudi Journal of Biological Sciences**, Riyadh, v. 29, p. 2238-2246, 2022.
- HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water-culture method for growing plants without soil**. 2. ed. Berkeley: University of California, 1950. 32 p. (Circular, 347).
- HUANG, Y.; CHEN, Y.; WEN, D.; ZHAO, P.; LI, F.; LI, L.; DU, R.; SHI, H.; DENG, T.; DU, Y. Biochar-based molybdenum slow-release fertilizer enhances nitrogen assimilation in Chinese flowering cabbage (*Brassica parachinensis*). **Chemosphere**, Oxford, v. 303, p. 134663, 2022.
- MONCADA, A.; MICELI, A.; SABATINO, L.; IAPICHINO, G.; D'ANNA, F.; VETRANO, F. Effect of molybdenum rate on yield and quality of lettuce, escarole, and curly endive grown in a floating system. **Agronomy**, Basel, v. 8, n. 9, p. 171, 2018.
- STEINER, F.; ZOZ, T.; ZUFFO, A. M.; PEREIRA-MACHADO, P.; ZOZ, J.; ZOZ, A. Foliar application of molybdenum enhanced quality and yield of crisphead lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Grand Rapids). **Acta Agronómica**, Palmira, v. 67, n. 1, p. 73-78, 2018.

VAZ, V. **Volume de calda e tamanho de gotas na aplicação de herbicidas**. 2022. 64 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2022.

Inoculação com *Azospirillum brasilense* e redução da adubação nitrogenada em manjerição cultivado em sistema semi hidropônico

Marcelo Carvalho Minhoto TEIXEIRA FILHO¹, Mariana Cristina BARBOSA²,
Gabriela Tonini de Oliveira ANDRADE³, Felipe Marcato dos SANTOS³, Carlos
Eduardo de Silva OLIVEIRA⁴

¹Professor do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos (UNESP/FEIS). E-mail: mcm.teixeira-filho@unesp.br

²Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Sistemas de Produção (UNESP/FEIS).

³Estudante de graduação em Engenharia Agrônoma (UNESP/FEIS).

⁴Professor do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Bolsão Sul Mato Grossense (UEMS/CEDESU).

Resumo: O manjerição (*Ocimum basilicum*) é uma planta aromática com uso culinário e propriedades medicinais, como ação anti-inflamatória, antioxidante e antimicrobiana. Contudo, as pesquisas sobre o cultivo hidropônico desta planta são escassas, principalmente em regiões tropicais com clima quente. Logo, objetivou-se avaliar o efeito da inoculação com *Azospirillum brasilense* associada à redução da adubação nitrogenada na extração de nutrientes, índice de clorofila foliar, número de folhas por planta e altura de planta de manjerição cultivado em sistema hidropônico. O delineamento foi em blocos casualizados, com cinco repetições e quatro tratamentos: 100% da dose de N recomendada (100N); 100% de N + *A. brasilense* (A100N); 80% de N (80N); e 80% de N + *A. brasilense* (A80N). A redução do Ca do nitrato de cálcio foi compensada com cloreto de cálcio. A inoculação foi com estirpes AbV5 e AbV6 na dose 44 mL por 100 L) apenas no transplantio. Aos 30 dias após o transplantio (DAT), verificou-se maiores acúmulos de N, P, K na parte aérea do manjerição foram observados nos tratamentos sem inoculação. Para Ca, Mg, S, Fe e Mn, as maiores extrações foram constatadas nos tratamentos sem inoculação e no tratamento 80% de N inoculado com *Azospirillum brasilense*. A altura de plantas não foi influenciada pelos tratamentos Os maiores ICF foram registrados com 80% de N, 100% de N inoculado ou não. O número de folhas por planta foi superior para o tratamento com 100% de N inoculado. Este resultado do ponto de vista econômico é importante no cultivo de manjerição.

Palavras-chave: acúmulo de macro e micronutrientes, bactéria promotora de crescimento de planta, *Ocimum basilicum* L., cultivo em areia grossa, número de folhas por planta.

Introdução

Em 2050 a população mundial pode chegar a 9,7 bilhões de habitantes, que é equivalente a 19,45% de aumento com relação à população atual (FAO, 2025). Ainda segundo a organização a estimativa de produção agrícola mundial para 2050 é de 8,47 toneladas por hectare. Em virtude do crescimento populacional e o esgotamento de recursos naturais cada vez mais próximo a se tornar realidade, há um impulso para uma produção de alimentos de forma mais intensiva, eficiente e ocupando menos espaço (SAUSEN *et al.*, 2020). Nesse cenário, o desenvolvimento de novas tecnologias que permitam maior conservação, redução da poluição e desgaste ambiental, vem crescendo e a hidroponia ganha destaque no que se refere a produção de hortaliças e outras plantas de

interesse como as aromáticas, pois permite aliar altas produtividades com menor impacto ambiental, o que favorece a segurança alimentar global.

As plantas aromáticas além de servirem de alimento, possuem grande potencial medicinal e condimentar. Estudos comprovam o uso de óleos essenciais de manjerição (*Ocimum basilicum*), orégano (*Origanum vulgare*) e tomilho (*Thymus vulgaris*) no controle de infecções por microrganismos, mitigando o uso exacerbado de antibióticos. Consumidas também *in natura* por suas propriedades funcionais, essas espécies trazem compostos bioativos com ações antioxidante, antimicrobiana e anti-inflamatória, reforçando sua importância econômica (NOMAN et al., 2025).

O cultivo hidropônico otimiza a produção ao reduzir o ciclo biológico devido à pronta disponibilidade de água e nutrientes, permitindo aumentar em até 50% a densidade de plantas por metro quadrado em relação ao cultivo convencional através do sistema semi hidropônico, quando o cultivo é feito em substrato, como areia grossa, vermiculita, fibra de coco (LÓPEZ MORA et al., 2024). Essa técnica viabiliza a produção contínua ao longo do ano sob ambiente protegido, minimizando pragas e patógenos. Contudo, pesquisas sobre o cultivo semi hidropônico de plantas aromáticas ainda são escassas em regiões tropicais de clima quente.

O manejo da solução nutritiva requer precisão, pois desequilíbrios iônicos podem inibir o crescimento vegetal por toxicidade ou deficiência (NOZZI et al., 2018). Para atenuar esse problema, o uso de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) tem favorecido o desenvolvimento das culturas, reduzindo a condutividade elétrica e a demanda por fertilizantes (MOUROUZIDOU et al., 2023). Esses microrganismos atuam em processos fisiológicos e metabólicos, melhorando o aproveitamento de nutrientes e a resistência a estresses ambientais (BUENO et al., 2017).

Um microrganismo benéfico comumente utilizado por agricultores no Brasil é o *Azospirillum brasilense*, porém existem pouquíssimas pesquisas com inoculação em manjerição. Em cultivo semi-hidropônico, verificou-se bactéria *A. brasilense* aumentou a biomassa fresca e a área foliar do manjerição 'Nufar', que também apresentou maior concentração de nitrogênio e potássio no tecido vegetal (GONZÁLEZ-GÓMEZ et al., 2023). Pressupõe-se, assim, que a inoculação com *A. brasilense* em cultivo semi hidropônico estimulará o desenvolvimento radicular e a absorção de nutrientes, permitindo reduzir o aporte de nitrogênio (N).

Diante do exposto, o objetivo foi estudar o efeito da inoculação com *Azospirillum brasilense* associada à redução da adubação nitrogenada na extração de nutrientes, índice de clorofila foliar, número de folhas por planta e altura de planta de manjerição cultivado em sistema hidropônico, em região de clima quente.

Material e Métodos

O experimento com manjerição de folha fina foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Ilha Solteira - SP (22°25'05" S, 51°20'30" O, altitude de 335 m), sob sombreamento de 35%. O clima local é classificado como Aw (Köppen), com temperatura média anual de 23,5 °C (HERNANDEZ et al., 2023). Utilizou-se um delineamento em blocos casualizados, com cinco repetições e quatro tratamentos: 100% da dose de N recomendada (100N); 100N + *Azospirillum brasilense* (A100N); 80% da dose de N recomendada (80N); e 80N + *Azospirillum brasilense* (A80N). Nos tratamentos com restrição, a redução de 20% do nitrato de cálcio foi compensada em relação ao Ca com cloreto de cálcio.

Esta planta aromática foi cultivada em sistema semi hidropônico com areia grossa, com quatro bancadas individuais (uma para cada tratamento) de 1,32 m², declividade de 1%, sete linhas de irrigação, espaçadas em 15 cm e furos a cada 10 cm. O reservatório

individual foi de 50 L, programado com cinco minutos de irrigação, turno de rega de 12 horas. A solução nutritiva padrão foi preparada utilizando fertilizantes comerciais (Hidrogood Fert Nacional, Nitrato de Cálcio e Hidrogood Fert Ferro EDDHA 6%).

A condutividade elétrica (CE) inicial foi de 1,2 dS m⁻¹ e final de 1,8 dS m⁻¹. O pH e a CE foram monitorados e corrigidos diariamente, mantendo-se o pH entre 5,6 e 6,4 com soluções de diluídas de H₂SO₄ ou NaOH (25%). A inoculação com a bactéria foi realizada apenas no transplantio das mudas, utilizando as estirpes AbV5 e AbV6 de *A. brasilense* (2x10⁸ UFC mL⁻¹) na dose de 44 mL por 100 L de solução (OLIVEIRA, 2023a).

Aos 30 dias após o transplantio (DAT), as plantas foram coletadas, avaliadas (altura de planta, número de folhas por planta e índice de clorofila foliar - ICF) e depois secas em estufa de ventilação forçada a 60 °C até massa constante para obtenção da massa seca da parte aérea. O material foi moído em moinho tipo Wiley para a determinação das concentrações de macro e micronutrientes, conforme metodologia de Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). O acúmulo de nutrientes foi calculado multiplicando-se a MSPA pela concentração do elemento.

Inicialmente os dados das variáveis foram analisados quanto à distribuição normal e variâncias homogêneas (Shapiro Wilk-Test), em seguida os resultados serão avaliados pela análise de variância (teste F) e teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação de médias dos tratamentos, utilizando-se o programa R Studio.

Resultados e Discussão

Os maiores acúmulos de N, P, K na parte aérea do manjeriço foram observados nos tratamentos sem inoculação com *Azospirillum brasilense* (Tabela 1). Para os macronutrientes secundários (Ca, Mg e S), Fe e Mn, as maiores extrações foram constatadas nos tratamentos sem inoculação e no tratamento 80% de N inoculado com a bactéria. Estes resultados indicam que a redução da dose de N em 20%, não comprometeu a extração destes nutrientes, independentemente da inoculação com *A. brasilense*. Enquanto, houve menor acúmulo de Zn com 80% de N inoculado com *A. brasilense*.

Tabela 1 – Acúmulo de nutrientes na parte aérea da planta, número de folhas por planta, índice de clorofila foliar e altura de planta de manjeriço, cultivado em sistema hidropônico em função da inoculação com *Azospirillum brasilense* (A) e da adubação nitrogenada com 100 ou 80% de N.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn
	g m ⁻²						mg m ⁻²		
100%N	23,2 ab	7,6 a	28,5 ab	14,7 ab	2,7 ab	2,2 a	129,5 a	51,8 ab	21,8 a
A100%N	13,7 c	3,5 b	19,2 b	8,2 b	1,4 b	0,9 b	62,5 b	34,9 b	18,8 a
80%N	32,3 a	7,6 a	37,6 a	17,9 a	3,2 a	2,3 a	120,5 a	64,2 a	21,3 a
A80%N	16,6 bc	4,8 b	26,5 b	16,7 a	3,2 a	1,6 ab	122,1 a	46,9 ab	13,1 b
CV (%)	15,2	9,3	14,1	17,7	22,4	15,3	14,9	17,6	7,6
Média	21,5	5,9	27,9	14,4	2,6	1,7	108,6	49,4	18,8
FC	0,0*	0,0*	0,0*	0,0*	0,03**	0,0*	0,0*	0,0*	0,0*
Tratamento	NF	ICF	AP (cm)						
100%N	118,2 b	37,0 ab	40,3						
A100%N	170,5 a	36,9 ab	41,5						
80%N	126,2 ab	39,3 a	38,3						
A80%N	127,7 ab	34,6 b	35,2						
CV (%)	13,6	3,43	8,9						
Média	135,6	36,9	38,8						
FC	0,05**	0,02**	0,2 ^{ns}						

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%.

N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; B = boro; Cu = cobre; Fe = ferro; Mn = manganês; Zn = zinco; NF = número de folhas por planta; ICF = índice clorofila foliar; AP = altura de planta. * = $P < (0,01)$; ** = $P < (0,05)$; ns = não significativo.

Para a altura de plantas não foi verificada diferença entre os tratamentos (Tabela 1). Contudo os maiores ICF foram registrados com 80% de N, 100% de N inoculado ou não. Por sua vez, o número de folhas por planta foi superior para o tratamento com 100% de N inoculado, diferindo apenas do tratamento com 100% de N, sem inoculação. Este resultado do ponto de vista econômico é importante no cultivo de manjeriço.

Na literatura existem vários trabalhos confirmando que *Azospirillum* spp. produz fitormônios que estimulam o crescimento das raízes, melhoram a nutrição de diversas espécies de plantas e aumentam a produtividade (GASPARETO et al., 2022; MORTINHO et al., 2022; GALINDO et al., 2022; ROSA et al., 2022; GALINDO et al., 2024), sendo semelhante ao observado para o número de folhas por planta que foi maior para o tratamento com 100% de N inoculado com esta bactéria benéfica.

Vale destacar que as plantas de manjeriço se desenvolveram bem em sistema semi hidropônico em região de clima quente, independentemente dos tratamentos estudados, demonstrando assim a viabilidade de sistema de produção.

Conclusões

Os maiores acúmulos de N, P, K na parte aérea do manjeriço foram observados nos tratamentos sem inoculação. Para Ca, Mg, S, Fe e Mn, as maiores extrações foram constatadas nos tratamentos sem inoculação e no tratamento 80% de N inoculado com *Azospirillum brasilense*. A altura de plantas não foi influenciada pelos tratamentos. Os maiores ICF foram registrados com 80% de N, 100% de N inoculado ou não. O número de folhas por planta foi superior para o tratamento com 100% de N inoculado. Este resultado do ponto de vista econômico é importante no cultivo de manjeriço.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão da bolsa de Doutorado (Nº Processo 2025/17961-0) e da bolsa de IC (2026/02437-7).

Literatura citada

BUENO, A. C. S. O. et al. Response of photosynthesis and chlorophyll a fluorescence in leaf scald-infected rice under influence of rhizobacteria and silicon fertilizer. **Plant Pathology**, Winnipeg, v. 66, n. 9, p. 1487–1495, 2017. Disponível em: <https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ppa.12690>. Acesso em: 29 jul. 2025.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Food and agriculture projections to 2050**. Global Perspectives Studies. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2025. Disponível em: <https://www.fao.org/global-perspectives-studies/food-agriculture-projections-to-2050/en/>. Acesso em: 10 jun. 2025.

GALINDO FS, PAGLIARI PH, SILVA EC et al. Co-Inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium* sp enhances nitrogen uptake and yield in field-grown cowpea and did not change N-fertilizer recovery. **Plants**, v.11, p.1847, 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11141847>

GALINDO FS, PAGLIARI PH, SILVA EC et al. Unveiling contribution and fate of nitrogen with 15N techniques affected by microbial co-inoculation on field-grown maize: A novel approach to optimize N-fertilizer use efficiency. **Plant Physiology Biochemistry**, v. 217, p.109261, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.109261>

GASPARETO RN, JALAL A, ITO WCN et al. Inoculation with plant growth-promoting bacteria and nitrogen doses improves wheat productivity and nitrogen use efficiency. **Microorganisms**, v.11, n.4, p.1046, 2023. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11041046>

GONZÁLEZ-GÓMEZ, H.; JUÁREZ-LÓPEZ, P.; QUIÑONES-AGUILAR, E. E.; RINCÓN-ENRÍQUEZ, G.; ALIA-TEJACAL, I., RAMÍREZ-TRUJILLO, J. A.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, V.; VILLEGAS-TORRES, O. G.; AGUILAR-CARPIO, C. Growth of 'Sweet Nufar' basil (*Ocimum basilicum* L.) inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi and *Azospirillum brasilense*. **Revista Chapingo Serie Horticultura**, v.29, n.1, p. 39-52, 2023.

LÓPEZ MORA, M. F. et al. Predictive Model to Evaluate Water and Nutrient Uptake in Vertically Grown Lettuce under Mediterranean Greenhouse Conditions. **Horticulturae**, Switzerland, v. 10, n. 2, p. 117, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/10/2/117>. Acesso em: 28 jul. 2025.

LUZ, G. L. et al. A questão do nitrato em alface hidropônica e a saúde humana. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 2388- 2394, 2008.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, Piracicaba. 1997.

MORTINHO ES, JALAL A, OLIVEIRA CES et al. Co-inoculations with plant growth-promoting bacteria in the common bean to increase efficiency of NPK fertilization. **Agronomy-Basel**, v.12, p.1325, 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061325>

MOUROUZIDOU, S. et al. Introducing the Power of Plant Growth Promoting Microorganisms in Soilless Systems: A Promising Alternative for Sustainable Agriculture. **Sustainability**, Switzerland, v. 15, n. 7, p. 5959, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/7/5959>. Acesso em: 29 jul. 2025.

NOMAN, A. M. et al. Eugenol: An Insight Into the Anticancer Perspective and Pharmacological Aspects. **Food Science & Nutrition**, United States, v. 13, n. 8, p. e70727, 2025.

NOZZI, V. et al. Nutrient Management in Aquaponics: Comparison of Three Approaches for Cultivating Lettuce, Mint and Mushroom Herb. **Agronomy**, Switzerland, v. 8, n. 3, p. 27, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/8/3/27>. Acesso em: 29 jul. 2025.

OLIVEIRA, C. E. S. **Inoculação de rizobactérias em sistema hidropônico na nutrição, produção e qualidade da alface americana**. 2023. 275 f. Tese (doutorado em agronomia) Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2023a. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/242968>. Acesso em: 30 jul. 2025. OLIVEIRA, C.E.S, et al. Inoculation with *Azospirillum brasilense* Strains AbV5 and

AbV6 Increases Nutrition, Chlorophyll, and Leaf Yield of Hydroponic Lettuce. **Plants** 2023b, 12, 3107. <https://doi.org/10.3390/plants12173107>

R Core Team **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna <https://www.R-project.org/2015>.

ROSA PAL, GALINDO FS, OLIVEIRA CES, JALAL A, MORTINHO ES, FERNANDES GC, MAREGA EMR, BUZETTI S, TEIXEIRA FILHO MCM. Inoculation with plant growth-promoting bacteria to reduce phosphate fertilization requirement and enhance technological quality and yield of sugarcane. **Microorganisms**, v.10, n.1, p.192, 2022.

SAUSEN, D. et al. Cultivo fora do solo: uma alternativa para áreas marginais / Soilless cultivation: an alternative for marginal áreas. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 14888–14903, 2020. Acesso em: 10 jun. 2025.

Análise econômico-financeira de um sistema de cultivo hidropônico: estudo de caso para a Ilha de São Luís, Maranhão

Eduardo Ferreira RODRIGUES¹, Leonardo Victor Moreira CONCEIÇÃO², Helton Fernandes FERREIRA³

¹Professor do Departamento de Biologia (UEMA). E-mail: edumagro@yahoo.com.br

²Mestrando do Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias (PPGCIAG-UEMA).

³Engenheiro Agrônomo (IFMT).

Resumo: Este estudo analisou a viabilidade econômico-financeira de um sistema hidropônico NFT de 240 m² destinado à produção de hortaliças folhosas na Ilha de São Luís, Maranhão, considerando as limitações edafoclimáticas regionais e a demanda por alternativas produtivas mais eficientes. A pesquisa foi conduzida como estudo de caso, com levantamento de custos de implantação, estimativa da capacidade produtiva, projeção de receitas e despesas e aplicação de indicadores de análise de investimento. O investimento inicial estimado foi de R\$ 74.856,04, enquanto o montante considerado para a avaliação econômico-financeira totalizou R\$ 135.752,39. Para uma produção anual de 36.960 plantas e preço médio de venda de R\$ 3,00/planta, projetou-se receita bruta anual de R\$ 110.880,00 com taxa mínima de atratividade de 15,04% a.a., foram obtidos valor presente líquido de R\$ 31.685,16, taxa interna de retorno de 24,52%, *payback* descontado de 3 anos, 9 meses e 4 dias, índice de lucratividade de 1,23 e ponto de nivelamento de 14.207 plantas/ano, equivalente a 38,4% da capacidade instalada. Os resultados indicam que o sistema é economicamente viável e financeiramente atrativo, embora sua sustentabilidade dependa da manutenção do preço de venda e de estratégias adequadas de comercialização. Conclui-se que a hidroponia NFT representa uma alternativa promissora para pequenos e médios produtores da região, com potencial para contribuir para a segurança alimentar e para o uso mais eficiente dos recursos produtivos locais.

Palavras-chave: hidroponia, hortaliças folhosas, viabilidade econômica.

Introdução

A Ilha de São Luís, composta pelos municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa, apresenta limitações relevantes para a agricultura convencional conduzida em solo. A sazonalidade hídrica acentuada, marcada por chuvas intensas entre março e maio e por déficit hídrico severo em setembro e outubro (INMET, 2024), associada à baixa fertilidade natural dos solos, compromete a regularidade da produção olerícola. Esse cenário contribui para ampliar os desafios relacionados à segurança alimentar em uma região onde parcela expressiva da população enfrenta insuficiência de acesso a alimentos em quantidade e qualidade adequadas (Bezerra *et al.*, 2020).

Nesse contexto, a hidroponia desponta como alternativa produtiva capaz de reduzir parte das restrições impostas pelas condições edafoclimáticas locais. Entre os sistemas hidropônicos, o NFT (*Nutrient Film Technique*), desenvolvido na década de 1960 e amplamente adotado em escala comercial (Furlani *et al.*, 1999), possibilita produção contínua ao longo do ano, uso mais eficiente da água, redução da dependência

de defensivos agrícolas e melhor aproveitamento de áreas urbanas e periurbanas próximas aos centros consumidores. Além disso, a FAO incentiva essa prática desde a década de 1990 como estratégia de fortalecimento da segurança alimentar em regiões vulneráveis (Marulanda, 1995).

Embora apresente potencial técnico e produtivo, a implantação de sistemas hidropônicos requer investimento inicial significativo e planejamento econômico-financeiro criterioso. A escassez de estudos voltados à realidade climática, produtiva e mercadológica da Ilha de São Luís limita a tomada de decisão por parte de produtores interessados nesse modelo de cultivo. Assim, este trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade econômico-financeira de um sistema hidropônico NFT de 240 m², destinado à produção de alface e rúcula, como alternativa para pequenos e médios produtores da região.

Material e Métodos

O estudo baseou-se em um estudo de caso com levantamento de custos de implantação a partir de orçamento da empresa Hidrogood® (janeiro de 2025) para uma estufa modelo *Standard* (8 × 30 m), e em pesquisa de mercado para preços de insumos e de venda na CEASA de São Luís. Foram realizadas visitas técnicas e entrevista com produtor hidropônico de Paço do Lumiar.

O sistema cotado é composto por estufa com estrutura metálica e filme plástico difusor (R\$ 33.706,06), bancadas de NFT com 3.570 furos (R\$ 16.812,08), equipamentos elétricos (R\$ 3.820,00), reservatório de 5.000 L (R\$ 2.999,90) e insumos iniciais (R\$ 518,00), totalizando R\$ 57.856,04 em equipamentos. Acrescentando-se R\$ 17.000,00 de obras civis e pré-operacional, o investimento inicial totalizou R\$ 74.856,04.

A capacidade produtiva foi calculada em 36.960 plantas/ano: 15.120 pés de alface (1.890 furos × 8 ciclos de 45 dias) e 21.840 pés de rúcula (1.680 furos × 13 ciclos de 28 dias). O preço de venda médio adotado foi de R\$ 3,00/planta, resultando em receita bruta anual de R\$ 110.880,00. Os custos fixos anuais totalizaram R\$ 31.255,11 (mão de obra, depreciação e seguro) e os custos variáveis, R\$ 29.641,24, compondo um custo total anual de R\$ 60.896,35. Incluídos os custos fixos e variáveis, o montante de avaliação inicial foi de R\$ 135.752,39.

A viabilidade foi avaliada pelos seguintes indicadores: Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 15,04% a.a. (Tesouro Selic 2028); Valor Presente Líquido (VPL); Taxa Interna de Retorno (TIR); *Payback* Descontado; Índice de Lucratividade (IL); e Ponto de Nivelamento. A depreciação foi calculada pelo método linear (vida útil de 15 anos para a estufa e 10 anos para equipamentos, ambos com valor residual de 20%). Adicionalmente, foi realizada uma análise de sensibilidade cruzando variações de preço (-10% a +10%) e de demanda (-10% a 0%).

Resultados e Discussão

O fluxo de caixa líquido anual projetado foi de R\$ 49.983,65, resultante da diferença entre a receita bruta (R\$ 110.880,00) e os custos totais (R\$ 60.896,35). A Tabela 1 consolida os principais indicadores de viabilidade obtidos.

Tabela 1 - Resumo dos indicadores econômico-financeiros do projeto hidropônico de 240 m², São Luís – MA, 2025

Indicador	Valor	Interpretação
VPL	R\$ 31.685,16	VPL > 0 → projeto viável
TIR	24,52% a.a.	TIR > TMA (15,04%) → atrativo
<i>Payback</i> Descontado	3 anos, 9 meses e 4 dias	Vida útil de 15 anos → >11 anos de lucro
Índice de Lucratividade	1,23	R\$ 1,23 por R\$ 1,00 investido
Ponto de Nivelamento	14.207 plantas/ano	38,4% da capacidade produtiva

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

O VPL positivo de R\$ 31.685,16 confirma que o projeto gera riqueza superior ao custo de oportunidade do capital, corroborando resultados de Vasconcelos (2021), que encontrou TIR entre 15% e 25% para sistemas de médio porte. A TIR de 24,52% supera a TMA em 9,48 pontos percentuais, indicando rentabilidade expressiva. O *Payback* Descontado de 3 anos, 9 meses e 4 dias é compatível com achados de Abreu (2017), que estima retorno positivo de 2 a 4 anos para sistemas hidropônicos, e representa apenas 25% da vida útil da estufa, assegurando mais de 11 anos de geração de lucro.

O Índice de Lucratividade de 1,23 indica retorno de R\$ 1,23 por real investido, com margem de lucro unitária de 45% (R\$ 1,35 de lucro por planta vendida a R\$ 3,00, com custo total unitário de R\$ 1,65). O Ponto de Nivelamento de 14.207 plantas/ano equivale a apenas 38,4% da capacidade instalada, conferindo elevada margem de segurança operacional (61,6%).

A análise de sensibilidade (Tabela 2) revelou que o projeto suporta reduções de até 10% na demanda sem perder viabilidade, desde que o preço de venda seja mantido em R\$ 3,00. Com redução de 5% no preço (R\$ 2,85), a viabilidade fica condicionada a quedas de demanda inferiores a 4%. Uma redução de 10% no preço (R\$ 2,70) torna o projeto inviável em todos os cenários analisados, com TIR máxima de 13,32%, abaixo da TMA.

