

Bactérias promotoras de crescimento no cultivo de alface

Growth promoting bacteria in lettuce cultivation

Sandro Dan Tatagiba +, Marieli Ferreira Rosa, Jaciara Gomes dos Santos, Rafael da Silva Quero

Instituto Federal Catarinense

Resumo. O objetivo deste trabalho foi investigar o uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) dos gêneros *Azospirillum* e *Bacillus* no crescimento e produção da alface em ambiente protegido. Para isso, mudas de alface, *Lactuca sativa* L., cultivar Crespa (var. Lirice), cresceram em vasos plásticos contendo 5 dm³ de substrato no interior da casa de vegetação do Instituto Federal Catarinense, Campus Videira. Foram utilizados dois produtos comerciais com as BPCPs (Acta Bio®). O primeiro produto contendo a bactéria da espécie *Azospirillum brasilense* e o segundo acondicionando uma mistura de quatro espécies de bactérias do gênero *Bacillus*: *B. subtilis*, *B. pumilus*, *B. amyloliquefaciens* e *B. licheniformis*. A inoculação das mudas foi realizada uma hora antes do transplante para os vasos com substrato. Também foi realizada uma reinoculação aos 20 dias de experimentação. O controle da irrigação foi realizado pelo método gravimétrico (pesagem diária dos vasos), adicionando-se água até que a massa do vaso atingisse o valor prévio determinado, considerando-se a massa do solo e de água. O experimento foi montado num delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições, apresentando três tratamentos (Plantas inoculadas e reinoculadas com *Azospirillum brasilense*; plantas inoculadas e reinoculadas com a mistura de quatro bactérias do gênero *Bacillus*; e plantas ausentes de inoculação e reinoculação com as bactérias (Controle). Cada unidade experimental foi composta de um vaso plástico contendo uma planta. Os dados foram submetidos à análise de variância e os tratamentos comparados pelo teste de Tukey ($P \leq 0.05$) utilizando o programa o software R®, versão 4.3.2. As avaliações de crescimento foram realizadas no final do período experimental, aos 45 dias após o transplante das mudas para os vasos. Na coleta foi analisado em cada tratamento as seguintes variáveis: altura, diâmetro do caule, número de folhas, comprimento caulinar e radicular. Também foi avaliado a matéria seca foliar, caulinar, radicular e total (folha, ramos e haste, e raiz). A inoculação e a reinoculação com as BPCPs proporcionaram respostas diferenciadas sobre as características morfológicas e o acúmulo de matéria seca das plantas de alface, evidenciando especificidade na interação com os microrganismos. O tratamento com *Azospirillum* apresentou maior desempenho para promoção do crescimento da alface, especialmente em função do incremento no comprimento e no acúmulo de matéria seca do sistema radicular. Esse maior desenvolvimento radicular esteve associado ao aumento da matéria seca total das plantas, favorecendo a produção.

Palavras-chaves: crescimento, biofertilizante, *Lactuca sativa*.

Abstract. The objective of this study was to investigate the use of plant growth promoting bacteria (PGPB) of the genera *Azospirillum* and *Bacillus* on the growth and yield of lettuce in a protected environment. To this end, lettuce seedlings (*Lactuca sativa* L., 'Crespa' cultivar, var. Lirice) were grown in plastic pots containing 5 dm³ of substrate inside the greenhouse at the Instituto Federal Catarinense, Videira Campus. Two commercial PGPB products (Acta Bio®) were used: the first contained the bacterium *Azospirillum brasilense*, and the second contained a mixture of four *Bacillus* species (*B. subtilis*, *B. pumilus*, *B. amyloliquefaciens*, and *B. licheniformis*). Seedling inoculation was performed one hour prior to transplanting into the pots containing substrate. A re-inoculation was also performed 20 days into the experiment. Irrigation was managed using the gravimetric method (daily weighing of the pots), with water added until the pot mass reached a predetermined value, accounting for the mass of both the soil and the water. The experiment was set up in a completely randomized design (CRD) with four replicates, comprising three treatments: plants inoculated and re-inoculated with *Azospirillum brasilense*; plants inoculated and re-inoculated with a mixture of four *Bacillus* species; and non-inoculated/non-re-inoculated plants (Control). Each experimental unit consisted of a plastic pot containing a single plant. Data were subjected to analysis of variance, and treatments were compared using Tukey's test ($P \leq 0.05$) via R® software (version 4.3.2). Growth assessments were conducted at the end of the experimental period, 45 days after transplanting the seedlings into the pots. At harvest, the following variables were analyzed for each treatment: plant height, stem diameter, number of leaves, and stem and root lengths. Leaf, stem, root, and total (leaves, branches/stalk, and roots) dry matter were also evaluated. Inoculation and re-inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) resulted in distinct responses regarding the morphological characteristics and dry matter accumulation of the

lettuce plants, highlighting interaction specificity with the microorganisms. The *Azospirillum* treatment demonstrated superior performance in promoting lettuce growth, particularly due to increased root system length and dry matter accumulation. This enhanced root development was associated with increased total plant dry matter, thereby favoring production.

Keywords: growth, biofertilizer, *Lactuca sativa*.

Introdução

A alface (*Lactuca sativa* L.), pertencente à família Asteraceae, possui origem na região do Mediterrâneo e apresenta ampla distribuição mundial, sendo cultivada principalmente para o consumo humano (Favarato; Guarçoni; Siqueira, 2017). No Brasil, constitui a principal hortaliça folhosa para o consumo, sendo cultivada em diferentes regiões, geralmente próximas aos grandes centros consumidores, em razão de sua elevada perecibilidade e necessidade de comercialização rápida após a colheita (Chitarra; Chitarra, 2005).

A relevância econômica e alimentar dessa cultura tem aumentado paralelamente às mudanças nos padrões de consumo da população, especialmente em função da crescente valorização de alimentos de qualidade nutricional. A alface apresenta baixo teor energético e constitui fonte de fibras, vitaminas, minerais e diferentes compostos bioativos, destacando-se a presença de ferro, folato e ácido ascórbico, além de apresentar reduzidos teores de lipídios e sódio (Monteiro et al., 2015; Kim et al., 2016; Valeriano et al., 2016).

O cultivo da alface no país está sujeito a limitações relacionadas às condições meteorológicas predominantes em cada região. Por apresentar elevada sensibilidade às variações de temperatura, a cultura necessita de condições ambientais adequadas para expressar seu potencial produtivo. De modo geral, temperaturas médias entre 20 e 25 °C são consideradas favoráveis ao desenvolvimento da espécie (Maldonado; Mattos; Moretti, 2014), sendo, 23 °C, a temperatura ideal para o cultivo (Hotta, 2008). Quando submetidas a temperaturas superiores a 25 °C, as plantas podem apresentar alterações no desenvolvimento vegetativo, com estímulo à transição para a fase reprodutiva e ocorrência antecipada do pendoamento, condição que compromete a qualidade comercial e pode reduzir o rendimento da cultura (Resende et al., 2008). Adicionalmente, temperaturas superiores a 30 °C associadas à redução da umidade relativa do ar, especialmente durante os períodos mais secos do ano, podem favorecer a ocorrência de importantes insetos-praga, como trips e moscas-minadoras, aumentando os riscos fitossanitários da produção (Alencar; Dias, 2010).

