

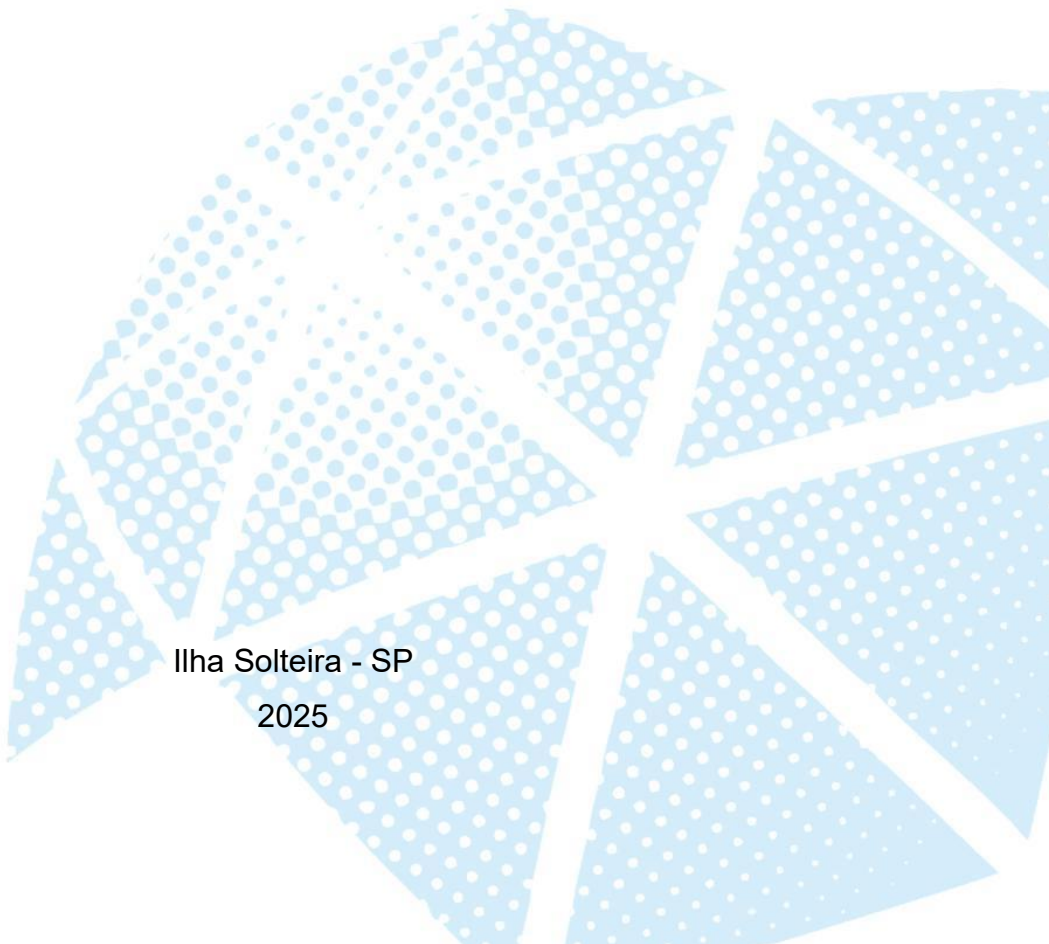
**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

KAREN VICENTINI TAMBURI

**EFEITOS DE BACTÉRIAS BENÉFICAS NO CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E
NUTRIÇÃO DE RÚCULA HIDROPÔNICA**

Ilha Solteira - SP

2025



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

KAREN VICENTINI TAMBURI

**EFEITOS DE BACTÉRIAS BENÉFICAS NO CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E
NUTRIÇÃO DE RÚCULA HIDROPÔNICA**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado à Universidade Estadual
Paulista, Faculdade de Engenharia de
Ilha Solteira, para a obtenção do grau de
bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Carvalho
Minhoto Teixeira Filho

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo
da Silva Oliveira

Ilha Solteira – SP

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

T156e Tamburi, Karen Vicentini.
Efeitos de bactérias benéficas no crescimento, produtividade e nutrição de
rúcula hidropônica / Karen Vicentini Tamburi. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
33 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2025

Orientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Coorientador: Carlos Eduardo da Silva Oliveira

Inclui bibliografia

1. *Eruca sativa* Mill. 2. Hidroponia. 3. *Azospirillum brasilense*. 4. *Bacillus subtilis*. 5. *Pseudomonas fluorescens*. 6. Bioinoculantes.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Efeitos de bactérias promotoras de crescimento na produtividade e nutrição de rúcula hidropônica

ALUNO: *Karen Vicentini Tamburi* **RA:** 181050129

ORIENTADOR: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Aprovado (X) - Reprovado () pela Comissão Examinadora com Nota: 9,0

Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO**
Data: 28/11/2025 16:03:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Presidente (Orientador)

Documento assinado digitalmente
 **PHILIPPE SOLANO TOLEDO SILVA**
Data: 28/11/2025 15:25:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Philippe Solano Toledo Silva

Documento assinado digitalmente
 **WILLIAM CESAR NISHIMOTO ITO**
Data: 28/11/2025 15:39:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. William Cesar Nishimoto Ito

Documento assinado digitalmente
 **KAREN VICENTINI TAMBURI**
Data: 28/11/2025 15:53:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Karen Vicentini Tamburi

Ilha Solteira, 28 de novembro de 2025.

AGRADECIMENTOS

A Deus e Nossa Senhora Aparecida, pela força, pela saúde e pela serenidade concedidas ao longo desta caminhada acadêmica.

Aos meus pais, pelo amor incondicional, pelo incentivo constante e por sempre acreditarem no meu potencial, mesmo nos momentos mais desafiadores. A eles dedico esta conquista, fruto de muitos anos de esforço, paciência e apoio.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho, e ao meu coorientador Prof. Dr. Carlos Eduardo da Silva Oliveira, agradeço a eles pela confiança, pela orientação criteriosa e pela disponibilidade em compartilhar seus conhecimentos com dedicação e profissionalismo. Sua experiência e comprometimento foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho e para o meu amadurecimento científico.

Ao grupo de pesquisa de Nutrição de Plantas e Hidroponia, por todas as pesquisas realizadas, pelo apoio, companheirismo e pelas valiosas trocas de conhecimento ao longo dessa jornada que enriqueceram esse trabalho e minha formação acadêmica. Agradeço especialmente aos colegas de laboratório e de campo pela colaboração nas atividades experimentais e pela parceria ao longo do processo.

Aos amigos e as minhas irmãs de república que estiveram presentes durante essa trajetória, pelo companheirismo, pelas conversas, pela motivação e por tornarem o caminho mais leve e significativo.

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, o meu sincero agradecimento.

RESUMO

A rúcula (*Eruca sativa* Mill.) é uma hortaliça que apresenta grande importância nutricional e econômica no Brasil, devido ao seu rápido ciclo e alto teor de bioativos. O cultivo hidropônico tem se mostrado eficiente para essa espécie, porém a dependência de adubos minerais pode elevar os custos de produção. Nesse contexto as bactérias promotoras de crescimento de plantas desempenham papel necessário no desenvolvimento vegetal, melhorando absorção de nutrientes e incremento significativo na produtividade das plantas. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da inoculação de bactérias promotoras de crescimento (*Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* e *Pseudomonas fluorescens*) sobre o crescimento, produtividade e acúmulo de nutrientes e nitrato na rúcula cultivada em sistema hidropônico NFT. O experimento foi conduzido sob cultivo protegido na Faculdade de Engenharia – UNESP, localizada em Ilha Solteira – SP. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com 8 repetições, cada unidade experimental foi representada por 8 plantas e 4 tratamentos. Os tratamentos avaliados foram: controle (sem inoculação) e inoculação com bactérias promotoras de crescimento, realizadas via solução nutritiva no dia da implantação. As bactérias utilizadas foram *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* e *Pseudomonas fluorescens* na dose de 0,1 ml L de solução nutritiva). As avaliações incluíram variáveis de crescimento, massa fresca e seca das partes aérea e radicular, número de folhas, índice de clorofila e acúmulo de nutrientes na parte aérea desta hortaliça folhosa. Os resultados indicaram que as bactérias promotoras de crescimento influenciaram positivamente o desenvolvimento das plantas, com destaque para o tratamento com *Pseudomonas fluorescens*, que promoveu a maior massa fresca, cerca de 450 g e maior acúmulo de nutrientes, cerca de 33 g m⁻² de nitrogênio na parte aérea e 4,7 g m⁻² nas raízes, além de 5,7 g m⁻² de P₂O₅, 30 g m⁻² de K₂O e 13 g m⁻² de S na parte aérea, e 3,9 g m⁻² de P₂O₅, 2,1 g m⁻² de K₂O e 2,1 g m⁻² de S nas raízes. Conclui-se que o uso de inoculantes biológicos pode representar uma alternativa sustentável para o aumento da produtividade, redução do acúmulo de nitrato e melhoria nutricional da rúcula cultivada em sistemas hidropônicos.

Palavras-chave: *Eruca sativa* Mill.; Hidroponia; *Azospirillum brasilense*; *Bacillus subtilis*; *Pseudomonas fluorescens*; bioinoculantes; nutrição vegetal.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Condições climáticas de umidade relativa do ar (UR), temperatura média (TMédia), temperatura máxima (TMáxima) e mínima (TMínima) E radiação (RAD) durante a condução do experimento 13
- Figura 2.** Efeito das inoculações sobre o comprimento das raízes (A), massa fresca das raízes (B), volume das raízes (C) e massa seca das raízes (D) das plantas de rúcula hidropônica. * e ** teste F significativo a 5 e 1% respectivamente 16
- Figura 3.** Efeitos das inoculações sobre o comprimento da parte aérea (A), número de folhas (B), massa fresca da parte aérea (C), índice de clorofila foliar (D), massa seca da parte aérea (E) e produtividade da massa fresca da parte aérea (F) das plantas de rúcula hidropônica. * e ** teste F significativo a 5 e 1% respectivamente. 18
- Figura 4.** Efeitos das inoculações sobre o acúmulo de amônio na parte aérea (A) e nas raízes (B), acúmulo de nitrato na parte aérea (C) e nas raízes (D), acúmulo de nitrogênio na parte aérea (E) e nas raízes (F) das plantas de rúcula hidropônica. * e ** teste F significativo a 5 e 1% respectivamente.....20
- Figura 5.** Efeitos das inoculações sobre o acúmulo de fósforo na parte aérea (A) e nas raízes (B), acúmulo de potássio na parte aérea (C) e nas raízes (D), acúmulo de enxofre na parte aérea (E) e nas raízes (F) das plantas de rúcula. * e ** teste F significativo a 5 e 1% respectivamente22
- Figura 6.** Efeitos das inoculações sobre o acúmulo de cálcio na parte aérea (A) e nas raízes (B), acúmulo de magnésio na parte aérea (C) e nas raízes (D) das plantas de rúcula. * e ** teste F significativo a 5 e 1% respectivamente.....23
- Figura 7.** Efeitos das inoculações sobre o acúmulo de ferro na parte aérea (A) e nas raízes (B), acúmulo de manganês na parte aérea (C) e nas raízes (D), acúmulo de zinco na parte aérea (E) e nas raízes (F) das plantas de rúcula. * e ** teste F significativo a 5 e 1% respectivamente24