Tabela 2 - Análise de sensibilidade: TIR (%) em função da variação de preço e de demanda

Variação do Preço (R\$)	33.264 (-10%)	34.004 (-8%)	34.743 (-6%)	35.482 (-4%)	36.221 (-2%)	36.960 (0%)
2,70 (-10%)	5,60%	7,19%	8,76%	10,30%	11,82%	13,32%
2,85 (-5%)	11,14%	12,77%	14,37%	15,95%	17,50%	19,04%
3,00 (0%)	16,41%	18,07%	19,71%	21,33%	22,94%	24,52%
3,15 (+5%)	21,44%	23,15%	24,84%	26,51%	28,17%	29,80%
3,30 (+10%)	26,30%	28,06%	29,80%	31,53%	33,24%	34,93%

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Esses resultados demonstram que a gestão de preços é a variável crítica para a sustentabilidade do negócio, sobressaindo-se à redução de demanda como fator de risco. Morais *et al.* (2024) e Paula *et al.* (2020) reforçam que a precificação adequada e a diversificação de canais de comercialização são estratégias indispensáveis para a manutenção da lucratividade em sistemas hidropônicos comerciais.

Conclusões

O sistema hidropônico NFT de 240 m² é economicamente viável e financeiramente atrativo para pequenos e médios produtores da Ilha de São Luís, com VPL positivo, TIR superior à TMA e retorno do capital em menos de quatro anos.

O negócio opera com elevada margem de segurança, atingindo o equilíbrio financeiro com apenas 38,4% da capacidade produtiva instalada.

A viabilidade do projeto é altamente sensível ao preço de venda, tornando a gestão comercial e a manutenção dos preços acima do patamar de R\$ 2,85/planta fatores críticos para a lucratividade a longo prazo.

A hidroponia se apresenta como alternativa robusta para superar as restrições edafoclimáticas da região e contribuir para a segurança alimentar local, com potencial de expansão para outros municípios da Grande Ilha.

Literatura citada

ABREU, J. F. V. **Plano de negócio em hidroponia: caso AgroÁgua, Lda.** Dissertação (Mestrado em Gestão) – Universidade de Évora, 2017.

BEZERRA, M. S. et al. Insegurança alimentar e nutricional no Brasil e sua correlação com indicadores de vulnerabilidade. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 25, n. 10, p. 3833-3846, 2020.

FURLANI, P. R. et al. **Cultivo hidropônico de plantas.** Campinas: IAC, 1999. (Boletim Técnico 180).

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira.** 12. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Dados meteorológicos de São Luís–MA**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 15 out. 2024.

MARULANDA, C. et al. **A horta hidropônica popular**. Santiago: FAO, 1995.

MORAIS, N. M. et al. Análise econômica em sistemas hidropônicos NFT para alface: um estudo de escalas comerciais de produção. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 10, p. e7055, 2024.

PAULA, G. A. et al. Viabilidade econômica de curto e longo prazo na implantação do cultivo de alface no sistema hidropônico em Catalão-Goiás. **Revista de Administração da UEG**, v. 11, n. 1, 2020.

REGO, R. B. et al. **Viabilidade econômico-financeira de projetos**. 4. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2013.

VASCONCELOS, L. M. **Análise de viabilidade econômica para a produção de rúcula através da implantação de um sistema semi aquapônico**. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

Extrato aquoso de *Kappaphycus alvarezii*: efeito bioestimulante do crescimento e da regulação do metabolismo de manjeriço em cultivo hidropônico

Bruno Adriano Silveira¹, Aline Nunes², Pedro Correia Bavaresco¹, Felipe de Souza Dutra^{1,3}, Camila Pimentel Martins¹, Alex Ricardo Schneider¹, Eva Regina Oliveira¹, Gadiel Zilto Azevedo⁴, Jorge Luiz Barcelos Oliveira¹, Giuseppina Pace Pereira Lima², Marcelo Maraschin¹

¹ Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

² Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Botucatu, São Paulo, Brasil.

³ Universidade de Caxias do Sul (UCS), Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil

⁴ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Jaboticabal, São Paulo, Brasil.

Resumo: O objetivo deste estudo foi avaliar as respostas morfofisiológicas e metabólicas de plantas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) cultivadas em sistema hidropônico e submetidas à aplicação foliar de produto biofertilizante derivado da macroalga *Kappaphycus alvarezii*. Foram realizadas pulverizações semanais com o bioinsumo nas concentrações de 0% (controle), 1%, 3%, 5% e 7%. Ao final do experimento, foram avaliadas variáveis morfológicas, e.g., altura de plantas, comprimento de raiz, número de nós, massas secas da raiz e parte aérea, bem como parâmetros bioquímicos, como açúcares solúveis totais, amido total, carboidratos totais e aminoácidos totais. Os dados foram submetidos à análise estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Os resultados demonstraram que, especialmente na concentração de 5%, o biofertilizante promoveu aumentos significativos no número de nós (120%) e na massa seca radicular (37%) em relação ao controle, além de aumentar os teores de açúcares solúveis totais (63%), carboidratos totais (84%), amido total (98%) e aminoácidos totais (200%). Esses resultados indicam que a aplicação foliar do biofertilizante de *K. alvarezii* na concentração de 5% constitui uma estratégia biotecnológica promissora para otimizar o desenvolvimento estrutural e o desempenho metabólico de plantas de manjeriço cultivadas em sistema hidropônico.

Palavras-chave: biofertilizante, macroalga, *Ocimum basilicum*.

Introdução

O cultivo do manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) destina-se a múltiplos setores da indústria, abrangendo o mercado de condimentos e a extração da fração óleo essencial para formulações farmacêuticas (CHETEHOUNA et al., 2023). O uso do óleo essencial na indústria farmacêutica tem avançado substancialmente devido às suas comprovadas propriedades antibacterianas, antifúngicas, antioxidantes e antimicrobianas (GÜEZ et al., 2017). Tais propriedades são atribuídas a compostos bioativos presentes na espécie, e.g., linalol, eugenol e estragol, bem como aos ácidos fenólicos e aos flavonoides (NADEEM et al., 2022; PURUSHOTHAMAN et al., 2023).

No entanto, os sistemas convencionais de cultivo estão sujeitos a desafios associados à degradação dos solos e à restrição hídrica, o que tem estimulado o desenvolvimento de sistemas mais eficientes no uso de recursos. Neste contexto, a hidroponia destaca-se por proporcionar maior controle nutricional e otimização do uso de água e nutrientes, além de favorecer o crescimento mais rápido e uniforme das plantas (IKIZ et al., 2025). Ademais, a inclusão de produtos estimulantes no desenvolvimento e produção das plantas, como os bioestimulantes/biofertilizantes algais, tem-se consolidado como uma estratégia viável para modular rotas metabólicas,

o crescimento foliar e o desempenho fotossintético (MANNINO et al., 2020; ROUPHAEL; COLLA, 2020).

Dentre os insumos de elevado potencial agrônômico, destaca-se o extrato aquoso da macroalga *Kappaphycus alvarezii*. Após a regulamentação ambiental de seu cultivo comercial no litoral de Santa Catarina (SANTOS et al., 2023), a espécie passou a representar uma importante fonte de biomassa à formulação de biofertilizantes ricos em polissacarídeos, aminoácidos, proteínas, minerais, lipídios, carotenoides, esteroides, hormônios e compostos fenólicos, por exemplo (VAGHELA et al., 2022). Estudos recentes demonstram que a aplicação do extrato de *K. alvarezii* afeta os perfis bioquímicos e a fisiologia de diversas espécies vegetais, com impacto sobre as respostas morfo genéticas destas (NUNES et al., 2024).

Apesar dos resultados promissores, as informações sobre a integração das respostas fisiológicas e metabólicas de espécies vegetais tratadas com o bioinsumo algal em condições de cultivo hidropônico são escassas. Nesse sentido, o presente estudo objetivou avaliar as respostas morfofisiológicas e metabólicas de plantas de manjeriço cultivadas em sistema hidropônico e submetidas à aplicação foliar do biofertilizante de *K. alvarezii*.

Material e Métodos

Amostras das cepas vermelha e verde da macroalga *K. alvarezii* foram coletadas em fazenda marinha localizada no município de Florianópolis, Santa Catarina. Após uma etapa de limpeza, 500 g de cada cepa foram pesadas para compor uma mistura, a qual foi triturada em liquidificador industrial e, posteriormente, filtrada. O extrato aquoso resultante foi armazenado à -20°C até o momento das aplicações.

As sementes de manjeriço (*Ocimum basilicum*) foram adquiridas da empresa Isla Sementes®, apresentando 97% de germinação e 100% de pureza. As sementes foram dispostas em espuma fenólica apropriada para o cultivo hidropônico e incubadas à 30°C. Após a aclimação inicial, as plântulas foram transferidas para canais de um sistema hidropônico utilizando a técnica de filme nutritivo (NFT, Nutrient Film Technique), contendo solução nutritiva. A condutividade elétrica da solução foi ajustada de forma incremental ao longo do ciclo de cultivo, iniciando em 0,3 mS cm⁻¹ e atingindo 2,0 mS cm⁻¹ ao final do experimento. A solução nutritiva foi composta por nitrato de cálcio, nitrato de potássio, fosfato monoamônico, sulfato de magnésio, sulfato de cobre, sulfato de manganês, sulfato de zinco, ácido bórico, molibdato de sódio e quelato de ferro EDDHA.

O experimento foi conduzido com três repetições por tratamento, cada uma composta por cinco canais hidropônicos com reservatório individual para a solução nutritiva, totalizando 15 plantas por tratamento. O biofertilizante foi aplicado semanalmente por pulverização foliar nas concentrações de 0% (controle), 1%, 3%, 5% e 7% (v/v).

Após 38 dias de cultivo, no início do florescimento, as plantas foram colhidas para a realização das análises morfológicas, onde foram avaliados a altura da planta (cm), comprimento da raiz (cm) e número de nós. Adicionalmente, determinou-se a massa seca (g) do sistema radicular e da parte aérea. Para a obtenção da biomassa seca, o material vegetal foi submetido à secagem em estufa com circulação de ar (45°C) até peso constante.

A caracterização bioquímica foi realizada com folhas maceradas em nitrogênio líquido. Foram determinados os teores de açúcares solúveis totais, amido total, carboidratos totais e aminoácidos totais, empregando metodologias adaptadas para esse tipo de biomassa vegetal (NUNES et al., 2025).

Para a análise estatística, os dados foram submetidos ao teste de Tukey, ao nível de significância de 5%, com auxílio do software AgroEstat (versão 1.1.0.712).

Resultados e Discussão

A análise dos dados morfológicos revelou que as variáveis altura da planta, comprimento da raiz e massa seca da parte aérea não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos. Entretanto, para o número de nós, os tratamentos com o bioinsumo algal nas concentrações de 3% e 5% diferiram significativamente dos demais, promovendo incrementos de 95% e 120%, respectivamente, em relação ao controle. Além disso, a massa seca das raízes apresentou diferença significativa no tratamento a 5%, com aumento de 37% em relação ao controle (Figura 1).

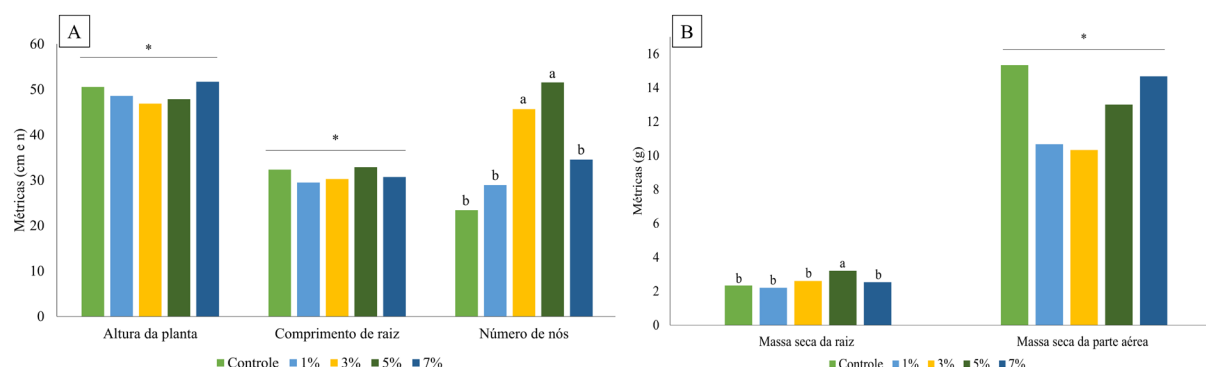


Figura 1 - Parâmetros morfológicos de plantas de manjerição (*Ocimum basilicum*) cultivadas em sistema hidropônico e submetidas à aplicação do biofertilizante à base de extrato de *Kappaphycus alvarezii* (1%, 3%, 5% e 7% - v/v).

Na análise bioquímica, verificou-se que os teores de açúcares solúveis totais e de carboidratos totais aumentaram nos tratamentos com 5% e 7% de biofertilizante de *K. alvarezii*. Para açúcares solúveis totais, os incrementos observados foram de 63% e 95%, respectivamente, enquanto, para carboidratos totais, os aumentos corresponderam a 84% e 65%, em comparação ao controle (Figura 2A). Em relação ao teor de amido total, os tratamentos de 3%, 5% e 7% não diferiram estatisticamente entre si, mas apresentaram diferenças significativas em relação ao controle, com incrementos de 63%, 98% e 99%, respectivamente. Além disso, para aminoácidos totais, o tratamento a 5% apresentou os maiores valores, seguido pelos tratamentos a 7% e 3%, promovendo incrementos de 200%, 102% e 65%, respectivamente, em relação ao controle (Figura 2B).

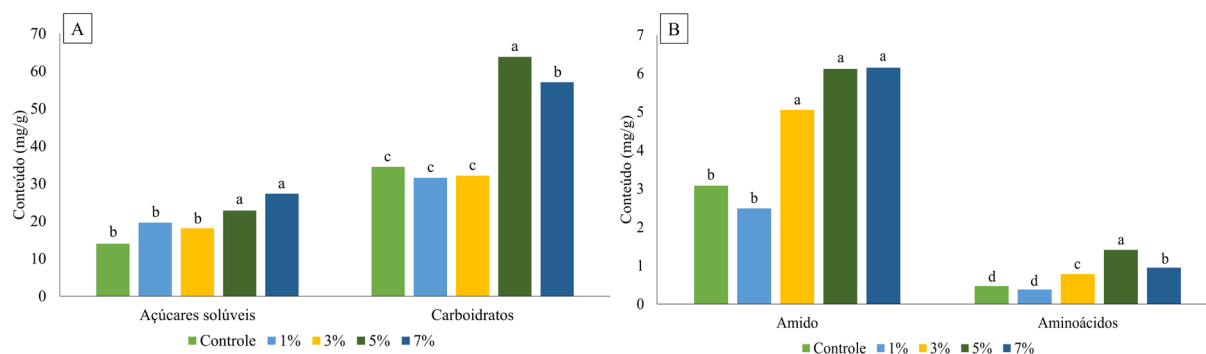


Figura 2 - Parâmetros bioquímicos de plantas de manjeriço (*Ocimum basilicum*) cultivadas em sistema hidropônico e submetidas à aplicação do biofertilizante à base de extrato de *Kappaphycus alvarezii* (1%, 3%, 5% e 7% - v/v).

Os resultados observados sugerem que concentrações mais elevadas do biofertilizante de *K. alvarezii* promovem a modulação de vias associadas aos metabolismos de carbono e nitrogênio, com reflexos positivos sobre o aumento da produção de biomassa de plantas de manjeriço cultivadas em sistema hidropônico. Tais resultados, especialmente na concentração de 5%, podem estar relacionados ao efeito sinérgico de compostos bioativos presentes no biofertilizante algal (e.g., fenóis, flavonoides, esteroides, quinonas, carboidratos, proteínas e lipídios) sobre o desenvolvimento de *O. basilicum*. Tais metabólitos parecem regular processos fisiológicos que favorecem o desenvolvimento e a produção da espécie em estudo (VAGHELA et al., 2022).

Resultados semelhantes têm sido relatados na literatura para aplicações de bioestimulantes à base de *K. alvarezii* em concentrações equivalentes (i.e., 5%). Incrementos no crescimento e no desempenho metabólico das plantas foram observados em culturas como arroz (LAYEK et al., 2018), batata (PRAMANICK et al., 2017) e menta cultivada em sistema hidropônico (NUNES et al., 2026), corroborando os efeitos promotores de crescimento observados no presente estudo.

Conclusões

A aplicação foliar do biofertilizante de *K. alvarezii* mostrou-se uma estratégia biotecnológica promissora à promoção do crescimento e modulação do metabolismo de plantas de manjeriço cultivadas em sistema hidropônico. Dentre as concentrações avaliadas, a de 5% destacou-se por proporcionar os maiores incrementos em parâmetros morfológicos e bioquímicos, com efeitos positivos sobre a produção de biomassa e acúmulo de metabólitos relacionados ao crescimento vegetal. Os resultados indicam que a concentração de 5% proporciona um equilíbrio fisiológico favorável, otimizando de forma integrada o desenvolvimento estrutural e o desempenho metabólico da cultura em condições hidropônicas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP (2023/03886-1, A.N.), à CAPES (88887.696139/2022-00, F.S.D.), à FAPESC (2024TR002499, M.M) e ao CNPq (405949/2022-7, 408526/2024-6 – INCT Biotecmar, M.M.; 303956/2023-2, E.R.O.; 314977/2025-2, A.R.S.; 311719/2023-6, G.P.P.L.) pelo apoio financeiro e pela concessão de bolsas. Agradecem também à empresa Algas Brasil Ltda. pela doação das amostras de algas utilizadas neste estudo.

Literatura citada

CHETEHOUNA, S. et al. *Ocimum basilicum* L.: A systematic review on pharmacological actions and molecular docking studies for anticancer properties. **Journal of Biochemical Technology**, v. 14, p. 1-15, 2023.

- GÜEZ, C. M. et al. Evaluation of basil extract (*Ocimum basilicum* L.) on oxidative, anti-genotoxic and anti-inflammatory effects in human leukocytes cell cultures exposed to challenging agents. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 53, p. 1-12, 2017
- IKIZ, B. et al. Improved salt stress resilience, growth, and quality of soilless basil through biostimulant application. **Scientific Reports**, v. 15, p. 1-18, 2025.
- LAYEK, J. et al. Productivity, quality and profitability enhancement of French bean, okra and tomato with seaweed extract application under North-Eastern Himalayan condition. **Scientia Horticulturae**, v. 309, p. 1-14, 2023.
- MANNINO, G. et al. Plant biostimulants: applications and effects on crop yield and quality. **Plants**, v. 9, p. 1-25, 2020.
- NADEEM, H. R. et al. Toxicity, antioxidant activity, and phytochemicals of basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves cultivated in Southern Punjab, Pakistan. **Foods**, v. 11, p. 1-13, 2022.
- NUNES, A. et al. Uses and applications of the red seaweed *Kappaphycus alvarezii*: a systematic review. **Journal of Applied Phycology**, v. 36, p. 1-42, 2024.
- NUNES, A. et al. A Biostimulant from *Kappaphycus alvarezii* enhances the growth and development of basil (*Ocimum basilicum* L.) plants. **Horticulturae**, v. 11, p. 1-24, 2025.
- NUNES, A. et al. Comparative effects of *Kappaphycus alvarezii* biostimulants from southern and southeastern Brazil on the biochemical profile of hydroponically grown peppermint (*Mentha x piperita* L.). **Discover Agriculture**, v. 4, p. 1-19, 2026.
- PRAMANICK, B. et al. Growth, yield and quality improvement of potato tubers through the application of seaweed sap derived from the marine alga *Kappaphycus alvarezii*. **Journal of Applied Phycology**, v. 29, p. 1-8, 2017.
- PURUSHOTHAMAN, B. et al. A comprehensive review on *Ocimum basilicum*. **Journal of Natural Remedies**, v. 23, p. 1-13, 2023.
- ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Editorial: Biostimulants in agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 1-7, 2020.
- SANTOS, A. A. Produção da macroalga *Kappaphycus alvarezii* em Santa Catarina, safra 2022/2023. **Agropecuária Catarinense**, v. 36, p. 1-3, 2023.
- VAGHELA, P. et al. Characterization and metabolomics profiling of *Kappaphycus alvarezii* seaweed extract. **Algal Research**, v. 66, p. 1-14, 2022.

Potencial bioestimulante do extrato aquoso de *Kappaphycus alvarezii* no cultivo hidropônico de hortelã-pimenta

Pedro Bavaresco Correia¹, Aline Nunes², Bruno Adriano Silveira¹, Felipe de Souza Dutra^{1,3}, Camila Pimentel Martins¹, Alex Ricardo Schneider¹, Eva Regina Oliveira¹, Gadiel Zilto Azevedo⁴, Isabella Feijão de Araujo¹, Jorge Luiz Barcelos Oliveira¹, Giuseppina Pace Pereira Lima², Marcelo Maraschin¹

¹ Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

² Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Botucatu, São Paulo, Brasil.

³ Universidade de Caxias do Sul (UCS), Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil

⁴ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Jaboticabal, São Paulo, Brasil.

Resumo: O objetivo deste estudo foi avaliar as respostas morfológicas e bioquímicas de plantas de hortelã-pimenta (*Mentha × piperita* L.) cultivadas em sistema hidropônico e submetidas à aplicação foliar do bioestimulante derivado da macroalga *Kappaphycus alvarezii*. O bioestimulante foi aplicado semanalmente nas concentrações de 0% (controle), 1%, 3%, 5% e 7% (v/v). Ao final do cultivo, foram avaliados parâmetros morfológicos (altura da planta, comprimento da raiz e número de nós) e bioquímicos (açúcares solúveis totais, amido total, carboidratos totais, aminoácidos totais) das plantas. Os dados foram submetidos à análise estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Não foram observadas diferenças significativas nos parâmetros morfológicos resultantes dos tratamentos. Em contrapartida, verificaram-se alterações significativas em todos os parâmetros bioquímicos avaliados, com incrementos de até 61% nos açúcares solúveis totais, 214% no amido total, 46% nos carboidratos totais e 27% nos aminoácidos totais, comparativamente ao controle. Concentrações entre 3% e 7% apresentaram os efeitos mais expressivos sobre o metabolismo das plantas, evidenciando o potencial bioestimulante de *K. alvarezii* para melhorar o desempenho bioquímico da hortelã-pimenta cultivada em sistema hidropônico.

Palavras-chave: biofertilizante, hidroponia, *Mentha × piperita*.

Introdução

A finitude dos recursos naturais, aliada à crescente demanda por alimentos, tem impulsionado a busca por sistemas alternativos à produção agrônômica (DIEDRICH; BIONDO; BULHÕES, 2021; WILLOUGHBY et al., 2022). Neste sentido, a hidroponia destaca-se como um modelo promissor, por consistir em um sistema de cultivo sem solo que possibilita maior produtividade e melhor controle de fatores essenciais ao desenvolvimento vegetal, como irrigação, nutrição e temperatura. Além disso, esse sistema contribui à redução da incidência de patógenos e para o incremento de compostos bioativos nos tecidos vegetais (ŽELJKOVIĆ et al., 2021).

Associada à hidroponia, a aplicação de bioestimulantes/biofertilizantes tem se consolidado como uma estratégia agrônômica promissora, podendo ser empregada em diversos sistemas de produção, incluindo o cultivo hidropônico (CARDOSO; SOUZA; OLIVEIRA, 2025). Entre as fontes de bioestimulantes, destaca-se a macroalga *Kappaphycus alvarezii*, amplamente investigada em função de sua rica composição em compostos bioativos. Esses compostos desempenham importante papel na promoção do crescimento vegetal, na melhoria do desenvolvimento fisiológico e no aumento da tolerância das plantas a diferentes condições de estresse (NUNES et al., 2024).

Nesse contexto, a associação entre sistemas hidropônicos e a aplicação de bioestimulantes algais surge como uma estratégia promissora ao cultivo de diversas espécies vegetais, especialmente plantas medicinais e aromáticas de interesse econômico, uma vez que pode favorecer o crescimento, a produtividade e os teores de metabólitos de interesse (ŽELJKOVIĆ et al., 2021; GÖRE et al., 2024). Entre essas espécies, destaca-se a *Mentha × piperita* (hortelã-pimenta), utilizada nas indústrias farmacêutica, cosmética, alimentícia e de fitoterápicos devido às propriedades terapêuticas, aromáticas e gastronômicas (HUDZ et al., 2023) de metabólitos secundários presentes em seu óleo essencial. Apesar de seu valor comercial e funcional, estudos relacionados ao cultivo hidropônico da espécie ainda são limitados, evidenciando a necessidade de investigações considerando suas respostas de adaptação, produtividade e qualidade (LARIBI; ANNABI; BETTAIEB, 2023).

Dessa forma, diante do potencial do cultivo hidropônico associado ao uso de bioestimulantes, este estudo objetivou avaliar os efeitos do extrato aquoso de *K. alvarezii* sobre parâmetros morfológicos e bioquímicos de plantas de hortelã-pimenta cultivadas em sistema hidropônico.

Material e Métodos

Amostras da macroalga *K. alvarezii* foram obtidas em fazenda marinha em Florianópolis, SC. Após a coleta, as amostras foram lavadas para remoção de sal, impurezas e microrganismos incrustados. Para obtenção do extrato, a biomassa algal foi triturada em liquidificador industrial e filtrada em suporte de celulose sob pressão reduzida. O extrato obtido foi armazenado à -20°C até sua utilização.

Sementes de *Mentha × piperita* foram obtidas na Feltrin Sementes®, apresentando taxa de germinação de 76% e pureza de 98%. As sementes foram semeadas em espumas fenólicas e mantidas à 30°C em câmara de crescimento até a germinação. Posteriormente, as plântulas foram transferidas para sistema hidropônico utilizando a técnica de filme nutritivo (NFT, Nutrient Film Technique). A condutividade elétrica da solução nutritiva foi gradualmente ajustada, variando de 0,3 a 3,0 mS/cm ao longo do cultivo. A solução nutritiva foi composta por nitrato de cálcio, nitrato de potássio, fosfato monoamônico, sulfato de magnésio, sulfato de cobre, sulfato de manganês, sulfato de zinco, ácido bórico, molibdato de sódio e quelato de ferro EDDHA.

O experimento foi conduzido com 15 plantas por tratamento, distribuídas em três calhas contendo cinco canais hidropônicos, cada um com reservatório individual para a solução nutritiva. O extrato aquoso de *K. alvarezii* foi aplicado semanalmente por via foliar nas concentrações de 0% (controle), 1%, 3%, 5% e 7% (v/v). Ao final do experimento, foram selecionadas 11 plantas homogêneas por tratamento para a realização das análises.

Após 89 dias de experimento, foram avaliados os parâmetros morfológicos (altura da planta, comprimento da raiz e número de nós) e bioquímicos (açúcares solúveis totais, amido total, carboidratos totais e aminoácidos totais). Para as análises bioquímicas, as duas maiores folhas após o segundo nó foram coletadas, armazenadas à -80°C, maceradas em nitrogênio líquido e submetidas à quantificação espectrofotométrica dos metabólitos de interesse (NUNES et al., 2026).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, seguida do teste de Tukey a 5% de significância, utilizando o software AgroEstat (versão 1.1.0.712).

Resultados e Discussão

Para os parâmetros morfológicos não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos com biofertilizante de *K. alvarezii* e o controle (Figura 1).

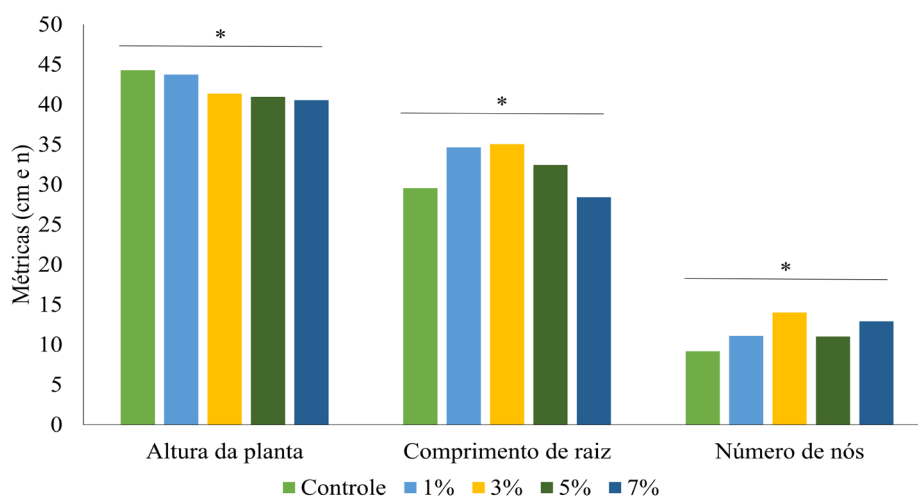


Figura 1 - Altura da planta (cm), comprimento da raiz (cm) e número de nós (n.) de plantas de menta (*Mentha × piperita*) cultivadas em sistema hidropônico e tratadas com o biofertilizante de *Kappaphycus alvarezii* (1%, 3%, 5% e 7% - v/v).

