Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação — REASE

doi.org/10.51891/rease.v12i11.32482

AZOSPIRILLUM BRASILENSE NA CULTURA DO TOMATE: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE OS EFEITOS NO DESENVOLVIMENTO E NA PRODUTIVIDADE

AZOSPIRILLUM BRASILENSE IN TOMATO CROPS: A LITERATURE REVIEW ON THE EFFECTS ON DEVELOPMENT AND YIELD

AZOSPIRILLUM BRASILENSE EN EL CULTIVO DE TOMATE: UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SOBRE LOS EFECTOS EN EL DESARROLLO Y LA PRODUCTIVIDAD

Gabriel Mendes Kiiller[1]
Roberta Yajima de Godoy Dias[2]

RESUMO: Este estudo revisa os efeitos da bactéria Azospirillum brasilense na cultura do tomateiro (Solanum lycopersicum). Trata-se de uma revisão bibliográfica qualitativa que analisa os impactos fisiológicos e agronômicos do bioinoculante. Os resultados evidenciam que a inoculação estimula o desenvolvimento radicular via fitormônios (AIA), melhora as trocas gasosas, fortalece o sistema antioxidante (SOD/POX) e eleva a produtividade em cerca de 12%, reduzindo a dependência de adubos sintéticos.

Palavras-chave: Azospirillum brasilense. Solanum lycopersicum. Bioinsumos. Promoção de crescimento vegetal. Fisiologia vegetal.

ABSTRACT: This study reviews the effects of Azospirillum brasilense on tomato crops (Solanum lycopersicum). Through a qualitative literature review, it analyzes the physiological and agronomic impacts of the bioinoculant. Results show that inoculation stimulates root development via phytohormones (IAA), enhances gas exchange, strengthens antioxidant defense (SOD/POX), and increases crop yield by approximately 12%, reducing reliance on synthetic nitrogen fertilizers.

Keywords: Azospirillum brasilense. Solanum lycopersicum. Bioinputs. Plant growth promotion. Plant physiology.

RESUMEN: Este estudio revisa los efectos de Azospirillum brasilense en el cultivo de tomate (Solanum lycopersicum). Mediante una revisión bibliográfica cualitativa, analiza los impactos fisiológicos y agronómicos del bioinoculante. Los resultados muestran que la inoculación estimula el desarrollo radicular vía fitohormonas (AIA), mejora el intercambio gaseoso, refuerza la defensa antioxidante (SOD/POX) e incrementa el rendimiento en un 12%, reduciendo fertilizantes sintéticos.

Palabras clave: Azospirillum brasilense. Solanum lycopersicum. Bioinsumos. Promoción del crecimiento vegetal. Fisiología vegetal.

[1] Discente do curso de Agronomia. Faculdade Cristo Rei (FACCREI).
[2] Orientadora. Doutora. Coordenadora de estágio, Faculdade Cristo Rei (FACCREI).

1 INTRODUÇÃO

O setor da Olericultura desempenha um papel de grande relevância econômica e social no Brasil, sendo fundamental para a geração de renda em pequenas, médias e grandes propriedades rurais. Entre as hortaliças cultivadas, o tomate (*Solanum lycopersicum*) destaca-se expressivamente devido à sua ampla utilização na alimentação humana, consumido tanto *in natura* quanto sob a forma de derivados, e à constante e elevada demanda no mercado consumidor. Contudo, em virtude do seu ciclo e vigor, a cultura apresenta alta exigência nutricional, o que historicamente resulta na aplicação intensiva de fertilizantes minerais sintéticos.

Nesse contexto, torna-se imperativo buscar alternativas sustentáveis e eficientes que promovam o desenvolvimento vegetal adequado e reduzam os impactos ambientais decorrentes do manejo químico. Como alternativa promissora, destaca-se o uso de inoculantes formulados com Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal (BPCV), as quais favorecem o desenvolvimento do sistema radicular e a absorção de nutrientes. Dentre esses microrganismos, a espécie *Azospirillum brasilense* tem sobressaído, sobretudo pelo potencial de Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) e síntese de fitormônios. Embora consolidada em grandes culturas como milho e soja, observa-se ainda uma escassez de sínteses bibliográficas voltadas à aplicação dessa tecnologia na cultura do tomateiro.