Em condições opostas, caracterizadas por temperaturas inferiores a 10 °C e ocorrência de precipitações prolongadas, o crescimento e o desenvolvimento das plantas podem ser prejudicados, ocasionando redução do desempenho produtivo e danos aos tecidos vegetais (Segovia et al., 1997). Portanto, a elevada sensibilidade da alface às condições ambientais reforça a

necessidade de estudos voltados à identificação de práticas de manejo e tecnologias de produção capazes de minimizar os efeitos de condições climáticas adversas e favorecer a produtividade e a qualidade da hortaliça.

A busca por maiores produtividades com maior rentabilidade econômica ao agricultor passa pelo adequado manejo da adubação ao se avaliar as características físico-químicas e nutricionais do solo (Malavolta, 2006). Diante das condições de baixa fertilidade natural dos solos brasileiros, o uso de fertilizante para atender a demanda de NPK (Nitrogênio, fósforo e potássio) da cultura é fundamental neste contexto (Kano et al., 2010). A suplementação do adubo com bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) pode favorecer o crescimento do vegetal através de mecanismos diretos e indiretos exercidos perante a colonização endofítica e rizosférica na alface (Aguiar et al., 2025). Estes microrganismos apresentam efeitos no fornecimento de nitrogênio e minerais solubilizados, como fósforo, potássio, zinco, ferro e outros nutrientes minerais essenciais (Rehan et al., 2023).

As BPCPs são microrganismos de vida livre que formam relações simbióticas específicas com as plantas, endófitos bacterianos, que podem colonizar alguns ou uma grande parte de tecidos de uma planta. Quando associadas às plantas, podem levar a um aumento da área de exploração pela raiz. Esse aumento na superfície radicular promove maior eficiência na retirada de água, macro e micronutrientes pelas plantas (Glick, 2012).

As BPCPs em questão abrangem uma gama diversificada de gêneros, incluindo, a *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Agrobacterium*, *Allorhizobium*, *Arthrobacter*, *Azoarcus*, *Azorhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Bradyrhizobium*, *Burkholderia*, *Caulobacter*, *Chromobacterium*, *Delftia*, *Enterobacter*, *Flavobacterium*, *Frankia*, *Gluconacetobacter*, *Klebsiella*, *Mesorhizobium*, *Micrococcus*, *Paenibacillus*, *Pantoea*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Serratia*, *Streptomyces*, *Thiobacillus*, entre outros (Basu et al., 2021). A realização da inoculação em culturas não leguminosas com BPCPs é crescente em diversos países, principalmente na América Latina, como o trigo e milho (Marks et al., 2015), arroz (Sahoo et al., 2014), cana-de-açúcar (Rosa et al., 2020), sorgo (Santos et al., 2017), pastagens (Hungria et al., 2016; Sampaio et al., 2021), batata (Devi et al., 2016), tomate (Lima et al., 2018), cebola (Harthmann et al., 2010) e melão (Seido et al., 2019). Ensaios conduzidos por mais de 20 anos, em distintas condições de solo e clima, realizados a campo com diversas culturas não leguminosas verificou-se que as BPCPs têm potencial em aumentar a produtividade das culturas em até 30%

(Fukami et al., 2017). Entretanto, poucos são os trabalhos encontrados na literatura realizados com alface, o que evidencia a necessidade de uma investigação detalhada do crescimento e produção, a fim de verificar o uso e benefício das BPCPs como alternativa eficaz para aumentar a produtividade.

Na horticultura, entre as BPCPs, vem ganhando destaque as dos gêneros *Azospirillum* e *Bacillus*, os quais apresentam como principais características a capacidade de fixação biológica de nitrogênio, aumento da atividade da enzima redutase do nitrato quando crescem endofiticamente nas plantas, na produção de hormônios como auxinas, citocininas, giberilinas e etileno, que influenciam no desenvolvimento de raízes e brotos, floração e tolerância ao estresse (Cassán et al., 2009). Podem também atuar no controle biológico através da competição por nutrientes e espaço com possíveis patógenos, aumentar a resistência induzida a doenças (Sottero et al., 2006), além de ser uma alternativa econômica, ecológica e sustentável que possibilita o aumento na eficiência de uso dos fertilizantes (García De Salamone, 2011). Todas essas características promovidas pelas BPCPs podem favorecer o crescimento e produção da alface.

Dessa forma, a utilização de novas estratégias de manejo que contribuam para a sustentabilidade agrícola, a partir de técnicas que visam à ciclagem de nutrientes e o aproveitamento de resíduos e que possibilite a reposição de nutrientes às plantas são de extrema importância para diminuir o impacto ambiental e paralelamente, possibilitar o aumento de renda ao agricultor. Com base no exposto, objetivou-se investigar o uso de BPCPs dos gêneros *Azospirillum* e *Bacillus* no crescimento e produção da alface.

Material e Métodos

Área de estudo

O presente estudo foi realizado em casa de vegetação pertencente ao Instituto Federal Catarinense - Campus Videira, localizado na rodovia SC 135, Km 125, bairro Campo Experimental, no município de Videira, estado de Santa Catarina.

O município encontra-se na zona agroecológica do Vale do Rio do Peixe, com clima subtropical, segundo classificação de Koppen, apresentando temperatura moderada, chuva bem distribuída e verão brando. Podem ocorrer geadas, tanto no inverno como no outono. As temperaturas médias são inferiores a 20°C, exceto no verão. No inverno a média é inferior a 14°C, com mínimas inferiores a 8°C.

Material experimental

Foram produzidas mudas de alface, *Lactuca sativa* L., cultivar Crespa (var. Lirice), em bandejas de polietileno expandido contendo 128 células, onde em cada célula foi depositada uma semente sob substrato comercial Tropstrato® (Vida Verde, Mogi Mirim, SP). Após o crescimento, as mudas passaram por critério de seleção quanto à

uniformidade e foram transplantadas para vasos plásticos contendo 5 dm⁻³ de substrato, constituído de uma mistura de terra extraída da camada de 0,40 a 0,80 m de profundidade de um Argissolo Vermelho Distrófico e substrato comercial Tropstrato® (Vida Verde, Mogi Mirim, SP) na proporção 3:1, respectivamente. Foi realizada análise granulométrica do substrato, obtendo-se a classificação textural como franco argiloso arenoso.