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1.Importância da Rúcula (<i>Eruca sativa</i> Mill.)	9
2.2.Cultivo hidropônico de hortaliças.....	9
2.3.Bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPS)	10
2.4.Inoculação de BPCPS em sistemas hidropônicos.....	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1.Caracterização experimental	13
3.2.Tratamentos e design experimental	13
3.3.Condução experimental.....	14
3.4.Avaliações	15
3.5.Análise estatística.....	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
4.1.Crescimento e produtividade de rúcula hidropônica.....	16
4.2.Acúmulo de nutrientes na parte aérea e raiz da rúcula	19
5. CONCLUSÃO	27
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

1. INTRODUÇÃO

A horticultura brasileira tem grande relevância socioeconômica, afinal reúne ampla diversidade de espécies e cultivares vinculados a agricultura familiar, médio e grandes produtores (CLEMENTE, 2015). Em um país majoritariamente urbano, a produção de hortaliças tem papel importante na segurança alimentar e nutricional da população. Nesse sentido, observa-se o crescimento constante da demanda por alimentos saudáveis e sustentáveis, reflexo da preocupação da população com saúde, segurança alimentar e preservação ambiental. Diante disso, sistemas alternativos de cultivo, como a hidroponia, oferece alimentos livres de defensivos químicos e com alta qualidade nutricional (REIFSCHNEIDER; LOPES, 2015).

O cultivo hidropônico em geral é constituído por um ambiente protegido, conjunto hidropônico e instrumentos para o monitoramento da solução nutritiva e do ambiente interno da casa de vegetação. Isso permite o controle de fatores cruciais para o desenvolvimento das plantas, além de facilitar a produção em lugares que a agricultura tradicional enfrenta dificuldades (CARRIJO; MAKISHIMA, 2000). Entre as principais técnicas de cultivo hidropônico, encontra-se o sistema NFT (Nutrient Film Technique) que não utiliza substrato e é classificado como um sistema fechado de cultivo hidropônico, ou seja, a solução nutritiva circula pelos canais, sendo reutilizada continuamente (RODRIGUES, 2002). A produção de hortaliças em sistemas hidropônicos tem se destacado como uma alternativa eficiente e sustentável à agricultura convencional, devido à utilização racional da água, à redução de impactos ambientais e ao maior controle das condições de cultivo. É um sistema de cultivo que dispensa o uso de solo para a produção, desse modo o meio de fornecimento dos nutrientes necessários ao desenvolvimento das hortaliças é fornecido exclusivamente pela solução nutritiva (RESH, 2012).

Nesse contexto, a rúcula (*Eruca sativa* Mill.) está entre as hortaliças folhosas mais produzidas na hidroponia, apresenta crescente importância econômica e nutricional no mercado brasileiro, sendo amplamente cultivada e consumida por seu rápido ciclo, alto valor comercial e elevado teor de compostos bioativos, sendo uma importante fonte de vitamina C, ferro e potássio, além disso apresenta propriedades anti-inflamatórias e desintoxicantes ao organismo humano (MEDEIROS et al., 2007). Dados do Censo Agropecuário do IBGE (2017) indicam que, em 2016, foram

produzidas 40.527 toneladas de rúcula em 20.567 estabelecimentos rurais, evidenciando a importância econômica e a ampla área dedicada ao cultivo.

Uma tecnologia acessível, é uso de microrganismos benéficos que melhoram a nutrição e o crescimento das plantas. Entretanto, mesmo em sistemas hidropônicos, a eficiência na absorção e utilização de nutrientes pelas plantas pode ser limitada por fatores fisiológicos e ambientais (VUOLO et al., 2022). Nesse cenário, as bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) vêm ganhando destaque por sua capacidade de interagir com o sistema radicular, estimulando o desenvolvimento vegetal, a absorção de nutrientes e a tolerância a condições adversas (OLIVEIRA et al. 2022a). Espécies como *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* e *Pseudomonas fluorescens* têm se mostrado eficazes na promoção do crescimento vegetal por meio de diferentes mecanismos, incluindo a fixação biológica de nitrogênio, a solubilização de fosfatos, a produção de fitormônios e a indução de resistência sistêmica (HUNGRIA et al., 2010; OKON & LABANDERA-GONZÁLEZ, 1994). A inoculação dessas bactérias em cultivos hidropônicos surge, portanto, como uma estratégia promissora para otimizar a produtividade e a qualidade nutricional das hortaliças, reduzindo o uso de fertilizantes minerais e contribuindo para sistemas agrícolas mais sustentáveis (OLIVEIRA et al. 2022a).

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da inoculação com bactérias promotoras de crescimento sobre o desenvolvimento, a produtividade e a nutrição de rúcula cultivada em sistema hidropônico tipo NFT, analisando parâmetros de crescimento, acúmulo de nutrientes, nitrato e produtividade final das plantas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância da rúcula (*Eruca sativa* Mill.)

Originária da região do Mediterrânea e Ásia Central, a rúcula é uma hortaliça folhosa herbácea, pertencente à família das Brassicaceae, no Brasil a variedade mais cultivada é a *Eruca sativa* Miller, com características de folha larga e onduladas, coloração verde-escura, textura macia e delicada com sabor suave e levemente picante (CEAGESP, 2024).

A rúcula está entre as hortaliças folhosas mais cultivadas no Brasil em sistemas hidropônicos. Isso ocorre porque ela possui um ciclo curto, é rica em nutrientes (potássio, enxofre, ferro, proteínas e vitaminas A e C), possui alta produtividade por área e conta com ótima aceitação pelo consumidor, graças a suas características (REGHIN et al., 2004; AMORIM et al., 2007). Foi trazida ao Brasil por imigrantes italianos, e as regiões sul e sudeste tornaram-se as principais consumidoras, respondendo por cerca de 85% da população nacional, logo a ampliação da diversidade alimentar nos últimos anos contribuiu para aumento do cultivo e do consumo dessa hortaliça folhosa (OLIVEIRA et al., 2010).

Existem diversas variedades comerciais de rúcula, que se diferenciam quanto ao formato das folhas, coloração, resistência a pragas e doenças e na produtividade. Pode ser comercializada em maços ou conforme as preferências dos comerciantes e consumidores (TRANI; PASSOS, 1998). Conforme dados do Ceagesp (2024), no ano de 2023 foram comercializadas 2.227 toneladas de rúcula hidropônica no Entrepasto Terminal São Paulo, sendo outubro e novembro os meses com maior volume de entrada. A maioria dessa produção teve origem no estado de São Paulo, que respondeu por 99,9% do total.

2.2. Cultivo hidropônico de hortaliças

A hidroponia é uma técnica de cultivo que dispensa o uso de solo, utilizando soluções nutritivas balanceadas para suprir as necessidades fisiológicas das plantas. Essa modalidade tem se expandido nas últimas décadas devido à sua alta eficiência no uso da água, controle nutricional preciso e menor incidência de pragas e doenças (FURLANI et al., 1999). Entre as hortaliças cultivadas em sistemas hidropônicos, a

rúcula (*Eruca sativa* Mill.) destaca-se por seu rápido ciclo vegetativo, elevada produtividade e aceitação no mercado consumidor (CARRIJO et al., 2002).

O sistema NFT (Nutrient Film Technique) é um dos mais utilizados na produção de folhas, por permitir o fluxo contínuo e homogêneo da solução nutritiva sobre as raízes, garantindo oxigenação adequada e absorção eficiente de nutrientes (FURLANI, 2004).

Devido às perdas causadas por altas e baixas temperaturas, a produção em campo aberto enfrenta limitações. O cultivo protegido, utilizando a hidroponia, apresenta grande potencial, garantindo atendimento à demanda do mercado em termos de quantidade, qualidade e regularidade de oferta (GOMES, 2015). Entretanto, apesar das vantagens, a dependência exclusiva de adubos minerais pode elevar os custos de produção e gerar impactos ambientais, tornando relevante a busca por alternativas biotecnológicas sustentáveis.

2.3. Bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPS)

As bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) compreendem um grupo de microrganismos benéficos que habitam a rizosfera, o rizoplane, a filosfera e os tecidos internos das plantas. Elas são capazes de estimular o crescimento vegetal por mecanismos diretos e indiretos, como a fixação biológica de nitrogênio (FBN), a solubilização de fosfatos, a produção de fitormônios e a indução de resistência a patógenos (HUNGRIA; NOGUEIRA, 2022).

O principal mecanismo de ação das BPCPs é a fixação biológica de nitrogênio (FBN), processo no qual o nitrogênio atmosférico (N_2) é convertido em amônia (NH_3), disponibilizando o nutriente de forma assimilável para as plantas (BALDANI et al., 2014). Além disso, muitas bactérias produzem fitormônios como auxinas, citocininas e giberelinas, que promovem o desenvolvimento de raízes e a expansão celular (SPAEPEN et al., 2007).

Entre as espécies mais estudadas, destacam-se *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* e *Pseudomonas fluorescens*, amplamente utilizadas na agricultura por apresentarem alto potencial de colonização radicular e efeitos positivos sobre o crescimento e a nutrição de diversas culturas (OKON; LABANDERA-GONZÁLEZ, 1994).

A *Azospirillum brasilense* proporciona diversos benefícios às plantas, produzindo substâncias que promovem o crescimento e a FBN. Esses efeitos contribuem para desenvolvimento robusto das raízes, aumenta eficiência de absorção de água e nutrientes, e elevam a tolerância das plantas a estresses (OLIVEIRA et al., 2018). Bactérias do gênero *Azospirillum*, que são fixadores de nitrogênio, também sintetizam fitormônios, solubilizam fosfato inorgânico, favorecendo o desenvolvimento da parte aérea e radicular (BENSEN et al., 2020).

Bacillus subtilis é uma espécie reconhecida como uma bactéria promotora de crescimento (FERREIRA, 2018). Possui efeito benéfico sobre o crescimento vegetal decorrente de sua capacidade de solubilizar fósforo, fixar nitrogênio biologicamente, induzir genes relacionados a respostas ao estresse, além de sintetizar hormônios que favorecem o desenvolvimento das plantas (HASHEM et al., 2019).