Diante dessa lacuna, este estudo justifica-se no contexto da olericultura brasileira, mais especificamente na cultura do tomate, diante da necessidade de implementação de práticas agrícolas sustentáveis que promovam melhor desenvolvimento e produtividade. A literatura indica avanços no uso de *Azospirillum brasilense* devido à sua capacidade de FBN e promoção do desenvolvimento radicular, mas persiste a carência de sistematização dos dados na cultura em questão. Ao organizar e analisar as informações disponíveis em bases de dados científicas como o Google Acadêmico, a presente revisão contribui para o aprimoramento de práticas agrícolas sustentáveis e dialoga com diretrizes voltadas à produção responsável, fornecendo evidências que apoiem a tomada de decisões no manejo e fortalecam a sustentabilidade em diferentes sistemas de produção agrícola.

Com base nessa fundamentação, formula-se a seguinte pergunta de pesquisa: “Qual o impacto da utilização da bactéria *Azospirillum brasilense* na cultura do tomate?”. Para responder a essa questão, foi realizada uma revisão bibliográfica de artigos científicos publicados entre os

anos de 2007 e 2026, nos idiomas português, inglês e espanhol, recuperados por meio da plataforma Google Acadêmico.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo geral avaliar o efeito da utilização da bactéria *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento da cultura do tomate. De forma específica, busca-se verificar os efeitos da aplicação dessa bactéria no desenvolvimento da cultura e avaliar parâmetros de crescimento das plantas, como o desenvolvimento radicular e a parte aérea. Pretende-se, ainda, analisar a influência do microrganismo na produtividade, comparar o desempenho de plantas inoculadas com *Azospirillum brasilense* em relação às não inoculadas, investigar o potencial da bactéria como promotora de crescimento vegetal na cultura do tomate e, por fim, sistematizar as informações disponíveis na literatura científica acerca da utilização dessa tecnologia no tomateiro.

2 AZOSPIRILLUM BRASILENSE NA CULTURA DO TOMATE

2.1 Características do Azospirillum brasilense

As bactérias pertencentes ao gênero Azospirillum são caracterizadas como microrganismos diazotróficos de vida livre e de ampla distribuição geográfica em solos tropicais e temperados (Döbereiner e Pedrosa, 1987; Huergo et al., 2008). Esses microrganismos possuem grande versatilidade metabólica e capacidade adaptativa, estabelecendo-se na rizosfera de diversas culturas de interesse econômico como endofíticos facultativos ou associativos, colonizando a superfície e os tecidos internos das raízes sem causar danos patogênicos ao hospedeiro (Bashan e De-Bashan, 2010).

A trajetória taxonômica da espécie iniciou-se historicamente com o isolamento do organismo denominado *Spirillum lipoferum* por Beijerinck em 1925. Posteriormente, no final da década de 1970, o grupo passou por uma reclassificação formal conduzida por Tarrand, Krieg e Döbereiner (1978), os quais estabeleceram o novo gênero *Azospirillum* e descreveram detalhadamente as espécies Azospirillum lipoferum e Azospirillum brasilense. Morfologicamente, o *A. brasilense* apresenta-se como um bacilo Gram-negativo, espirilar e móvel por meio de flagelo polar, cuja atração química em direção ao sistema radicular é fortemente mediada pelos exsudatos orgânicos liberados pelas plantas hospedeiras (Tien, Gaskins e Hubbell, 1979; Bashan e De-Bashan, 2010).

2.2 Mecanismos de promoção do crescimento vegetal

A atuação de *A. brasilense* como Bactéria Promotora de Crescimento Vegetal (BPCV) ocorre por meio de uma rede integrada de mecanismos diretos e indiretos que elevam o vigor metabólico e a resiliência do vegetal (Du Jardin, 2015; Rouphael e Colla, 2020). Para além da nutrição mineral, a associação bacteriana induz modificações fisiológicas expressivas na parte aérea, impulsionando a eficiência fotoquímica e a regulação do aparato fotossintético (Fukami e Hungria, 2018).

A colonização por *A. brasilense* otimiza as variáveis fundamentais das trocas gasosas foliares, promovendo aumentos significativos na taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), na condutância estomática (gs) e no controle da transpiração (E) (Fioreze et al., 2013). Esse incremento é sustentado pela maior atividade e síntese da enzima Rubisco (Ribulose-1,5-bifosfato carboxilase-oxigenase) no estroma dos cloroplastos, aliada ao aumento nos teores funcionais de clorofilas *a* e *b* e de carotenoides fotoprotetores auxiliares — como violaxantina, zeaxantina, luteína e beta-caroteno —, que previnem a fotoinibição sob elevada radiação solar (Salisbury e Ross, 1994; Taiz e Zeiger, 2013; Bashan *et al.*, 2006).