Amostras do substrato foram analisadas quimicamente, resultando em baixa disponibilidade de bases trocáveis (SB = 6,35 cmolc dm⁻³) e de boa saturação de bases (V = 69,71%), baixa disponibilidade de fósforo (P = 3 mg dm⁻³). Antes do plantio foi necessário realizar a correção da acidez do solo, elevando a saturação por bases a 70%, fornecendo 9,1 g/vaso de calcário dolomítico (Filler®). As adubações de plantio e de cobertura foram realizadas de acordo com o Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016). O nitrogênio foi fornecido na forma de uréia, parcelado em três vezes (Três aplicações em cobertura). O fósforo (P₂O₅) foi aplicado no plantio (Única dose) e o potássio aplicado na forma de cloreto de potássio (Três aplicações em cobertura).

No plantio foram fornecidos 3,33 g/vaso de fosfato. As adubações de cobertura foram realizadas a cada dez dias após o transplante (DAT) das mudas para os vasos, fornecendo-se na primeira adubação 0,16, e 0,15 g de uréia e cloreto de potássio, respectivamente. Na segunda adubação foi fornecido 0,27 g de uréia e de cloreto de potássio. Na terceira adubação forneceu-se 0,35 g de uréia e de cloreto de potássio.

Bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs)

Foram utilizados dois produtos comerciais com as BPCPs (Acta Bio®). O primeiro produto contendo a bactéria da espécie *Azospirillum brasilense* e o segundo acondicionando uma mistura de quatro espécies de bactérias do gênero *Bacillus*: *B. subtilis*, *B. pumilus*, *B. amyloliquefaciens* e *B. licheniformis*. A inoculação das mudas foi realizada uma hora antes do transplante para os vasos com substrato. Também foi realizada uma reinoculação aos 20 dias de experimentação. Os produtos comerciais com as BPCPs são classificados na linha de fertilizantes, adubos orgânicos, sendo registrados no MAPA (Ministério da Agricultura e Pecuária). Utilizaram-se as doses recomendadas pelo fabricante: de 100 a 300 ml/ha para *Azospirillum Brasilense* e de 0,5 a 1,0 L/ha para o “mix” de *B. subtilis*, *B. pumilus*, *B. amyloliquefaciens* e *B. licheniformis*, sendo ambos os produtos fornecidos na forma líquida. Os valores das doses foram ajustados para o volume ocupado pelos vasos. Os produtos comerciais apresentam garantia de 1x10⁹ “Unidades Formadoras de Colônia” (UFC mL⁻¹) para cada bactéria.

Manejo hídrico

Para o estabelecimento de água no substrato, foi utilizado o nível de água, definido pela capacidade de campo, sendo o controle da irrigação realizado pelo método gravimétrico (pesagem diária dos vasos), adicionando-se água até que a massa do vaso atinja o valor prévio determinado, considerando-se a massa do solo e de água, conforme metodologia descrita por Freire et al (1980).

Determinação do crescimento

As coletas para avaliação do crescimento foram realizadas aos 45 DAT das mudas para os vasos. Durante a coleta foram avaliados por planta as seguintes variáveis: altura, diâmetro do coleto, número de folhas e comprimento caulinar e radicular. Também foi avaliado a matéria seca foliar, caulinar, radicular e total (folha, caule e raiz).

A matéria seca foi obtida com o auxílio de uma estufa com ventilação forçada a 55 °C, até o material vegetal atingir peso constante, utilizando uma balança eletrônica semi analítica (Modelo AD 500S, Marte®). O diâmetro do coleto foi determinado com auxílio de paquímetro digital (Starrett) modelo 727 a 01 (Um) cm do substrato. A altura, o comprimento caulinar e radicular das plantas, foi obtido através de régua milimetrada.

Delineamento experimental

O experimento foi montado num delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições, apresentando três tratamentos (Plantas inoculadas e reinoculadas com *Azospirillum brasilense*; plantas inoculadas e reinoculadas com a mistura de quatro bactérias: *Bacillus subtilis*, *B. pumilus*, *B. amyloliquefaciens* e *B. licheniformis*; e plantas ausentes de inoculação e reinoculação com as bactérias (Controle). Cada unidade experimental foi composta de um vaso plástico contendo uma planta. Os dados foram submetidos à análise de variância e os tratamentos comparados pelo teste de Tukey ($P \leq 0.05$) utilizando o programa o software R®, versão 4.3.2.

Resultados e Discussão

A Figura 1 apresenta os valores médios do crescimento para a altura, o diâmetro do caule, o número de folhas, o comprimento caulinar e radicular no final do experimento, aos 45 DAT das mudas para os vasos, utilizando o teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se para a altura que houve diferenças significativas entre as médias para os tratamentos com as BPCPs (Figura 1A). As plantas que foram inoculadas e reinoculadas com a bactéria do gênero *Azospirillum* apresentaram incremento significativo na média da altura de 10,5% em relação ao tratamento controle (Plantas ausentes de

inoculação e reinoculação com bactérias). Para as médias das alturas das plantas onde foi utilizado o tratamento com as bactérias do gênero *Bacillus* e controle não houve diferenças significativas (Figura 1).

A maior altura observada nas plantas submetidas ao tratamento com *Azospirillum* sugere que houve efeito favorável da bactéria sobre o crescimento da parte aérea. A capacidade do *Azospirillum* em promover o crescimento vegetal está relacionada a um conjunto de mecanismos, não sendo atribuída a uma única via fisiológica. Entre os mecanismos propostos destacam-se à produção de fitormônios, destacando-se a produção do ácido indol-3-acético, o qual estimula à proliferação radicular e o aumento da absorção de água e nutrientes (Bashan et al., 2010), principalmente na aquisição de nitrogênio (Lugtenberg; Kamilova, 2009). Assim, o maior crescimento em altura observado no presente experimento pode estar associado ao efeito integrado desses mecanismos sobre o desenvolvimento vegetativo.

Contrário aos resultados encontrados no presente estudo, Aguiar et al. (2025) utilizando o tratamento organomineral granulado com adição de BPCPs do gênero *Bacillus*, verificaram aumentos significativo da altura da alface crespa, cultivar Cinderela (Feltrin®) em relação ao tratamento controle. Por sua vez, Meirelles, Baldotto e Baldotto (2017), avaliando bactérias diazotróficas em condições de campo, verificaram aumento da altura da roseta de alface em plantas tratadas com bactérias, evidenciando o potencial desses microrganismos como bioestimulantes da cultura. A altura das plantas no estágio vegetativo é uma característica desejável de crescimento, uma vez que pode permitir um maior desenvolvimento das folhas, parte comercial e comestível, indicando um crescimento vigoroso. O crescimento em altura também pode favorecer uma maior produtividade, uma vez, que plantas mais altas, podem produzir um maior número de folhas e obter uma maior área foliar (Tatagiba et al., 2025).