A *Pseudomonas fluorescens* é uma bactéria que está associada a promoção de crescimento vegetal devido a sua capacidade de sintetizar ácido indolacético (AIA) (TIEN et al., 1979). Produz metabólicos como fitormônios, compostos voláteis e outros compostos importantes, além disso, elas conseguem penetrar nos tecidos das plantas, atuando como endófitos (RYAN et al., 2008; SIVASAKTHI et al., 2010). Essas bactérias também são capazes de produção de sideróforos por *Pseudomonas fluorescens* contribui para o aumento da disponibilidade de ferro (Fe) e a inibição de microrganismos fitopatogênicos na rizosfera (LUGTENBERG; KAMILOVA, 2009).

2.4. Inoculação de BPCPS em sistemas hidropônicos

A aplicação de inoculantes microbianos em cultivos hidropônicos tem sido amplamente investigada devido à sua capacidade de melhorar a eficiência nutricional e a produtividade das plantas (SANTOS et al., 2020). Em hortaliças folhosas, como alface, espinafre e rúcula, resultados positivos têm sido observados quanto ao crescimento radicular, ao acúmulo de massa seca e à absorção de nutrientes (BULEGON et al., 2019).

De acordo com Cordeiro et al. (2021), a inoculação de *Azospirillum brasilense* em rúcula hidropônica proporcionou aumento significativo na massa fresca e no índice de clorofila, indicando melhor assimilação de nitrogênio. Resultados semelhantes foram encontrados por Coelho et al. (2018) para *Bacillus subtilis*, que promoveu maior vigor vegetativo e tolerância ao estresse nutricional. Esses achados indicam que a

integração de microrganismos benéficos ao sistema hidropônico é uma estratégia promissora para o aumento sustentável da produtividade, reduzindo a dependência de fertilizantes químicos e contribuindo para a agricultura de baixo impacto ambiental.

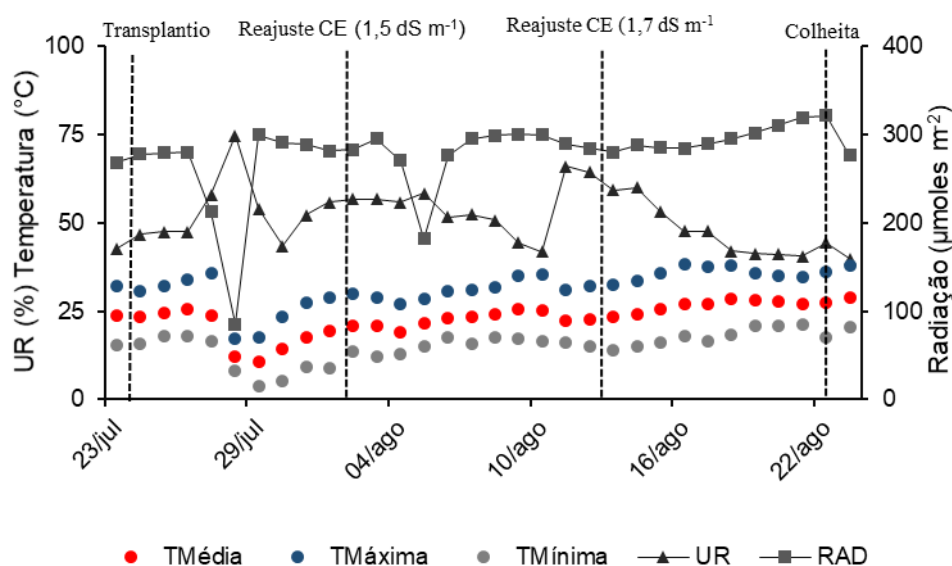
Diante do exposto, observa-se que as bactérias promotoras de crescimento desempenham papel fundamental na melhoria do desempenho fisiológico e nutricional das plantas, inclusive em sistemas sem solo, como a hidroponia. A aplicação de inoculantes contendo *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* e *Pseudomonas fluorescens* representa uma alternativa tecnológica viável para potencializar a produtividade da rúcula, aprimorar o aproveitamento dos nutrientes e contribuir para a sustentabilidade da produção agrícola.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização experimental

O ensaio em cultivo hidropônico NFT de rúcula foi conduzido nos meses de julho e agosto de 2021, em cultivo protegido com sombreamento de 30%, pertencente à Faculdade de Engenharia – UNESP, localizada em Ilha Solteira – SP. O local está situado a 376 m de altitude, nas coordenadas geográficas 20°25'07"S e 51°20'31"O, apresentando um clima Aw segundo a classificação de (KÖPPEN, 1936). Os dados climáticos foram coletados por estação meteorológica automática instalada na universidade (Figura 1).

Figura 1 - Condições climáticas de umidade relativa do ar (UR), temperatura média (TMédia), temperatura máxima (TMáxima) e mínima (TMínima) E radiação (RAD) durante a condução do experimento



Fonte: Estação meteorológica Ilha Solteira/Unesp

3.2. Tratamentos e design experimental

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com 8 repetições, cada unidade experimental foi representada por 8 plantas e 4 tratamentos. Os tratamentos avaliados foram: controle (sem inoculação) e inoculação com bactérias promotoras de crescimento, realizadas via solução nutritiva no dia da implantação. As bactérias utilizadas foram *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* e *Pseudomonas fluorescens* na dose de 0,1 ml L⁻¹ de solução nutritiva). Utilizando os inoculantes

líquido de *Azospirillum brasilense*, estirpes AbV5 e AbV6 (garantia de 2×10^8 UFC mL⁻¹), *Bacillus subtilis* estirpe CCTB04 (garantia de 1×10^8 UFC mL⁻¹) e *Pseudomonas fluorescens* estirpe CCTB03 (garantia de 2×10^8 UFC mL⁻¹).

3.3. Condução experimental

As unidades experimentais foram instaladas em bancadas individuais, de seis metros de comprimento e declividade de 10%. Os canais de cultivos são de perfil de PVC com seção retangular, de 8 centímetros de largura e 4 centímetros de altura, com perfurações superiores para alojamentos das plantas a cada 25 centímetros. Cada bancada contém 6 canais de cultivo espaçados em 20 centímetros, com sistema de bombeamento individual, e um reservatório de 310 litros, a vazão utilizada foi de 1 L por minuto e o período de exposição da solução nutritiva com fluxo contínuo.

Foi utilizado a cultivar de rúcula Astro, caracterizada pelo seu ciclo precoce (ciclo médio total: 35 dias), moderado nível de resistência ao pendoamento precoce, plantas vigorosas, folhas largas com menor área de corte, altas produtividades e qualidade visual de maços (bem formados e com folhas largas). As mudas foram produzidas em espuma fenólica (material estéril e inerte) por 15 dias na universidade, após esse período foram transplantadas às bancadas definitivas e permaneceram nesta por 31 dias, até o ponto de colheita. Foi utilizado a solução nutritiva composta pelos fertilizantes concentrados Hidrogood Fert Nacional na dose de ($0,666 \text{ g L}^{-1}$) indicada para todas as fases de desenvolvimento da cultura, com as seguintes concentrações de nutrientes (%): 10 de N, 9 de P_2O_5 , 28 de K_2O , 4,3 de S, 3,3 de Mg, 0,06 de B, 0,01 de Cu, 1,09 de Fe, 0,07 de Mo e 0,02 de Zn; utilizando também o Nitrato de Cálcio na dose de ($0,495 \text{ g L}^{-1}$) com as seguintes concentrações de nutrientes (%): 15,5 de N e 26,5 de Ca; também o Hidrogood Fert Ferro EDDHA 6% na dose de ($0,030 \text{ g L}^{-1}$). A reposição de água nas caixas d'água, aferição e correção de condutividade elétrica (CE) e do pH foi realizado diariamente no período matutino, nesta ocasião a CE foi reajustado para a CE determinado para cada bancada de cultivo com reposição se necessário dos fertilizantes. A condutividade elétrica (CE) inicial foi de $1,3 \text{ dS m}^{-1}$ aos 10 dias após o transplântio foi reajustada para $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ e aos 20 dias após o transplântio foi reajustada para $1,7 \text{ dS m}^{-1}$. Este reajuste da condutividade elétrica ocorreu para disponibilizar maior quantidade de nutrientes para as plantas nos períodos com maior exigência. O pH ficou entre 5,5 e 6,5, para estes

ajustes foi utilizado ácido fosfórico quando pH superior a 6,5, e hidróxido de sódio quando pH inferior a 5,5.

3.4. Avaliações

A colheita foi realizada aos 31 dias após o transplântio das mudas de rúcula, na ocasião da colheita no período da manhã foi quantificado as massas frescas do sistema radicular e da parte aérea, comprimento da parte aérea e das raízes, realizou-se contagem manual do número de folhas por planta, índice de clorofila foliar (SPAD). Em seguida o material foi encaminhado para secagem em estufa de ventilação de ar forçado a 60 °C por 72 horas, para obter as massas secas do sistema radicular e da parte aérea destas plantas. Produtividade da cultura foi realizado com base na equação (massa fresca da parte aérea em kg X população de plantas m⁻²= produtividade em kg m⁻² (população de plantas de 19,5 plantas m⁻²).

Após a secagem, pesagem e moagem dos materiais vegetais (parte aérea e raízes) em moinho tipo Wiley, foram determinados de acordo com metodologia de Malavolta et al. (1997), as concentrações de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea da rúcula. A determinação da concentração de nitrato e amônio da parte aérea foi realizada conforme metodologia descrita por (CATALDO et al., 1975). Os acúmulos de nutrientes na parte aérea das plantas foram calculados com base nas respectivas massas secas e nas concentrações dos nutrientes encontrada. Utilizando a equação (produtividade da massa seca em kg m⁻² X concentração dos nutrientes encontrados em g kg⁻¹ ou mg kg⁻¹= acúmulo em g m⁻² ou mg m⁻², para macro e micronutrientes, respectivamente).