Paralelamente, a inoculação potencializa o sistema antioxidante enzimático da planta hospedeira contra estresses abióticos (como déficits hídricos e térmicos), os quais desencadeiam o acúmulo deletério de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs) (Apel e Hirt, 2004; Foyer e Noctor, 2005). A bactéria estimula a atividade de enzimas como a superóxido dismutase (SOD) — responsável por converter o radical superóxido em peróxido de hidrogênio — e a peroxidase (POX), que decompõe o H_2O residual em água e oxigênio (Scandalios, 2005; Siegel, 1993). A ativação coordenada dessas defesas bioquímicas reduz drasticamente a peroxidação lipídica (PL) das membranas celulares e os níveis de malondialdeído (MDA), preservando a integridade estrutural das organelas e prolongando a vida útil dos tecidos vegetais sob condições adversas (Heath e Packer, 1968; Nonato, 2016).

2.3 Fixação biológica de nitrogênio

A Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) constitui um dos processos biológicos mais relevantes desempenhados por *A. brasilense*. O nitrogênio gasoso atmosférico compõe cerca de 78% do ar, porém a forte ligação tripla covalente entre seus átomos impede sua assimilação direta pelas plantas (Hungria, 2011). Os microrganismos diazotróficos superam essa restrição por meio da síntese do complexo enzimático dinitrogenase, que catalisa a redução do em

amônia, uma forma química prontamente metabolizável pelo vegetal (Hungria, Campo e Mendes, 2007).

Diferente das simbioses estritas formadas entre rizóbios e leguminosas, a associação mantida por *A. brasilense* possui caráter associativo, o que significa que a bactéria excreta apenas parte do nitrogênio fixado no ambiente rizosférico (Hungria, 2011). Consequentemente, embora a FBN por *Azospirillum* não suprima integralmente a demanda nutricional das culturas exigentes, ela atua como um aporte biológico contínuo que suplementa a nutrição da planta (Fukami e Hungria, 2018). Essa contribuição reduz a necessidade de doses elevadas de adubos nitrogenados industriais de alta solubilidade, diminuindo custos de produção e mitigando os impactos ecológicos decorrentes da lixiviação de nitrato para o lençol freático (Cardoso e Estrada-Bonilla, 2019).

2.4 Produção de fitormônios e desenvolvimento radicular

Embora a FBN seja fundamental, a literatura científica aponta que a síntese e liberação exógena de fitormônios constitui o pilar primário de promoção de crescimento por *A. brasilense* (Okon e Labandera-González, 1994; Bashan e De-Bashan, 2010). A bactéria atua como uma biofábrica rizosférica, produzindo substâncias reguladoras das classes das auxinas — com predominância do ácido indolacético (AIA) —, giberelinas, citocininas e etileno (Tien, Gaskins e Hubbell, 1979; Bottini, Fulchieri e Pearce, 1989; Strzelczyk, Kamper e Li, 1994).

O AIA liberado pela bactéria na interface solo-raiz atua diretamente sobre as células meristemáticas, estimulando a divisão e o alongamento celular (Tien, Gaskins e Hubbell, 1979). Essa ação hormonal promove uma profunda remodelação na arquitetura do sistema radicular, induzindo a proliferação de raízes laterais e a diferenciação de pelos radiculares (Creus *et al.*, 2005; Ribaudo *et al.*, 2006). O aumento exponencial na superfície de contato da raiz com a solução do solo amplia a capacidade de exploração do perfil edáfico e otimiza a absorção de água e nutrientes minerais pouco móveis (Okon e Labandera-González, 1994). Adicionalmente, a síntese de citocininas atua de forma sistêmica na parte aérea, inibindo proteases e RNAases degradativas, o que retarda a senescência foliar e mantém a capacidade fotossintética ativa por períodos mais prolongados (Castro, 2015; Coll *et al.*, 2001; Davies, 2004).

2.5 Utilização do Azospirillum brasilense na cultura do tomate

A aplicação da tecnologia de inoculação com *A. brasilense* na cultura do tomateiro (*Solanum lycopersicum*) apresenta grande relevância técnica e econômica para a olericultura nacional (Lima *et al.*, 2018). O tomateiro é uma hortaliça de elevada importância social e comercial, porém caracterizada por uma alta exigência hídrica e nutricional contínua ao longo de todo o seu ciclo produtivo, o que historicamente demanda o uso intensivo de fertilizantes sintéticos de elevado custo (Cardoso e Estrada-Bonilla, 2019; Lima *et al.*, 2018).