No entanto, foram observados incrementos significativos às variáveis bioquímicas investigadas resultantes dos tratamentos com o bioinsumo algal. Para os açúcares solúveis totais, os tratamentos a 3% e 5% diferiram estatisticamente em relação ao controle, com incrementos de 61% e 47%, respectivamente. No teor de amido total, observou-se que os tratamentos à 7%, 5% e 3% diferiram do controle, com incrementos expressivos de 214%, 159% e 92%, respectivamente. O conteúdo de carboidratos totais foi superior nas plantas tratadas com 3% e 5% do biofertilizante algal, apresentando incrementos de 41% e 46%, respectivamente, comparativamente ao controle. Por fim, para os aminoácidos totais, verificou-se aumento em todos os tratamentos em relação ao controle, com destaque à concentração de 7%, que promoveu incremento de 27% (Figura 2).

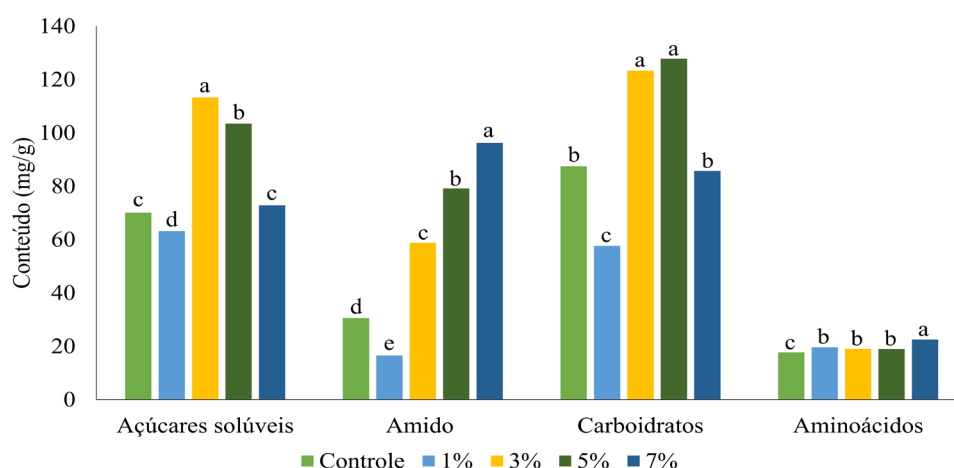


Figura 2 - Açúcares solúveis totais (mg/g), amido total (mg/g), carboidratos totais (mg/g) e aminoácidos totais (mg/g) de plantas de menta (*Mentha × piperita*) cultivadas em sistema hidropônico e tratadas com o biofertilizante de *Kappaphycus alvarezii* (1%, 3%, 5% e 7% - v/v).

Os resultados obtidos evidenciam que o bioestimulante de *K. alvarezii* influenciou principalmente os parâmetros bioquímicos de plantas de menta cultivadas em sistema hidropônico. Observou-se que as concentrações entre 3% e 7% promoveram incrementos significativos no metabolismo de carboidratos e aminoácidos, indicando uma resposta metabólica positiva à aplicação daquele bioinsumo. Resultados semelhantes também foram relatados para plantas de manjerição cultivadas em sistema hidropônico, nas quais estas concentrações também favoreceram o acúmulo desses metabólitos (NUNES et al., 2025). Entretanto, diferentemente do observado para a menta, as plantas de manjerição apresentaram incrementos em parâmetros morfológicos. Essa diferença pode estar relacionada às características de crescimento de *Mentha × piperita*, que apresenta hábito mais rasteiro, podendo ter sua expansão limitada pelo espaço disponível nos canais hidropônicos. Assim, embora os efeitos do bioestimulante sobre o crescimento não tenham sido evidentes na menta, respostas metabólicas expressivas foram detectadas.

O aumento dos teores de carboidratos e aminoácidos sugere que o bioestimulante atua na modulação de processos fisiológicos relacionados à assimilação de carbono e nitrogênio, favorecendo o metabolismo primário da planta. Esses compostos desempenham funções essenciais no crescimento e na manutenção celular, estando associados à maior eficiência fotossintética, à síntese proteica, à tolerância a estresses ambientais e à produção de metabólitos indispensáveis ao funcionamento metabólico vegetal (HILDEBRANDT et al., 2015; JULIUS et al., 2017). Assim, os incrementos observados nesses metabólitos constituem indicadores de melhoria da qualidade fisiológica das plantas, demonstrando o potencial do bioestimulante à promoção de um metabolismo mais eficiente e, consequentemente, contribuindo para o desempenho agrônomo da cultura.

Conclusões

A aplicação do produto bioestimulante de *K. alvarezii* promoveu alterações positivas no metabolismo da hortelã-pimenta cultivada em sistema hidropônico, com incrementos no anabolismo de carboidratos e de aminoácidos. As concentrações do bioinsumo entre 3% e 7% apresentaram os resultados mais expressivos, evidenciando o potencial bioestimulante da macroalga sobre o metabolismo primário da cultura. Em seu conjunto, tais resultados indicam a viabilidade do uso de *K. alvarezii* em plantas medicinais, embora estudos adicionais sejam necessários para compreender seus mecanismos de ação e eficiência em diferentes condições de cultivo.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP (2023/03886-1, A.N.), à CAPES (88887.696139/2022-00, F.S.D.), à FAPESC (2024TR002499, M.M) e ao CNPq (405949/2022-7, 408526/2024-6 – INCT Biotecmar, M.M.; 303956/2023-2, E.R.O.; 314977/2025-2, A.R.S.; 311719/2023-6, G.P.P.L.) pelo apoio financeiro e concessão de bolsas. Agradecem também à empresa Algas Brasil Ltda pela doação das amostras das amostras de algas utilizadas neste estudo.

Literatura citada

CARDOSO, A. P. N.; SOUZA, E. C.; OLIVEIRA, R. A. P. O desenvolvimento de hortaliças em cultivo hidropônico comparado ao cultivo tradicional. **Revista Novos Desafios**, v. 5, n. 1, p. 42–51, 2025.

DIEDRICH, G. E.; BIONDO, E.; BULHÕES, F. M. Agroecologia e bem viver como modo de vida e como modelo sustentável de produção agrícola e de consumo de alimentos. **Colóquio**, v. 18, n. 3, p. 230–252, 2021.

GÖRE, M. Biostimulant applications in medicinal and aromatic plants: advantages, challenges and future perspectives. **Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology**, v. 12, n. 11, p. 1944-1952, 2024.

HILDEBRANDT, T. M. et al. Amino acid catabolism in plants. **Molecular Plant**, v. 8, n. 11, p. 1563–1579, 2015.

HUDZ, N. et al. *Mentha piperita*: essential oil and extracts, their biological activities and perspectives on the development of new medicinal and cosmetic products. **Molecules**, v. 28, n. 21, p. 1-27, 2023.

JULIUS, B. T. et al. Sugar transporters in plants: new insights and discoveries. **Plant & Cell Physiology**, v. 58, n. 9, p. 1442-1460, 2017.

LARIBI, B.; ANNABI, H. A.; BETTAIEB, T. Effects of *Ulva intestinalis* Linnaeus seaweed liquid extract on plant growth, photosynthetic performance and water status of two hydroponically grown Lamiaceae species: peppermint (*Mentha × piperita* L.) and purple basil (*Ocimum basilicum* var. *purpurascens* Benth.). **South African Journal of Botany**, v. 159, p. 1-9, 2023.

NUNES, A. et al. A biostimulant from *Kappaphycus alvarezii* enhances the growth and development of basil (*Ocimum basilicum* L.) plants. **Horticulturae**, v. 11, n. 4, p. 1-24, 2025.

NUNES, A. et al. Comparative effects of *Kappaphycus alvarezii* biostimulants from southern and southeastern Brazil on the biochemical profile of hydroponically grown peppermint (*Mentha x piperita* L.). **Discover Agriculture**, v. 4, p. 1-19, 2026.

NUNES, A. et al. Uses and applications of the red seaweed *Kappaphycus alvarezii*: a systematic review. **Journal of Applied Phycology**, v. 36, p. 3409-3450, 2024.

POMONI, D. I. et al. A review of hydroponics and conventional agriculture based on energy and water consumption, environmental impact, and land use. **Energies**, v. 16, n. 4, p. 1-26, 2023.

WILLOUGHBY, C. et al. New approach combining food value with nutrient budgeting provides insights into the value of alternative farming systems. **Food and Energy Security**, v. 11, n. 4, p. 1-16, 2022.

ŽELJKOVIĆ, S. Č. et al. Optimizing growing conditions for hydroponic farming of medicinal and aromatic plants: analysis of growth and metabolism in *Mentha* species. **Food Chemistry**, v. 385, p. 1-9, 2022.

Nano-N foliar em manjerição hidropônica sob restrição de nitrogênio: impactos nas trocas gasosas e na biomassa

Eduardo Pradi VENDRUSCOLO¹, Sthela Silva MELO², Gabriela Rodrigues Sant'Ana², Edilson Costa¹ e Carlos Eduardo da Silva OLIVEIRA¹,

¹Professor do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (UEMS). e-mail: eduardo.vendruscolo@uems.br, edilson.costa@uems.br, carlos.eduardo@uems.br.

²Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (UEMS). e-mail: sthela100.m@gmail.com, gabrielasant_ana@icloud.com.

Resumo: O manjerição é uma planta aromática de alto valor econômico e farmacológico, sendo altamente dependente da adubação nitrogenada, devido aos processos fotossintéticos. Neste contexto, a nanotecnologia surge como alternativa promissora para aumentar a eficiência do uso de nutrientes, especialmente por meio de nanofertilizantes. O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes concentrações de Nano-N aplicadas via foliar sobre as trocas gasosas de plantas de manjerição cultivadas em sistema hidropônico sob redução de 40% do nitrogênio na solução nutritiva. O delineamento foi em blocos ao acaso, com 4 repetições e 6 tratamentos (0; 2,5; 5,0; 10; 12,5 e 15,0 mL L⁻¹). Foram avaliadas as variáveis de concentração interna de CO₂, transpiração, condutância estomática e taxa de assimilação de CO₂, submetidas à análise de variância e regressão. Os resultados indicaram respostas significativas às doses de Nano-N, com comportamento quadrático para todas as variáveis. As doses entre 7,4 e 9,5 mL L⁻¹ promoveram maiores taxas de assimilação de CO₂, transpiração e condutância estomática, enquanto a concentração interna de CO₂ atingiu máximo em dose superior. Conclui-se que a aplicação de Nano-N é capaz de mitigar os efeitos da redução de nitrogênio convencional, promovendo melhora nas trocas gasosas e maior eficiência fisiológica do manjerição em sistema hidropônico, evidenciando seu potencial para sistemas agrícolas mais sustentáveis.

Palavras-chave: Assimilação de CO₂, Eficiência fotossintética, nanotecnologia *Ocimum basilicum*.

Introdução

O manjerição (*Ocimum basilicum* L.) é uma das principais plantas aromáticas cultivadas no mundo, sendo amplamente utilizado nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética devido ao seu elevado valor econômico e à presença de compostos bioativos com propriedades medicinais e aromáticas (KOUSAR et al., 2026). Além da qualidade dos óleos essenciais produzidos, a produtividade da cultura está diretamente relacionada ao adequado suprimento de nutrientes, especialmente o nitrogênio, considerado um dos elementos mais importantes para o crescimento e desenvolvimento vegetal (ACHARYA et al., 2020).

Dentre os nutrientes minerais, o nitrogênio exerce papel fundamental nos processos fisiológicos das plantas por participar da constituição da clorofila, aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos e da enzima ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco), responsável pela fixação do carbono durante a fotossíntese (EVANS; CLARKE, 2019). Dessa forma, a disponibilidade adequada desse nutriente está diretamente associada ao desempenho fotossintético, à produção de biomassa e à qualidade comercial do manjerição. Em contrapartida, a deficiência de

nitrogênio pode reduzir a assimilação de CO₂, a condutância estomática e o crescimento das plantas, comprometendo a produtividade da cultura.

Nos sistemas hidropônicos, o manejo da solução nutritiva é determinante para a obtenção de elevados rendimentos, uma vez que os nutrientes são fornecidos exclusivamente por meio da solução. Entretanto, a busca por sistemas produtivos mais sustentáveis tem impulsionado estudos voltados à redução do uso de fertilizantes nitrogenados, visando diminuir custos de produção e impactos ambientais associados à sua fabricação e utilização. Nesse contexto, a nanotecnologia surge como uma alternativa promissora para aumentar a eficiência de uso dos nutrientes na agricultura.

Os nanofertilizantes apresentam partículas em escala nanométrica capazes de proporcionar maior área superficial de contato, liberação gradual dos nutrientes e maior eficiência de absorção pelas plantas. Essas características contribuem para a redução de perdas por lixiviação, volatilização e fixação no ambiente, aumentando a eficiência nutricional e potencialmente reduzindo a necessidade de fertilizantes convencionais (ABHIRAM, 2023; LIU et al., 2023). As trocas gasosas constituem importantes indicadores fisiológicos da resposta das plantas às condições de cultivo, permitindo avaliar alterações na atividade fotossintética, no funcionamento estomático e na eficiência do uso da água (BUSCH et al., 2024).

Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação foliar de diferentes concentrações de Nano-N sobre as trocas gasosas de plantas de manjerição cultivadas em sistema hidropônico sob redução de 40% do nitrogênio da solução nutritiva.

Material e Métodos

O experimento foi implantado e conduzido nas dependências da Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade de Cassilândia (Coordenadas 19°05'46"S e 51°48'50"O e altitude de 521 m em relação ao nível do mar). Segundo classificação de Köppen, o clima da região era do tipo tropical chuvoso (Aw), com verão chuvoso e inverno seco (precipitação no inverno menor que 60 mm), com precipitação e temperatura média anual de 1.520 mm e 24,1 °C, respectivamente.

O ambiente utilizado para a condução do experimento é caracterizado como uma estrutura de casa de vegetação, a qual possui dimensões de 14,64 x 6,40 x 3,5 m, antecâmara de 3,66 x 3,20 m, fechada na cobertura e lateral por filme de polietileno de baixa densidade, com 150 microns, difusor de luz, camada dupla, com tela termorrefletora aluminizada de 35% de sombreamento (Aluminet®) sob o filme da cobertura e sistema de climatização do tipo pad/fan Humil Cool (CELDEX®).

O sistema hidropônico foi constituído por uma telha de fibrocimento com dimensões de 2,44 x 1,10 m, contendo seis canaletas para a produção das plantas. O sistema para injeção de solução nutritiva no sistema era composto por um reservatório de 100 L, uma bomba submersa, com capacidade de bombeamento de 2.000 L h⁻¹ e tubulação de meia polegada para distribuição da solução nas canaletas de cultivo. O sistema coletor do excedente de solução foi composto por uma calha de PVC posicionada na parte mais baixa do sistema e um tubo direcionador de PVC para retorno da solução ao reservatório.

O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, composto por seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram compostos pela aplicação de diferentes concentrações de fertilizante foliar a base de nano nitrogênio (0, 2,5, 5,0, 10, 12,5 e 15,0 mL L⁻¹). O fertilizante foliar possui garantia de composição com 25% de nano

nitrogênio, com partículas menores que 50 nm. As aplicações foram realizadas a cada dez dias, por meio de jato dirigido sobre as plantas, em volume de 2 mL planta⁻¹. A solução nutritiva utilizada, com redução de 40% sobre a composição de nitrogênio, foi composta por: 7,2% N, 8% P, 30% K, 3% S, 3% Mg, 0.14% Fe, 0.04% B, 0.04% Mn, 0.03% Cu, 0.019% Mo, 0.006% Ni, 0.002% Co, and 15% Ca.

No dia da colheita aos 28 dias após o transplântio das mudas, foram avaliadas as características fisiológicas através das tocas gasosas foliares com o equipamento Infra Red Gas Analyser – IRGA (LCi, ADC Bioscientific, Hertfordshire, UK), serão realizadas em oito plantas aleatoriamente, mensurando a concentração subestomática de carbono (C_i - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s - $\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E - $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), a taxa de fotossíntese líquida (A - $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Os dados foram submetidos à análise de variância, em seguida foi aplicada a análise de regressão às médias das variáveis.

Resultados e Discussão

Os resultados demonstraram que a aplicação de Nano-N influenciou significativamente as variáveis de trocas gasosas do manjeriço, evidenciando alterações na dinâmica fotossintética e no comportamento estomático das plantas. A concentração interna de CO_2 (C_i) apresentou resposta quadrática às doses de Nano-N, com valor máximo estimado de 346,1 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ na dose de 7,39 mL L⁻¹ (Figura 1A). Esse aumento pode estar associado à maior disponibilidade de nitrogênio para síntese de compostos fotossintéticos, favorecendo a difusão e assimilação de carbono. De acordo com Bassi, Menossi e Mattiello (2018), o nitrogênio exerce papel fundamental na formação de clorofila e enzimas envolvidas na fixação de carbono, contribuindo para maior eficiência fotossintética.

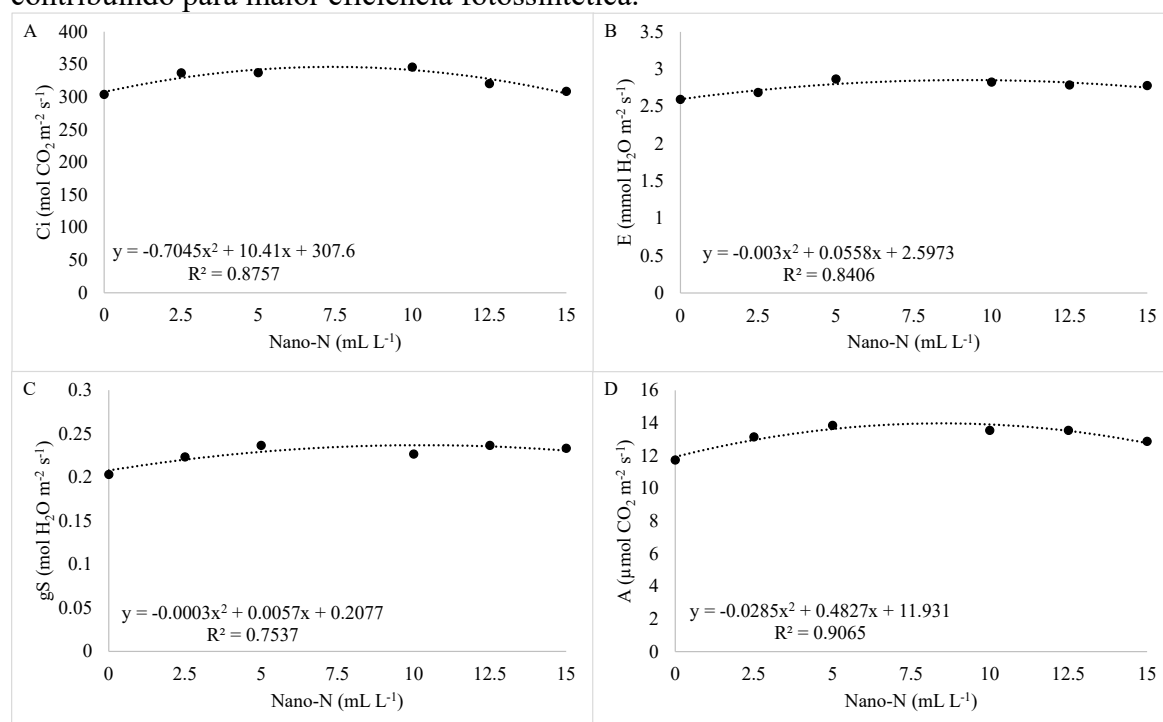


Figura 1 – Concentração de CO_2 intracelular (A), taxa de transpiração (B), condutância estomática (C) e taxa de assimilação de CO_2 (D) em plantas de manjeriço cultivadas sob redução de 40% de nitrogênio na solução nutritiva e tratadas com diferentes concentrações de nano-N foliar.

A transpiração (E) e a condutância estomática (gS) também apresentaram comportamento quadrático, com máximos estimados nas doses de 9,30 e 9,50 mL L⁻¹ de Nano-N, respectivamente (Figuras 1B e 1C). Esses resultados indicam que doses mais elevadas do fertilizante nanoestruturado promoveram maior abertura estomática, favorecendo simultaneamente as trocas gasosas e o fluxo de água através das folhas. Resultados semelhantes foram relatados por Sampaio et al. (2021), que observaram aumento da transpiração e da condutância estomática em função da maior disponibilidade de nitrogênio.

A taxa de assimilação líquida de CO₂ (A) apresentou resposta altamente significativa ($R^2 = 0,9065$), atingindo valor máximo estimado de 13,97 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ na dose de 8,47 mL L⁻¹ de Nano-N (Figura 1D). Esse incremento demonstra que, mesmo sob redução do nitrogênio na solução nutritiva, o Nano-N foi capaz de otimizar o processo fotossintético, favorecendo a assimilação de carbono e a produção de fotoassimilados. Segundo Bassi, Menossi e Mattiello (2018), o suprimento adequado de nitrogênio influencia diretamente a atividade da Rubisco e a capacidade de carboxilação das plantas, refletindo em maiores taxas fotossintéticas.

A massa seca de folhas apresentou comportamento quadrático ($R^2 = 0,7242$), atingindo a produção máxima estimada de 4,35 g planta⁻¹ na dose de 5,0 mL L⁻¹ de nano-N foliar (Figura 2A). De maneira semelhante, a massa seca de caule respondeu de forma quadrática ao insumo ($R^2 = 0,8409$), com ponto de máxima eficiência técnica estimado em 1,91 g planta⁻¹ sob a dose de 6,3 mL L⁻¹ de nano-N via foliar (Figura 2B). Em contrapartida ao desenvolvimento da parte aérea, a biomassa seca radicular exibiu um decréscimo linear em função do aumento das concentrações do nano-N foliar (Figura 2C), em que a ausência de nano-N (dose 0) resultou no maior acúmulo de massa seca nas raízes (6,86 g planta⁻¹), decrescendo à razão de 0,20 g por cada mL L⁻¹ de nano-N adicionado à cultura.

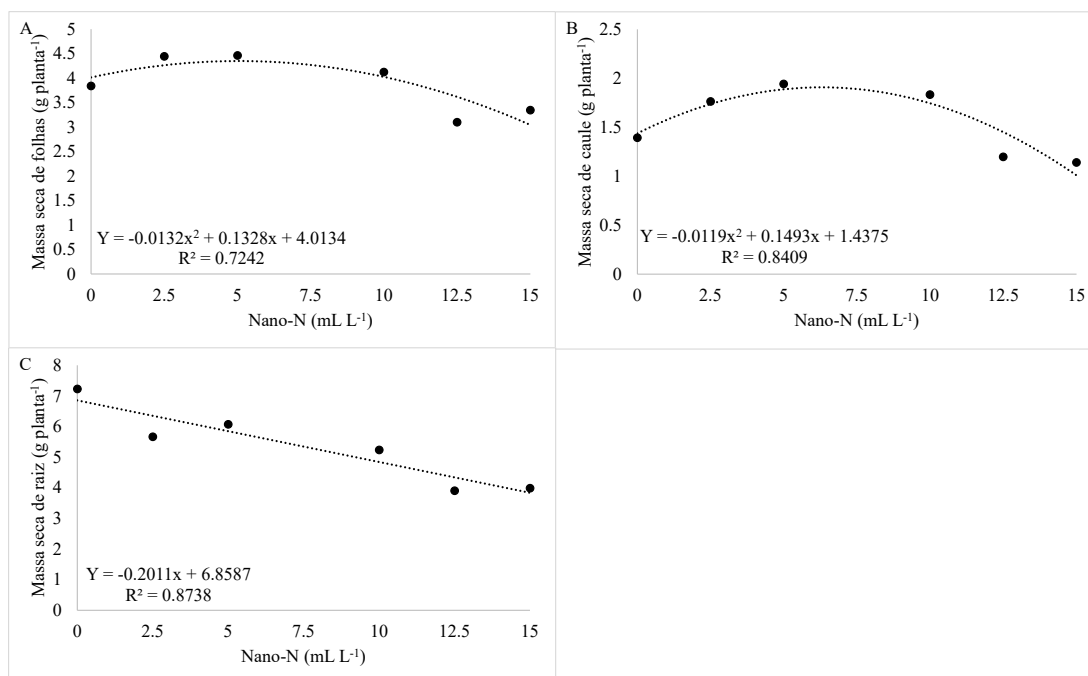


Figura 2 – Massa seca de folhas (A), Massa seca de caule (B) e massa seca das raízes (C) de plantas de manjericão cultivadas sob redução de 40% de nitrogênio na solução nutritiva e tratadas com diferentes concentrações de nano-N foliar.

A aplicação foliar de nano-N é uma estratégia promissora e sustentável que compensa parcialmente a redução de 40% do nitrogênio convencional na solução nutritiva do manjeriço. Ao otimizar o aparato fotossintético e a eficiência do uso do nutriente, o insumo potencializa o metabolismo vegetal. Doses entre 7,4 e 9,5 mL L⁻¹ são ideais para maximizar as trocas gasosas e a assimilação de carbono, enquanto a faixa de 5,0 a 6,3 mL L⁻¹ promove o maior acúmulo de matéria seca na parte aérea. Assim, a nanotecnologia se consolida como ferramenta viável para aumentar o rendimento e a sustentabilidade no cultivo da espécie.

Conclusão

A aplicação foliar de nano-N constitui uma alternativa tecnológica promissora e sustentável para o cultivo de manjeriço, sendo capaz de mitigar o estresse nutricional e compensar parcialmente a redução de 40% do nitrogênio convencional na solução nutritiva. O insumo potencializa a eficiência do uso do nitrogênio ao otimizar o aparato fotossintético e o funcionamento estomático da cultura. Para a maximização do desempenho fisiológico, incluindo os maiores índices de assimilação líquida de CO₂ transpiração e condutância estomática, recomendam-se doses situadas entre 7,4 e 9,5 mL L⁻¹. Por sua vez, o reflexo direto desse ganho metabólico na produção biológica ocorre em concentrações ligeiramente menores, em que a faixa de 5,0 a 6,3 mL L⁻¹ promove o maior acúmulo de matéria seca estrutural nos tecidos da parte aérea (folhas e caules), consolidando o potencial da nanotecnologia para elevar a eficiência fisiológica e o rendimento da cultura.

Agradecimentos

À Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT/MS) pelo financiamento desta pesquisa (Nº. outorga: 227/2024, Nº. SIAFIC: 280) e à Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – (Processo nº 404229/2025-5). À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) Rede Biodiversa Centro-Oeste - Programa CAPES: PDPG-FAP, Processo n. 88887.128945/2025-00. À empresa Alfa Nano Brazil pelo apoio e parceria em pesquisas. À Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) pelo suporte financeiro para a aquisição dos equipamentos utilizados neste estudo. A Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PGAC) da UEMS, Unidade Universitária de Cassilândia.