3.5. Análise estatística

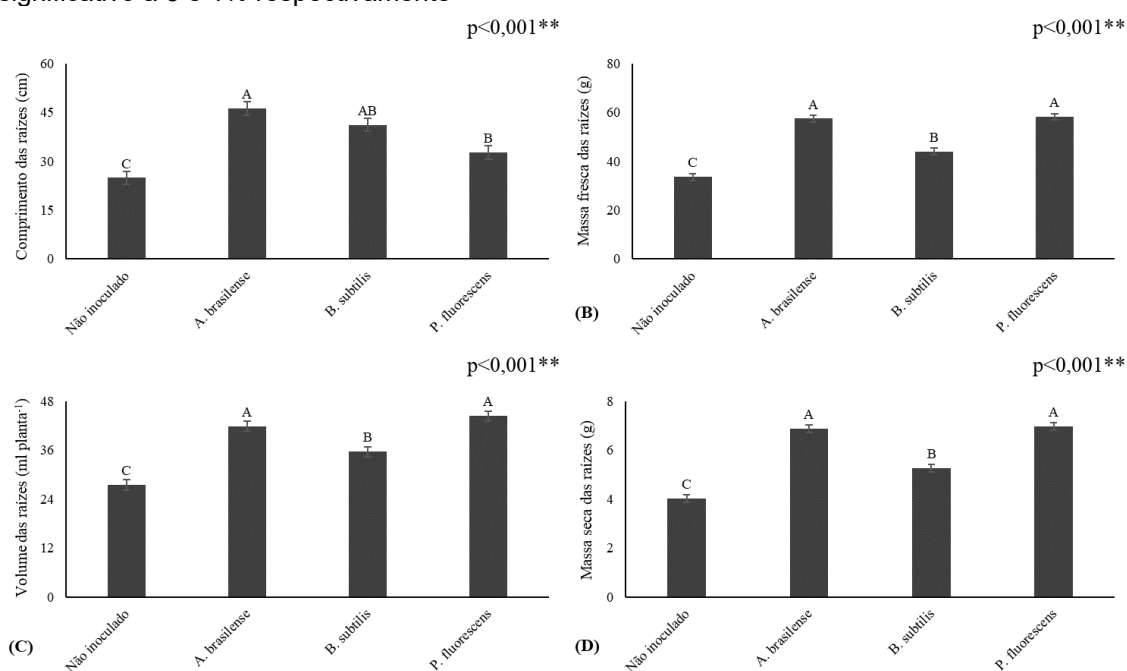
Como os dados de todas as variáveis apresentaram distribuição normal e variâncias homogêneas (Shapiro Wilk-Test), foram submetidos à análise de variância. A significância dos quadrados médios obtidos na análise de variância foi testada pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. As médias relativas as inoculações foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Utilizado o programa SISVAR (FERREIRA, D.F. 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Crescimento e produtividade de rúcula hidropônica

Houve efeitos significativos da inoculação com as bactérias promotoras de crescimento sobre o comprimento, volume, massa fresca e seca das raízes (Figuras 2). Notou-se que a inoculação teve efeito sobre o comprimento das raízes, que variou de 22 cm no tratamento não inoculado para cerca de 45 cm com *A. brasilense*, 40 cm com *B. subtilis* e 35 cm com *P. fluorescens* (Figura 2A). De forma semelhante, a massa fresca aumentou significativamente, passando de cerca de 37 g no tratamento não inoculado para 59 g com *A. brasilense*, 45 g com *B. subtilis* e 60 g com *P. fluorescens* aproximadamente (Figura 2B). A inoculação proporcionou um aumento no volume de raízes, mostrando valores em torno de 27 ml planta⁻¹ no tratamento sem inoculação, e alcançando aproximadamente 43 ml planta⁻¹, 36 ml planta⁻¹, 47 ml planta⁻¹ nos tratamentos com *A. brasilense*, *B. subtilis*, *P. fluorescens*, respectivamente (Figura 2C). A massa seca também apresentou incrementos significativos, variando de 4g no não inoculado para 7g com *A. brasilense*, 5,5 g com *B. subtilis* e 7,2 g com *P. fluorescens* (Figura 2D).

Figura 2 - Efeito das inoculações sobre o comprimento das raízes (A), massa fresca das raízes (B), volume das raízes (C) e massa seca das raízes (D) das plantas de rúcula hidropônica. * e ** teste F significativo a 5 e 1% respectivamente

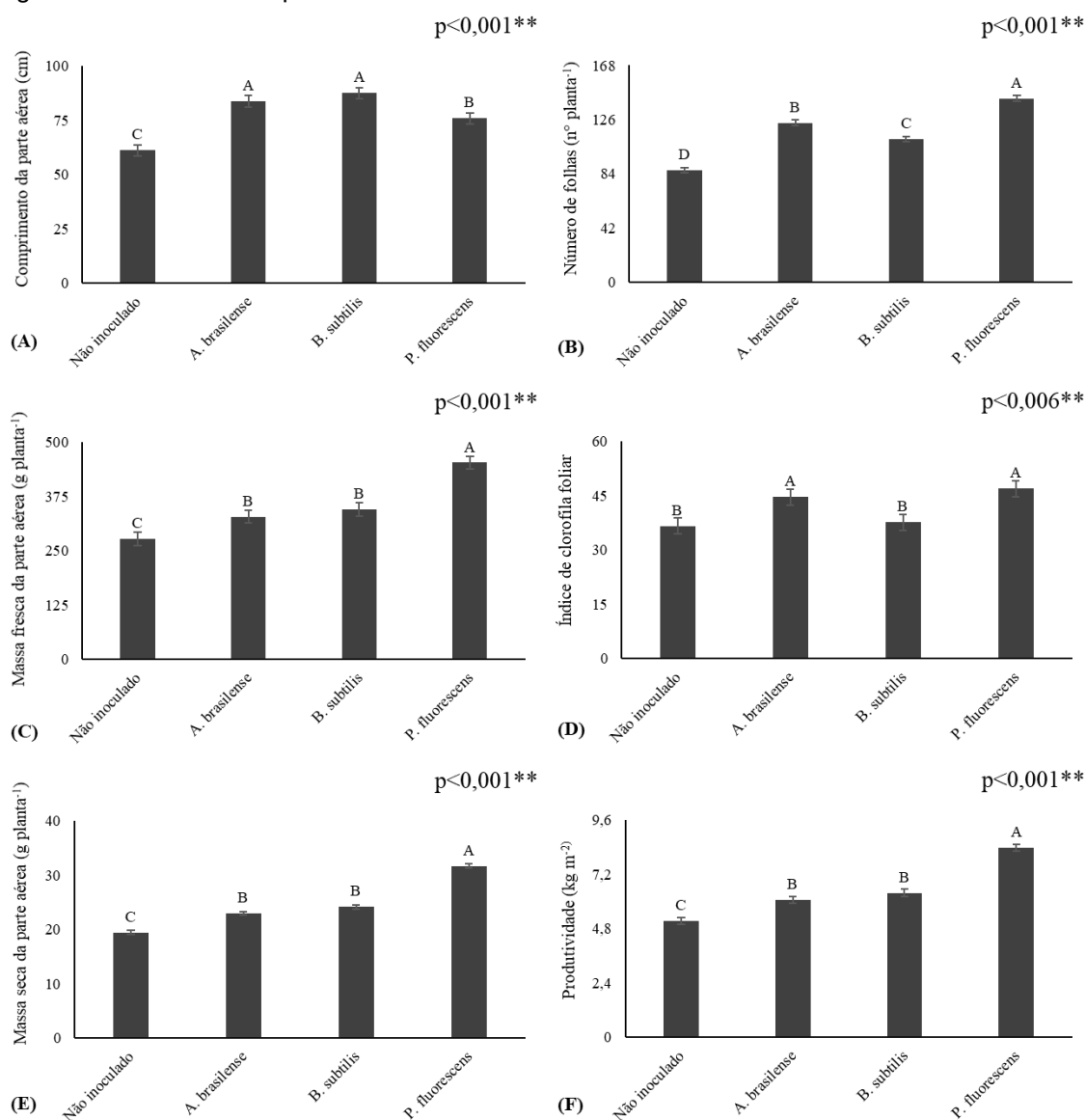


Fonte: Autoria própria

Verificou-se efeitos significativos da inoculação com as bactérias promotoras de crescimento sobre o comprimento, número de folhas, massa fresca e seca da parte aérea, índice de clorofila foliar e produtividade (Figuras 3).

Observa-se que a para o comprimento da parte aérea o tratamento não inoculado apresentou 60 cm, enquanto *A. brasilense*, *B. subtilis*, *P. fluorescens*, apresentaram 80 cm, 85 cm e 75 cm, respectivamente (Figura 3A). Em relação ao número de folhas, o tratamento não inoculado apresentou cerca de 85 folhas, e alcançando aproximadamente 125 folhas com *A. brasilense*, 95 folhas com *B. subtilis* e 146 folhas com *P. fluorescens* (Figura 3B). A massa fresca também foi favorecida pela inoculação, variando de aproximadamente 260 g no não inoculado, 320 g com *A. brasilense*, 350 g *B. subtilis* e 450g com *P. fluorescens* (Figura 3C). O índice de clorofila foliar seguiu a mesma tendência, com valores próximos de 34 no não inoculado, 42, 36 e 45 nos tratamentos com *A. brasilense*, *B. subtilis*, *P. fluorescens*, respectivamente (Figura 3D). A massa fresca da parte aérea variou de 19 g no tratamento não inoculado para cerca de 23 g com *A. brasilense*, 25 g com *B. subtilis* e 32 g com *P. fluorescens* (Figura 3E). A produtividade da massa fresca da parte aérea, apresentou incrementos expressivos com a inoculação, atingindo valores de 5 kg m⁻² no tratamento não inoculado, 6,4 kg m⁻², 6,6 kg m⁻² e 8,6 kg m⁻² nos tratamentos com *A. brasilense*, *B. subtilis*, *P. fluorescens*, respectivamente. (Figura 3F).

Figura 3 - Efeitos das inoculações sobre o comprimento da parte aérea (A), número de folhas (B), massa fresca da parte aérea (C), índice de clorofila foliar (D), massa seca da parte aérea (E) e produtividade da massa fresca da parte aérea (F) das plantas de rúcula hidropônica. * e ** teste F significativo a 5 e 1% respectivamente



Fonte: Autoria própria

Pode-se notar que os tratamentos com inoculação (*A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens*) tiveram resultados distintos, porém todos apresentaram um desenvolvimento superior das raízes e da parte aérea em relação ao não inoculado. A inoculação com *A. brasilense* levou a um crescimento significativo no sistema radicular, em torno de 45 cm (Figura 2A), indicando a capacidade dessa bactéria de induzir a produção do fitormônio ácido indolacético (AIA) e giberelinas que são essenciais para estimular a divisão celular, alongamento e ramificação radicular (TIEN et al., 1979). Em relação aos outros parâmetros (Figuras 2B, 2C, 2D), a *P. fluorescens* apresentou melhores resultados, porém bem próximos aos resultados da *A.*

brasiliense, demonstrando que foram mais eficazes no aumento desses parâmetros, indicando maior capacidade de absorção de água e nutrientes (GALINDO et al., 2018), o que reflete no maior acúmulo de massa fresca e seca. Os resultados obtidos no desenvolvimento das raízes são consistentes para os parâmetros de massa fresca e seca das raízes, novamente observa-se que o não inoculado apresentou menores valores, afirmando que a ausência de inoculante limita o acúmulo de biomassa radicular. Em relação ao comprimento da parte aérea, *B. subtilis* apresentou o melhor resultado, cerca de 85 cm (Figura 3A), corroborando com os resultados de autores que relataram o potencial de *B. subtilis* favorecer o crescimento vegetal por meio de fitormônios e compostos orgânicos que favorecem o alongamento celular e desenvolvimento da parte aérea da planta (RADHAKRISHNAN et al., 2017; KLOEPPER et al., 2004). Entre as bactérias testadas *P. fluorescens* destacou-se em todas as outras variáveis analisadas (Figuras 3B, 3C, 3D, 3E, 3F), principalmente na produtividade das plantas, isso ocorre devido a capacidade das *Pseudomonas spp* possuírem a habilidade de colonizar as raízes, produzir metabólitos secundários e hormônios como auxinas e giberelinas, estimulando desenvolvimento vegetal (PRASAD, 2017). Outros autores apontam que *P. fluorescens* aumenta o índice de clorofila foliar, resultando em maior eficiência fotossintética, melhorando o acúmulo de carbono que desencadeia crescimento e formação de novas folhas, aumentando a biomassa e consequentemente a produtividade (FONSECA et al., 2022; SANDINI et al., 2019; CARDOSO et al., 2019).