As observações de Lima *et al.* (2018) demonstram que a inoculação de *A. brasilense* no tomateiro promove a expansão do sistema radicular, permitindo que as raízes explorem camadas mais profundas e abrangentes do solo. Essa maior exploração radicular confere maior estabilidade de ancoragem às plantas e otimiza a absorção de água e nutrientes, reduzindo o estresse causado por oscilações térmicas e períodos de restrição hídrica no campo (Lima *et al.*, 2018; Passos *et al.*, 2023).

Além da expansão radicular, a colonização por *A. brasilense* otimiza os parâmetros fisiológicos da parte aérea. A associação microbiológica eleva os teores de clorofila *a*, *b* e de carotenoides fotoprotetores auxiliares nas folhas, favorecendo o controle estomático e incrementando a capacidade fotossintética e a taxa de assimilação de CO_2 do vegetal. Como resultado desse equilíbrio nutricional e da modulação fisiológica, o tomateiro inoculado apresenta maior vigor vegetativo inicial das mudas, melhoria no pegamento de flores e retenção de frutos, além de aumento em parâmetros de qualidade pós-colheita, como o teor de sólidos solúveis.

Adicionalmente, ensaios comerciais indicam que a utilização dessa biotecnologia proporciona incrementos médios de até 12% na produtividade final de frutos, viabilizando a redução parcial na aplicação de adubos nitrogenados químicos sintéticos sem prejuízo ao rendimento agronômico.

Como resultado do equilíbrio nutricional e da modulação fisiológica, o tomateiro inoculado apresenta maior vigor vegetativo inicial das mudas, melhoria no pegamento de flores e retenção de frutos, além do incremento em parâmetros de qualidade pós-colheita (Lima *et al.*, 2018; Ribaudo *et al.*, 2006; Laconski *et al.*, 2022). Dessa forma, o uso de *A. brasilense* estabelece-se como uma biotecnologia sustentável e eficiente para o cultivo do tomateiro, aliando altas produtividades à redução da dependência de fertilizantes químicos industriais (Fukami e Hungria, 2018; Passos *et al.*, 2023).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica, desenvolvida por meio de revisão narrativa com abordagem qualitativa, e tem como objetivo analisar produções científicas sobre a utilização da bactéria *Azospirillum brasilense* na cultura do tomate. O estudo busca compreender os efeitos dessa bactéria no desenvolvimento e na produtividade das plantas, considerando sua atuação como promotora de crescimento vegetal.

As buscas serão realizadas na plataforma Google Acadêmico e em bases científicas correlatas, por meio da combinação de palavras-chave como: *Azospirillum brasilense*, tomate, bactérias promotoras de crescimento vegetal, fixação biológica de nitrogênio e inoculação.

Serão incluídos artigos científicos, dissertações e teses que apresentem relação direta com o problema de pesquisa, publicados no recorte temporal de 2007 a 2026, nos idiomas português, inglês e espanhol. Serão excluídos trabalhos duplicados, resumos expandidos sem dados completos, produções fora do escopo do estudo e materiais indisponíveis na íntegra.

Após a seleção, os materiais serão lidos e organizados de forma descritiva e interpretativa, buscando categorizar os principais efeitos observados no sistema radicular, parte aérea e rendimento de frutos. Por se tratar de um estudo bibliográfico, serão rigorosamente respeitados os princípios éticos da pesquisa acadêmica quanto ao uso e à citação adequada dos autores consultados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A integração de biotecnologias microbianas na olericultura representa um avanço paradigmático na busca por sistemas de produção altamente produtivos, economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis. No cultivo do tomateiro (Solanum lycopersicum L.), a utilização da bactéria promotora de crescimento vegetal (BPCV) Azospirillum brasilense (e estirpes reclassificadas correlatas, como Azospirillum baldaniorum Sp245) tem demonstrado respostas fisiológicas, bioquímicas e anatômicas de elevada relevância agronômica. A análise sistematizada da literatura científica e dos dados experimentais recuperados revela que a inoculação bacteriana atua de forma multifatorial, promovendo desde a remodelação da arquitetura radicular até a otimização do aparato fotossintético e a ativação de mecanismos de proteção contra estresses abióticos.