Literatura citada

- ABHIRAM, G. Contributions of Nano-Nitrogen Fertilizers to Sustainable Development Goals: A Comprehensive Review. **Nitrogen**, Basel, v.4, n.4, p.397–415, 2023.
- ACHARYA, Tej P., et al. Nitrogen uptake and use efficiency in sweet basil production under low tunnels. **HortScience**, Alexandria, v.55, n.4, p.429–435, 2020.
- BASSI, D.; MENOSSE, M.; MATTIELLO, L. Nitrogen supply influences photosynthesis establishment along the sugarcane leaf. **Scientific Reports**, Londres, v.8, n.2327, p.1-14, 2018.
- BUSCH, F. A. et al. A guide to photosynthetic gas exchange measurements: Fundamental principles, best practice and potential pitfalls. **Plant, Cell & Environment**, Hoboken, v.47, n.9, p.3344–3364, 2024.

KOUSAR, M. U., et al. Basil (*Ocimum basilicum*) as a bioactive resource: Chemical composition and extraction innovation. **Food and Humanity**, Amsterdam, v.6, n.101108, p.1-18, 2026.

SAMPAIO, I. M. G., et al. Productive and physiological responses of basil to nitrogen fertilization. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.39, n.3, p.335-340, 2021.

Crescimento de plantas de alface sob aplicação foliar de doses de nano-nitrogênio em cultivo hidropônico

Lucas Roberto Machado SIMÕES¹, Evelin Camargo GARCIA¹, Eduardo Pradi VENDRUSCOLO², Cássio de Castro SERON², Carlos Eduardo da Silva OLIVEIRA²

¹Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (UEMS). e-mail: lucasrobertosimoess@gmail.com, evelincamargo20122015@gmail.com.

²Professor do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (UEMS). e-mail: eduardo.vendruscolo@uems.br, cassio.seron@uems.br, carlos.eduardo@uems.com

Resumo: A agricultura busca viabilizar a sustentabilidade ambiental buscando novos recursos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de doses de nano-N no desenvolvimento da alface. O experimento foi conduzido na UEMS, em Cassilândia-MS, em casa de vegetação com sistema hidropônico. O delineamento foi em blocos ao acaso, com 4 repetições e 6 tratamentos (0; 2,5; 5,0; 10; 12,5 e 15,0 mL L⁻¹), sob solução com redução de 40% de N. Avaliou-se as massas fresca e seca da cabeça, número de folhas, volume e massa seca da raiz. A aplicação de Nano-N em solução nutritiva com redução de 40% do nitrogênio promoveu incrementos significativos no crescimento da alface. As respostas foram ajustadas por modelos quadráticos, com máximos estimados de 110,2 g planta⁻¹ para massa fresca da cabeça (8,5 mL L⁻¹), 17,3 folhas planta⁻¹ (9,2 mL L⁻¹), 45,0 cm³ planta⁻¹ para volume radicular (6,9 mL L⁻¹), 7,9 g planta⁻¹ para massa seca da cabeça (7,6 mL L⁻¹) e 4,4 g planta⁻¹ para massa seca da raiz (6,8 mL L⁻¹). Os resultados indicam que o Nano-N aumentou a eficiência de utilização do nitrogênio, favorecendo o acúmulo de biomassa mesmo sob restrição nutricional. Conclui-se que doses entre 6,8 e 9,2 mL L⁻¹ de Nano-N podem compensar parcialmente a redução de 40% do N, constituindo alternativa promissora para aumentar a eficiência nutricional e a sustentabilidade da produção de alface.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L., Nanotecnologia, Mudanças climáticas, Fertilizante nitrogenado.

Introdução

A agricultura contemporânea é caracterizada por uma busca constante de processos que viabilizem a sustentabilidade ambiental, otimizando o uso do espaço físico, a eficiência energética e a gestão dos recursos hídricos (REBOLLEDO et al., 2024). Nesse contexto, a alface (*Lactuca sativa* L.) destaca-se como uma das hortaliças mais cultivadas e consumidas mundialmente. Contudo, a cultura apresenta elevada sensibilidade às oscilações térmicas, demandando uma faixa ideal de temperatura entre 15 °C e 25 °C para o seu pleno desenvolvimento vegetativo; variações fora desse limiar podem comprometer sua fisiologia e produtividade (SHI et al., 2022).

Diante desse cenário de vulnerabilidade climática, a aplicação de bioestimulantes tem ganhado notoriedade na ciência agrícola e nas estratégias de manejo fitotécnico. O uso dessas substâncias visa maximizar o rendimento produtivo e otimizar o aproveitamento do espaço físico, configurando-se como uma alternativa sustentável frente aos insumos químicos convencionais (VENDRUSCOLO et al., 2024). As perdas de nitrogênio decorrentes da utilização de fertilizantes nitrogenados contribuem significativamente para as emissões de gases de efeito estufa, tanto durante a etapa

industrial de fabricação desses insumos quanto após sua aplicação no campo, por meio de processos como volatilização de amônia e emissões de óxido nitroso (N_2O). No Brasil, estima-se que o uso de fertilizantes nitrogenados tenha sido responsável por aproximadamente 2,7% das emissões totais de CO_2 equivalente em 2024 (SEEG, 2026). Nesse contexto, estratégias que aumentem a eficiência do uso do nitrogênio, reduzam as perdas e permitam diminuir a dependência de fertilizantes minerais tornam-se fundamentais para a mitigação dos impactos ambientais e para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

O nano-nitrogênio surge como uma inovação tecnológica promissora para o setor agropecuário. Caracterizado por partículas de escala nanométrica (1 a 100 nm), esse insumo viabiliza uma liberação controlada e gradual do nutriente ao longo do ciclo da cultura, o que reduz perdas por lixiviação e volatilização, facilitando a absorção radicular e foliar pelas plantas (LI et al., 2023). Foi evidenciado em estudo que a aplicação do nano-nitrogênio pode elevar a eficiência do uso desse elemento em cerca de 30% a 40%, consolidando-se como uma ferramenta chave para a ecoeficiência agrícola (SAURABH et al., 2024).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes doses de nano-nitrogênio no crescimento da cultura da alface em sistema hidropônico em condições de solução nutritiva com redução de 40% do nitrogênio.

Material e Métodos

O experimento foi implantado e conduzido nas dependências da Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade de Cassilândia (Coordenadas 19°05'46"S e 51°48'50"O e altitude de 521 m em relação ao nível do mar). Segundo classificação de Köppen, o clima da região era do tipo tropical chuvoso (Aw), com verão chuvoso e inverno seco (precipitação no inverno menor que 60 mm), com precipitação e temperatura média anual de 1.520 mm e 24,1 °C, respectivamente.

O ambiente utilizado para a condução do experimento é caracterizado como uma estrutura de casa de vegetação, a qual possui dimensões de 14,64 x 6,40 x 3,5 m, antecâmara de 3,66 x 3,20 m, fechada na cobertura e lateral por filme de polietileno de baixa densidade, com 150 microns, difusor de luz, camada dupla, com tela termorrefletora aluminizada de 35% de sombreamento (Aluminet®) sob o filme da cobertura e sistema de climatização do tipo pad/fan Humil Cool (CELDEX®).

O sistema hidropônico foi constituído por uma telha de fibrocimento com dimensões de 2,44 x 1,10 m, contendo seis canaletas para a produção das plantas. O sistema para injeção de solução nutritiva no sistema era composto por um reservatório de 100 L, uma bomba submersa, com capacidade de bombeamento de 2.000 L h⁻¹ e tubulação de meia polegada para distribuição da solução nas canaletas de cultivo. O sistema coletor do excedente de solução foi composto por uma calha de PVC posicionada na parte mais baixa do sistema e um tubo direcionador de PVC para retorno da solução ao reservatório.

O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, composto por seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram compostos pela aplicação de diferentes concentrações de fertilizante foliar a base de nano nitrogênio (0, 2,5, 5,0, 10, 12,5 e 15,0 mL L⁻¹). O fertilizante foliar possui garantia de composição com 25% de nano nitrogênio, com partículas menores que 50 nm. As aplicações foram realizadas a cada dez dias, por meio de jato dirigido sobre as plantas, em volume de 2 mL planta⁻¹. A solução nutritiva utilizada, com redução de 40% sobre a composição de nitrogênio, foi

composta por: 7,2% N, 8% P, 30% K, 3% S, 3% Mg, 0.14% Fe, 0.04% B, 0.04% Mn, 0.03% Cu, 0.019% Mo, 0.006% Ni, 0.002% Co, and 15% Ca.

Aos 28 dias após o transplantio foram retiradas as plantas do sistema hidropônico e separados raiz de parte aérea, para avaliar as características de massa fresca de cabeça (g planta⁻¹), número de folhas (nº planta⁻¹), volume de raiz (cm³ planta⁻¹), a cabeça e as raízes foram encaminhadas separadamente para estufa de secagem de ar forçado na temperatura de 65°C por 72 horas para obtenção da massa seca da cabeça (g planta⁻¹) e massa seca da raiz (g planta⁻¹). Os dados foram submetidos à análise de variância, em seguida foi aplicada a análise de regressão às médias das variáveis.

Resultados e Discussão

Verificou-se que, para as características de massa fresca da cabeça (Figura 1A) a aplicação de Nano-N promoveu um incremento acentuado com o maior rendimento de massa fresca estabiliza e atinge ponto massa na dose calculada de 8,5 mL L⁻¹. A partir desse ponto, o peso começa a diminuir gradativamente, mostrando que o excesso do N foliar prejudica o ganho de matéria fresca.

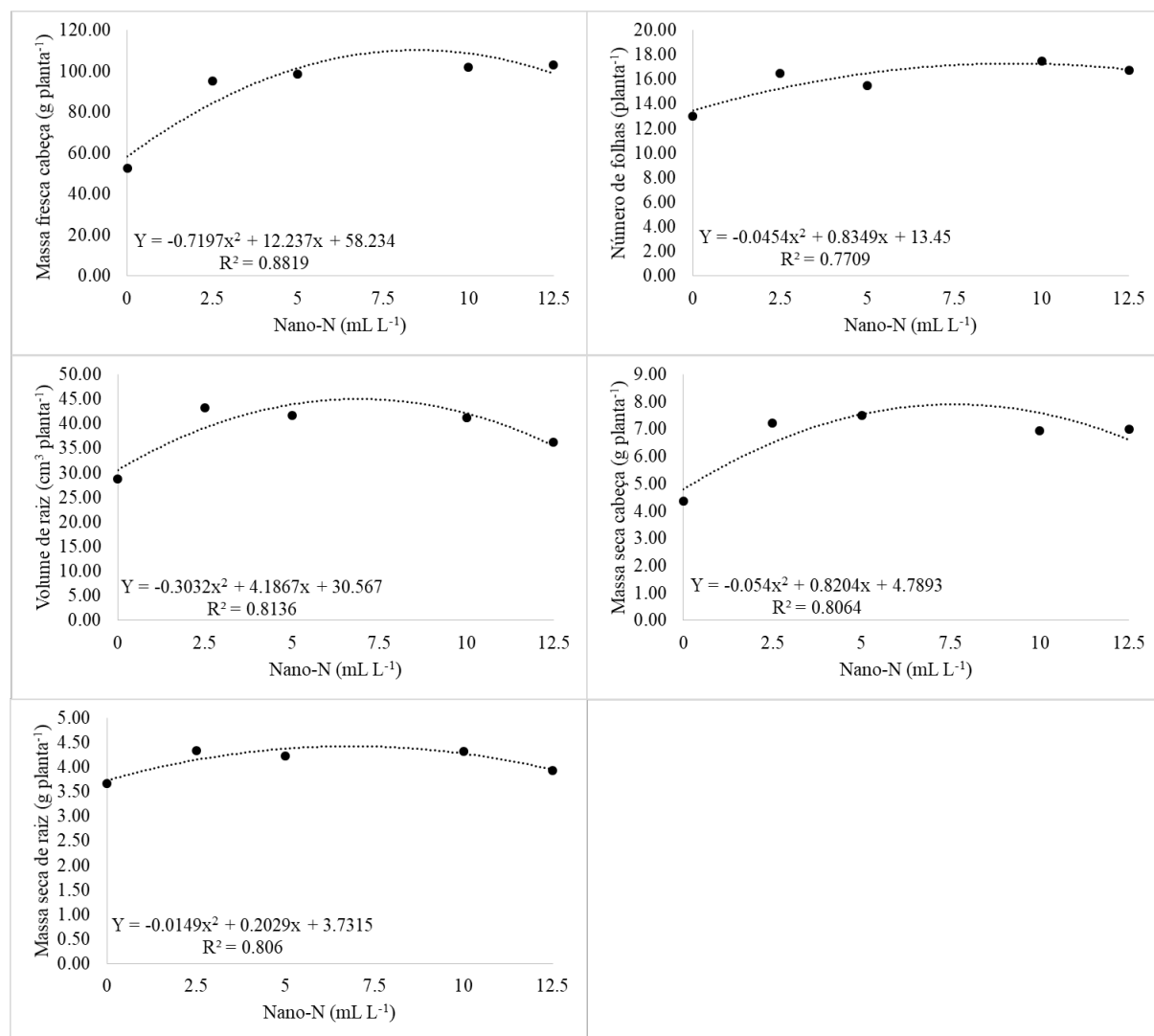


Figura 1 – Massa fresca de cabeça (A), número de folhas (B), volume de raiz (C), massa seca de cabeça (D) e massa seca de raiz (E) em plantas de alface cultivadas sob redução de 40% de nitrogênio na solução nutritiva e tratadas com diferentes concentrações de nano-N foliar.

O maior número de folhas por planta de alface foi obtido sob a dose de $9,2 \text{ mL L}^{-1}$ do Nano-N, que indica que a divisão celular e o surgimento de novas folhas continuam ativos mesmo em concentrações onde outras partes da planta já começaram a sentir o excesso (Figura 1B). O maior volume radicular foi verificado sob a dose de $6,9 \text{ mL L}^{-1}$ do Nano-N via foliar em relação as demais doses, demonstrando eficácia do uso da nanopartícula como fornecedor de N (Figura 1C).

Para massa seca da cabeça o acúmulo máximo de massa seca na parte aérea ocorreu na dose $7,6 \text{ mL L}^{-1}$ do Nano-N via foliar, a partir desta dose a planta começa a perder acúmulo de massa seca, indicando que a eficiência metabólica da planta até esta dose (Figura 1D). Para a massa seca de raízes o resultado acompanha a tendência observada no volume radicular, sendo verificado maior massa seca das raízes sob a dose de $6,8 \text{ mL L}^{-1}$ de Nano-N foliar, garantindo que a planta se fixe bem e tenha estrutura para buscar nutrientes (Figura 1E). A redução de 40% do nitrogênio na solução nutritiva normalmente limita o crescimento da alface, uma vez que o N é o nutriente mais diretamente relacionado à expansão foliar, síntese de clorofila, produção de proteínas e acúmulo de biomassa. Entretanto, os resultados obtidos demonstram que a aplicação de Nano-N foi capaz de compensar parcialmente essa restrição nutricional, promovendo incrementos significativos na massa fresca, massa seca da parte aérea e desenvolvimento radicular das plantas (ROJAS-VELÁZQUEZ et al., 2023).

Outro aspecto relevante foi o aumento do volume e da massa seca das raízes. Sob condições de menor disponibilidade de nitrogênio, plantas frequentemente direcionam maior proporção de fotoassimilados para o sistema radicular em busca de nutrientes. Contudo, a resposta observada sugere não apenas uma adaptação ao estresse nutricional, mas também um efeito estimulante do Nano-N sobre o desenvolvimento radicular. Sistemas radiculares mais desenvolvidos aumentam a área explorada e a capacidade de absorção de água e nutrientes, contribuindo para uma retroalimentação positiva do crescimento da parte aérea (ABDEL-HAKIM et al., 2023).

Conclusões

A concentração das doses ótimas entre $6,8$ e $8,5 \text{ mL L}^{-1}$ indica que existe uma faixa de máxima eficiência fisiológica para o Nano-N sob a redução da adubação nitrogenada via solução nutritiva. Acima desse intervalo, os ganhos tendem a estabilizar ou diminuir, comportamento típico de respostas quadráticas associadas ao fornecimento de nutrientes. Isso sugere que, após determinado ponto, outros fatores passam a limitar o crescimento vegetal, reduzindo os benefícios adicionais do aumento da dose.

Do ponto de vista agrônomo e ambiental, os resultados são particularmente relevantes porque demonstram o potencial do Nano-N para manter ou aumentar a produtividade da alface mesmo com redução de 40% do nitrogênio na solução nutritiva. Essa estratégia pode contribuir para a diminuição do consumo de fertilizantes nitrogenados convencionais, reduzindo custos de produção, dependência de fertilizantes importados e impactos ambientais associados à fabricação e às perdas de nitrogênio para o ambiente.

Agradecimentos

À Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT/MS) pelo financiamento desta pesquisa (Nº. outorga: 227/2024, Nº. SIAFIC: 280) e à Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – (Processo nº 404229/2025-5). À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) Rede Biodiversa Centro-Oeste - Programa CAPES: PDPG-FAP, Processo n. 88887.128945/2025-00. À empresa Alfa Nano Brazil pelo apoio e parceria em pesquisas. À Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) pelo suporte financeiro para a aquisição dos equipamentos utilizados neste estudo. À Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PGAC) da UEMS, Unidade Universitária de Cassilândia.

Literatura citada

ABDEL-HAKIM, S.G., et al. Nanoparticulate Fertilizers Increase Nutrient Absorption Efficiency and Agro-Physiological Properties of Lettuce Plant. **Agronomy**, Basel, v.13, n.691, p.1-14, 2023.

LI, M., et al. Nano-enabled strategies to enhance biological nitrogen fixation. **Nature Nanotechnology**, Londres, v.18, n.1, p.688–691, 2023.

REBOLLEDO, P. et al. Assessment of Vegetable Species for Microgreen Production in Unheated Greenhouses: Yield, Nutritional Composition, and Sensory Perception. **Plants**, Basel, v.13, n.2787, p.1-16, 2024.

ROJAS-VELÁZQUEZ, Á.N., et al. Effect of a nitrogenous nanocomposite on leaching and N content in lettuce in soil columns. **Discover Nano**, Londres, v.18, n.98, p.1-12, 2023.

SAURABH, K., et al. Enhancing sustainability in agriculture with nanofertilizers. **Discover Applied Sciences**, Londres, v.6, 559 (2024).

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. Plataforma SEEG, 2024. Disponível em: <http://seeg.eco.br>. Acessado em: 15 de junho de 2026.

SHI, M. et al. Phytochemicals, nutrition, metabolism, bioavailability, and health benefits

in lettuce - a comprehensive review. **Antioxidants**, Basel, v. 11, n. 6, p. 1-23, 2022.

VENDRUSCOLO, E. P.; LIMA, S. F. de. O gênero *Azospirillum* e o cultivo de hortaliças:uma revisão. **Biotechnology, Agronomy, Society and Environment**, Liege, v.25, n.4, p.236–246, 2021.

Bioestimulante a base de alga e nicotinamida sobre as trocas gasosas de alface hidropônica

Evelin Camargo GARCIA¹, Carlos Eduardo da Silva OLIVEIRA², Flávio Ferreira Silva BINOTTI², Eliana Duarte Cardoso BINOTTI², Eduardo Pradi VENDRUSCOLO²

¹Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (UEMS). e-mail: evelincamargo20122015@gmail.com.

²Professor do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (UEMS). e-mail: carlos.eduardo@uems.com, binotti@uems.br, elianaduarte@uems.br, eduardo.vendruscolo@uems.br.

Resumo: A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma das culturas mais difundidas no Brasil e, também, mais presentes na mesa dos brasileiros. Buscar alternativas que melhorem o sistema de produção tem se tornado cada vez mais importante. Assim, a introdução dos bioinsumos podem se tornar uma ferramenta promissora para esta finalidade. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da aplicação combinada de nicotinamida e microalga sobre as trocas gasosas da alface hidropônica, indicando a potencial utilização destes bioestimulantes para a melhoria fisiológica do cultivo. Os tratamentos foram constituídos pelo número de aplicações isoladas de nicotinamida em concentração de 200 mg L⁻¹ (nenhuma, uma ou duas vezes), com ou sem microalga *Chlorella vulgaris* na solução nutritiva, em proporção de 1% do volume. Foram avaliadas as trocas gasosas das plantas (fotossíntese líquida, condutância estomática, concentração de CO₂ intracelular e transpiração), a partir das quais se calculou a eficiência do uso da água e a eficiência de carboxilação. Constatou-se que os bioinsumos exerceram efeitos positivos tanto a nível fisiológico, sendo que plantas submetidas à aplicação combinada de nicotinamida, acompanhadas pela aplicação da microalga via solução tiveram melhores desempenhos de trocas gasosas. Concluiu-se que o cultivo de alface em hidroponia é favorecido pela aplicação de nicotinamida, principalmente quando esta é realizada de maneira sequencial e em conjunto com bioinsumo de *Chlorella vulgaris* adicionada na solução nutritiva.

Palavras-chave: Bioinsumos, *Chlorella vulgaris*, sustentabilidade, vitamina B3.

Introdução

A alface (*Lactuca sativa* L.) pertence à família Asteraceae e originou-se na Ásia, foi trazida para o Brasil após a chegada dos colonizadores portugueses no século XVI (Maldonado, 2014). É uma das culturas mais difundidas no Brasil e, também, mais presentes na mesa dos brasileiros. Segundo o livro “Brasil em 50 Alimentos”, da Embrapa, o país produz anualmente ao redor de 660 mil toneladas de alface, que tem previsão de aumento no consumo nos próximos anos.

Apesar de ser uma forma de cultivo amplamente difundida para a produção em ambientes protegidos, a introdução de tecnologias voltadas à promoção do crescimento ou mesmo para incremento da resistência têm ganhado aceitação. A demanda atual por bioestimulantes vegetais é impulsionada pelo rendimento e qualidade das culturas, bem como pela busca de uma agricultura sustentável moderna para proteger o meio ambiente e aumentar o consumo de produtos químicos agrícolas de origem biológica internacionalmente (Rupawalla, 2022).

Desta forma, é imprescindível a busca de novas alternativas de cultivo e tecnologias que contribuam para o aumento da produtividade (Araújo, 2009). Neste sentido, a nicotinamida, vitamina do complexo B também conhecida como niacina ou

vitamina B3 tem ganhado atenção. Dentre suas funções destaca-se o incremento no desenvolvimento radicular, amenização de estresses bióticos ou abióticos, ativação de enzimas que fazem a redução do carbono no processo da fotossíntese, e componente do NAD⁺ e do NADP⁺, transportadores de elétrons no metabolismo (Kirkland; Meyer-Ficca, 2018).

Também, a microalga verde *Chlorella Vulgaris* é um microrganismo fotossintetizante que possui uma biomassa rica em diversos nutrientes como proteínas, vitaminas, minerais, fibras, carboidratos, ácidos nucleicos e substâncias antioxidantes (Seo-Hyeon, 2012). É rica em vitaminas B12, B6 e ácido ascórbico, que auxiliam na fotossíntese e na produção de clorofila. Produz auxinas, citocininas e giberelinas, que regulam o crescimento das raízes, caules e folhas. Ativa mecanismos de defesa das plantas contra patógenos e pragas. Aumenta a tolerância das plantas a estresses abióticos como salinidade, seca e temperaturas extremas (Menezes, 2021).

Desta maneira, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da aplicação combinada de nicotinamida e microalga no crescimento, produtividade e qualidade nutricional de alface hidropônica, indicando a potencial utilização destes bioestimulantes para a melhoria do cultivo.

Material e Métodos

O ambiente utilizado para a condução do experimento é caracterizado como uma estrutura de casa de vegetação, a qual possui dimensões de 14,64 x 6,40 x 3,5 m, antecâmara de 3,66 x 3,20 m, fechada na cobertura e lateral por filme de polietileno de baixa densidade, com 150 microns, difusor de luz, camada dupla, com tela termorrefletora aluminizada de 35% de sombreamento (Aluminet®) sob o filme da cobertura e sistema de climatização do tipo pad/fan Humil Cool (CELDEX®).

O sistema hidropônico foi constituído por uma telha de fibrocimento com dimensões de 2,44 x 1,10 m, contendo seis canaletas para a produção das plantas. O sistema para injeção de solução nutritiva no sistema era composto por um reservatório de 100 L, uma bomba submersa, com capacidade de bombeamento de 2.000 L h⁻¹ e tubulação de meia polegada para distribuição da solução nas canaletas de cultivo. O sistema coletor do excedente de solução foi composto por uma calha de PVC posicionada na parte mais baixa do sistema e um tubo direcionador de PVC para retorno da solução ao reservatório.

A solução nutritiva para cultivos hidropônicos, composta por: 18% N, 8% P, 30% K, 3% S, 3% Mg, 0.14% Fe, 0.04% B, 0.04% Mn, 0.03% Cu, 0.019% Mo, 0.006% Ni, 0.002% Co, and 15% Ca, foi substituída semanalmente e teve acompanhamento para a verificação quanto ao pH e à condutividade elétrica, a fim de manterem-se as recomendações técnicas do fabricante (Plantpar®).

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pelo número de aplicações isoladas de nicotinamida em concentração de 200 mg L⁻¹ (nenhuma, uma ou duas vezes), com ou sem microalga *Chlorella vulgaris* na solução nutritiva, em proporção de 1% do volume. Cada parcela experimental foi composta por quatro plantas de alface.

As plantas foram avaliadas quanto às características de fotossíntese líquida (*A*), condutância estomática (*g_s*), concentração de CO₂ intracelular (*C_i*) e transpiração (*E*) durante a parte da manhã, quando as plantas estão em plena atividade de troca gasosa, entre 8 e 10 am. Para as avaliações foram selecionadas folhas livres de sintomas relacionados ao ataque de pragas e doenças, com coloração típica do material genético utilizado, utilizando-se um medidor de fotossíntese portátil (LCi, ADC Bioscientific,

Hertfordshire, Reino Unido) e foram calculada a eficiência do uso da água (WUE), utilizando-se a razão entre fotossíntese líquida e transpiração (A/E) e a eficiência de carboxilação (EIC), utilizando-se a razão entre fotossíntese líquida e concentração de CO_2 intracelular (A/C_i).

Resultados e Discussão

Verificou-se que, para as características de trocas gasosas, os tratamentos não afetaram apenas o conteúdo de CO_2 intracelular (2A). Em contrapartida, pra os tratamentos compostos pela aplicação sequencial da nicotinamida e para todos em que havia a presença da *Chlorella vulgaris* houve incremento da transpiração e da condutância estomática, em relação ao tratamento controle e à aplicação única de nicotinamida sem a microalga (Figura 2B, C). Em complemento, para a fotossíntese líquida, houve superioridade do tratamento combinado de aplicação única de nicotinamida e *C. vulgaris* (N1C), seguido pela aplicação única sem a alga (N1S) e pelas aplicações sequenciais da vitamina, sem e com a alga (N2S e N2C), todos superiores aos tratamentos controle, sem e com *C. vulgaris* (CS e CC) (Figura 2D).