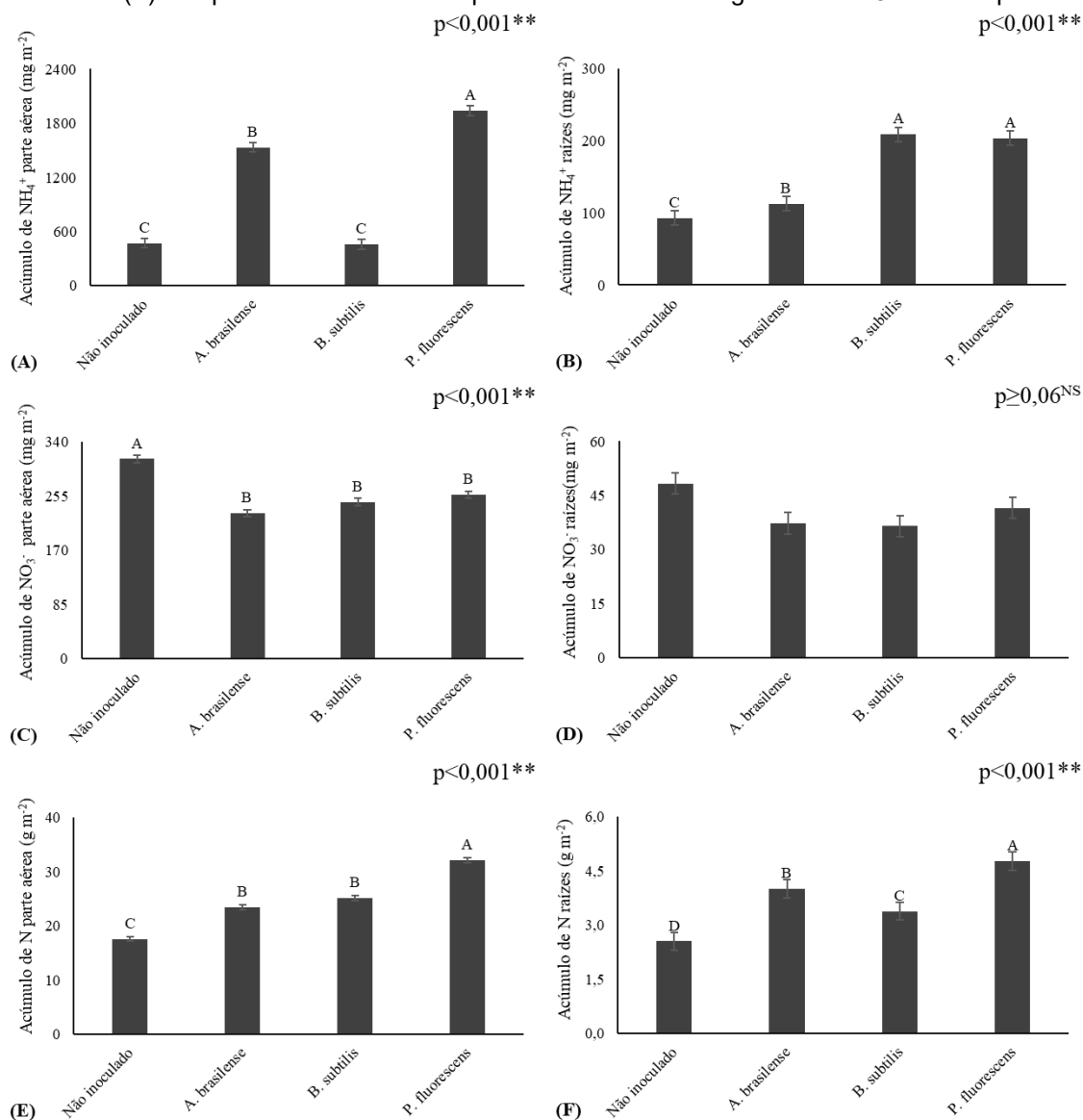
4.2. Acúmulo de nutrientes na parte aérea e raiz da rúcula hidropônica

Houve efeitos significativos sobre o acúmulo de nitrogênio nas plantas de rúcula, observa-se que os tratamentos tiveram influência de forma distinta o acúmulo de amônio, nitrato e nitrogênio tanto na parte aérea quanto no sistema radicular (Figura 4).

Para o acúmulo de amônio (NH_4^+) na parte aérea, observaram-se valores aproximados de 500 mg m^{-2} no tratamento não inoculado e também para *B. subtilis*, enquanto *A. brasilense* e *P. fluorescens* apresentaram incrementos positivos, atingindo cerca de 1500 mg m^{-2} e 2000 mg m^{-2} , respectivamente (Figura 4A). Nas raízes o acúmulo de NH_4^+ , variou de aproximadamente 90 mg m^{-2} no não inoculado para cerca de 120 mg m^{-2} com *A. brasilense*, 220 mg m^{-2} com *B. subtilis*, 200 mg m^{-2} com *P. fluorescens* (Figura 4B). Em relação ao acúmulo de nitrato (NO_3^-) na parte

aérea, foi observado o maior valor no tratamento não inoculado, com cerca de 320 mg m⁻², enquanto os tratamentos com *A. brasilense*, *B. subtilis*, *P. fluorescens*, tiveram valores menores, cerca de 230 mg m⁻², 255 mg m⁻², 257 mg m⁻², respectivamente (Figura 4C). Nas raízes o acúmulo de NO₃⁻ não apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Figura 4D). O acúmulo de nitrogênio (N) na parte aérea, com o tratamento não inoculado apresentou cerca de 18 g m⁻², enquanto no tratamento com *A. brasilense*, *B. subtilis*, *P. fluorescens*, apresentaram cerca de 23 g m⁻², 25 g m⁻² e 33 g m⁻², respectivamente (Figura 4E). Nas raízes esse acúmulo de N variou de 2,7 g m⁻², para cerca de 4 g m⁻² com *A. brasilense*, 3,3 g m⁻² com *B. subtilis* e 4,7 g m⁻² com *P. fluorescens* (Figura 4F).

Figura 4 - Efeitos das inoculações sobre o acúmulo de amônio na parte aérea (A) e nas raízes (B), acúmulo de nitrato na parte aérea (C) e nas raízes (D), acúmulo de nitrogênio na parte aérea (E) e nas raízes (F) das plantas de rúcula hidropônica. * e ** teste F significativo a 5 e 1% respectivamente

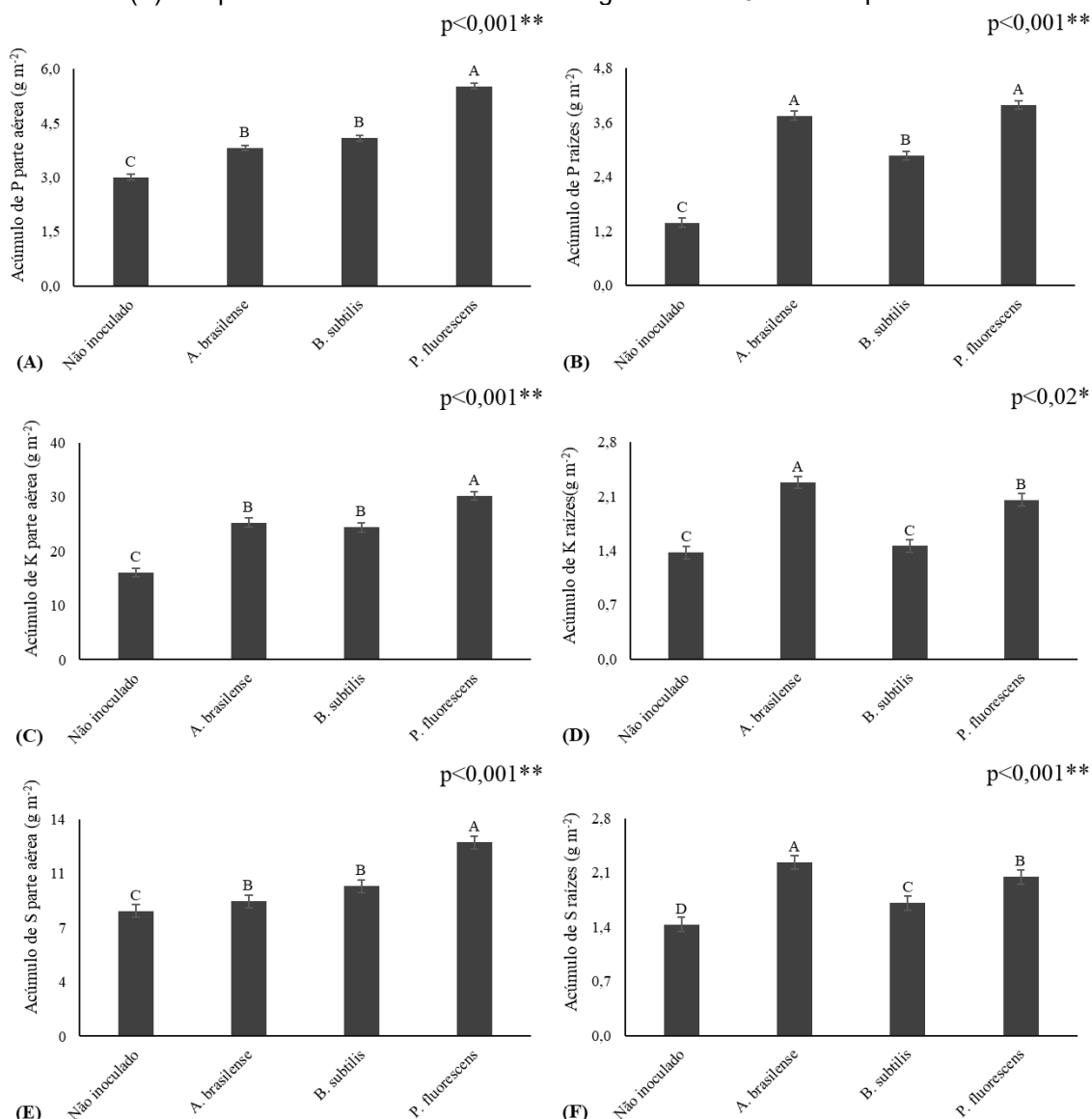


Fonte: Autoria própria

Houve efeitos significativos sobre o acúmulo de P, K, S na parte aérea e radicular da planta (Figura 5).