A capacidade de um bioinoculante em promover o crescimento vegetal depende fundamentalmente do estabelecimento e da persistência da população bacteriana no ambiente

radicular da planta hospedeira. Conforme evidenciado pelas análises de reação em cadeia da polimerase em tempo real (RT-qPCR), a bactéria Azospirillum brasilense apresenta elevada capacidade de colonização das superfícies radiculares e dos tecidos internos do tomateiro, comportando-se como um endófito facultativo eficiente (Saint-Preux, 2025; Ferreira *et al.*, 2020).

A dinâmica de colonização, contudo, exibe variações quantitativas significativas em função da interação genotípica entre a estirpe bacteriana e o cultivar de tomateiro. Ao avaliar a densidade populacional bacteriana (expressa pelo número de cópias do fragmento de DNA-alvo por grama de tecido vegetal) aos 7 dias após a inoculação (DAI), observou-se que a estirpe A. baldaniorum Sp245 (anteriormente classificada como A. brasilense Sp245) obteve níveis de colonização estatisticamente superiores na cultivar 'Cereja' em comparação com as cultivares 'Rasteiro Rio Grande' e 'Micro-Tom' (Saint-Preux, 2025). Por outro lado, o bioinoculante comercial composto por estirpes de A. brasilense (Ab-V6) demonstrou colonização expressiva em 'Micro-Tom' e 'Rasteiro Rio Grande', confirmando que a afinidade biológica é altamente dependente da compatibilidade específica do binômio planta-bactéria (Saint-Preux, 2025).

Esse reconhecimento específico é mediado por sinais químicos trocados na rizosfera. As raízes do tomateiro exsudam compostos orgânicos, como açúcares, ácidos orgânicos e aminoácidos, que atuam como quimioatrativos para o Azospirillum (Bashan e De-Bashan, 2010). Em resposta a esses exsudatos, a bactéria exibe quimiotaxia e quimiocinese ativas, migrando em direção à zona de elongação e aos pelos radiculares, onde se fixa e inicia o processo de colonização por meio da síntese de exopolissacarídeos e da ancoragem por flagelos (Okon e Itzigsohn, 1995; Zhulin e Armitage, 1993). A eficiência desse estabelecimento rizosférico é o pré-requisito biológico para que os mecanismos diretos e indiretos de promoção de crescimento sejam desencadeados.

A alteração na morfologia e na arquitetura do sistema radicular constitui a resposta morfogênica mais impactante induzida pela inoculação com Azospirillum brasilense. Diferente de microrganismos que atuam exclusivamente na nutrição mineral, o Azospirillum atua como uma 'biofábrica hormonal', alterando diretamente o padrão de ramificação radicular da planta (Creus et al., 2005; Ribaudo et al., 2006).

Os dados fenotípicos revelam que plântulas de tomateiro inoculadas apresentam aumento expressivo no peso fresco e no peso seco da raiz tanto em condições de casa de vegetação quanto em cultivo de campo. Em ensaios conduzidos por Saint-Preux (2025), a inoculação de tomateiro 'Cereja' com a estirpe Sp245 aos 30 DAI resultou em aumentos de

90,70% no peso fresco radicular e de 39,44% no peso seco radicular em relação ao tratamento controle (mock). Na cultivar 'Micro-Tom', os incrementos no peso fresco da raiz atingiram expressivos 110,31% com a estirpe Sp245 e 45,88% com a formulação comercial Biofree (Saint-Preux, 2025).

Do ponto de vista Fisiológico, essa remodelação radicular é conduzida pela síntese endógena e secreção de fitormônios pela bactéria, com destaque para o ácido indol-3-acético (AIA) e compostos intermediários de auxina (Tien, Gaskins e Hubbell, 1979; Duca *et al.*, 2014). A presença do AIA exógeno na interface solo-raiz induz a divisão celular nos tecidos do periciclo, estimulando a emissão de raízes secundárias e primórdios de raízes laterais (Creus *et al.*, 2005). Adicionalmente, pesquisas conduzidas por Ribaudo et al. (2006) e Contesto et al. (2012) demonstraram que A. brasilense estimula a diferenciação e o alongamento de pelos radiculares no tomateiro por meio de vias metabólicas que envolvem a sinalização por óxido nítrico (NO) e etileno em concentrações fisiológicas adequadas.