Para o diâmetro do caule, Figura 1B, observa-se que não houve diferenças significativas entre as médias dos tratamentos, indicando que a inoculação e a reinoculação bacteriana não promoveu alteração nessa característica. O diâmetro do caule constitui uma variável associada ao crescimento estrutural da planta e, portanto, sua resposta pode depender do balanço entre expansão celular, disponibilidade de fotoassimilados e condições nutricionais. A ausência de diferenças expressivas nessa característica não invalida o efeito potencial das bactérias sobre outros componentes do crescimento.

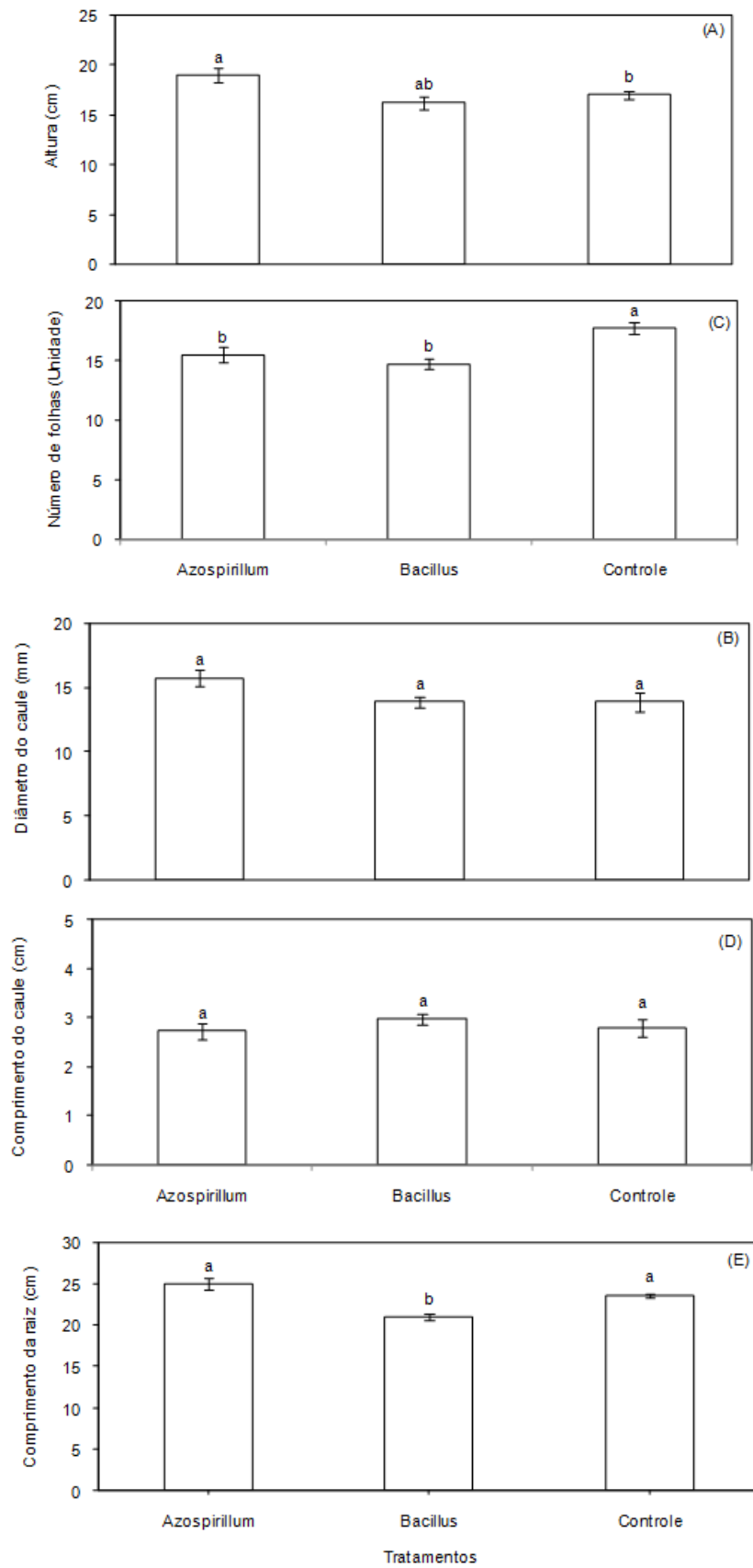


Figura 1. Altura (A), diâmetro do caule (B), número de folhas (C), comprimento do caule (D) e da raiz (E) de plantas de alface inoculadas e reinoculadas com bactérias promotoras de crescimento. *Médias dos tratamentos seguidas de letras diferentes na coluna representam que são significativamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P \leq 0,05$). Barras em cada ponto representam o erro padrão da média.

As respostas promovidas por rizobactérias são frequentemente específicas para determinados atributos da planta, uma vez que os mecanismos de promoção do crescimento podem atuar de forma diferenciada sobre a arquitetura radicular, expansão foliar, absorção mineral e metabolismo vegetal (Lugtenberg; Kamilova, 2009). Em estudo conduzido com alface, Venceslau et al. (2021), também observaram que determinados atributos morfológicos não responderam significativamente à aplicação de bactérias.

Quanto ao número de folhas, este é um parâmetro importante de estudo, devido a alface ser uma hortaliça folhosa, cuja área foliar constitui a parte comercial (Tatagiba et al., 2024), atraindo o consumidor pela aparência e volume (Mota et al., 2016). Nota-se na Figura 1C, que os tratamentos utilizando as BPCPs do gênero *Azospirillum* ou *Bacillus* apresentaram redução significativa no número de folhas emitidas em relação ao tratamento controle, registrando resultado contrário ao encontrado para a altura. Esse fato demonstra que o maior crescimento em altura não esteve necessariamente acompanhado por maior emissão de folhas. Tal comportamento reforça a necessidade de avaliar diferentes componentes do crescimento vegetal, pois a promoção do crescimento por microrganismos não implica, necessariamente, incremento simultâneo das características morfológicas da parte aérea da planta.

A resposta diferencial entre número de folhas e altura pode estar relacionada ao direcionamento de fotoassimilados para diferentes drenos metabólicos. A inoculação pode modificar o padrão de crescimento da planta sem necessariamente aumentar a taxa de emissão foliar. Além disso, os efeitos BPCPs são dependentes da espécie e da estirpe bacteriana, da cultivar, das condições ambientais e do sistema de cultivo (Bashan et al., 2010).