Em relação ao acúmulo de fósforo (P_2O_5) na parte aérea, o tratamento não inoculado variou de aproximadamente 3 g m^{-2} , para cerca de 4 g m^{-2} com *A. brasilense*, $4,3 \text{ g m}^{-2}$ com *B. subtilis*, $5,7 \text{ g m}^{-2}$ com *P. fluorescens* (Figura 5A). Nas raízes esse acúmulo de P_2O_5 , apresentou cerca de $1,5 \text{ g m}^{-2}$, para cerca de $3,7 \text{ g m}^{-2}$ com *A. brasilense*, $2,9 \text{ g m}^{-2}$ com *B. subtilis* e $3,9 \text{ g m}^{-2}$ com *P. fluorescens* (Figura 5B). Em relação ao acúmulo de potássio (K_2O) na parte aérea, foi observado o valor no tratamento não inoculado de 16 g m^{-2} , enquanto os tratamentos com *A. brasilense*, *B. subtilis*, *P. fluorescens*, apresentaram cerca de 25 g m^{-2} , 24 g m^{-2} , 30 g m^{-2} , respectivamente (Figura 5C). Nas raízes o acúmulo de K_2O , variou de aproximadamente $1,4 \text{ g m}^{-2}$ no não inoculado para cerca de $2,3 \text{ g m}^{-2}$ com *A. brasilense*, $1,5 \text{ g m}^{-2}$ com *B. subtilis* e $2,1 \text{ g m}^{-2}$ com *P. fluorescens* (Figura 5D). Em relação ao acúmulo de enxofre (S) na parte aérea, atingiu valores de 8 g m^{-2} no tratamento não inoculado, 9 g m^{-2} , 10 g m^{-2} e 13 g m^{-2} nos tratamentos com *A. brasilense*, *B. subtilis*, *P. fluorescens*, respectivamente (Figura 5E). Nas raízes esse acúmulo de S variou de $1,4 \text{ g m}^{-2}$ no tratamento não inoculado, para cerca de $2,3 \text{ g m}^{-2}$ com *A. brasilense*, $1,7 \text{ g m}^{-2}$ com *B. subtilis* e $2,1 \text{ g m}^{-2}$ com *P. fluorescens* (Figura 5F).

Figura 5 - Efeitos das inoculações sobre o acúmulo de fósforo na parte aérea (A) e nas raízes (B), acúmulo de potássio na parte aérea (C) e nas raízes (D), acúmulo de enxofre na parte aérea (E) e nas raízes (F) das plantas de rúcula. * e ** teste F significativo a 5 e 1% respectivamente



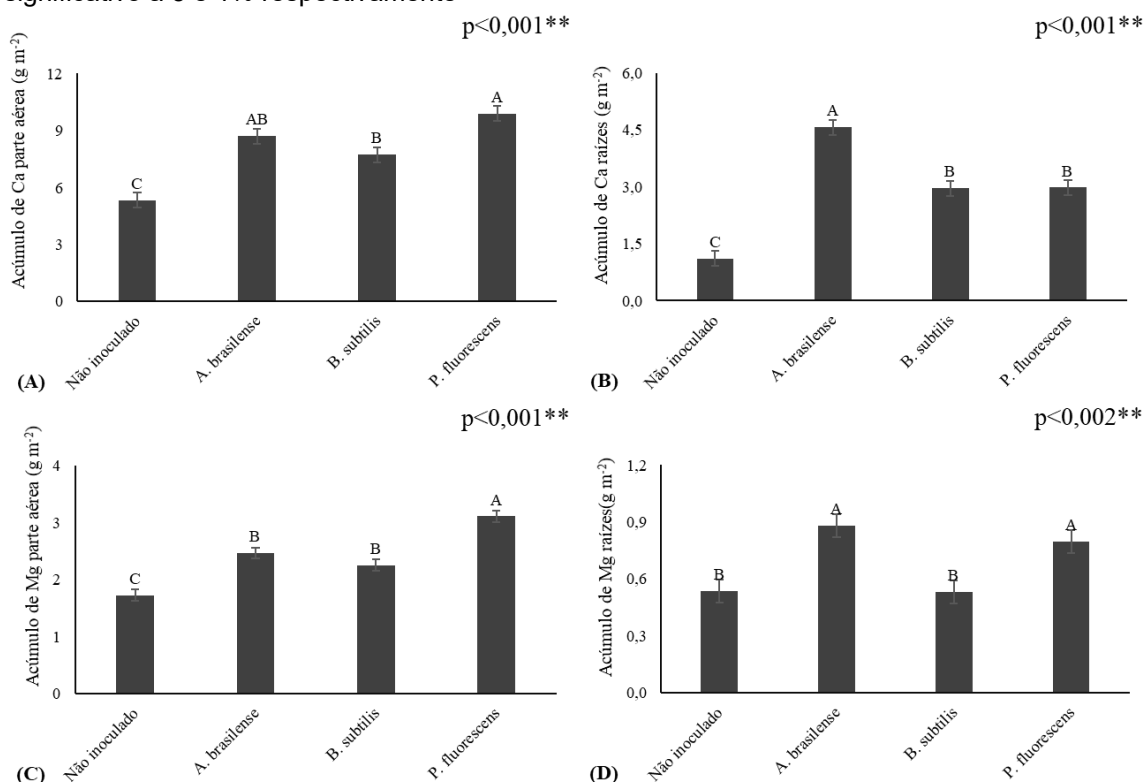
Fonte: Autoria própria

Houve efeitos significativos sobre o acúmulo de Ca, Mg na parte aérea e radicular da planta (Figura 6).

Para o acúmulo de cálcio (Ca) na parte aérea, nota-se valores de $5,8 \text{ g m}^{-2}$ para o tratamento não inoculado, $8,9 \text{ g m}^{-2}$ para *A. brasilense*, $7,5 \text{ g m}^{-2}$ para *B. subtilis* e 10 g m^{-2} com *P. fluorescens* (Figura 6A). Nas raízes o acúmulo de Ca, apresentou $1,3 \text{ g m}^{-2}$ para o não inoculado, $4,5 \text{ g m}^{-2}$ para *A. brasilense*, $3,0 \text{ g m}^{-2}$ para *B. subtilis* e também para *P. fluorescens* (Figura 6B). No acúmulo de magnésio (Mg) na parte aérea observaram-se valores aproximados de $2,8 \text{ g m}^{-2}$ no tratamento não inoculado, $2,5 \text{ g m}^{-2}$ com *A. brasilense*, $2,3 \text{ g m}^{-2}$ com *B. subtilis*, $3,2 \text{ g m}^{-2}$ com *P. fluorescens*

(Figura 6C). Nas raízes o acúmulo de Mg ficou em torno de $0,57 \text{ g m}^{-2}$ com o tratamento não inoculado, $0,9 \text{ g m}^{-2}$, $0,57 \text{ g m}^{-2}$, $0,86 \text{ g m}^{-2}$ para os tratamentos com *A. brasilense*, *B. subtilis*, *P. fluorescens*, respectivamente (Figura 6D).

Figura 6 - Efeitos das inoculações sobre o acúmulo de cálcio na parte aérea (A) e nas raízes (B), acúmulo de magnésio na parte aérea (C) e nas raízes (D) das plantas de rúcula. * e ** teste F significativo a 5 e 1% respectivamente



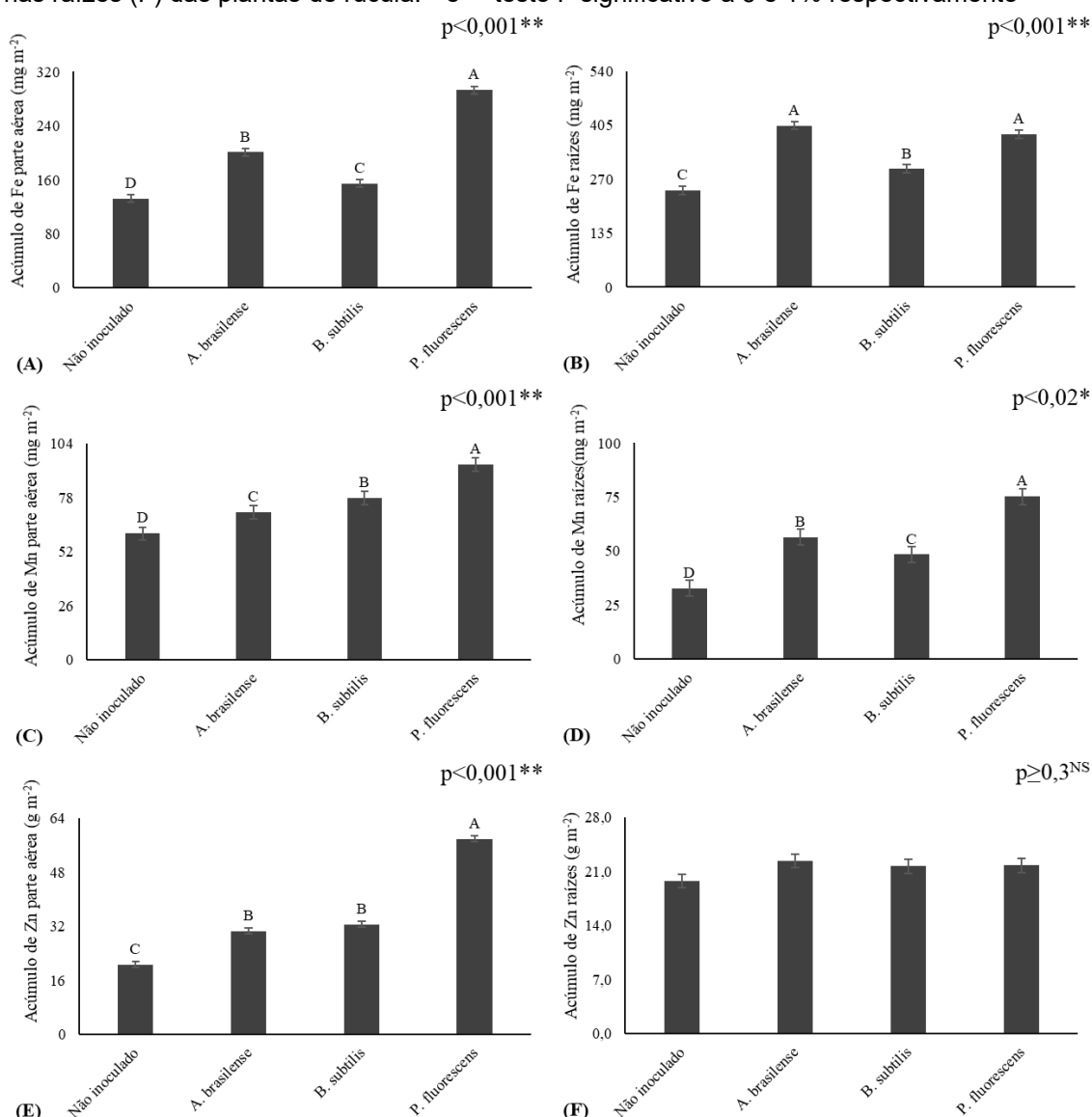
Fonte: Autoria própria

Houve efeitos significativos sobre o acúmulo de Fe, Mn e Zn na parte aérea e radicular da planta, exceto o acúmulo de Zn nas raízes, que não houve efeitos significativos (Figura 7).