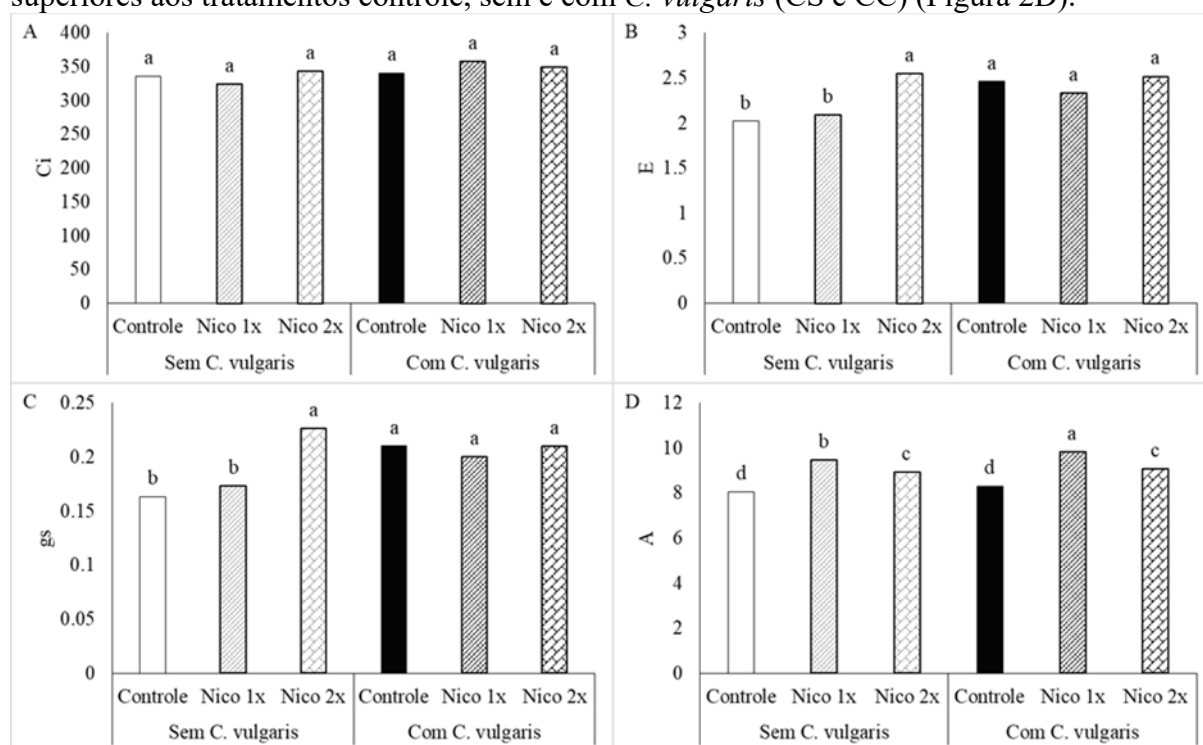


Figura 1 – Concentração de CO_2 intracelular (A), Transpiração (B), condutância estomática (C) e fotossíntese líquida (D) de plantas de alface submetidas a aplicações de nicotinamida e presença de *C. vulgaris* na solução nutritiva.

Para a eficiência do uso da água, constatou-se a superioridade dos tratamentos CS, N1S e N1C sobre os demais (Figura 3A), enquanto que a eficiência de carboxilação foi incrementada pelos tratamentos N1S e N1C (Figura 3B).

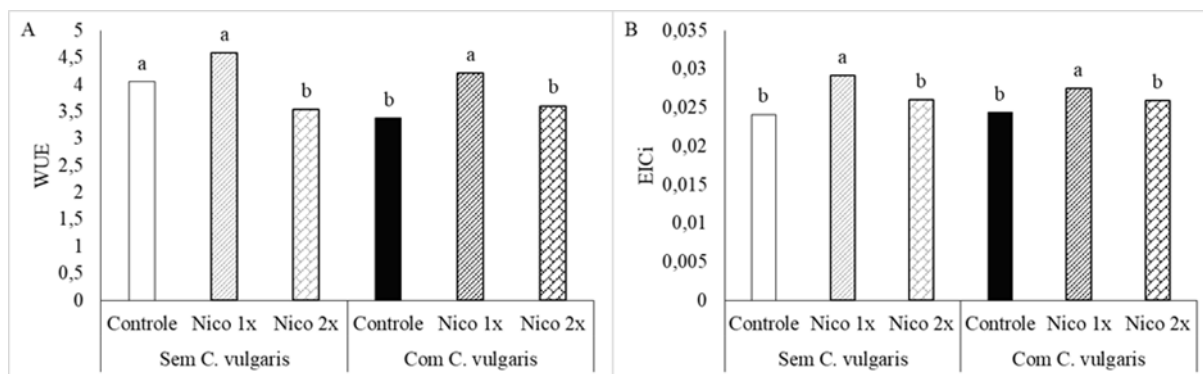


Figura 2 – Eficiência do uso da água (A) e eficiência de carboxilação (B) de plantas de alface submetidas a aplicações de nicotinamida e presença de *C. vulgaris* na solução nutritiva.

Os resultados estão relacionados à aplicação de vitaminas, que pode colaborar para o aumento das atividades metabólicas, favorecendo o crescimento dos vegetais através da melhora na divisão e na expansão celular (El-Bassiony, 2014).

O efeito positivo observado para a aplicação de niacina sobre a atividade fotossintética está relacionado à participação desta como constituinte do NAD e do NADP, atuando diretamente no transporte de elétrons no metabolismo celular e respiratório, incremento dos pigmentos fotossintetizantes e proteção da camada lipídica das folhas (Hussein et al., 2014).

A nicotinamida auxilia as plantas a mitigar os efeitos de estresses abióticos, como a salinidade. Por exemplo, em plantas de milho, a aplicação de nicotinamida juntamente com ácido ascórbico mostrou-se eficaz na redução de injúrias e na melhoria da capacidade adaptativa sob estresse salino (Hassanein, 2009).

Em complemento, o bioinsumo de microalgas tem altos níveis de aminoácidos que fornecem efeitos benéficos para as plantas (Michalak; Chojnacka, 2015). Sua biomassa pode aumentar o crescimento das plantas atuando como um fertilizante orgânico e de liberação lenta para fornecer nutrientes, influenciando também as trocas gasosas de maneira positiva, como ocorreu com a fotossíntese líquida (Coppens, 2014).

Conclusão

As trocas de gases foram beneficiadas pela aplicação de nicotinamida, com destaque para a aplicação uma única vez. Também, tendo em vista a fotossíntese líquida, a utilização da microalga vis solução, juntamente com a aplicação de nicotinamida uma única vez se destacou.

Agradecimentos

À Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT/MS) pelo financiamento desta pesquisa (Nº. outorga: 227/2024, Nº. SIAFIC: 280) e à Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – (Processo nº 404229/2025-5). À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) Rede Biodiversa Centro-Oeste - Programa CAPES: PDPG-FAP, Processo n. 88887.128945/2025-00. À empresa Alfa Nano Brazil pelo apoio e parceria em pesquisas. À Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) pelo suporte financeiro para a aquisição dos equipamentos utilizados neste estudo. À Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PGAC) da UEMS, Unidade Universitária de Cassilândia.

Literatura citada

- COPPENS, Joeri et al. Biotechnological exploration of nitrate-accumulating microalgae for nutrient recovery from saline wastewaters. In: **IWA Specialist Conference on Global Challenges: Sustainable Wastewater Treatment and Resource Recovery**. International Water Association (IWA), 2014.
- EL-BASSIOUNY, H. S. M.; BAKRY, B. A.; ATTIA, A. A. E. M.; ALLAH, M. M. A. Physiological role of humic acid and nicotinamide on improving plant growth, yield, and mineral nutrient of wheat (*Triticum durum* grown under newly reclaimed sandy soil. **Agricultural Sciences**, Cambridge, v. 5, n. 8, p.687-700, 2014.
- HASSANEIN, R. A. Physiological effects of nicotinamide and ascorbic acid on Zea mays plant grown under salinity stress. I – Changes in growth, some relevant metabolic activities and oxidative defense systems. **Research Journal of Agriculture Biological Science**, v. 5, n. 1, p. 72-80. 2009.
- HUSSEIN, M. M.; FAHAM, S. Y.; & ALVA, A. K. Role of foliar application of nicotinic acid and tryptophan on onion plants response to salinity stress. **Journal of Agricultural Science**, v.6, n. 8, p. 41-51, 2014.
- KIRKLAND, J. B.; MEYER-FICCA, M. L. Niacin. **Advances in Food and Nutrition Research**. V. 83, p.83-149, 2018.
- MALDONADE, I. R.; et al. **Manual de boas práticas agrícolas na produção de alface**. Documentos 142. Embrapa. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças. 2014.
- MENEZES, Cicero Beserra. **Melhoramento Genético de Sorgo**. Embrapa Milho e Sorgo, p. 1-547, 2021.
- MICHALAK, I.; CHOJNACKA K. Algae as production systems of bioactive compounds. **Engineering in Life Sciences**, v. 15, p. 160 – 76, 2015.
- RUPAWALLA, Z.; SHAW, L.; ROSS, I.L.; SCHMIDT, S.; HANKAMER, B.; WOLF, J. Germination screen for microalgae-generated plant growth biostimulants, **Algal Research**, V. 66, 2022.

Nano nitrogênio foliar potencializa o crescimento e a produção de massa fresca do manjeriço cultivado em hidroponia com restrição de nitrogênio

Lucilene Silveira COIMBRA¹, Sthela Silva MELO¹, Flávio Ferreira Silva BINOTTI²,
Eduardo Pradi VENDRUSCOLO¹, Carlos Eduardo da Silva OLIVEIRA¹

¹Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (UEMS). e-mail: lucilenesilveiracoimbra@gmail.com, sthela100.m@gmail.com.

²Professor do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (UEMS). e-mail: binotti@uems.br, eduardo.vendruscolo@uems.br, carlos.eduardo@uems.com.

Resumo: A agricultura busca viabilizar a sustentabilidade ambiental buscando novos recursos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de doses de nano-N no desenvolvimento do manjeriço. O experimento foi conduzido na UEMS, em Cassilândia-MS, em casa de vegetação com sistema hidropônico. O delineamento foi em blocos ao acaso, com 4 repetições e 6 tratamentos (0; 2,5; 5,0; 10; 12,5 e 15,0 mL L⁻¹), sob solução com redução de 40% de N. Aos 28 dias após o transplantio, plantas de manjeriço sob restrição de 40% de nitrogênio (N) na solução nutritiva foram avaliadas quanto a variáveis biométricas, radiculares e de biomassa. Os dados foram submetidos às análises de variância e de regressão. A aplicação foliar de nano-N promoveu efeito significativo sobre todas as variáveis, exibindo ajuste quadrático. O suprimento foliar estimulou o desenvolvimento da parte aérea em detrimento do sistema radicular, cujo volume reduziu com o aumento das doses. A altura máxima estimada foi de 33,5 cm na dose de 8,8 mL L⁻¹, e o maior número de folhas (132,2 folhas planta⁻¹) ocorreu com 7,2 mL L⁻¹. Os pontos de máxima eficiência técnica para massa fresca de folhas (43,0 g planta⁻¹), caule (19,3 g planta⁻¹) e parte aérea (62,3 g planta⁻¹) concentraram-se na faixa de 7,0 a 7,1 mL L⁻¹. Conclui-se que o nano-N foliar mitiga o estresse por restrição de N, sendo a faixa de 7,0 a 7,2 mL L⁻¹ a mais recomendada para otimizar a produção de biomassa aérea da cultura.

Palavras-chave: *Ocimum basilicum*, Fertilizante nitrogenado, Nanotecnologia.

Introdução

O manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) é uma planta condimentar que apresenta elevado aroma, sendo de grande relevância econômica e cultural, amplamente utilizada na culinária, na indústria farmacêutica e na produção de óleos essenciais (EGATA, 2021). A espécie pertence à família Lamiaceae e apresenta elevado potencial de cultivo em sistemas agrícolas alternativos, como a hidroponia, que permite maior controle dos fatores de produção e maior eficiência no uso de recursos hídricos e nutricionais (NISHANT, 2025).

A hidroponia é um sistema de cultivo sem solo no qual as plantas recebem todos os nutrientes necessários para o seu desenvolvimento por meio de uma solução nutritiva (SZEKELY; JIJAKLI, 2022). Entre os nutrientes mais utilizados está o nitrogênio (N), que ocupa posição central no metabolismo vegetal, participando da síntese de aminoácidos, proteínas, clorofilas e compostos bioativos, sendo, portanto, determinante

para o crescimento e a produtividade das plantas (ROOSTA, 2024). No entanto, o excesso de nitrogênio nas soluções nutritivas pode elevar os custos de produção e provocar impactos ambientais negativos, tornando necessário o desenvolvimento de estratégias que otimizem a eficiência de absorção desse nutriente (ANAS et al., 2020).

Assim, a nanotecnologia aplicada à agricultura tem emergido como uma alternativa promissora para aumentar a eficiência da adubação, através de uma maior absorção dos nutrientes disponibilizados. Fertilizantes à base de nanopartículas de nitrogênio apresentam menor tamanho de partícula (< 50 nm), o que confere maior área superficial específica, elevando a reatividade e apresentando maior capacidade de absorção foliar em comparação aos fertilizantes convencionais (VERMA et al., 2023). A aplicação foliar de nano nitrogênio pode, portanto, suplementar a nutrição nitrogenada das plantas cultivadas em soluções nutritivas com redução de N, minimizando perdas por volatilização e lixiviação (ABOU EL-ENIN et al., 2023).

No entanto, a literatura científica ainda carece de informações sobre as doses e as respostas das plantas aromáticas, especialmente o manjeriço, à aplicação foliar de nano nitrogênio em condições de restrição nitrogenada na solução nutritiva. Assim, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de diferentes concentrações de fertilizante foliar à base de nano nitrogênio sobre as características biométricas e de massa fresca de plantas de manjeriço cultivadas em sistema hidropônico com redução de 40% de nitrogênio na solução nutritiva.

Material e Métodos

O experimento foi implantado e conduzido nas dependências da Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade de Cassilândia (Coordenadas 19°05'46"S e 51°48'50"O e altitude de 521 m em relação ao nível do mar). Segundo classificação de Köppen, o clima da região era do tipo tropical chuvoso (Aw), com verão chuvoso e inverno seco (precipitação no inverno menor que 60 mm), com precipitação e temperatura média anual de 1.520 mm e 24,1 °C, respectivamente.

O ambiente utilizado para a condução do experimento é caracterizado como uma estrutura de casa de vegetação, a qual possui dimensões de 14,64 x 6,40 x 3,5 m, antecâmara de 3,66 x 3,20 m, fechada na cobertura e lateral por filme de polietileno de baixa densidade, com 150 microns, difusor de luz, camada dupla, com tela termorrefletora aluminizada de 35% de sombreamento (Aluminet®) sob o filme da cobertura e sistema de climatização do tipo pad/fan Humil Cool (CELDEX®).

O sistema hidropônico foi constituído por uma telha de fibrocimento com dimensões de 2,44 x 1,10 m, contendo seis canaletas para a produção das plantas. O sistema para injeção de solução nutritiva no sistema era composto por um reservatório de 100 L, uma bomba submersa, com capacidade de bombeamento de 2.000 L h⁻¹ e tubulação de meia polegada para distribuição da solução nas canaletas de cultivo. O sistema coletor do excedente de solução foi composto por uma calha de PVC posicionada na parte mais baixa do sistema e um tubo direcionador de PVC para retorno da solução ao reservatório.

O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, composto por seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram compostos pela aplicação de diferentes concentrações de fertilizante foliar a base de nano nitrogênio (0, 2,5, 5,0, 10, 12,5 e 15,0 mL L⁻¹). O fertilizante foliar possui garantia de composição com 25% de nano

nitrogênio, com partículas menores que 50 nm. As aplicações foram realizadas a cada dez dias, por meio de jato dirigido sobre as plantas, em volume de 2 mL planta⁻¹. A solução nutritiva utilizada, com redução de 40% sobre a composição de nitrogênio, foi composta por: 7,2% N, 8% P, 30% K, 3% S, 3% Mg, 0.14% Fe, 0.04% B, 0.04% Mn, 0.03% Cu, 0.019% Mo, 0.006% Ni, 0.002% Co, and 15% Ca.

Aos 28 dias após o transplantio foram retiradas as plantas do sistema hidropônico e separados raiz de parte aérea, para avaliar as características de massa fresca da parte aérea (g planta⁻¹), massa fresca do caule (g planta⁻¹), massa fresca das folhas (g planta⁻¹), número de folhas (n° planta⁻¹), altura de plantas (cm) e volume de raiz (cm³ planta⁻¹). Os dados foram submetidos à análise de variância, em seguida foi aplicada a análise de regressão às médias das variáveis.

Resultados e Discussão

A aplicação foliar de nano-N promoveu efeito significativo sobre as variáveis biométricas das plantas de manjerição cultivadas sob redução de 40% de nitrogênio na solução nutritiva. A altura de planta, o número de folhas e o volume de raiz apresentaram ajuste quadrático em função das concentrações de nano-N. A altura máxima estimada foi de 33,5 cm, obtida na dose de 8,8 mL L⁻¹ de nano-N foliar (Figura 1A). Para o número de folhas, o valor máximo foi de 132,2 folhas planta⁻¹, alcançado na dose de 7,2 mL L⁻¹ de Nano-N foliar (Figura 1B). O aumento das doses foliares de Nano-N proporcionou menor volume de raízes (Figura 1C).

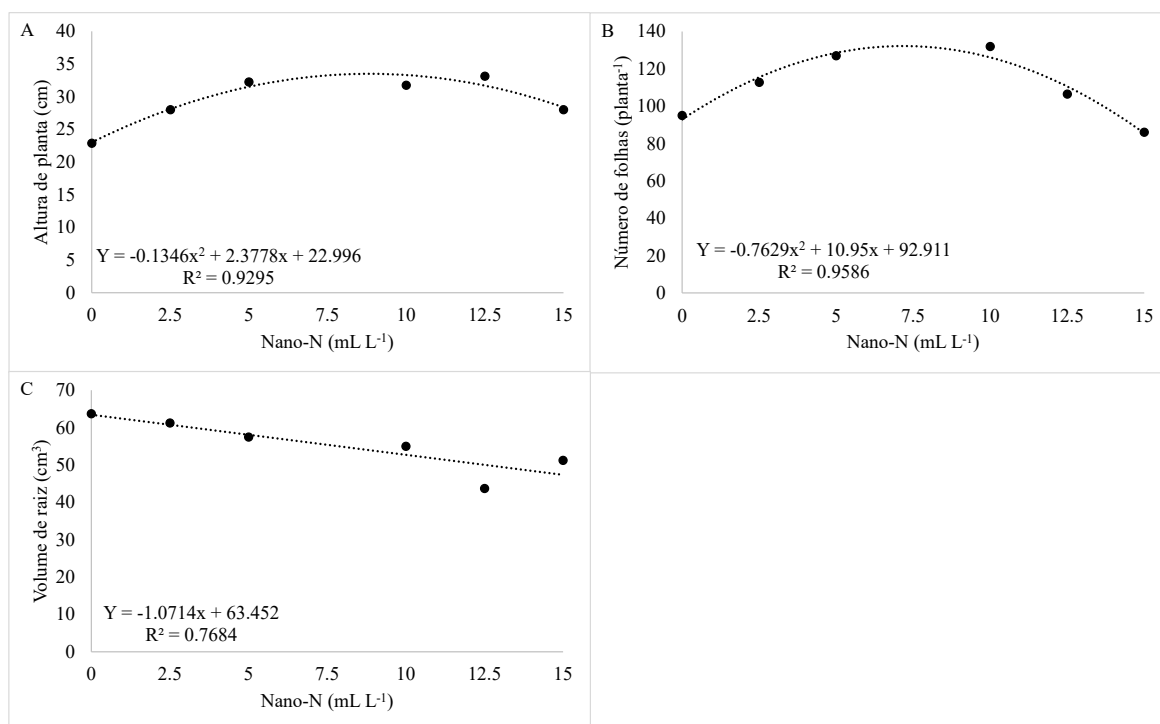


Figura 1 – Altura de planta (A), Número de folhas (B) e volume de raiz (C) de plantas de manjerição cultivadas sob redução de 40% de nitrogênio na solução nutritiva e tratadas com diferentes concentrações de nano-N foliar.

As variáveis relacionadas à produção de biomassa fresca também apresentaram resposta quadrática à aplicação foliar de nano-N (Figura 2). A massa fresca de folhas apresentou valor máximo estimado de 43,0 g planta⁻¹ na dose de 7,0 mL L⁻¹. Para a

massa fresca de caule, a maior produção foi de 19,3 g planta⁻¹, obtida na concentração de 7,0 mL L⁻¹. Já a massa fresca da parte aérea atingiu máximo de 62,3 g planta⁻¹ na dose de 7,1 mL L⁻¹ de nano-N. Esses resultados demonstram que a aplicação foliar de nano-N foi capaz de compensar parcialmente a redução de nitrogênio na solução nutritiva, favorecendo o crescimento vegetativo e o acúmulo de biomassa em doses intermediárias.

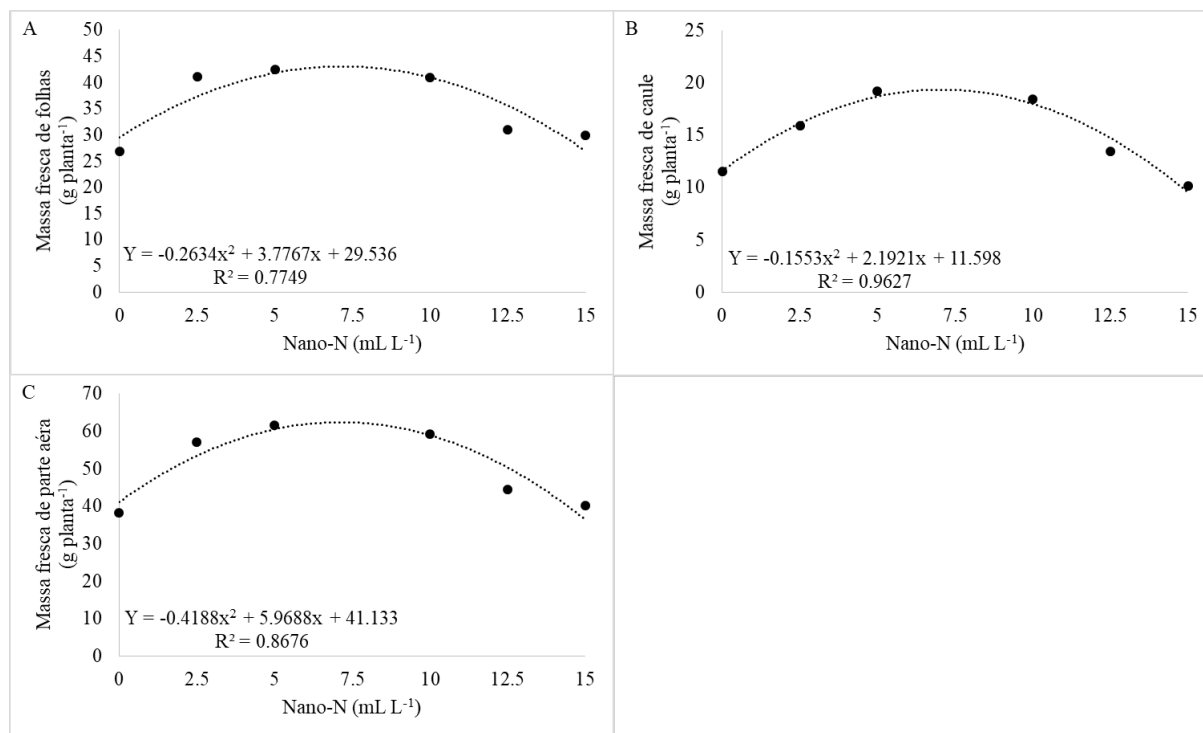


Figura 2 – Massa fresca de folhas (A), Massa fresca de caule (B) e massa fresca de parte aérea (C) de plantas de manjericão cultivadas sob redução de 40% de nitrogênio na solução nutritiva e tratadas com diferentes concentrações de nano-N foliar.

Os resultados evidenciam que a utilização de nitrogênio nanoestruturado via foliar atua como uma estratégia eficiente para mitigar o estresse nutricional causado pela redução do elemento na solução nutritiva. O comportamento quadrático observado na maioria das variáveis indica que o manjericão responde positivamente ao nano-N até um limite fisiológico (entre 7,0 e 8,8 mL L⁻¹), a partir do qual o excesso do produto pode causar efeito fitotóxico ou desequilíbrio metabólico, reduzindo o desempenho da planta.

O incremento na altura, no número de folhas e na biomassa fresca reflete a alta eficiência de absorção do nano-N pelas folhas. Por estarem em escala nanométrica, essas partículas penetram mais facilmente pelos estômatos e cutícula foliar, disponibilizando o nitrogênio prontamente para a síntese de aminoácidos, proteínas e clorofila. Isso otimiza a taxa fotossintética e estimula a divisão e o alongamento celular na parte aérea, compensando o déficit do nutriente na raiz (ABOU EL-ENIN et al., 2023).

Por outro lado, o decréscimo no volume radicular com o aumento das doses de nano-N ilustra um mecanismo de partição de fotoassimilados e sinalização hormonal. Quando a planta detecta a fartura de nitrogênio diretamente na parte aérea, ela reduz o

investimento energético no sistema radicular, uma vez que não há necessidade biológica de expandir as raízes para buscar um nutriente que já está sendo suprido via foliar. Assim, a planta prioriza o crescimento foliar e caulinar, otimizando o uso de seus recursos energéticos para a produção de biomassa aérea (ROSTA, 2024).

Conclusões

A aplicação foliar de nano-N é uma estratégia eficiente para mitigar a restrição de 40% de nitrogênio na solução nutritiva em cultivos de manjerição, otimizando o crescimento e a produção de biomassa da planta. As concentrações entre 7,0 e 7,2 mL L⁻¹ de nano-N foliar proporcionam os maiores ganhos em altura de planta, número de folhas, volume de raiz, massa fresca de folhas, massa fresca de caule e massa fresca de parte aérea, portanto, o nano nitrogênio foliar representa uma alternativa viável para otimizar a nutrição nitrogenada e a produtividade do manjerição em sistemas hidropônicos com restrição de N.

Agradecimentos

À Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT/MS) pelo financiamento desta pesquisa (Nº. outorga: 227/2024, Nº. SIAFIC: 280) e à Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – (Processo nº 404229/2025-5). À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) Rede Biodiversa Centro-Oeste - Programa CAPES: PDPG-FAP, Processo n. 88887.128945/2025-00. À empresa Alfa Nano Brazil pelo apoio e parceria em pesquisas. À Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) pelo suporte financeiro para a aquisição dos equipamentos utilizados neste estudo. À Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PGAC) da UEMS, Unidade Universitária de Cassilândia.

Literatura citada

- ABOU EL-ENIN, M. M. et al. Foliage-sprayed nano-chitosan-loaded nitrogen boosts yield potentials, competitive ability, and profitability of intercropped maize-soybean. **International Journal of Plant Production**, Golestan, v.17, n.1, p.517–542, 2023.
- EGATA, D. F. Benefit and use of sweet basil (*Ocimum Basilicum* L.) In Ethiopia: -A Review. **Journal of Nutrition and Food Processing**, Lewes, v.4, n.5, p.1-22, 2021.
- Nishanth, D., et al. Optimizing Basil Aquaponics: Divergent Advantages of Nutrient Film and Deep-Water Culture Systems. **Journal of Sustainable Agriculture and Environment**, Hoboken, v.4, n.1, p.1-18, 2025.
- SZEKELY, I.; JIJAKLI, M. Bioponics as a promising approach to sustainable agriculture: a review of the main methods for producing organic nutrient solution for hydroponics. **Water**, Basel, v.14, n.1, p.1-11, 2022.
- ROOSTA, H. The responses of pepper plants to nitrogen form and dissolved oxygen concentration of nutrient solution in hydroponics. **BMC Plant Biology**, Londres, v.24, n.281, p.1-10, 2024.
- ANAS, M., et al. Fate of nitrogen in agriculture and environment: agronomic, eco-physiological and molecular approaches to improve nitrogen use efficiency. **Biological Research**, Santiago, v.53, n.47, p.1-14, 2020.

VERMA, K. K. et al. Recent advances in nitrogen and nano-nitrogen fertilizers for sustainable crop production: a mini-review. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, Berlim, v.10, n.1, p.1-14, 2023.