Domingues et al. (2021) avaliaram diferentes microrganismos, incluindo *Azospirillum brasilense* e *Bacillus subtilis* em cultivares de alface e verificaram que os efeitos dos microrganismos variaram entre as características avaliadas, incluindo o número de folhas, a altura, o diâmetro do caule, o comprimento radicular e a massa seca. Os autores observaram, portanto, que a eficiência dos promotores de crescimento não é uniforme entre as variáveis morfológicas da cultura.

O comprimento do caule não apresentou diferenças significativas nas médias com a utilização das BPCPs (Figura 1D). O comprimento de caule é uma característica apreciada pelos melhoristas durante o processo de seleção e melhoramento genético da alface (Rissardi, 2024). Plantas de alface que apresentam menores valores do comprimento de caule demonstram-se mais adaptadas as condições climáticas encontradas numa determinada região, enquanto o alongamento do caule pode consistir em estímulo ao pendoamento precoce, que é responsável pelo florescimento na planta, sendo acentuado por

temperaturas mais elevadas (Filgueira, 2000), o que é prejudicial no sistema de cultivo. Segundo Resende et al. (2008) plantas com comprimento de caule superior a 9 cm podem ter o beneficiamento e qualidade final do produto prejudicado. Entretanto, nota-se que no presente estudo o maior comprimento do caule encontrado foi para o tratamento utilizando a mistura de bactérias do gênero *Bacillus*, o qual não ultrapassou 2,97 cm.

Para o comprimento radicular (Figura 1E), verifica-se que as médias das plantas que receberam o tratamento com *Azospirillum* e controle não diferiram significativamente. Entretanto, ambas as médias foram significativamente superior ao tratamento utilizando a mistura de bactérias do gênero *Bacillus*. O maior desenvolvimento do sistema radicular constitui um resultado relevante, pois pode proporcionar maior volume de exploração do substrato e ampliar a capacidade de absorção de água e nutrientes pelas plantas.

A resposta positiva do sistema radicular à presença de *Azospirillum* encontra respaldo na literatura. Bashan et al. (2010) destacam a proliferação do sistema radicular e a melhoria da aquisição de água e minerais entre os principais efeitos associados à interação de *Azospirillum* com as plantas. Esses efeitos estão relacionados, entre outros mecanismos, à produção e modulação de fitormônios, especialmente auxinas, que podem alterar a arquitetura das raízes.

A Figura 2 apresenta os valores médios de matéria seca foliar, caulinar, radicular e total no final do experimento, para o teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade. A matéria seca dos diferentes órgãos vegetativos revelou que os tratamentos bacterianos também modificaram o padrão de acúmulo de biomassa das plantas de alface. A matéria seca foliar não apresentou alteração significativa nas médias dos tratamentos, evidenciando que os tratamentos com BPCPs não resultaram em efeito positivo no crescimento das folhas (Figura 1A). Este fato indica que a inoculação e a reinoculação com as BPCPs do gênero *Azospirillum* e a mistura do gênero *Bacillus*, não foi suficiente para promover o suprimento de carboidratos para o crescimento das folhas, característica essa desejável no melhoramento genético das plantas de alface, fundamental na obtenção de maiores produtividades, já que as folhas são os órgãos vegetativos comercializados e consumidos. Resultados obtidos no estudo realizado por Laurindo e Cruz (2024), com alface, apontam que a inoculação isolada com *Azospirillum* não resultou em aumento da matéria fresca ou seca das folhas, apesar de ter promovido respostas positivas em outras características, como altura e número de folhas. Os autores verificaram que o maior incremento na matéria seca foliar ocorreu quando o *Azospirillum* foi associado ao fungo micorrízico *Rhizophagus clarus*. Esse resultado apresenta relação com o observado no presente estudo, uma vez que também não foi constatado aumento significativo da matéria seca foliar de

plantas inoculadas com *Azospirillum* em comparação ao tratamento controle. Essa concordância sugere que a inoculação com *Azospirillum* isoladamente pode favorecer determinados componentes do crescimento da alface, particularmente o sistema radicular, sem necessariamente resultar em aumento proporcional da biomassa foliar.

Para a matéria seca caulinar (Figura 2b), observa-se que o tratamento controle apresentou valor médio significativamente superior aos tratamentos com as BPCPs. Este fato indica, ausência de resposta da matéria seca caulinar a inoculação e a reinoculação com as BPCPs, evidenciando que a alocação de carboidratos para o caule, pode ter sido a falta do crescimento do diâmetro e do comprimento caulinar obtido em nosso estudo (Figuras 1B e 1D). Ainda, esse resultado demonstra que os efeitos dos microrganismos sobre o crescimento vegetal podem ser específicos para determinados órgãos e processos fisiológicos, não ocorrendo necessariamente aumento simultâneo da biomassa de folhas, caule e raízes. As BPCPs podem atuar por diferentes mecanismos, como produção de fitormônios, estímulo ao desenvolvimento radicular, solubilização de nutrientes e alterações na eficiência de aquisição de recursos, mas a intensidade dessas respostas depende da interação entre microrganismo, genótipo vegetal e ambiente (Bashan; Bashan; Prabu, 2010; Lugtenberg; Kamilova, 2009).

O resultado encontrado para a matéria seca caulinar é semelhante ao relatado por Laurindo e Cruz (2024), que também verificaram ausência de significância para matéria seca caulinar em alface submetida à inoculação com BPCPs. Por outro lado, os resultados do presente trabalho diferem parcialmente dos obtidos por Oliveira et al. (2023a), que avaliaram *Bacillus subtilis* em alface cultivada em sistema hidropônico. Nesse estudo, a inoculação com *B. subtilis* promoveu efeitos significativos sobre a matéria fresca e seca da parte aérea e das raízes, além de aumentar o rendimento da cultura. Os maiores rendimentos de folhas foram obtidos nas concentrações de $15,6 \times 10^3$ e $31,2 \times 10^3$ UFC mL⁻¹, com incrementos de 25 e 18%, respectivamente, em relação às plantas não inoculadas. Diferentemente dos resultados encontrados para a matéria seca caulinar, na matéria seca radicular a inoculação e reinoculação com a BPCPs foi significativamente favorável a alocação de carboidratos direcionados ao crescimento radicular. O tratamento utilizando o *Azospirillum* favoreceu o acúmulo significativo da matéria seca radicular em 40,8 e 13,6% em relação o tratamento com as bactérias da mistura do gênero *Bacillus* e o controle, respectivamente. Esse resultado é particularmente relevante porque o tratamento com *Azospirillum* esteve associado ao incremento significativo do comprimento radicular (Figura 1E), demonstrando que o resultado observado não esteve restrito à elongação das

raízes, mas sim ao aumento da produção de biomassa desse órgão. Dessa forma, os resultados sugerem que o uso de *Azospirillum* favoreceu o desenvolvimento estrutural do sistema radicular da alface nas condições experimentais avaliadas.