Para o ferro (Fe) na parte aérea, observou-se que o tratamento não inoculado apresentou 100 mg m^{-2} , enquanto *A. brasilense*, *B. subtilis*, *P. fluorescens*, apresentaram 180 mg m^{-2} , 160 mg m^{-2} e 280 mg m^{-2} , respectivamente (Figura 7A). Nas raízes o acúmulo de Fe ficou em torno de 260 mg m^{-2} com o não inoculado, 405 mg m^{-2} com *A. brasilense*, 290 mg m^{-2} com *B. subtilis* e 390 mg m^{-2} com *P. fluorescens* (Figura 7B). O acúmulo de manganês na parte aérea, o resultado obtido no não inoculado foi de cerca de 60 mg m^{-2} , aumentando para aproximadamente 70 mg m^{-2} com *A. brasilense*, 80 mg m^{-2} com *B. subtilis* e 96 mg m^{-2} *P. fluorescens* (Figura 7C). Nas raízes observa-se que o acúmulo de Mn com o tratamento não inoculado foi de 30 mg m^{-2} aumentando para 60 mg m^{-2} , 50 mg m^{-2} e 75 mg m^{-2} , para

os tratamentos com *A. brasilense*, *B. subtilis*, *P. fluorescens*, respectivamente (Figura 7D). Em relação ao acúmulo de zinco (Zn) na parte aérea foi de 20 g m⁻² no não inoculado para 32 g m⁻² com *A. brasilense*, 35 g m⁻² com *B. subtilis* e 60 g m⁻² com *P. fluorescens* (Figura 7E). Nas raízes o acúmulo de Zn não apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Figura 7F).

Figura 7 - Efeitos das inoculações sobre o acúmulo de ferro na parte aérea (A) e nas raízes (B), acúmulo de manganês na parte aérea (C) e nas raízes (D), acúmulo de zinco na parte aérea (E) e nas raízes (F) das plantas de rúcula. * e ** teste F significativo a 5 e 1% respectivamente



Fonte: Autoria própria

O maior acúmulo de amônio (NH₄⁺) na parte aérea foi no tratamento com *P. fluorescens*, cerca de 2000 mg m⁻², apresentando um aumento em relação ao controle, que apresentou o valor de 500 mg m⁻² (Figura 4A), diferindo estatisticamente dos demais. Já nas raízes observa-se que o acúmulo de NH₄⁺ foi maior em função da

inoculação do *B. subtilis* (220 mg m⁻²) e *P. fluorescens* (200 mg m⁻²), destacando-se significativamente (Figura 4B). Podemos observar um resultado semelhante no acúmulo de nitrogênio (N) tanto na parte aérea quanto nas raízes, o tratamento com *P. fluorescens* apresentou cerca de 33 g m⁻² na parte aérea e 4,7 g m⁻² nas raízes, apresentando o melhor desempenho comparada aos outros tratamentos, principalmente em relação ao controle, que apresentou 18 g m⁻² na parte aérea e 2,7 g m⁻² nas raízes (Figura 4E). Isso ocorre devido aos mecanismos do *P. fluorescens* para aumentar a absorção de N, aumentando o crescimento radicular, a produção de compostos secundários, fitormônios, e a fixação biológica de nitrogênio (FBN). Esses fatores, intensificam o metabolismo do nitrogênio e melhoram a produtividade por meio do maior acúmulo de carbono (PANKIEVICZ et al., 2015). Em contrapartida, o acúmulo de nitrato (NO₃⁻) na parte aérea aumentou nas plantas não inoculadas, cerca de 320 mg m⁻², enquanto as inoculadas apresentaram valores menores (Figura 4C), portanto, a inoculação favoreceu a redução do acúmulo de NO₃⁻. Esse resultado pode ser explicado devido ao aumento da atividade da enzima nitrato redutase (NR) na parte aérea. A NR reduz o nitrato para nitrito, o qual é subsequentemente reduzido a amônia nos plastídios ou cloroplastos. Já a amônia, é fixada em aminoácidos via glutamato sintase/glutamina sintase (YONEYAMA; SUZUKI, 2019). Essa redução é um aspecto desejável sob o ponto de vista de segurança alimentar e qualidade nutricional, além disso, a redução evita um sabor amargo nas folhas (OLIVEIRA, 2023). Para o NO₃⁻ nas raízes, não houve diferença significativa, indicando que a inoculação não influenciou de maneira expressiva o acúmulo de nitrato.

Em relação ao acúmulo de P₂O₅, K₂O e S, tanto na parte aérea quanto nas raízes das plantas de rúcula, a *P. fluorescens* apresentou os melhores resultados, em relação aos outros tratamentos, principalmente comparado ao controle, que apresentou para a parte aérea 3 g m⁻² (P₂O₅), 16 g m⁻² (K₂O), 8 g m⁻² (S) e para a raiz 1,5 g m⁻² (P₂O₅), 1,4 g m⁻² (K₂O), 1,4 g m⁻² (S), já a *P. fluorescens* para a parte aérea apresentou 5,7 g m⁻² (P₂O₅), 30 g m⁻² (K₂O), 13 g m⁻² (S) e nas raízes 3,9 g m⁻² (P₂O₅), 2,1 g m⁻² (K₂O), 2,1 g m⁻² (S), evidenciando uma maior eficiência em disponibilizar e favorecer a absorção desses nutrientes (Figuras 5A, 5B, 5C, 5D, 5E, 5F). Analisando o acúmulo de Ca e Mg na parte aérea, os melhores resultados obtidos foram observados no tratamento com *P. fluorescens* que apresentou cerca de 10 g m⁻² (Ca) e 3,2 g m⁻² (Mg), já o controle apresentou 5,8 g m⁻² (Ca) e 2,8 g m⁻² (Mg)

(Figura 6A, 6C). Nas raízes nota-se que o *A. brasilense* teve uma melhor performance em relação aos outros tratamentos, com valores de $4,5 \text{ g m}^{-2}$ (Ca) e $0,9 \text{ g m}^{-2}$ (Mg), o não inoculado apresentou os menores valores, em torno de $1,3 \text{ g m}^{-2}$ (Ca) e $0,57 \text{ g m}^{-2}$ (Mg) (Figura 6B, 6D). Em relação ao acúmulo de Fe, Mn e Zn, *P. fluorescens* apresentou efeitos mais significativos e consistente principalmente na parte aérea das plantas, como observado nos resultados obtidos, 280 mg m^{-2} (Fe), 96 mg m^{-2} (Mn) e 60 g m^{-2} (Zn), em comparação com o controle que apresentou, 100 mg m^{-2} (Fe), 60 mg m^{-2} (Mn) e 20 mg m^{-2} (Zn) (Figura 7A, 7C, 7E). Para as raízes a *P. fluorescens* se saiu melhor na absorção de manganês, apresentando cerca de 75 mg m^{-2} , em comparação com o controle, que apresentou cerca de 30 mg m^{-2} (Figura 7D). Já o *A. brasilense* obteve-se o melhor resultado na absorção de Fe, apresentando 405 mg m^{-2} , enquanto o controle ficou em torno de 260 mg m^{-2} (Figura 7B).

O crescimento das raízes é um efeito que podemos observar com a inoculação de *A. brasilense* e *P. fluorescens* em sistema hidropônico, pois possuem a capacidade de colonizar e aumentar as raízes, como observado por Oliveira (2023) na cultura da alface. Esse fenômeno ocorre devido ao estímulo da produção de fitormônios (AIA), que estimulam o crescimento radicular, conseqüentemente, há uma melhora na exploração do meio de cultivo, maior absorção de água, nutrientes e maior eficiência fotossintética (GALINDO et al., 2015). A maior eficiência na absorção de nutrientes, está associada ao crescimento e expansão do sistema radicular, produção de sideróforos, compostos secundários e fitormônios (SOUZA et al., 2015), como citado anteriormente. Além disso, a produção de sideróforos por *P. fluorescens* contribui para elevar a disponibilidade de Fe (LUGTENBERG & KAMILOVA, 2009), e translocar para os tecidos aéreos. A inoculação com *P. fluorescens* também eleva as concentrações de giberelinas e citocininas, que estimulam o crescimento e alongamento do caule, folhas, raízes, e aumento da taxa de divisão celular das plantas (SHARMA et al., 2018). A *A. brasilense* tem a capacidade de sintetizar o ácido indolacético (AIA) e giberelinas, favorecendo o alongamento celular e formação ramificações radiculares (TIEN et al., 1979), aumentando a absorção de água e nutrientes.

Todos os tratamentos apresentaram efeitos positivos no acúmulo de N, P_2O_5 , K_2O , S, Ca, Mg, Fe, Mn e Zn, com destaque para *P. fluorescens* que proporcionou os melhores resultados, melhorando a nutrição mineral das plantas, favorecendo a

disponibilidade e transporte de macronutrientes e micronutrientes essenciais para o desenvolvimento vegetal.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho evidenciam que a inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal teve efeito significativo sobre o desempenho produtivo e nutricional da rúcula cultivada em sistema hidropônico tipo NFT.

A interação positiva entre as bactérias e o sistema radicular contribuiu para maior crescimento das plantas, refletindo em melhor aproveitamento dos nutrientes disponíveis na solução nutritiva, maior assimilação do N do nitrato e aumento da biomassa da hortaliça folhosa.