Resposta de grupos varietais de alface à suplementação luminosa com LEDs em cultivo hidropônico

Maria Inês DIEL¹, Tatiele da Silva REINSTEIN², Felicya Bárbara HORST², Ester Nicolly Ferreira MOTA², Laura Ferreira HEINEN²

¹Docente da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). E-mail: maria.diel@ufsm.br

³Estudante de graduação em Engenharia Agrícola (UFSM).

Resumo: O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho de quatro grupos varietais de alface cultivados em sistema hidropônico sob três espectros luminosos de LEDs. O experimento foi conduzido em ambiente protegido, utilizando os grupos varietais lisa, crespa, americana e roxa submetidos a três tratamentos de suplementação luminosa. Foram avaliadas características de crescimento, desenvolvimento e produção das plantas. Houve diferença significativa entre os grupos varietais para a maioria das variáveis analisadas. Os grupos lisa e crespa apresentaram maior crescimento vegetativo e maior acúmulo de biomassa, enquanto a alface americana destacou-se pelo maior diâmetro do colo. A alface roxa apresentou desempenho inferior para a maior parte das características avaliadas. Entre os espectros luminosos, o tratamento C1 proporcionou maior altura de plantas e maior massa verde da parte aérea, sem diferir de C2, enquanto C3 apresentou os menores valores para essas variáveis. Conclui-se que a resposta da alface à suplementação luminosa depende do grupo varietal, sendo os grupos lisa e crespa os mais promissores para o cultivo hidropônico nas condições deste estudo.

Palavras-chave: *Lactuca sativa*, produção, crescimento, ambiente, estufa

Introdução

A cultura da alface possui grande importância econômica e social em todo o Brasil, sendo que no ano de 2025 a produção ultrapassou 220 mil toneladas, com um valor estimado de R\$ 947 milhões de reais (IEA-APTA, 2025). Ainda que o seu ciclo produtivo seja considerado rápido, a alface exige cuidado contante pois é altamente dependente das condições ambientais como temperatura e luminosidade.

As mudanças climáticas constituem um dos principais desafios para a produção agrícola (RAWAT; KUMAR; KHATI, 2024), incluindo a cultura da alface, por influenciarem diretamente o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das plantas. A crescente frequência e intensidade de eventos climáticos extremos observadas nos últimos anos corroboram as evidências das alterações no clima global (RAWAT; KUMAR; KHATI, 2024). Além disso, as projeções de crescimento populacional até 2050 intensificam a necessidade de adoção de sistemas produtivos mais sustentáveis, com maior eficiência no uso dos recursos naturais e baseados em tecnologias inovadoras, capazes de assegurar a produção de alimentos em quantidade e qualidade suficientes para atender à demanda futura (SANTOLINI *et al.*, 2026).

Nesse contexto, o cultivo hidropônico destaca-se como uma alternativa promissora por possibilitar maior eficiência no uso da água e dos nutrientes, além de proporcionar maior produtividade por unidade de área, redução do ciclo de cultivo e melhor padronização das plantas. Entretanto, mesmo em sistemas protegidos, a disponibilidade de radiação solar pode limitar o crescimento e a qualidade da alface,

especialmente em períodos de baixa luminosidade ou em regiões com elevada nebulosidade, como no Sul do Brasil na estação do inverno.

Como estratégia para minimizar essa limitação, a suplementação luminosa por meio de diodos emissores de luz (LEDs) tem despertado crescente interesse. Essa tecnologia permite fornecer comprimentos de onda específicos para a fotossíntese e outros processos fisiológicos, aumentando a eficiência do uso da energia e possibilitando o manejo da qualidade, intensidade e duração da luz, fatores que podem favorecer o crescimento, a produtividade e a qualidade da alface (MIN *et al.*, 2026; MIN; MARCELIS; WOLTERING, 2023).

Embora diversos estudos demonstrem o potencial da suplementação luminosa com LEDs, as respostas das plantas dependem do espectro luminoso empregado e da cultivar utilizada, tornando necessária a realização de estudos que permitam identificar combinações mais eficientes para a produção de alface em sistemas hidropônicos. Por isso, o objetivo deste estudo foi avaliar o crescimento e a produção de quatro grupos varietais de alface cultivados em sistema hidropônico sob três espectros luminosos de LEDs.

Material e Métodos

O experimento foi realizado na Universidade Federal de Santa Maria, campus Cachoeira do Sul, situado geograficamente, a 30°02' 20" S e 52°53' 38" O e 61 m de altitude. O clima da região de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido, apresentando características de temperado chuvoso, com precipitação média anual de 1800 mm bem distribuída ao longo do ano, e subtropical do ponto de vista térmico (ALVARES *et al.*, 2013)

O experimento foi conduzido em sistema hidropônico tipo NFT (Nutrient Film Technique) dentro de estufa de aço galvanizado, com teto semicircular, medindo 9 metros de comprimento por 7 metros de largura e altura do pé-direito de 4,0 m, dispostas no sentido norte-sul. Para as mudas, as sementes foram semeadas em espuma fenólica pré lavadas, após a semeadura foram mantidas no escuro por 48 horas e depois acondicionadas em mesa de germinação com sistema de sub-irrigação para manter as mudas com a umidade ideal. As sementes foram semeadas dia 15 de outubro de 2025, passaram para a mesa de germinação dia 17 de outubro e após, dia 05 de novembro foram transplantadas para o berçário, onde permaneceram até ter tamanho suficiente para ser transplantadas para as bancadas de ciclo final, realizada dia 13 de maio, onde permaneceram até a colheita em 04 de dezembro de 2025, totalizando um ciclo de 50 dias.

A iluminação suplementar foi acionada automaticamente das 18h às 07h a partir do momento em que as plantas foram transplantadas para a bancada de ciclo final. A fertirrigação ocorreu a cada 15 minutos, garantindo fornecimento contínuo de água e nutrientes, mantendo - se o pH próximo a 6,0 e condutividade elétrica de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) em parcelas subdivididas 3 x 4, com quatro repetições. Na parcela principal utilizou-se três colorações de lâmpadas LED: branco bulbo, branco tubular e vermelho/azul, enquanto nas subparcelas, avaliou-se quatro grupos varietais de alface (Americana, Lisa, Crespa e roxa). Cada unidade experimental foi composta por 13 plantas.

Realizou-se o registro da temperatura do ar no interior da estufa, com o auxílio de um datalogger. Para avaliar o efeito dos tratamentos sobre a produção, no dia da colheita avaliou-se: Número de folhas (NF), Altura de plantas (AP, cm), Diâmetro do colo (DC, mm), Massa verde da parte aérea (MVPA, g), Massa seca da parte aérea (MSPA, g), comprimento de raiz (CR, cm) e massa verde de raiz (MVR, g) e massa

seca de raiz (MSR, g). As colheitas foram realizadas aos 50 dias. Os resultados foram submetidos à análise de variância, para avaliar o efeito dos diferentes espectros luminosos e das grupos varietais de alface. Quando significativas, as médias das variáveis foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, através do programa R (R Core Team, 2025).

Resultados e Discussão

Os resultados da análise de variância mostraram que não houve interação significativa entre os fatores estudados. Separadamente houve efeito significativo para Coloração das Lâmpadas para as variáveis AP e MVPA. Para as demais variáveis houve efeito significativo apenas para o fator cultivar. A AP apresentou maiores valores observados nos grupos varietais Alface Crespa (6,41 cm) e Alface Lisa (5,51 cm), que não diferiram entre si. A Alface Americana apresentou a menor altura (3,22 cm), diferindo das demais, enquanto a Alface Roxa apresentou valor intermediário (3,84 cm). Em relação às colorações das lâmpadas (Figura 1B), a maior altura foi obtida sob C1 (5,12 cm), sem diferir de C2 (4,74 cm), enquanto C3 promoveu menor crescimento (4,37 cm).

O NF variou entre os grupos varietais (Figura 1C), com a Alface Lisa apresentando o maior valor (31,55 folhas), seguida da Alface Crespa (26,39 folhas). Os grupos varietais Americana (19,22 folhas) e Roxa (16,89 folhas) apresentaram os menores valores, sem diferença entre si. O DC também foi influenciado pelos grupos varietais (Figura 1D). A Alface Americana apresentou o maior diâmetro (17,00 mm), seguida pelos grupos varietais crespa (14,52 mm) e Lisa (13,85 mm), que não diferiram entre si. A Alface Roxa apresentou o menor diâmetro do colo (10,40 mm).

Para a variável MVPA os grupos varietais Americana (265,58 g), Crespa (286,31 g) e Lisa (263,00 g) não diferiram entre si e apresentaram maiores valores em comparação à Alface Roxa, que produziu apenas 102,28 g (Figura 2A). Quanto às colorações das lâmpadas C1 proporcionou maior massa verde da parte aérea (252,85 g), sem diferir de C2 (225,67 g), enquanto C3 apresentou menor valor (209,35 g) (Figura 2B). Para a MVR, a Alface Lisa apresentou o maior valor (55,74 g), não diferindo da Alface Crespa (49,80 g). A Alface Americana apresentou valor intermediário (38,10 g), enquanto a Alface Roxa apresentou a menor massa verde de raízes (21,31 g) (Figura 2C).

A MSPA foi maior nos grupos varietais crespa (14,77 g), Lisa (14,75 g) e Americana (13,03 g), que não diferiram entre si. A Alface Roxa apresentou menor acúmulo de massa seca (7,45 g) (Figura 2D). Já a MSR, a Alface Lisa apresentou o maior valor (2,72 g), não diferindo da Alface Crespa (2,39 g), enquanto a Alface Americana apresentou valor intermediário (1,97 g). A Alface Roxa apresentou a menor massa seca radicular (1,12 g) (Figura 2E).

Em estudo utilizando suplementação luminosa para avaliar diferentes cultivares de alface, os autores encontraram que as diferenças entre as cultivares foram mais expressivas que os efeitos dos tratamentos luminosos, principalmente quando a iluminação foi mantida constante (PALMITESSA et al., 2026), corroborando com os resultados do presente trabalho. Ainda, os autores concluem que a ausência de diferenças significativas na morfologia das plantas, na atividade fotossintética e nos parâmetros de fluorescência da clorofila observados naquele estudo pode ser atribuída à manutenção experimental de uma DLI (quantidade de luz diária) constante ao longo dos tratamentos de fotoperíodo, o que provavelmente garantiu a assimilação estável de carbono e evitou o estresse fotoquímico (PALMITESSA et al., 2026).

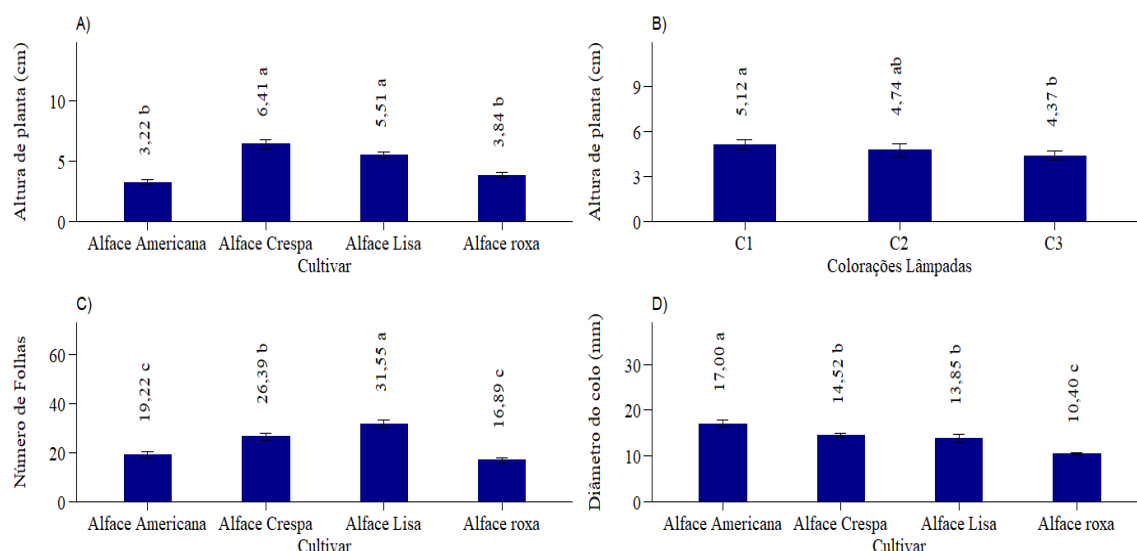


Figura 1 - Efeito das grupos varietais de alface (A, C e D) e das colorações das lâmpadas (B) sobre a altura de plantas, número de folhas e diâmetro do colo. As barras representam a média $\pm$ erro-padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) As barras representam a média $\pm$ erro-padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

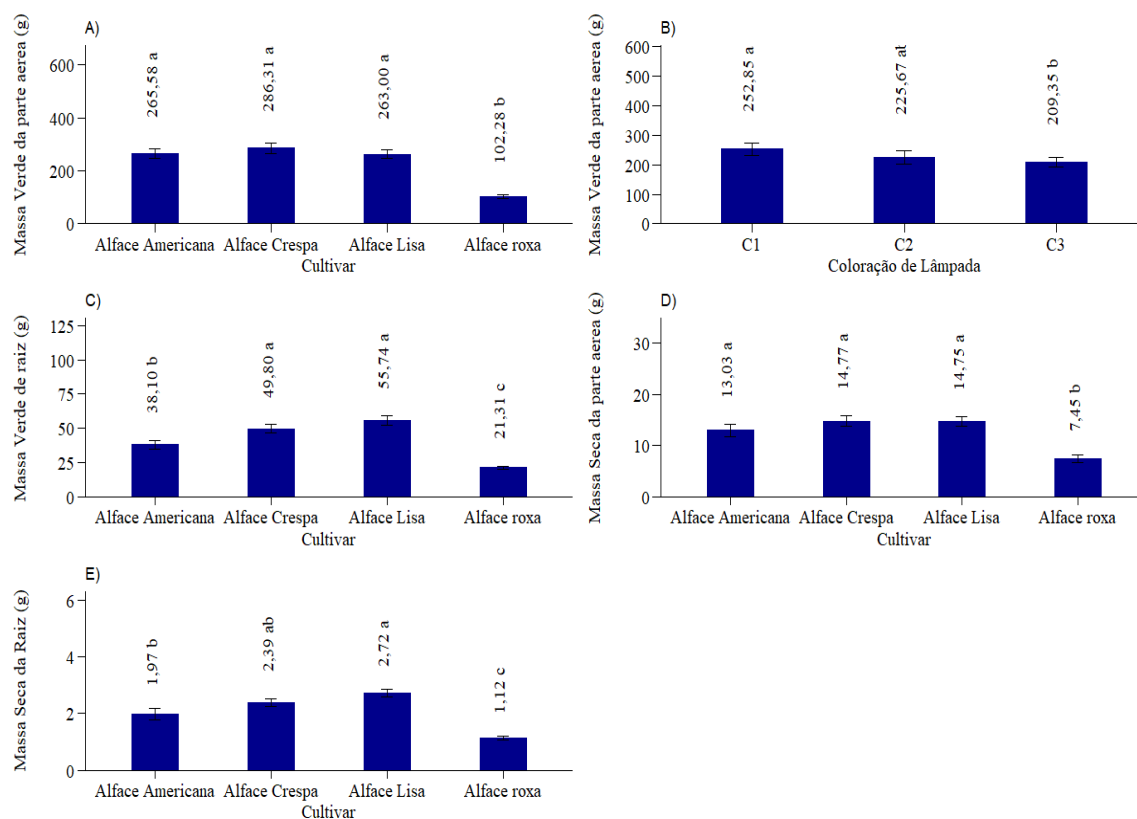


Figura 2 - Massa verde da parte aérea (A), massa verde da parte aérea em função das colorações das lâmpadas (B), massa verde de raízes (C), massa seca da parte aérea (D) e massa seca de raízes (E) de grupos varietais de alface cultivadas sob diferentes

colorações de lâmpadas. As barras representam a média $\pm$ erro-padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Conclusões

Os resultados preliminares sugerem maior influência dos grupos varietais sendo que os grupos lisa e crespa se destacaram em relação a americana e a roxa. Para as variáveis AP e MVPA que medem a produtividade, observamos maior influência da coloração LED branca em relação a LED vermelha/azul. São necessários mais estudos para afirmar e/ou recomendar o uso da suplementação luminosa em hidroponia.

Agradecimentos

À FAPERGS pelo auxílio financeiro (projeto nº 23/2551-0000942-0 e CNPq pelas bolsas aos estudantes de IC.

Literatura citada

ALVARES, C. A. *et al.* Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

LIANG, S. *et al.* Digital twin for lettuce growth in six climate zones ('Climate 2050'). **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 238, p. 110880, 1 nov. 2025. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016816992500986X>>. Acesso em: 6 jul. 2026.

MIN, Q. *et al.* High daily light integral at end of production improves lettuce nutritional quality. **Scientia Horticulturae**, v. 355, p. 114566, 1 jan. 2026. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423825006132>>. Acesso em: 6 jul. 2026.

MIN, Q.; MARCELIS, L. F. M.; WOLTERING, E. J. Adjusting photosynthetic photon flux density (PPFD) to improve the quality of leafy vegetables in vertical farms. p. 293–318, 29 ago. 2023. Disponível em: <<https://www.bdspublishing.com/webshop/chapters/crops/agri-tech/controlled-environment-agriculture/adjusting-photosynthetic-photon-flux-density-ppfd-to-improve-the-quality-of-leafy-vegetables-in-vertical-farms/>>. Acesso em: 6 jul. 2026.

PALMITESSA, O. D.; COSTANZA, L.; ELIA, A.; CANTATORE, E.; LEONI, B.; SIGNORE, A.; DIFONZO, G.; CAPONIO, F.; SANTAMARIA, P. Continuous lighting at low PPFD improves energy efficiency while preserving growth and quality of lettuce in vertical farming systems. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 17, p. 1783548, 2026. DOI: 10.3389/fpls.2026.1783548.

RAWAT, A.; KUMAR, D.; KHATI, B. S. A review on climate change impacts, models, and its consequences on different sectors: a systematic approach. **Journal of Water and Climate Change**, v. 15, n. 1, p. 104–126, 1 jan. 2024. Disponível em: <<http://iwaponline.com/jwcc/article-pdf/15/1/104/1357687/jwc0150104.pdfbyguest>>. Acesso em: 6 jul. 2026.

SANTOLINI, E. *et al.* Evaluating the environmental impact for lettuce production in vertical farming through LCA. **Journal of Cleaner Production**, v. 563, p. 148467, 25 maio 2026. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652626010085>>. Acesso em: 6 jul. 2026.

Caracterização do cultivo de plantas alimentícias não convencionais e aromáticas em sistema hidropônico tipo *Nutrient Film Technique*

Marinalva Woods PEDROSA¹, Antonio Henrique de SOUZA², Wendel Amador Vieira dos SANTOS², Júlia dos Santos MOREIRA², Marialva Alvarenga MOREIRA¹

¹Pesquisadora da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG). E-mail: marinalva@epamig.br

²Bolsista de Desenvolvimento em Ciência, Tecnologia e Inovação FAPEMIG/EPAMIG.

Resumo: Aliado à busca por alimentos seguros e livres de resíduos de agrotóxicos, as plantas alimentícias não convencionais (PANC) e as plantas aromáticas estão ganhando grande visibilidade nos últimos anos. Contudo, ainda existem poucos trabalhos na literatura que mostram como diferentes formas de cultivo podem influenciar o crescimento e desenvolvimento dessas espécies. Dentre as técnicas de cultivo sem solo, o cultivo hidropônico do tipo *Nutrient Film Technique* (NFT) se destaca pela economia de água, aproveitamento do espaço e uso maximizado de nutrientes. Objetivou-se neste trabalho a caracterização do cultivo de PANC e plantas aromáticas em sistema hidropônico do tipo NFT. Durante o cultivo, as plantas não apresentaram sintomas visuais de deficiência ou excesso de nutrientes, indicando boa adaptação ao sistema e à solução nutritiva. A caracterização colorimétrica mostrou variação entre as espécies, com destaque para a vinagreira roxa, com menores valores de a^* (*greenness*), b^* (*yellowness*) e C (*chroma*), o que é associado ao teor de antocianinas nas folhas. O índice SPAD também variou entre as espécies, sem grandes variações no teor de N, indicando que diferenças no teor relativo de clorofila das plantas é influenciado por outros parâmetros. A discussão dos resultados evidencia o potencial de diversificação de espécies em um cultivo no sistema NFT. Contudo, são necessários mais estudos para verificar a solução nutritiva adequada para cada combinação de plantas no mesmo cultivo.

Palavras-chave: alimentos alternativos, conhecimento tradicional, diversificação do cultivo, resgate cultural, segurança alimentar.

Introdução

Nos últimos anos as Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC) e as plantas aromáticas têm estado em evidência, seja pelo interesse dos produtores em proporcionar diversidade nas áreas de cultivo, seja pelos consumidores em incrementar a diversidade alimentar. Com isso também é crescente a demanda por informações técnicas sobre o cultivo, comportamento, formas de comercialização e de usos destas espécies, provocando os diversos setores da pesquisa no estudo dessas plantas.

É neste contexto que diversos trabalhos têm sido desenvolvidos demonstrando o potencial alimentício das PANC, com destaque para seus aspectos nutracêuticos (MINIGHIN et al., 2025; MARTINS, 2024). Como exemplo de algumas PANC, tem-se a bertalha (*Basella alba* L.), originária da Índia e Sudeste Asiático com folhas carnudas e saborosas; o jambu (*Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen), uma planta encontrada em regiões próximas à linha do Equador na África, Ásia e América do Sul, reconhecido

pela presença de espilantol em suas folhas e capítulos florais; a vinagreira verde (*Hibiscus sabdariffa* L.); e a vinagreira roxa (*Hibiscus acetosella* Welw. ex Hiern), originárias do continente africano cujas folhas com sabor ácido são usadas em preparos de pratos típicos (KINUPP e LORENZI, 2014).

De forma semelhante tem-se as plantas aromáticas e condimentares, historicamente usadas na culinária em todo o mundo, além dos aspectos medicinais e com mercado crescente para os óleos essenciais. Dentre elas, destacam-se o manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) originário das regiões tropicais da Ásia, e a erva-doce (*Foeniculum vulgare* Mill.), uma planta que tem sua origem no Mediterrâneo (SIMÕES et al., 2004; LORENZI e MATOS, 2002). Ambas apresentam grande apelo culinário, medicinal e comercial.

Concomitante à crescente demanda por essas plantas frente aos seus potenciais alimentícios e aromáticos, tem-se a necessidade de informações quanto às formas de cultivo com obtenção de plantas livres de resíduos de agrotóxicos. Neste contexto, a hidroponia do tipo *Nutrient Film Technique* (NFT) constitui uma alternativa promissora para a otimização da produção devido à economia hídrica e ao melhor aproveitamento do espaço físico e dos nutrientes. Contudo, neste sistema é tradicionalmente conduzido em monocultivo, tendo em vista o manejo adequado dos nutrientes para a espécie cultivada (SON et al., 2020).

Diante desse cenário, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar os aspectos morfológicos de diferentes PANC e plantas aromáticas cultivadas simultaneamente em sistema hidropônico do tipo NFT.

Material e Métodos

Entre os meses de outubro e dezembro de 2025, realizou-se o cultivo de diversas hortaliças em sistema NFT em casa de vegetação do Campo Experimental Santa Rita (CESR) da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) em Prudente de Morais, Minas Gerais. As sementes utilizadas no cultivo foram adquiridas no mercado ou provenientes do Banco de Hortaliças Não Convencionais (HNC) do CESR (Tabela 1).

Tabela 1 - Origem das sementes das plantas cultivadas em sistema hidropônico NFT.

Nome popular	Espécie	Origem das sementes
Manjeriço	<i>Ocimum basilicum</i> L.	Comercial
Erva-doce	<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	Comercial
Bertalha	<i>Basella alba</i> L.	Banco HNC CESR EPAMIG
Jambu	<i>Acmella oleracea</i> (L.) R.K.Jansen	Banco HNC CESR EPAMIG
Vinagreira verde	<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.	Banco HNC CESR EPAMIG
Vinagreira roxa	<i>Hibiscus acetosella</i> Welw. ex Hiern	Banco HNC CESR EPAMIG

O semeio foi realizado em espuma fenólica previamente lavada em água corrente. As mudas foram transplantadas para os canais de cultivo 26 dias após o semeio em espaçamento de 0,35 m entre plantas e 0,24 m entre canais em sistema NFT, todas as espécies compartilhando a mesma solução nutritiva.

A solução nutritiva utilizada foi a proposta por Fernandes (2002), monitorada diariamente, completando-se o volume com água e mantendo-se a CE em $1,90 \pm 0,20$ dS m⁻¹ e o pH em $6,0 \pm 0,5$. Considerando o consumo como hortaliças folhosas, a colheita das plantas foi realizada antes do início do florescimento, aos 30 dias após o transplantio. Em seguida, a parte aérea das plantas foi pesada e seca em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até massa constante (ca. 72 h), determinando-se as massas de matéria seca.

A análise da cor foi realizada com o auxílio de um colorímetro, utilizando-se o espaço de cor: L* (luminosidade), eixo -a* (*greenness*), eixo b* (*yellowness*), C (*chroma*) e ângulo matiz Hue, seguindo a classificação proposta pela Comissão Internacional de Iluminação (MCLELLAN et al., 1995). O índice SPAD foi determinado usando o medidor portátil de clorofila. A determinação do nitrogênio total (N) foi realizada pelo método Kjeldahl e o teor de proteína bruta foi obtido multiplicando o valor de N por 6,25 (Bataglia et al., 1983).

O cultivo foi conduzido sem a utilização de agroquímicos. Os dados de temperatura média e umidade relativa média do ar na casa de vegetação foram de $35,9 \pm 3,2$ °C e $33,8 \pm 8,6\%$, respectivamente. Foram avaliadas 3 plantas de cada espécie selecionadas aleatoriamente. A amostragem foi distribuída de forma uniforme entre os grupos de plantas estabelecidos durante o cultivo. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, sendo os resultados apresentados como média $\pm$ desvio-padrão.

Resultados e Discussão

Durante o cultivo, as plantas não apresentaram sintomas visuais de deficiência ou excesso de nutrientes, indicando boa adaptação ao sistema NFT e à solução nutritiva empregada (Figura 1). Esses resultados são particularmente importantes diante do crescente interesse pela hidroponia, uma vez que fornecem informações sobre o manejo nutricional da espécie e contribuem para a adoção dessa técnica de cultivo por novos produtores.

Figura 1 - Registro das alterações morfológicas visuais em PANC e plantas aromáticas em sistema hidropônico do tipo NFT. A: manjerição; B: erva doce; C: bertalha; D: jambu; E: vinagreira roxa; F: vinagreira verde. A barra branca no canto esquerdo inferior da imagem representa uma escala de 10 cm.



Embora todas as espécies tenham sido colhidas no mesmo período, os resultados de produção de biomassa indicam que seu desenvolvimento em sistema hidropônico foi satisfatório (Tabela 2). Entretanto, é importante destacar que cada espécie apresenta um ponto ideal de colheita, o qual pode variar conforme o objetivo da produção, seja para maximizar o acúmulo de biomassa ou obter maior concentração de compostos de interesse. Para fins de caracterização dessas espécies em sistema hidropônico do tipo NFT, utilizando a solução nutritiva proposta por Fernandes (2002), os resultados demonstram que sua aplicação é viável. Além disso, esse sistema apresenta potencial para implantação em escala comercial com maior diversidade de espécies, evidenciando que o cultivo hidropônico em NFT não precisa ser restrito à monocultura, podendo contemplar sistemas de produção mais diversificados.

Tabela 2 - Produção de biomassa de PANC e plantas aromáticas em sistema hidropônico do tipo NFT.