A capacidade do *Azospirillum* de estimular o desenvolvimento radicular está amplamente relacionada à produção e modulação de fitormônios, principalmente compostos com atividade auxínica, além de alterações na arquitetura das raízes e maior eficiência na aquisição de água e nutrientes. Bashan et al. (2010) destacam que a promoção do crescimento por *Azospirillum* resulta da interação de diferentes mecanismos fisiológicos, sendo o estímulo ao sistema radicular um dos principais efeitos associados à bactéria. Verifica-se ainda, que o uso da mistura das bactérias do gênero *Bacillus* contribuiu para o incremento significativo da matéria seca radicular em 31,5% em comparação ao tratamento controle. Segundo Oliveira et al. (2023a) o maior crescimento das raízes em plantas inoculadas com *B. subtilis* pode estar relacionado à capacidade dessas bactérias de estimular a produção de fitormônios, especialmente ácido indol-3-acético (AIA), além de favorecer a disponibilidade de nutrientes e a colonização do sistema radicular. O desenvolvimento de um sistema radicular mais robusto pode, por sua vez, ampliar a exploração do ambiente de cultivo e favorecer a absorção de água e nutrientes.

Para a matéria seca total (Figura 2D), observa-se que o tratamento utilizando o *Azospirillum* foi significativamente semelhante ao tratamento com a mistura de bactérias do gênero *Bacillus* e significativamente superior em 13,2% em relação ao tratamento controle. O maior acúmulo de matéria seca total observado em plantas inoculadas e reinoculadas com *Azospirillum* demonstram maior capacidade de produção de biomassa nas condições experimentais avaliadas. Esse resultado é particularmente relevante, pois a matéria seca total representa a integração do crescimento dos diferentes compartimentos da planta, refletindo o balanço entre produção e alocação de fotoassimilados para as folhas, caule e raízes. Dessa forma, o desempenho significativamente superior do *Azospirillum* está relacionado principalmente à maior contribuição da biomassa radicular, uma vez que esse tratamento beneficiou o comprimento radicular e matéria seca de raízes (Figuras 1E e 2C).

Em experimento conduzido por Oliveira et al. (2023b) com alface do tipo iceberg em sistema hidropônico, verificou-se efeito positivo de diferentes doses de *Azospirillum brasilense* sobre as características fisiológicas, incluindo fotossíntese, eficiência do uso da água e teor de clorofila, além de respostas sobre a produção de biomassa. Os autores observaram que determinadas doses de *A. brasilense* aumentaram a eficiência fisiológica das plantas, demonstrando o potencial do microrganismo para favorecer o crescimento da cultura.

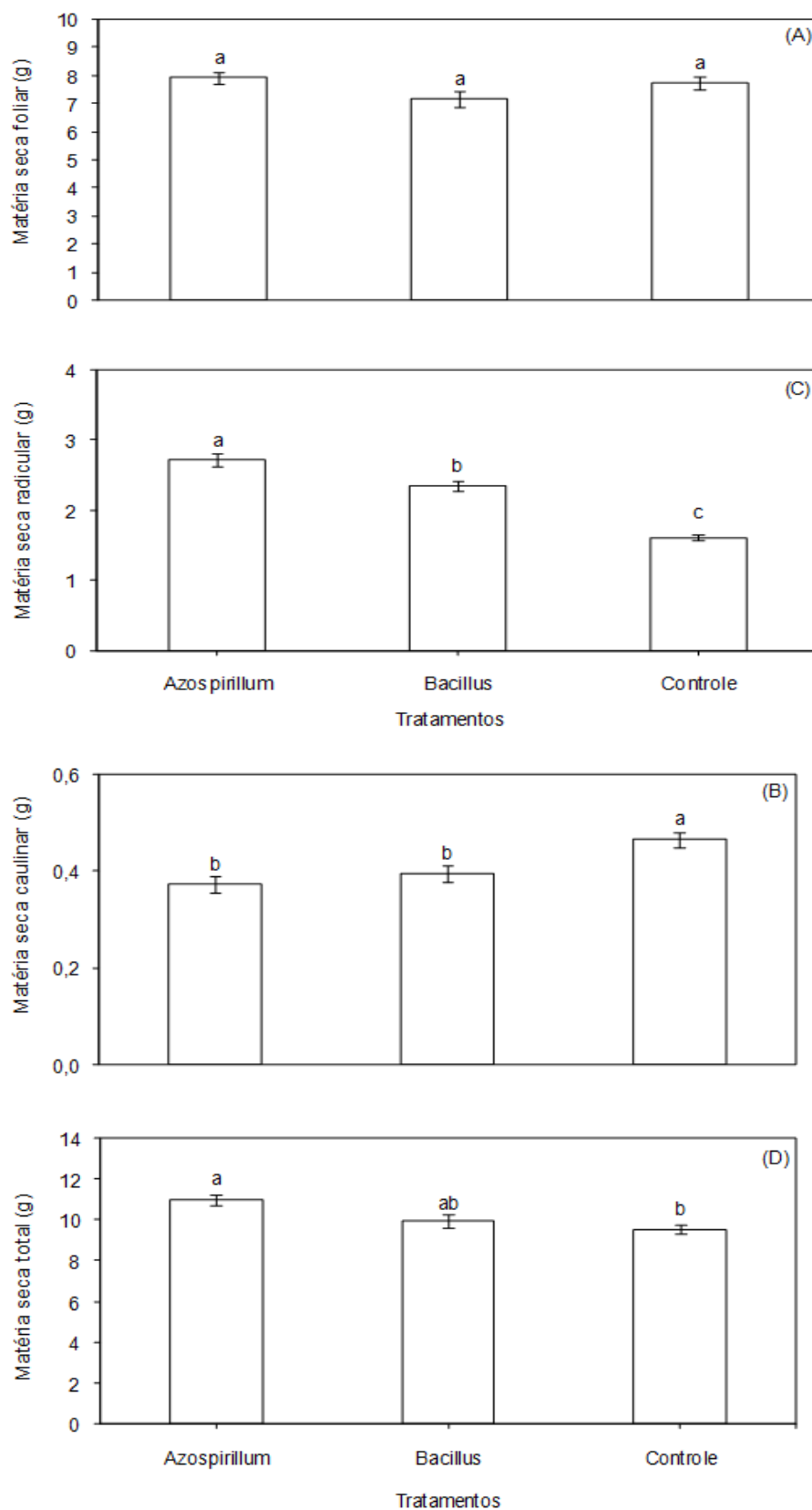


Figura 2. Matéria seca foliar (A), caulinar (B), radicular (C) e total (D) de plantas de alface inoculadas e reinoculadas com bactérias promotoras de crescimento.

*Médias dos tratamentos seguidas de letras diferentes na coluna representam que são significativamente diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P \leq 0,05$). Barras em cada ponto representam o erro padrão da média.