Entre as espécies avaliadas, *Pseudomonas fluorescens* destacou-se em basicamente todas as variáveis analisadas, principalmente produtividade, acúmulo de nutrientes e índice de clorofila.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM HC; HENZ GP; MATTOS LM. 2007. *Identificação dos tipos de rúcula comercializados no varejo do Distrito Federal*. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa Hortaliças 34: 1-13.

BALDANI, J. I. et al. *Plant-associated bacteria capable of promoting plant growth and biological nitrogen fixation*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 98, p. 6503–6519, 2014.

BENSEN, M.R.; RIBEIRO, R.H.; GOETTEN, M.; FIOREZE, S.L.; GUGINKI-PIVA, C.A.; PIVA, J.T. *Produtividade de milho e retorno econômico em sistema integrado de produção com doses de nitrogênio*. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, SC, v.19, n.1, p.94-103, 2020.

BULEGON, L. G. et al. *Inoculação de bactérias promotoras de crescimento em cultivos hidropônicos de hortaliças folhosas*. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 42, n. 1, p. 210-218, 2019.

CARDOSO, A. L. et al. *Physiology and nutritional contents of lettuce (*Lactuca sativa* L.) plants induced by *Pseudomonas fluorescens**. *Brazilian Journal of Development*, v.5, n.9, p.15538-15556, 2019.

CARRIJO, O. A.; MAKISHIMA, N. *Princípios de Hidroponia*. Brasília: Embrapa Hortaliças, nov. 2000. 28 p. (Circular Técnica, 22).

CARRIJO, O. A. et al. *Uso de substratos em cultivo hidropônico de hortaliças*. *Horticultura Brasileira*, v. 20, n. 2, p. 211-216, 2002.

CATALDO, D. A.; MAROON, M. L.; SCHRADER, E.; YOUNGS, V. L. *Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid*. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 6, p. 71–80, 1975.

CLEMENTE, Flávia Maria Vieira Teixeira (Ed.). *Produção de hortaliças para agricultura familiar*. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2015. 108 p. ISBN 978-85-7035-412-9.

COELHO, M. S. et al. *Bacillus subtilis* como bioestimulante em cultivos de hortaliças folhosas. *Agrarian*, v. 11, p. 23–31, 2018.

CORDEIRO, L. C. et al. *Efeitos da inoculação de Azospirillum brasilense em rúcula hidropônica*. *Scientia Agraria*, v. 22, n. 3, p. 45–53, 2021.

FERREIRA, D. F. *Sisvar: a computer statistical analysis system*. *Ciência e Agrotecnologia (UFLA)*, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FONSECA, M. D. C. D.; BOSSOLANI, J. W.; DE OLIVEIRA, S. L.; MORETTI, L. G.; PORTUGAL, J. R.; SCUDELETTI, D.; DE OLIVEIRA, E. F.; CRUSCIOL, C. A. *C. Bacillus subtilis Inoculation improves nutrient uptake and physiological activity in sugarcane under drought stress*. *Microorganisms*, v.10, a.809, 2022.

FURLANI, P. R. et al. *Hidroponia: cultivo de plantas sem solo*. Campinas: IAC, 1999.

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; LUDKIEWICZ, M. G. Z.; ROSA, P. A. L.; TRITAPEPE, C. A. *Technical and economic viability of coinoculation with Azospirillum brasilense in soybean cultivars in the Cerrado*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.22, n.1, p. 5156, 2018.

GALINDO, F. S.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, W. L.; BOLETA, E. H. M.; SILVA, V. M.; TAVANTI, R. F. R.; FERNANDES, G. C.; BIAGI-NI, A. L. C.; ROSA, P. A. L.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. *Inoculation of Azospirillum brasilense associated with silicon as a liming source to improve nitrogen fertilization in wheat crops*. *Scientific Reports*. London, v.10, a.6160, 2020.

GOMES P. D. *Diagnóstico do cultivo hidropônico no Estado de Goiás*. 2015. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015

HASHEM, A.; TABASSUM, B.; ABD_ALLAH, E. F. *Bacillus subtilis: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v. 26, n. 6, p. 1291-1297, 2019.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. *Fixação biológica do nitrogênio*. In: MEYER, M. C.; BUENO, A. F.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (ed.). *Bioinsumos na cultura da 65 soja*. Brasília, DF: Embrapa, 2022. cap. 8, p. 143-162.

HUNGRIA, M. et al. *A importância das bactérias promotoras de crescimento vegetal na agricultura brasileira*. Londrina: Embrapa Soja, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística (2017). *Censo agropecuário 2017*. Rio de Janeiro: IBGE

KÖPPEN, W. *Das geographische System der Klimate*. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Eds.). *Handbuch der Klimatologie*. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1936.

KLOEPPER, J. W. et al. *Induced systemic resistance and promotion of plant growth by Bacillus spp.* *Phytopathology*, v. 94, p. 1259–1266, 2004.

LUGTENBERG, B.; KAMILOVA, F. *Plant-growth-promoting rhizobacteria*. *Annual Review of Microbiology*, v. 63, p. 541–556, 2009.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Assessment of the nutritional status of plants: principles and applications*. 2nd ed. Piracicaba: Brazilian Association for the Research of Potash and Phosphate, 1997.

MEDEIROS, M. C. L.; MEDEIROS, D. C.; LIBERALINO FILHO, J. *Adubação foliar na cultura da rúcula em diferentes substratos*. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 2, n. 1, p. 85-89, 2007.

OKON, Y.; LABANDERA-GONZÁLEZ, C. A. *Agronomic applications of Azospirillum: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation*. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 26, p. 1591–1601, 1994.

OLIVEIRA, E. Q., Souza, R. J., Cruz, M. C. M., Marques, V. B., & França, A. C. (2010). *Produtividade de alface e rúcula, em sistema consorciado, sob adubação orgânica e mineral*. *Horticultura Brasileira*, 28(1), 36-40.

OLIVEIRA, I. J., FONTES, J. R. A., PEREIRA, B. F. F., & MUNIZ, A. W. *Inoculation with Azospirillum brasilense increases maize yield. Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, v. 5. p. 1-9; 2018.

OLIVEIRA, C.E.S.; JALAL, A.; OLIVEIRA, J.R.; TAMBURI, K.V.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M. *Leaf inoculation of Azospirillum brasilense and Trichoderma harzianum in hydroponic arugula improve productive components and plant nutrition and reduce leaf nitrate*. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.52, e72755, p.1-11, 2022a.

OLIVEIRA, C.E.S. *Inoculação de rizobactérias em sistema hidropônico na nutrição, produção e qualidade da alface americana*. 2023. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2023.

PANKIEVICZ, V. C. S.; AMARAL, F. P.; SANTOS, K. F. D. N.; AGTUCA, B.; XU, Y.; SCHUELLER, M. J.; ARISI, A. C. M.; STEFFENS, M. B. R.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O.; STACEY, G.; FERRIERI, R. A. *Robust biological nitrogen fixation in a model grass-bacterial association. Plant Journal*. v.81, p.907-919, 2015.

PRASAD, A. A.; BABU, S. *Compatibility of Azospirillum brasilense and Pseudomonas fluorescens in growth promotion of groundnut (Arachis hypogea L.)*. Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, v.89, n.2, p.1027-1040, 2017.

RADHAKRISHNAN, R.; HASHEM, A.; ABD-ALLAH, E. F. *Bacillus: a biological tool for crop improvement through bio-molecular changes in plant system*. Frontiers in Physiology, v. 8, p. 667, 2017.

REIFSCHNEIDER, F. J. B.; LOPES, C. A. *Horticultura brasileira sustentável: sonho eterno ou possibilidade futura? Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 33, n. 2, p. 90-101, abr./jun. 2015.

REGHIN MY; OTTO RF; VINNE, JVD. 2004. *Efeito da densidade de mudas por célula e do volume da célula na produção de mudas e cultivo da rúcula*. Ciência Agrotécnica 28: 287-295.

RESH, H. M. *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2022. 8 ed.

RODRIGUES, L.R.F. *Cultivo pela técnica de hidroponia. Técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido*. Jaboticabal. Funep. 2002.

Rúcula hidropônica é o produto destaque da semana (23 a 27/09) no atacado da CEAGESP. CEAGESP, 2024. Disponível em <https://ceagesp.gov.br/comunicacao/noticias/rucula-hidroponica-dica-da-semana/>. Acesso em: 04 dez. 2025. (ceagesp.gov.br)

RYAN, R.P.; GERMAINE, K.; FRANKS, A.; RYAN, D.J.; DOWLING, D.N. *Bacterial endophytes: recent developments and applications*. FEMS Microbiology Letters, v.278, p.1-9, 2008.

SANDINI, I. E.; PACENTCHUK, F.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; CRUZ, S. P. D.; NAKATANI, A. S.; ARAUJO, R. S. *Seed inoculation with *Pseudomonas fluorescens* promotes growth, yield and reduces nitrogen application in maize*. International Journal of Agriculture and Biology, v.22, p.1369–1375, 2019.

SANTOS, T. M. et al. *Desempenho de hortaliças hidropônicas sob inoculação de bactérias promotoras de crescimento*. Ceres, v. 67, n. 3, p. 187–197, 2020.

SIVASAKTHI, S.; USHARANI, G.; SARANRAJ, P. *Biocontrol potentiality of plant growth promoting bacteria (PGPR) - *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*: A review*. African Journal of Agricultural Research, Victoria Island, v. 16, n. 9, p. 1265- 1277, 2014

SOUZA, R.; AMBROSINI, A.; PASSAGLIA, L. M. P. *Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. Genetics and Molecular Biology*, Ribeirão Preto, v.38, n.4, p.401-419, 2015.

TRANI, P. E.; PASSOS, F. A.; AZEVEDO FILHO, J. A. *Alface, almeirão, chicória, escarola, rúcula e agrião d'água*. In: van RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, Â. M. C. (Eds.) *Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo*, 2.Ed. ver. Atual. Campinas: Instituto Agrônômico/Fundação IAC, 1997, p.168-169 (Boletim Técnico 100).

TIEN, T. N.; 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*, v.37, p.1016-1024, 1979.

VUOLO, F., Novello, G., Bona, E., Gorrasi, S., & Gamalero, E. (2022). *Impact of plant-beneficial bacterial inocula on the resident bacteriome: Current knowledge and future perspectives*. *Microorganisms*, 10(12), 2462.

YONEYAMA, T.; SUZUKI, A. *Exploration of nitrate-to-glutamate assimilation in non-photosynthetic roots of higher plants by studies of ¹⁵N-tracing, enzymes involved, reductant supply, and nitrate signaling: A review and synthesis*. *Plant Physiology and Biochemistry*, New Delhi, v.136, p.245-254, 2019.