Nome popular	Característica		
	Massa fresca (g)	Massa seca (g)	MS (%)
Manjeriçao	51,4 ± 4,1	11,3 ± 0,2	21,7 ± 1,4
Erva-doce	27,6 ± 8,2	10,1 ± 0,7	38,1 ± 8,2
Bertalha	193,3 ± 104	16,8 ± 5	9,67 ± 2,9
Jambu	26,8 ± 5,3	9,6 ± 0,5	36,5 ± 4,9
Vinagreira verde	74,8 ± 7,7	14,2 ± 1	19,1 ± 0,8
Vinagreira roxa	83 ± 12,2	15,5 ± 1,4	18,8 ± 1,1

MS = Massa de matéria seca.

A coloração das folhas constitui um importante parâmetro de qualidade no cultivo hidropônico, uma vez que influencia diretamente a aparência e a aceitação comercial das hortaliças. Os parâmetros colorimétricos das espécies avaliadas são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros colorimétricos das folhas de PANC e plantas aromáticas em sistema hidropônico do tipo NFT.

Nome popular	Característica				
	L*	-a*	b*	C	°Hue
Manjerição	38,5 ± 1,5	10,7 ± 0,5	30,4 ± 1	32,3 ± 0,9	109,4 ± 1,21
Erva-doce	17,3 ± 1,4	9,3 ± 0,5	17 ± 1,5	20 ± 0,7	117,6 ± 1,3
Bertalha	36,5 ± 2,7	10,1 ± 1,7	22,3 ± 4,7	24,5 ± 4,9	114,5 ± 1,1
Jambu	27,5 ± 1,3	10,3 ± 1,7	23 ± 4	25,2 ± 4,4	114,1 ± 1,3
Vinagreira verde	21,9 ± 1,3	5,9 ± 0,8	13,7 ± 2,2	14,9 ± 2,3	113,4 ± 0,5
Vinagreira roxa	18 ± 2,7	-3,78 ± 0,7	2,8 ± 1,4	4,8 ± 1,1	35,5 ± 13,6

L*: luminosidade; -a*: *greenness*; b*: *yellowness*; C: *chroma*; °Hue:  ngulo Hue.

Os menores valores de a*, b* e C na vinagreira roxa estão associados principalmente à composição química de suas folhas, especialmente ao elevado teor de antocianinas (LYU et al., 2020), pigmentos que modificam significativamente a percepção visual da cor sem necessariamente indicar alterações na qualidade fisiológica da planta. A presença de antocianinas desempenha um importante papel fotoprotetor, reduzindo danos causados pelo excesso de radiação e atuando como antioxidantes naturais (SANTOS SILVA et al., 2023).

O  ndice SPAD variou de 24,2 para manjeri  o a 52,6 na vinagreira roxa (Tabela 4), evidenciando diferenças no teor relativo de clorofila entre as espécies avaliadas. As vinagreiras apresentaram maiores valores de SPAD. Apesar dessa diferença entre as espécies, o teor de N permaneceu relativamente próximo (3,87% a 4,78%). Esses resultados indicam que o  ndice SPAD não reflete exclusivamente a concentração de N nas folhas, sendo influenciado por características interespecíficas, como espessura da folha, produção de outros pigmentos que podem interferir na absorv ncia da luz e/ou o teor real de clorofila.

Tabela 4 -  ndice SPAD, nitrogênio total (N) e proteína bruta (Pb) de PANC e plantas aromáticas em sistema hidropônico do tipo NFT.

Nome popular	Característica		
	�ndice SPAD	N (%)	Pb (%)
Manjeri��o	24,2 ± 2,0	4,33 ± 0,2	27,1 ± 1,3
Erva-doce	-	4,62 ± 0,1	28,9 ± 0,6
Bertalha	31,6 ± 2,5	3,87 ± 0,2	24,2 ± 1,1
Jambu	38,87 ± 4,8	4,78 ± 0,2	29,9 ± 1,0

Vinagreira verde	48 ± 3,1	4,16 ± 0,1	26 ± 0,6
Vinagreira roxa	52,6 ± 4,8	4,44 ± 0,1	27,8 ± 0,5

Para o jambu, Sampaio et al. (2020) mostraram que a concentração de N foliar aumenta linearmente em resposta ao incremento de N fornecido na solução nutritiva, bem como o índice SPAD e massa de matéria seca. Os autores observaram valores entre 32 a 54 unidades SPAD, valores próximos ao aqui relatado. O maior teor de N em plantas de jambu reflete no seu crescimento e acúmulo de biomassa. Por fim, é mostrado que bertalha (24,2%) e jambu (29,9%) cultivadas em sistema hidropônico podem ser boas fontes de proteína. Os resultados demonstram que os sistemas hidropônicos apresentam potencial para a produção de plantas saudáveis e sem resíduos de agrotóxicos, inclusive para aquelas com fins aromáticos.

Conclusões

O cultivo hidropônico NFT com diversificação de espécies mostra-se promissor e apresenta elevado potencial produtivo. Estudos futuros que visem determinar concentrações ótimas de nutrientes, para maximizar o desempenho agrônomo e a qualidade nutricional das espécies cultivadas nesse sistema, contribuindo para o aprimoramento do manejo nutricional e para a ampliação de sua aplicação em diferentes sistemas de produção.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo suporte financeiro e concessão das bolsas.

Literatura citada

- BATAGLIA, O.C. et al. **Métodos de análise química de plantas**. Instituto Agrônomo de Campinas, 1983, 48 p.
- FERNANDES, A.A. et al. Produtividade, acúmulo de nitrato e estado nutricional de cultivares de alface em hidroponia, em função de fontes de nutrientes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 195-200, 2002.
- KINUPP, V.F; LORENZI, H. **Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC) no Brasil**: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas. 1ª ed. Editora: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2014, 768 p.
- LORENZI, H.; MATOS, F.J.A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. 512 p.
- LYU, J.I. et al. Phenolic compounds in extracts of *Hibiscus acetosella* (Cranberry Hibiscus) and their antioxidant and antibacterial properties. **Molecules**, v. 25(18), p. 4190, 2020.

MARTINS, M.M. **Comparação de métodos de extração de compostos fenólicos em PANC: azedinha (*Rumex acetosa* L), capuchinha (*Tropaeolum majus*) e peixinho (*Stachys byzantina* K. Koch).** 42 p. Dissertação (Mestrado) - Fitotecnia, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2024.

MCLELLAN, M.R. et al. Hue angle determinations and statistical analysis for multiquadrant Hunter L, a, b data. **Journal of Food Quality**, v. 18(3), p. 235–240, 1995.

MINIGHIN, E.C. et al. **Plantas alimentícias não convencionais na dieta de fenilcetonúricos.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 46, n. 329, p. 84-94, 2025.

SAMPAIO, I.M.G. et al. Evaluation of the non-destructive method efficiency of estimating nitrogen content in jambu plants grown in hydroponic system. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8(2), p. 466-479, 2020.

SANTOS SILVA, L.Y. et al. *Hibiscus acetosella*: an unconventional alternative edible flower rich in bioactive compounds. **Molecules**, v. 28(12), p. 4819, 2023.

SIMÕES, C.M.O. et al. **Farmacognosia: da planta ao medicamento.** Porto Alegre/Florianópolis: Editora da UFRGS/Editora da UFSC, 2004, 1104 p.

SON, J.E. et al. **Hydroponic systems.** In Plant factory. Academic Press, p. 273-283. 2020.

Avaliação morfofisiológica de genótipos tropicalizados de alface em sistema aeropônico *indoor* sob diferentes espectros de luz LED

Bruno Dourado RODRIGUES¹, Artur Simão LEMOS², Fabia Barbosa DA SILVA³,
Alexia Giulia Vasques SILVA⁴, Fabiano Guimarães SILVA⁵

¹ Doutorando do Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias - Agronomia (IF Goiano). E-mail: brunodover01@gmail.com

² Doutorando do Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias - Agronomia (IF Goiano).

³ Professora do Instituto de Ciências Biológicas (UFG).

⁴ Graduanda em Agronomia (IF Goiano).

⁵ Professor do Instituto Federal Goiano (IF Goiano).

Resumo: O objetivo do estudo foi avaliar o desempenho morfofisiológico de genótipos de alface submetidos a diferentes espectros de luz LED em ambiente controlado. Para isso, adotou-se o delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 4x4 (quatro espectros de luz: Branco, Azul, Vermelho e RBW; e quatro genótipos: UFU-Biofort, UFU-155#1#1#1, UFU-189#1#2#1 e *Grand Rapids*), com quatro repetições, em cultivo aeropônico *indoor*. Aos 25 dias após o transplante, avaliaram-se características morfológicas, trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*. Sob luz vermelha, a cultivar *Grand Rapids* apresentou padrões de estiolamento, com expansão e redução na espessura do limbo e pecíolo foliar. Por outro lado, a linhagem UFU-189#1#2#1 direcionou fotoassimilados para o espessamento foliar (0,37 mm) e massa foliar específica (0,0051 g cm⁻²). A luz vermelha reduziu a condutância estomática (*g_s*) e a taxa fotossintética líquida (*A*), acompanhada pelo aumento no fluxo de dissipação térmica (*D_{lo}/RC*) em todos os genótipos. Todavia, a presença da fração azul nos espectros Azul, RBW e Branco reduziu o alongamento caulínico, estabilizou as trocas gasosas e atenuou a dissipação de energia. A tropicalização genotípica aliada à adequação da qualidade espectral da luz atua como um mecanismo de resiliência morfofisiológica em cultivo aeropônico *indoor*, mitigando estresses fisiológicos e conferindo superior adaptabilidade aos genótipos tropicalizados.

Palavras-chave: fotorreceptores. *Lactuca sativa*. tropicalização. iluminação artificial. agricultura vertical.

Introdução

A agricultura vertical *indoor* consolida-se como uma alternativa para o cultivo de hortaliças frente às mudanças climáticas globais (BENKE; TOMKINS, 2017). Nesse cenário, a alface (*Lactuca sativa* L.) destaca-se como a principal espécie produzida em fazendas verticais devido à sua elevada aceitação comercial, arquitetura compacta e ciclo fenológico curto (ARACHCHIGE *et al.*, 2024). Contudo, a produção sob iluminação artificial impõe fatores luminosos específicos que podem desencadear a síndrome de fuga ao sombreamento e acarretar estiolamento em cultivares convencionais (KUREPA; SMALLE, 2022). A iluminação por diodos emissores de luz (LED) atua ativamente na morfogênese vegetal, uma vez que a qualidade espectral sinaliza o desenvolvimento e a regulação fisiológica das plantas (PENNISI *et al.*, 2019).

Grande parte das pesquisas analisa a composição espectral apenas como um fator físico isolado, prevendo respostas biológicas padronizadas entre diferentes genótipos (PENNISI *et al.*, 2019). Com isso, ignora-se a variabilidade genética, elemento

determinante da resiliência morfoanatômica e da aclimação fotoquímica (LI *et al.*, 2021; SIQUIEROLI *et al.*, 2025). Embora a luz atue como sinalizador via fotorreceptores, as linhagens tropicalizadas destacam-se pela maior eficiência no processamento desses sinais, promovendo integridade fotossintética e espessamento foliar (PENNISI *et al.*, 2019). Essa variabilidade genotípica pode prevenir o estiolamento e otimizar o metabolismo vegetal, direcionando fotoassimilados para a estruturação e acúmulo de biomassa (KUMAR *et al.*, 2024).

Objetivou-se avaliar o desempenho morfofisiológico de genótipos tropicalizados de alface comparados a uma cultivar comercial sob diferentes espectros de luz LED em sistema indoor.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Estudos Avançados em Agricultura Vertical do Instituto Federal Goiano, campus Rio Verde-GO. Adotou-se o delineamento em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 4x4, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em quatro espectros de luz LED (Branco, Vermelho, Azul e RBW na proporção 3:1:1) e quatro genótipos de alface, sendo tropicalizados: UFU-Biofort, UFU-155#1#1#1 e UFU-189#1#2#1; e a cultivar comercial *Grand Rapids*.

As plantas foram cultivadas em módulos aeropônicos verticais, conforme mostrado na Figura 1, com densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD) mantida em $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e fotoperíodo de 14 h dia⁻¹. A nutrição foi viabilizada por solução N3 (Guedes *et al.*, 2024), automatizada em pulsos intermitentes de 1 min de nebulização e 5 min de interrupção, mantendo-se o pH em $5,6 \pm 0,2$ e a condutividade elétrica em $1,3 \pm 0,1 \text{ dS m}^{-1}$, sob temperatura do ar de $23 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 5\%$.



Figura 1. Módulos experimentais de cultivo aeropônico de alface (*Lactuca sativa* L.) sob diferentes qualidades espectrais (Branco, Azul, Vermelho e RBW).

Aos 25 dias após o transplantio (DAT), realizaram-se as avaliações morfológicas e fisiológicas. Foram mensuradas as variáveis de massa fresca foliar e total (g) em balança de precisão, o comprimento do caule e o diâmetro da planta (cm) com fita métrica graduada. A espessura do limbo foliar e do pecíolo (mm) foi mensurada com paquímetro digital. A área foliar (cm²) foi determinada por meio da digitalização das

folhas e processamento das imagens no software ImageJ (SCHNEIDER *et al.*, 2012). Por fim, a massa foliar específica (LMA, g cm⁻²) foi calculada pela razão entre a massa seca foliar e a área foliar (PÉREZ-HARGUINDEGUY *et al.*, 2013).

As trocas gasosas foram registradas no período matutino em analisador infravermelho de gás (IRGA, LI-6800, LI-COR) sob CO₂ de 400 µmol mol⁻¹ e PPFD de 250 µmol m⁻² s⁻¹, obtendo-se a taxa fotossintética líquida (*A*) e condutância estomática (*g_s*). A fluorescência da clorofila *a* foi mensurada após adaptação ao escuro (FluorPen FP 100) para cálculo do parâmetro de fluxo de dissipação de energia por centro de reação (*Dlo/RC*) (STRASSER *et al.*, 2000).

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e homocedasticidade de Bartlett. Posteriormente, realizou-se a análise de variância (ANOVA) para desdobramento dos fatores e de suas interações, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$), utilizando o software R versão 4.5.2.

Resultados e Discussão

Foi verificada diferença significativa ($p < 0,05$) para o comprimento do caule e diâmetro da planta em função da interação entre os genótipos e os espectros de luz (Figura 2). A cultivar *Grand Rapids* e a linhagem UFU-155#1#1#1 apresentaram estiolamento sob luz vermelha, alcançando os maiores comprimentos de caule (18,5 cm e 15,2 cm, respectivamente) (Figura 2A), padrão característico da síndrome de fuga ao sombreamento, uma resposta fotomorfogenética mediada por fitocromos, na qual a alteração no estado fotoquímico do fotorreceptor desinibe fatores de transcrição (PIFs), ativando vias hormonais que promovem a elongação celular (KUREPA; SMALLE, 2022). Em contraste, a linhagem UFU-189#1#2#1 manteve o caule compacto ($< 4,0$ cm) em todas as condições luminosas, evidenciando alta estabilidade arquitetônica (SIQUIEROLI *et al.*, 2025). À exceção da linhagem UFU-189#1#2#1, que não apresentou diferença significativa entre os espectros vermelho e azul, todos os demais genótipos exibiram maior diâmetro de planta sob luz vermelha em comparação aos outros espectros.

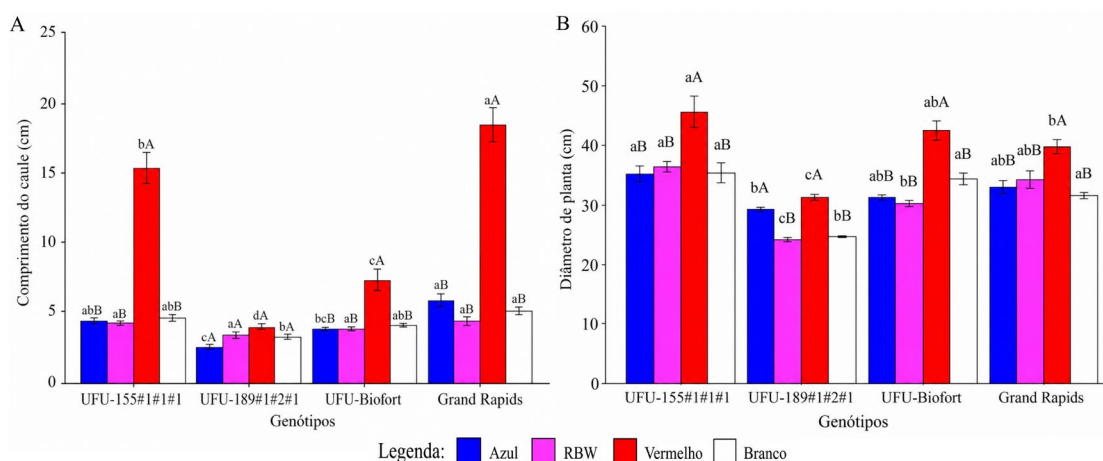


Figura 2 - Comprimento do caule (A) e diâmetro da planta (B) de genótipos de alface submetidos a diferentes espectros de luz LED em sistema aeropônico *indoor*.

Constatou-se interação significativa ($p < 0,05$) entre os genótipos e os espectros luminosos para os atributos morfológicos, fisiológicos e biométricos analisados (Tabela 1). A linhagem UFU-189#1#2#1 foi superior a *Grand Rapids* na espessura do limbo (EL) (0,37 mm; 0,18 mm, respectivamente), na espessura do pecíolo (EP) (3,60 mm;

1,65 mm), na massa foliar específica (LMA) ($0,0051 \text{ g cm}^{-2}$; $0,0024 \text{ g cm}^{-2}$) e na taxa fotossintética líquida (A) ($9,1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; $5,8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), registrando ainda menor dissipação térmica (DI_o/RC) ($0,46$; $0,72$). Por sua vez, as linhagens UFU-155#1#1#1 e UFU-Biofort destacaram-se pela maior condutância estomática (g_s) ($0,11 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $0,10 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; $0,06 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e superior acúmulo de massa fresca foliar (MFF) ($112,0 \text{ g}$ e $105,8 \text{ g}$) e total (MFT) ($124,8 \text{ g}$; $119,2 \text{ g}$) em relação à cultivar comercial.

Tabela 1 – Atributos morfológicos, acúmulo de biomassa, trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* de genótipos de alface submetidos a diferentes espectros de luz LED em sistema aeropônico indoor. EL: espessura do limbo foliar (mm); EP: espessura do pecíolo (mm); AF: área foliar (cm^2); LMA: massa foliar específica (g cm^{-2}); MFF: massa fresca foliar (g); MFT: massa fresca total (g); A : taxa fotossintética líquida ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); g_s : condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); DI_o/RC : fluxo de dissipação de energia por centro de reação.

Genótipo	Espectro	EL	EP	AF	LMA	MFF	MFT	A	g_s	DI_o/RC
UFU-155#1#1#1	Azul	0,28 aB	2,85 aB	312,4 bB	0,0041 aA	82,4 bA	95,1 bA	14,2 aA	0,22 aA	0,35 bB
	RBW	0,31 aAB	3,10 aAB	345,1 aB	0,0043 aA	108,5 aA	122,3 aA	15,8 aA	0,25 aA	0,31 bB
	Vermelho	0,24 bC	2,15 bC	410,2 aA	0,0032 bB	112,0 aA	124,8 aA	8,5 bB	0,11 bB	0,58 aA
	Branco	0,29 aB	2,90 aB	325,0 bB	0,0040 aA	85,2 bA	98,0 bA	13,8 aA	0,21 aA	0,38 bB
UFU-189#1#2#1	Azul	0,35 aA	3,40 aA	220,1 cB	0,0052 aA	68,5 bC	80,2 bC	13,8 aA	0,12 bB	0,30 bB
	RBW	0,36 aA	3,55 aA	245,3 bB	0,0054 aA	82,1 aC	94,5 aC	14,9 aA	0,13 bB	0,28 bB
	Vermelho	0,37 aA	3,60 aA	280,5 bA	0,0051 aA	85,4 aC	97,8 aC	9,1 bB	0,08 cC	0,46 aB
	Branco	0,34 aA	3,35 aA	230,0 cB	0,0050 aA	70,2 bC	82,0 bC	13,2 aA	0,12 bB	0,32 bB
UFU-Biofort	Azul	0,29 aB	3,00 aB	290,5 bB	0,0042 aA	78,1 bB	90,4 bB	13,9 aA	0,20 aA	0,34 bB
	RBW	0,32 aAB	3,25 aAB	330,8 aB	0,0045 aA	102,3 aAB	116,5 aAB	15,2 aA	0,23 aA	0,30 bB
	Vermelho	0,26 bBC	2,40 bBC	385,2 aA	0,0035 bB	105,8 aAB	119,2 aAB	8,2 bB	0,10 bBC	0,52 aA
	Branco	0,30 aB	3,05 aB	305,1 bB	0,0041 aA	80,5 bB	93,1 bB	13,5 aA	0,19 aA	0,36 bB
Grand Rapids	Azul	0,25 aBC	2,50 aC	285,0 bB	0,0038 aA	62,0 bC	72,5 bD	12,1 aB	0,18 aA	0,41 bAB
	RBW	0,27 aBC	2,75 aB	310,2 bB	0,0039 aA	75,4 bC	86,2 bC	13,5 aA	0,20 aA	0,37 bB
	Vermelho	0,18 bD	1,65 cD	445,8 aA	0,0024 bB	92,1 aBC	101,4 aBC	5,8 bC	0,06 cD	0,72 aA
	Branco	0,26 aBC	2,60 aC	295,4 bB	0,0037 aA	64,8 bC	75,1 bD	11,8 aB	0,17 aA	0,43 bAB

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna (comparando os espectros de luz dentro de cada genótipo) e maiúscula na coluna (comparando os genótipos dentro de cada espectro de luz) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

O incremento na área foliar (AF) sob o espectro vermelho isolado atuou como um mecanismo compensatório à menor taxa fotossintética líquida (A) e à restrição na condutância estomática (g_s), resultando em limbos e pecíolos mais delgados (menores EL, EP e LMA) e na maior dissipação de energia (DI_o/RC), resposta associada à síndrome de fuga ao sombreamento induzida pela ausência de fótons azuis, com maior sensibilidade observada na cultivar *Grand Rapids* (KUREPA; SMALLE, 2022). Em contrapartida, a presença da radiação azul (espectros Azul, RBW e Branco) foi determinante para promover a regulação estomática, manter a assimilação de carbono e restabelecer as dimensões foliares em todos os genótipos. Essa resposta fisiológica e morfológica reflete a superioridade adaptativa dos materiais genéticos tropicalizados no sistema aeropônico *indoor*, destacando-se a linhagem UFU-189#1#2#1 pela estabilidade no espessamento foliar e as linhagens UFU-155#1#1#1 e UFU-Biofort pela alta eficiência no acúmulo de biomassa fresca (MFF e MFT) (SIQUIEROLI *et al.*, 2025).

Conclusões

Os genótipos tropicalizados de alface apresentaram maior resiliência adaptativa quando comparados à cultivar comercial *Grand Rapids*, principalmente sob o espectro vermelho, onde a cultivar comercial apresentou características da síndrome de fuga ao

sombreamento, promovendo estiolamento caulínático e redução na espessura do limbo e do pecíolo. A linhagem UFU-189#1#2#1 direcionou os fotoassimilados para maior espessura do limbo foliar (0,37 mm). As linhagens UFU-Biofort e UFU-155#1#1#1 obtiveram maior acúmulo de massa fresca foliar e total, constituindo germoplasmas promissores para a agricultura vertical.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsas e auxílio financeiro. Ao Instituto Federal Goiano pelo suporte institucional, e ao Laboratório de Estudos Avançados em Agricultura Vertical pela infraestrutura experimental e apoio técnico concedidos para a realização deste trabalho.

Literatura citada

- ARACHCHIGE, U. *et al.* Indoor vertical farming of lettuce (*Lactuca sativa* L.): A review. **Scientia Horticulturae**, v. 325, p. 112680, 2024.
- BENKE, K.; TOMKINS, B. Future food production via vertical farming and advanced greenhouse technology. **Food Security**, v. 9, n. 4, p. 811-826, 2017.
- 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.
- KUMAR, A. *et al.* Photomorphogenesis and yield performance of leafy greens in vertical farming systems. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 206, p. 108210, 2024.
- KUREPA, J.; SMALLE, J. A. Auxin-cytokinin interplay in shade avoidance responses. **Trends in Plant Science**, v. 27, n. 5, p. 485-496, 2022.
- LI, Y. *et al.* Genetic variability in light spectrum acclimation among leafy vegetables. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 648910, 2021.
- PENNISI, G. *et al.* Optimal blue to red ratio in LED lighting for indoor lettuce cultivation. **Scientia Horticulturae**, v. 246, p. 702-711, 2019.
- PÉREZ-HARGUINDEGUY, N. *et al.* New handbook for standardised measurement of plant functional traits. **Australian Journal of Botany**, v. 61, n. 3, p. 167-234, 2013.
- SCHNEIDER, C. A.; RASBAND, W. S.; ELICEIRI, K. W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. **Nature Methods**, v. 9, n. 7, p. 671-675, 2012.
- SIQUIEROLI, A. C. *et al.* Genetic stability and morpho-anatomical traits of tropicalized lettuce under artificial lighting. **Postharvest Biology and Technology**, v. 208, p. 112700, 2025.
- STRASSER, R. J.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In: **Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation**. Taylor & Francis, p. 445-483, 2000.

Luz branca amplia o crescimento e a frutificação de minitomateiros em cultivo indoor aeropônico

Porfírio Américo Nunes ROSA¹, Paula Sperotto Alberto FARIA², Fábiana Barbosa DA SILVA³, Paulo Mununu João PEDRO⁴, Fabiano Guimarães SILVA⁵

¹Doutorando em Agroquímica, Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde. E-mail: Porfírio.rosa@estudante.ifgoiano.edu.br

²Professora Doutora, Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde.

³Professora Doutora, Universidade Federal Goiano.

⁴Mestrando em Agroquímica, Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde.

⁵Professor Doutor orientador, Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde.

Resumo: Objetivou-se avaliar o efeito de espectros luminosos sobre o crescimento e a frutificação de minitomateiros em cultivo indoor aeropônico. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com luz azul, vermelha, branca e combinação vermelho-azul-branco (RBW), sob densidade de fluxo de fótons fotossintéticos de $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e fotoperíodo de 12 h. Foram avaliadas 10 plantas por tratamento. A altura, o número de pencas e o número de frutos foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey (5%). A luz alterou todas as variáveis ($p \leq 0,002$). Branca, RBW e vermelha resultaram em plantas mais altas (122,85; 122,20 e 118,30 cm) que a azul (91,40 cm). A vermelha apresentou 7,40 pencas, sem diferir de RBW e branca (6,90), enquanto a azul apresentou 5,70. A luz branca produziu mais frutos (20,00), seguida de RBW (13,20) e vermelha (13,00), e a azul apresentou 9,10. Assim, a luz branca favorece a frutificação, a vermelha estimula a emissão de pencas e a luz azul isolada limita o desempenho agrônomo.

Palavras-chave: aeroponia, diodos emissores de luz, eficiência produtiva, fotomorfogênese, tomate-cereja.

Introdução

A agricultura em ambiente controlado permite regular luz, temperatura, umidade, dióxido de carbono e nutrição, reduzindo a variabilidade climática e viabilizando a produção durante todo o ano. Em sistemas indoor, a possibilidade de combinar cultivo sem solo e iluminação artificial amplia o controle do processo produtivo, mas o custo energético da iluminação torna necessária a definição de receitas luminosas eficientes. A consolidação das fazendas verticais, portanto, depende simultaneamente de respostas agrônomicas consistentes e do uso racional de energia e recursos (VAN DELDEN et al., 2021).