Conclusões

A inoculação e a reinoculação com BPCPs promoveram respostas diferenciadas nas características morfológicas de crescimento e acúmulo da matéria seca das plantas de alface.

O uso de *Azospirillum* parece ser um tratamento promissor a ser utilizado como biofertilizante no intuito de promover o crescimento de plantas de alface, principalmente por favorecer o comprimento e acúmulo de matéria seca radicular, o que contribuiu para o maior acúmulo da matéria seca total.

Referências

AGUIAR, F.R.; FRANÇA, A.C.; GONÇALVES, T.S.; FRANCO, M.H.R.; COELHO, J.S.; MEDEIROS, I.S.; BARROSO, L.R.; OLIVEIRA, L.L. Adubação organomiberal com adição de bactérias de crescimento de plantas (BPCps) no cultivo da alface. *Brazilian Journal of Development*, v. 11, n. 5, p. 1-23, 2025. DOI: 10.34117/bjdv11n5-074

ALENCAR, J.A.; DIAS, R.C.S. Sistema de produção de melancia: pragas. Brasília: Embrapa semiárido, agosto de 2010. (Sistema de Produção, 6).

BASHAN, Y.; BASHAN, L. E. de; PRABHU, S. R. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth. A critical assessment. *Advances in Agronomy*, v. 108, p. 77-136, 2010. DOI: 10.1016/S0065-2113(10)08002-8

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L.E.; PRABHU, S.R.; HERNANDEZ, J.P. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998-2013). *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 378, p. 1-33, 2014. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-013-1956-x>

BASU, A.; PRASAD, P.; DAS, S. N.; KALAM, S.; SAYYED, R. Z.; RAVINDRAN, M.; EL ENSHASY, H.; DUA, M. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: recent developments, constraints, and prospects. *Sustainability*, v. 13, n. 3, 1140, 2021. DOI: 10.3390/su13031140.

CASSÁN, F.; MAIALE, S.; MASCIARELLI, O.; VIDAL, A.; LUNA, V.; RUIZ, O. Cadaverine production by *Azospirillum brasilense* and its possible role in plant growth promotion and osmotic stress mitigation. *European Journal Soil Biology*, v. 45, p. 12-19, 2009. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2008.08.003.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2. ed. Lavras, 2005, p. 783.

A promoção do desenvolvimento do sistema radicular constituiu um dos principais efeitos associados à inoculação e reinoculação com *Azospirillum*, favorecendo o crescimento das plantas.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Instituto Federal Catarinense - Campus Videira, concedendo bolsa de iniciação científica, através do Edital nº 20/2025 - Gabinete/Videira, a aluna Marieli Ferreira Rosa.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 2016. 376p.

DEVI, A.R.; KOTOKY, R.; PANDEY, P.; SHARMA, G. D. Application of *Bacillus* spp. for Sustainable Cultivation of Potato (*Solanum tuberosum* L.) and the Benefits, p. 185-213, in: ISLAM, M.T.; PANDEY, M.R.P.; AERON, C.K.J.A. *Bacilli and Agrobiotechnology*, London: Springer, 2016. 397 p.

DOMINGUES, S. C. O.; CARVALHO, M. A. C.; RABELO, H. O.; MOREIRA, E. S.; SCATOLA, L. F.; DAVID, G. Q. Microrganismos como promotores de crescimento em cultivares de alface. *Nativa*, v. 9, n. 2, p. 100-105, 2021. DOI: 10.31413/nativa.v9i2.10435.

FAVARATO, L.F.; GUARÇONI, R.C.; SIQUEIRA, A.P. Produção de alface de primavera/verão sob diferentes sistemas de cultivo. *Revista Científica Intelletto*, v. 2, p. 16-28, 2017. <https://revista.grupofaveni.com.br/index.php/revista-intellecto/article/view/46>

FILGUEIRA, F.A.R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa, MG: UFV. 402 p. 2000.

FREIRE, A.G.; OLIVEIRA, F.A.; CARRILHO, M.J.S.O.; OLIVEIRA, M.K.T.; FREITAS, D.C. Qualidade de cultivares de alface produzida em condições salinas. *Revista Caatinga*, v. 22, p. 81-88, 2009.

FREIRE, J.C.; RIBEIRO, M.V.A.; BAHIA, V.G.; LOPES, A.S.; AQUINO, L.H. Respostas do milho cultivado em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 4, n. 1, p. 5-8, 1980.

FUKAMI, J.; OLLERO, F.J.; MEGÍAS, M.; HUNGRIA, M. Phytohormones and induction of plant-stress tolerance and defense genes by seed and foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* cells and metabolites promote maize growth. *AMB*

- Express, v. 7, p. 153-163, 2017. <https://link.springer.com/article/10.1186/s13568-017-0453-7>
- GARCÍA DE SALAMONE, I.E. Microorganismos del suelo y sustentabilidad de los agroecosistemas. Revista Argentina Microbiología, v. 43, p. 1-3, 2011. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0325-75412011000100001
- GLICK, B. R. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. Scientifica, p. 963-401, 2012. <https://doi.org/10.6064/2012/963401>
- HARTHMANN, O.E.L.; MÓGOI, A.F.; WORDELL FILHO, J.A.; LUZ, W. C. Rizobactérias no crescimento e na produtividade da cebola. Ciência Rural, v. 40, n. 2, p. 462-465, 2010.
- HOTTA, L.F.K. Interação de progênies de alface do grupo americana por épocas de cultivo. 2008. 98 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Estadual Paulista Julio Mesquita Filho: UNESP – Botucatu, São Paulo. 2008.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; SOUZA, E.M.; PEDROSA, F.O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazilian. Plant and Soil, v. 331, p. 413-425, 2010. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-009-0262-0>
- KANO, C.; CARDOSO, A.I.I.; VILLAS BÔAS, R.L. Influencia de doses de potássio nos teores de macronutrientes em plantas e sementes de alface. Horticultura Brasileira, v. 28, n. 3, p. 287-291, 2010.
- KIM, M.J.; MONN, Y.; TOU, J.C.; MOU, B.; NICOLE L. Nutritional value bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). Journal of Food Composition na Analysis, v. 49, p. 19-34, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.03.004>
- LAURINDO, L. K.; CRUZ, S. P. Inoculação com bactérias promotoras de crescimento e fungos micorrízicos arbusculares reduzem a demanda de fertilizantes em alface. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 54, e79375, 2024. <https://doi.org/10.1590/1983-40632024v5479375>
- LIMA, N.S.A.; VOGEL, G.F.; FEY, R. Rates of application of *Azospirillum brasilense* in tomato crop. Revista de Agricultura Neotropical, v. 5, n. 4, p. 81-87, 2018. DOI: <https://doi.org/10.32404/rean.v5i4.3142>
- LUGTENBERG, B.; KAMILOVA, F. Plant growth promoting rhizobacteria. Annual Review of Microbiology, v. 63, p. 541-556, 2009. DOI: 10.1146/annurev.micro.62.081307.162918.
- MALAVOLTA, E. Manual de nutrição Mineral de plantas. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.
- MALDONADE, I.R.; MATTOS, L.M.; MORETTI, C.L. Manual de boas práticas agrícolas na produção de alface. Embrapa Hortaliças – Documentos. 2014. 44p.
- MARKS, B.B.; MEGÍAS, M.; OLLERO, F.J.; NOGUEIRA, M.A.; ARAUJO, R.S.; HUNGRIA, M. Maize growth promotion by inoculation with *Azospirillum brasilense* and metabolites of *Rhizobium tropici* enriched on lipochitooligosaccharides (LCOs). AMB Express, v.5, p.71-82, 2015. <https://link.springer.com/article/10.1186/s13568-015-0154-z>
- MONTEIRO, A.V.V.M.; VEGRO, C.L.R.; FERREIRA, C.R.R.P.T.; BARBOSA, M.Z.; NACHILUK, K.; RAMOS, R.C.; MIURA, M.; FAGUNDES, P.R.S.; SILVA, R.O.P.; FILHO, W.P.C.; CARVALHO, Y.M.C. de. A Produção da Agropecuária Paulista: considerações frente à anomalia climática. Análises e Indicadores do Agronegócio, v. 10, n. 4, p. 1-16, 2015.
- OLIVEIRA, C. E. S.; JALAL, A.; AGUILAR, J. V.; CAMARGOS, L. S.; ZOZ, T.; GHALEY, B. B.; ABDEL-MAKSoud, M. A . Yield, nutrition, and leaf gas exchange of lettuce plants in a hydroponic system in response to *Bacillus subtilis* inoculation. Frontiers in Plant Science, v. 14, 1248044, 2023a. DOI: 10.3389/fpls.2023.1248044.
- OLIVEIRA, C. E. S. et al . Inoculation with *Azospirillum brasilense* Strains AbV5 and AbV6 Increases Nutrition, Chlorophyll, and Leaf Yield of Hydroponic Lettuce. Plants, v.12 p. 3107, 2023b. <https://doi.org/10.3390/plants12173107>
- REHAN, M.; AL-TURKI, A.; ABDELMAGEED, A.H.A.; ABDELHAMEID, N.M.; OMAR, A.F. Desempenho de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPR) isoladas de solo arenoso no crescimento de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Plants, v. 12, p. 1588, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12081588>
- RESENDE, G.M.; YURI, J.E.; MOTA, J.H.; SOUZA, R.J. Resposta da alface tipo americana a doses e épocas de aplicação de molibdênio em cultivo de inverno. Ciência e Agrotecnologia, v.32, n.1, p.143-148, 2008.
- RISSARDI, R.F. Avaliação agrônômica de linhagens de alface em cultivo hidropônico no sistema NET (Nutrient Film technique). 2024. 80 f. Monografia. Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 2024.

- ROSA, P.A.L.; MORTINHO, E.S.; JALAL, A.; GALINDO, F.S.; BUZETTI, S.; FERNANDES, G.C.; BARCO NETO, M.; PAVINATO, P. S.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M. Inoculation With Growth-Promoting Bacteria Associated With the Reduction of Phosphate Fertilization in Sugarcane. *Frontiers in Environmental Science*, v. 8, p. 1-18, 2020. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00032>
- SAHOO, R.K.; ANSARI, M.W.; PRADHAN, M.; DANGAR, T.K.; MOHANTY, S.; TUTEJA, N. Phenotypic and molecular characterization of native *Azospirillum* strains from rice fields to improve crop productivity. *Protoplasma*, v. 251, p. 943–953, 2014. DOI: 10.1007/s00709-013-0607-7.
- SAMPAIO, F.A.R.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; OLIVEIRA, C.E.S.; JALAL, A.; BOLETA, E. H.M.; LIMA, B.H.; ROSA, P.A.L.; GALINDO, F.S.; SOUZA, J. S. Nitrogen supply associated with rhizobacteria in the first productive cycle of Marandu grass. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, v. 24, p. 429-439, 2021.
- SANTOS, C.L.R.; ALVES, G.C.; MACEDO, A.V.M.; GIORI, F.G.; PEREIRA, W.; URQUIAGA, S.; REIS, V.M. Contribution of a mixed inoculant containing strains of *Burkholderia* spp. and *Herbaspirillum* ssp. to the growth of three sorghum genotypes under increased nitrogen fertilization levels. *Applied Soil Ecology*, v. 113, p. 96-106, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.02.008>
- SEGOVIA, J.F.O.; ANDRIOLO, J.L.; BURIOL, G.A.; SCHNEIDER, F.M. Comparação do crescimento e desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa* L.) no interior e no exterior de uma estufa de polietileno em Santa Maria, RS. *Ciência Rural*, v. 27, n. 1, p. 37-41, 1997.
- SEIDO, S.L.; SOUSA, L P.; SILVA, M.J.; DONZELI, V.P.; QUEIROZ, S.O.P. Melon growth-promoting rhizobacteria under saline stress. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 14, n. 1, p. 1-7, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v14i1a5623>
- SOTTERO, A.N.; FRETIAS, S.S.; MELO, A.T.; TRANI, P.E. Rizobactérias e alface: colonização rizosférica, promoção de crescimento e controle biológico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, p. 225-234, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000200004>
- TATAGIBA, S.D.; RIGO, H.; SARMENTO, E.C.; RINALDI, B.J.D. Doses de silício no rendimento produtivo da alface cressa. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 20, n. 2, p. 131-138, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v20i2.1438>
- TATAGIBA, S.D.; PAIVA, J.F.; GABRIEL EDUARDO KLABUNDE, G.E.; FERREIRA, N.M.B. Crescimento de cultivares de alface em ambiente protegido. *Scientific Electronic Archives*, v. 19, p1-9, 2025. DOI: <http://dx.doi.org/10.36560/18520252103>
- VALERIANO, T.T.B., SANTANA, M. J., MACGADO, L.J.M., OLIVEIRA, A.F. Alface americana cultivada em ambiente protegido submetida a doses de potássio e lâminas de irrigação. *Irriga*, v. 21, n. 3, p. 620-630, 2016. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v21n3p620-630>
- VENCESLAU, L. P.; LOPES, E. A. P.; BARBOSA, J. P. F.; CARDOZO, N. C. G. S.; SILVA, R. A. Efeito de bactérias promotoras de crescimento na alface cressa cultivar Veneranda. *Revista Ambientale*, v. 13, n. 2, p. 31-40, 2021. DOI: 10.48180/ambientale.v13i2.289.