A luz atua como fonte de energia para a fotossíntese e como sinal ambiental que controla arquitetura, expansão foliar, florescimento e partição de assimilados. Os comprimentos de onda vermelhos e azuis são absorvidos intensamente pelos pigmentos fotossintéticos e percebidos por fitocromos e criptocromos. Entretanto, a resposta não depende apenas da absorção foliar instantânea: a distribuição dos fótons no dossel, a proporção entre bandas e a presença de verde e vermelho-distante podem alterar a eficiência de uso da radiação e o crescimento reprodutivo (KUSUMA; PATTISON; BUGBEE, 2020; YAN et al., 2023).

Em tomateiro, estudos recentes mostram que espectros amplos ou combinações de bandas podem superar respostas obtidas sob luzes monocromáticas. Dannehl et al. (2021) observaram maior rendimento e eficiência de uso da luz sob LED de espectro contínuo. Ke et al. (2024), trabalhando com tomateiros anões a $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, verificaram maior eficiência de uso da radiação e da radiação destinada à biomassa dos frutos sob luz branca do que sob tratamentos vermelho-azul. Em contraste, a participação do azul pode favorecer fotossíntese, compostos de qualidade e respostas estomáticas, mas seus efeitos variam com intensidade, cultivar e fase fenológica.

A aeroponia acrescenta elevada disponibilidade de oxigênio na zona radicular e entrega direta da solução nutritiva, características úteis em módulos compactos de produção. Contudo, são escassas as informações sobre o desempenho reprodutivo de minitomateiros submetidos, durante o cultivo indoor aeropônico, a espectros isolados e combinados sob a mesma intensidade. Assim, objetivou-se avaliar os efeitos das luzes vermelha, azul, branca e da combinação RBW sobre a altura, o número de pencas e o número de frutos de minitomateiros.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em sala de crescimento indoor equipada com sistema aeropônico. Adotou-se delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos de qualidade espectral: luz vermelha (T1), luz azul (T2), luz branca (T3) e combinação de vermelho, azul e branco — RBW (T4). A densidade de fluxo de fótons fotossintéticos foi padronizada em $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, e o fotoperíodo foi de 12 h de luz e 12 h de escuro.

Cada tratamento ocupou um setor da sala e foi constituído por três tubos verticais de PVC, paralelos ao corredor central, com nove posições de cultivo por tubo, totalizando 27 plantas instaladas. Para reduzir efeitos de bordadura e manter o mesmo tamanho amostral, foram previamente selecionadas 10 plantas por tratamento para as avaliações, totalizando 40 observações. As demais plantas funcionaram como bordadura. A disposição dos tratamentos, o sentido dos tubos e a localização das plantas avaliadas são apresentados na Figura 1.

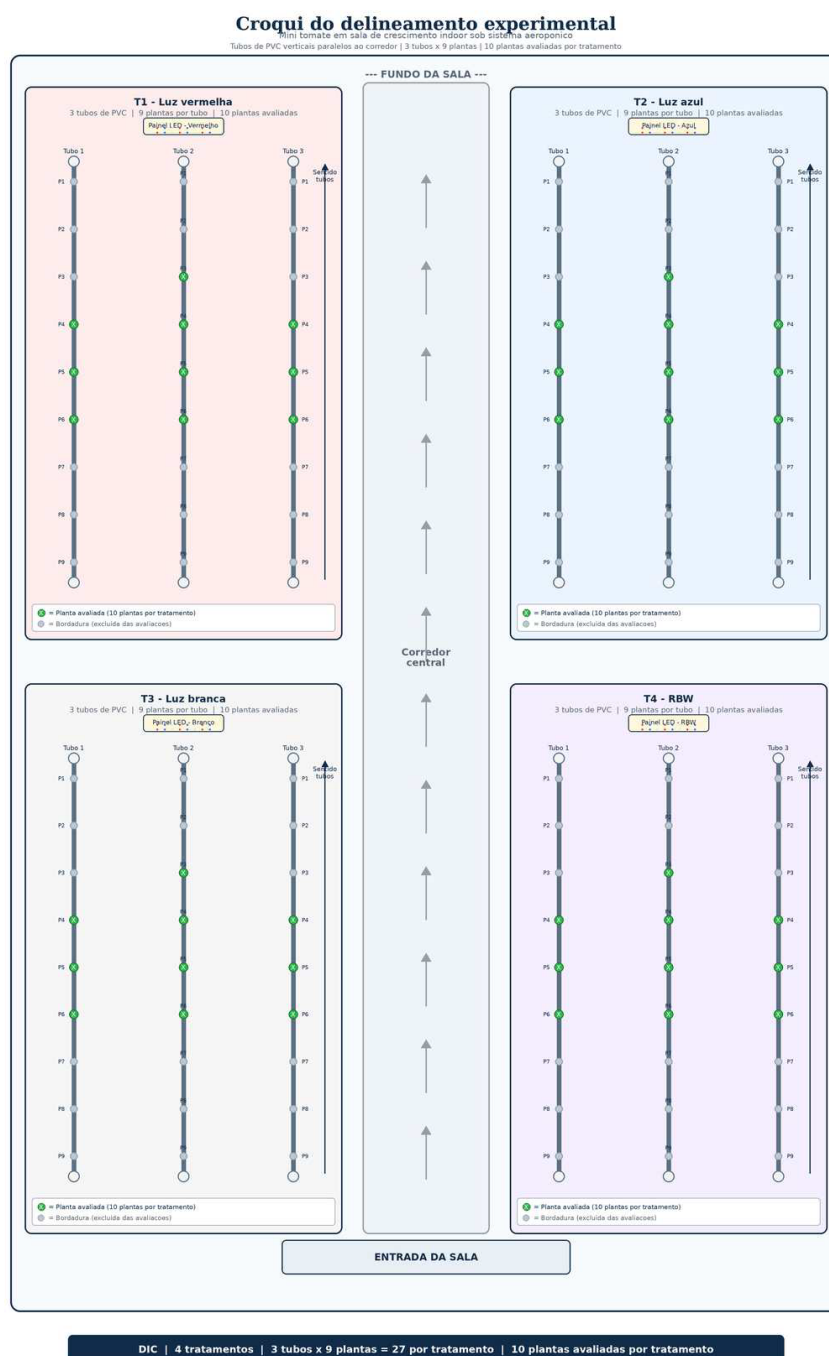


Figura 1 – Croqui do delineamento experimental e das plantas avaliadas em cada tratamento luminoso.

Ao final do período experimental foram determinadas, em cada planta selecionada, a altura (cm), o número de pencas e o número de frutos. Para cada variável, os dados foram submetidos à análise de variância considerando o efeito de tratamento luminoso. Quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A estatística descritiva foi expressa como média $\pm$ desvio-padrão. As análises utilizaram 3 e 36 graus de liberdade para tratamento e resíduo, respectivamente.

Resultados e Discussão

A qualidade espectral promoveu diferenças significativas na altura das plantas ($F(3,36)=18,60$; $p<0,001$), no número de pencas ($F(3,36)=5,82$; $p=0,002$) e no número de frutos ($F(3,36)=20,71$; $p<0,001$). As médias e os agrupamentos do teste de Tukey são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Altura, número de pencas e número de frutos de minitomateiros submetidos a diferentes espectros luminosos em cultivo indoor aeropônico.

Tratamento	Altura (cm)	Pencas (nº)	Frutos (nº)
Branca	122,85 ± 10,10 a	6,90 ± 1,00 a	20,00 ± 4,70 a
RBW	122,20 ± 10,00 a	6,90 ± 1,20 a	13,20 ± 2,60 b
Vermelha	118,30 ± 13,60 a	7,40 ± 0,80 a	13,00 ± 2,50 b
Azul	91,40 ± 9,90 b	5,70 ± 0,70 b	9,10 ± 2,10 c

Médias ± desvio-padrão (n=10). Em cada coluna, médias seguidas por letras distintas diferem pelo teste de Tukey ($p<0,05$). RBW: combinação de luz vermelha, azul e branca.

As plantas sob luz branca, RBW e vermelha formaram um único grupo para altura, com valores entre 118,30 e 122,85 cm, enquanto a luz azul reduziu a altura em aproximadamente 23% em relação à média dos três tratamentos superiores. Essa resposta é compatível com a ação do azul sobre criptocromos e fototropinas, frequentemente associada à contenção do alongamento caulinar e à arquitetura mais compacta. Ke et al. (2024) também destacaram que o azul pode reduzir a altura, embora a magnitude da resposta dependa da cultivar e do conjunto espectral. No presente estudo, a semelhança entre branca, RBW e vermelha indica que a presença predominante de comprimentos de onda mais longos ou de um espectro mais amplo manteve o crescimento longitudinal.

O número de pencas foi maior sob luz vermelha (7,40), mas não diferiu de branca e RBW (6,90); a luz azul apresentou 5,70 pencas. A radiação vermelha é eficiente na excitação dos fotossistemas e é percebida por fitocromos, podendo favorecer expansão e transições do desenvolvimento. Entretanto, respostas prolongadas à luz monocromática dependem da espécie e podem ser limitadas pela ausência de outras bandas. Yan et al. (2023) demonstraram que a combinação de vermelho, branco e azul aumentou a fotossíntese, o transporte de elétrons e a biomassa do tomateiro por mecanismos dependentes de fotoreceptores, reforçando que a diversidade espectral pode sustentar respostas superiores às de bandas isoladas.

A variável com maior separação entre tratamentos foi o número de frutos. A luz branca proporcionou 20,00 frutos por planta, valor 51,5% superior ao RBW, 53,8% superior ao vermelho e 119,8% superior ao azul. RBW e vermelho não diferiram entre si, enquanto o azul isolado formou o grupo de menor produção. A superioridade da luz

branca concorda com Ke et al. (2024), que observaram maior eficiência de uso da radiação destinada à biomassa dos frutos sob luz branca. Uma explicação plausível é a maior amplitude espectral: fótons verdes penetram mais profundamente no dossel, enquanto pequenas frações de vermelho-distante podem contribuir para a fotossíntese e a partição de assimilados. Como a distribuição espectral exata das luminárias não foi quantificada neste ensaio, esse mecanismo deve ser tratado como hipótese a ser testada.

Os resultados também se alinham ao estudo de Dannehl et al. (2021), no qual um LED cobrindo continuamente a faixa fotossinteticamente ativa aumentou em 14% o rendimento de frutos e em 19% a eficiência de uso da luz em relação à iluminação com lâmpadas de sódio de alta pressão. Esses autores atribuíram a vantagem ao aproveitamento de uma faixa mais ampla de comprimentos de onda. Por outro lado, Niu et al. (2023) mostraram que a taxa fotossintética do tomateiro responde à razão vermelho:azul e que a proporção ótima varia com a concentração de CO₂. Portanto, não existe uma receita espectral universal: intensidade, composição, cultivar, arquitetura do dossel e fase de desenvolvimento precisam ser considerados em conjunto.

Embora a luz vermelha tenha promovido o maior valor numérico de pencas, isso não se traduziu no maior número de frutos. A diferença sugere que a emissão de inflorescências e a fixação ou retenção de frutos responderam de maneira distinta ao espectro. Fatores posteriores ao florescimento, como assimilação de carbono, polinização, pegamento e competição por fotoassimilados, podem ter limitado a conversão de pencas em frutos sob vermelho e RBW. O espectro branco, ao combinar diferentes bandas, possivelmente favoreceu uma condição mais equilibrada entre crescimento vegetativo e dreno reprodutivo.

A interpretação deve considerar que foram avaliadas 10 plantas dentro de cada setor luminoso e que não foram fornecidas medições espectrais detalhadas das luminárias, temperatura foliar, trocas gasosas ou biomassa seca. Experimentos futuros devem ampliar a replicação independente das fontes luminosas, registrar a distribuição espectral e o integral diário de luz, e incluir massa e qualidade dos frutos. Essas medidas permitirão distinguir efeitos fotomorfogênicos de diferenças microambientais e calcular eficiência produtiva por unidade de energia elétrica.

Conclusões

A qualidade espectral da luz altera a altura, a emissão de pencas e o número de frutos de minitomateiros cultivados em sistema indoor aeropônico.

A luz branca proporciona o maior número de frutos, enquanto a luz vermelha apresenta o maior valor numérico de pencas sem diferir da branca e da combinação RBW.

A luz azul isolada reduz o crescimento e a frutificação nas condições avaliadas, não sendo recomendada como única fonte espectral quando o objetivo é maximizar o desempenho agrônômico.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, pela infraestrutura de pesquisa, e às instituições e colaboradores envolvidos na condução do experimento.

Literatura citada

- DANNEHL, D.; SCHWEND, T.; VEIT, D.; SCHMIDT, U. Increase of yield, lycopene, and lutein content in tomatoes grown under continuous PAR spectrum LED lighting. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 611236, 2021. DOI: 10.3389/fpls.2021.611236.
- KE, X.; YOSHIDA, H.; HIKOSAKA, S.; GOTO, E. Effect of red and blue light versus white light on fruit biomass radiation-use efficiency in dwarf tomatoes. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, 1393918, 2024. DOI: 10.3389/fpls.2024.1393918.
- KUSUMA, P.; PATTISON, P. M.; BUGBEE, B. From physics to fixtures to food: current and potential LED efficacy. **Horticulture Research**, v. 7, 56, 2020. DOI: 10.1038/s41438-020-0283-7.
- NIU, Y.; LYU, H.; LIU, X.; ZHANG, M.; LI, H. Photosynthesis prediction and light spectra optimization of greenhouse tomato based on response of red–blue ratio. **Scientia Horticulturae**, v. 318, 112065, 2023. DOI: 10.1016/j.scienta.2023.112065.
- VAN DELDEN, S. H. et al. Current status and future challenges in implementing and upscaling vertical farming systems. **Nature Food**, v. 2, p. 944–956, 2021. DOI: 10.1038/s43016-021-00402-w.
- YAN, J. et al. Light quality regulates plant biomass and fruit quality through a photoreceptor-dependent HY5-LHC/CYCB module in tomato. **Horticulture Research**, v. 10, uhad219, 2023. DOI: 10.1093/hr/uhad219.

Modelagem de negócio e transferência de tecnologia na agricultura vertical urbana

Artur Simão Lemos¹, Altair Dias de Moura², Paulo André Aires Medeiros³, Bruno Dourado Rodrigues⁴, Fabiano Guimarães Silva⁵

¹Doutorando do Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias (IFGoiano). E-mail: artursimaolemos01@gmail.com

²Professor do Departamento de Economia Rural (UFV).

³Mestre em Economia (UNB).

⁴Doutorando do Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias (IFGoiano)

⁵Professor do IF Goiano – Campus Rio Verde (sigla instituição).

Resumo: O estudo objetivou desenvolver uma proposta de negócio inovador para implantação de fazendas verticais de hortaliças, orientada por ciclos de maturidade tecnológica e princípios da startup enxuta. Realizou-se estudo de caso exploratório estruturado em dois ciclos de melhoria contínua. O primeiro reuniu pesquisas documentais, consultas on-line e diálogos informais para delimitar o problema e elaborar a primeira versão do Lean Canvas. O segundo utilizou Gemba Walk, benchmarking e observações em diferentes elos da cadeia de hortaliças para aperfeiçoar o modelo, estimar sua viabilidade por meio da Estimativa de Fermi e construir um roteiro tecnológico. A proposta resultante integra unidades produtivas modulares próximas aos centros consumidores, comercialização direcionada ao varejo e rastreabilidade digital. As projeções indicaram que uma unidade precisaria comercializar, no mínimo, 1.500 produtos mensais, com margem líquida de R\$ 4,00 por unidade, em área aproximada de 42 m². Uma rede com cinco unidades apresentou faturamento líquido anual estimado entre R\$ 360 mil e R\$ 420 mil. Concluiu-se que o estudo alcançou o primeiro nível de maturidade tecnológica, iniciou o segundo e definiu etapas para validação com clientes, prototipagem e transferência ao mercado.

Palavras-chave: cadeia de abastecimento, empreendedorismo, inovação, startup enxuta, transferência de tecnologia.

Introdução

A cadeia de hortaliças é marcada pela elevada perecibilidade dos produtos e pela necessidade de coordenação entre produção, transporte, armazenamento e comercialização. Nas hortaliças folhosas, o intervalo entre a colheita e o consumo interfere no frescor, na aparência e na vida útil, enquanto circuitos extensos e pouco integrados ampliam perdas e incertezas. Esse cenário é agravado pelas mudanças climáticas, que alteram os padrões de temperatura e precipitação e aumentam a ocorrência de eventos extremos, podendo comprometer a produtividade, a qualidade e a regularidade da oferta de hortaliças (BISBIS; GRUDA; BLANKE, 2018). As cadeias curtas podem aproximar produtores e compradores, mas seus benefícios dependem da organização logística, do volume comercializado e das condições locais, não apenas da proximidade geográfica (DOERNBERG et al., 2022).

A agricultura vertical constitui uma alternativa para produzir em áreas reduzidas, com cultivos em diferentes níveis, sistemas sem solo e controle parcial ou total do ambiente (BEACHAM; VICKERS; MONAGHAN, 2019). Esse modelo pode elevar a produtividade por área, favorecer o uso eficiente da água e reduzir a exposição das culturas às variações climáticas e aos eventos meteorológicos extremos. Entretanto, sistemas fechados com iluminação artificial e climatização apresentam maior demanda energética, de modo que o desempenho ambiental e econômico depende das culturas, da escala, da fonte de energia e do preço de comercialização (BARBOSA et al., 2015).

A expansão das fazendas verticais exige integração entre agronomia, engenharia, automação, gestão e mercado. Van Delden et al. (2021) destacam que o avanço desses sistemas depende tanto do aperfeiçoamento técnico quanto da seleção de culturas e da construção de mercados adequados. Nesse contexto, a modelagem de negócios permite relacionar tecnologia, necessidades dos clientes, canais, receitas e custos, pois a mesma solução pode produzir resultados distintos quando inserida em modelos comerciais diferentes (CHESBROUGH, 2010).

Diante dos desafios da cadeia de hortaliças, intensificados pelas mudanças climáticas, e das possibilidades da produção urbana controlada, o objetivo deste estudo foi desenvolver uma proposta de negócio inovador para implantação de fazendas verticais de hortaliças, adotando um processo de transferência de tecnologia estruturado por ciclos de maturidade tecnológica e princípios da startup enxuta.

Material e Métodos

O A pesquisa foi caracterizada como estudo de caso exploratório, abordagem adequada à análise de um fenômeno em seu contexto específico e à formulação de hipóteses em situações ainda pouco estruturadas. Por essa razão, os resultados devem ser interpretados com cautela e não podem ser generalizados automaticamente para outros contextos (VENTURA, 2007).

O processo metodológico integrou os níveis de maturidade tecnológica à startup enxuta. Os níveis de maturidade foram usados para estabelecer marcos progressivos de desenvolvimento, reconhecendo-se que a classificação não representa, isoladamente, todas as dimensões técnicas e comerciais de uma inovação (OLECHOWSKI et al., 2020). A startup enxuta orientou ciclos de construir, medir e aprender, com o objetivo de reduzir incertezas antes de investimentos mais elevados (RIES, 2012). A experimentação foi utilizada como processo de aprendizagem e aperfeiçoamento do modelo de negócio (BOCKEN; SNIHUR, 2020).

Foram desenvolvidos dois ciclos, cada um composto pela definição do marco, escolha das informações e ferramentas, coleta de dados e organização dos resultados. No primeiro ciclo, realizaram-se pesquisa bibliográfica e documental, consultas em ambientes digitais e diálogos informais com profissionais ligados à produção e à comercialização de hortaliças. As informações permitiram delimitar o problema, identificar segmentos de clientes e elaborar a primeira versão do Lean Canvas.

No segundo ciclo, as hipóteses foram confrontadas com observações em diferentes elos da cadeia. Foram realizadas visitas e diálogos com agentes de central de abastecimento, produtores, profissionais de assistência técnica, pesquisadores e responsáveis por empreendimento periurbano especializado em hortaliças de maior valor. A observação direta e o benchmarking foram utilizados para identificar gargalos, soluções existentes e elementos adaptáveis ao negócio. Em seguida, elaborou-se a segunda versão do Lean Canvas, estimou-se a viabilidade por meio de quatro cenários baseados na Estimativa de Fermi e estruturou-se um roteiro para os níveis seguintes de maturidade.

Resultados e Discussão

O primeiro ciclo mostrou que o problema não se limitava à distância entre produção e consumo. Foram identificadas baixa coordenação entre os agentes, imprevisibilidade da comercialização, perdas de produtos, dificuldade de rastreamento e concentração de funções no produtor, que frequentemente precisava produzir, transportar e vender. A primeira versão do Lean Canvas propôs uma horta urbana com venda direta e entregas programadas, mas apresentou limitações de escala, logística e regularidade da demanda.

No segundo ciclo, as observações indicaram processos pouco digitalizados na comercialização, variações de preço e dificuldades para adoção de registros e rastreabilidade. Em empreendimento periurbano, microverdes, folhas jovens e flores comestíveis permitiam diferenciação, mas exigiam planejamento da produção, contato comercial recorrente e controle rigoroso da qualidade. O benchmarking evidenciou duas tendências: aproximação física da produção aos consumidores e digitalização da conexão entre produtores e compradores.

O modelo foi reformulado como uma rede de unidades verticais modulares instaladas em espaços urbanos subutilizados. A produção foi direcionada a hortaliças de ciclo curto e maior valor agregado, utilizando cultivo protegido, sistemas hidropônicos e registros digitais progressivos. Supermercados, lojas de conveniência e estabelecimentos com demanda recorrente foram definidos como clientes prioritários. A proposta de valor combinou frescor, regularidade, rastreabilidade e proximidade, enquanto as receitas poderiam resultar da venda de hortaliças e, em etapas futuras, do fornecimento de equipamentos, treinamento, licenciamento e serviços digitais.

Após o detalhamento do Lean Canvas, quatro cenários preliminares foram elaborados para estimar o volume comercializado, a margem, a área produtiva e a escala da rede. Os principais parâmetros são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros preliminares estimados para uma unidade e para uma rede de fazendas verticais urbanas

Indicador	Parâmetro estimado	Interpretação
Volume mensal	1.500 Unidades	Quantidade mínima comercializada associada ao resultado esperado
Margem líquida	R\$ 4,00 por produto	Resultado líquido anual de R\$ 72 mil por unidade
Área produtiva	Aproximadamente 42 m ²	Três níveis e 36 unidades por m ² ao mês
Público atendido	Até 164 estabelecimentos	Estimativa vinculada ao consumo médio adotado
Rede com cinco unidades	R\$ 360 mil a R\$ 420 mil/ano	Resultado estimado conforme o desempenho das unidades

Nota: valores exploratórios, dependentes de validação técnica, comercial e operacional.

O cenário de referência indicou que cada unidade produtiva precisaria comercializar 1.500 unidades por mês, com margem líquida de R\$ 4,00 por unidade comercializada, para alcançar resultado líquido anual de R\$ 72 mil. Para atender a esse volume, estimou-se a necessidade de aproximadamente 42 m² de área ocupada pelos módulos de cultivo. Cada módulo seria composto por três níveis de bancadas, adotando-se uma produtividade mensal de 12 unidades por metro quadrado de bancada em cada nível. Assim, os três níveis totalizariam 36 unidades por metro quadrado de área ocupada pelos módulos a cada mês.

A estimativa de mercado considerou até 164 estabelecimentos ativos. Entretanto, esse parâmetro ainda deve ser revisado em função do consumo médio mensal de cada

ponto de venda, pois a distribuição de 1.500 unidades mensais entre 164 clientes corresponderia a aproximadamente 9,15 unidades por estabelecimento ao mês. De todo modo, os resultados reforçam a necessidade de priorizar compradores com maior volume de aquisição por ponto de entrega, reduzindo os custos e a complexidade logística.

Para uma rede com cinco unidades produtivas, o resultado líquido anual foi estimado entre R\$ 360 mil e R\$ 420 mil, sem considerar possíveis ganhos de escala ou os custos administrativos relacionados à gestão da rede. Esses valores não comprovam a viabilidade definitiva do empreendimento, mas funcionam como parâmetros para os próximos testes, que deverão mensurar o preço aceito pelo mercado, a demanda mensal por estabelecimento, a produtividade dos cultivos, o consumo de energia, os custos de mão de obra e logística, as perdas e a depreciação dos equipamentos. Essa cautela é necessária porque sistemas hidropônicos podem reduzir o uso de água e terra, mas apresentar maior consumo energético (BARBOSA et al., 2015).

Os resultados permitiram considerar alcançado o primeiro nível de maturidade tecnológica, com a identificação dos princípios básicos, do problema e dos agentes relevantes. O segundo nível foi iniciado mediante a formulação da aplicação, o detalhamento do conceito e a análise preliminar do modelo de negócio. Como os níveis de maturidade não representam integralmente a prontidão comercial, sua utilização foi associada à validação das hipóteses e ao futuro contato com os clientes (OLECHOWSKI et al., 2020).

O roteiro tecnológico definiu como próximas etapas a validação do problema, da proposta de valor e da disposição de compra dos clientes; o desenvolvimento e o teste dos módulos de cultivo; a construção de um produto mínimo viável; a integração de uma unidade produtiva a um grupo reduzido de estabelecimentos; a digitalização dos registros e da rastreabilidade; a incorporação de sistemas de apoio à decisão; e, somente após essas validações, a ampliação da rede. Essa progressão evita a antecipação de investimentos em tecnologias que ainda não demonstraram contribuição efetiva para a criação e a captura de valor (CHESBROUGH, 2010).

Conclusões

A integração entre startup enxuta e níveis de maturidade tecnológica organizou o desenvolvimento do negócio em etapas progressivas e verificáveis. O modelo evoluiu de uma horta urbana com venda direta para uma rede modular de fazendas verticais direcionada ao varejo, à produção de hortaliças de maior valor agregado e à rastreabilidade progressiva. As estimativas indicaram parâmetros promissores, mas não comprovam a viabilidade econômica. A continuidade do trabalho depende de validação com clientes, prototipagem e mensuração dos custos e resultados em ambiente operacional. O estudo alcançou o primeiro nível de maturidade tecnológica, iniciou o segundo e estabeleceu um roteiro para validação comercial, desenvolvimento do produto mínimo viável, digitalização e expansão da rede.

Literatura citada

- BARBOSA, G. L. et al. Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. conventional agricultural methods. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 12, n. 6, p. 6879-6891, 2015. DOI: 10.3390/ijerph120606879.
- BEACHAM, A. M.; VICKERS, L. H.; MONAGHAN, J. M. Vertical farming: a summary of approaches to growing skywards. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 94, n. 3, p. 277-283, 2019. DOI: 10.1080/14620316.2019.1574214.

BISBIS, M. B.; GRUDA, N.; BLANKE, M. Potential impacts of climate change on vegetable production and product quality: a review. **Journal of Cleaner Production**, v. 170, p. 1602-1620, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.09.224.

BOCKEN, N.; SNIHUR, Y. Lean startup and the business model: experimenting for novelty and impact. **Long Range Planning**, v. 53, n. 4, 101953, 2020. DOI: 10.1016/j.lrp.2019.101953.

CHESBROUGH, H. W. Business model innovation: opportunities and barriers. **Long Range Planning**, v. 43, n. 2-3, p. 354-363, 2010. DOI: 10.1016/j.lrp.2009.07.010.

DOERNBERG, A. et al. Sustainability assessment of short food supply chains: developing and testing a rapid assessment tool in one African and three European city regions. **Agriculture and Human Values**, v. 39, p. 885-904, 2022. DOI: 10.1007/s10460-021-10288-w.

OLECHOWSKI, A. L. et al. Technology readiness levels: shortcomings and improvement opportunities. **Systems Engineering**, v. 23, n. 4, p. 395-408, 2020. DOI: 10.1002/sys.21533.

RIES, E. **A startup enxuta**. São Paulo: Leya Brasil, 2012. 224 p.

VAN DELDEN, S. H. et al. Current status and future challenges in implementing and upscaling vertical farming systems. **Nature Food**, v. 2, p. 944-956, 2021. DOI: 10.1038/s43016-021-00402-w.