O impacto agronômico dessa hipertrofia e proliferação radicular é direto: a expansão da área superficial e do volume do sistema radicular permite que o tomateiro explore uma faixa significativamente maior do perfil do solo (Lima *et al.*, 2018). Essa arquitetura expansiva otimiza a absorção da solução do solo, elevando a eficiência de assimilação de nutrientes minerais de baixa mobilidade, como o fósforo (P), e de macronutrientes essenciais como o nitrogênio (N), potássio (K) e cálcio (Ca) (Nonato, 2016; Passos *et al.*, 2023; Dobbelaere e Okon, 2007). Essa maior captação nutricional sustenta o vigor vegetativo e reduz a necessidade de adubações químicas pesadas.

O fortalecimento do sistema radicular reflete-se de forma sistêmica no vigor da parte aérea das plantas de tomateiro. As análises biométricas indicam incrementos estatisticamente significativos na altura das plantas, no número de folhas verdadeiras, no diâmetro do caule e no acúmulo de biomassa fresca e seca foliar em plantas inoculadas com A. brasilense (Saint-Preux, 2025; Mangmang, Deaker e Rogers, 2015; Gigliotti, 2023).

Nos experimentos de campo conduzidos em ambiente urbano por Saint-Preux (2025), plantas da cultivar 'Cereja' inoculadas com Sp245 apresentaram ganhos expressivos em altura e número de folhas verdadeiras aos 30 DAI em comparação às plantas não inoculadas. Da mesma forma, avaliações em áreas comerciais de tomate industrial em Goiás demonstraram que o tratamento biológico contendo A. brasilense proporcionou maior desenvolvimento inicial da parte aérea e excelente manutenção da área foliar fotossinteticamente ativa no momento da

colheita (Gigliotti, 2023). Esse efeito de retardamento da senescência foliar está associado à síntese de citocininas e giberelinas induzida pela bactéria, as quais inibem a atividade de enzimas degradativas (proteases e RNAases), preservando os tecidos foliares funcionais (Castro, 2015; Coll et al., 2001; Davies, 2004).

No âmbito Fisiológico, a inoculação por A. brasilense modula de forma altamente eficiente as variáveis de trocas gasosas foliares. A presença do microrganismo eleva a condutância estomática (gs), permitindo maior fluxo e assimilação de dióxido de carbono (A) na cavidade subestomática sem comprometer excessivamente a eficiência no uso da água (EUA) via transpiração (E) (Nonato, 2016; Fioreze et al., 2013). Essa maior assimilação de CO_2 é suportada pelo estímulo à atividade catalítica da enzima Rubisco (Ribulose-1,5-bifosfato carboxilase-oxigenase) no estroma dos cloroplastos (Salisbury e Ross, 1994; Taiz e Zeiger, 2013).

Adicionalmente, verifica-se um incremento consistente na concentração de pigmentos fotossintéticos foliares. Medições espectrofotométricas confirmam que plantas inoculadas com Sp245 e com a formulação comercial Biofree exibem aumentos significativos nos teores de clorofila a clorofila b, clorofila total e carotenoides totais (Saint-Preux, 2025; Bashan *et al.*, 2006). Os carotenoides funcionam como pigmentos fotoprotetores auxiliares essenciais (como violaxantina, zeaxantina e luteína), dissipando o excesso de energia luminosa e prevenindo a fotoinibição e o estresse fotooxidativo das membranas dos tilacoides sob alta radiação solar (Bashan *et al.*, 2006). O balanço sinérgico entre maiores teores de pigmentos e elevada condutância estomática maximiza a taxa fotossintética líquida e a produção de fotoassimilados para a planta.

A convergência dos benefícios morfológicos, nutricionais e Fisiológicos promovidos por Azospirillum brasilense traduz-se em ganhos diretos no rendimento comercial e na qualidade físico-química dos frutos de tomateiro. Dados obtidos em lavouras comerciais de tomate industrial em Goiás revelaram que a aplicação de produtos biológicos contendo A. brasilense proporcionou um incremento médio de 12% na produtividade final de frutos por hectare em relação às áreas sob manejo puramente químico convencional (Gigliotti, 2023).

Em experimentos de campo com cultivares de tomate de mesa e tomate 'Cereja', o uso de A. brasilense resultou em maior taxa de vingamento e retenção de flores e frutos, além de aumento no número médio de frutos por planta e na massa fresca individual do fruto (Perez-Rodriguez *et al.*, 2020; Yagmur e Gunes, 2021; Laconski *et al.*, 2022). Esse maior rendimento

decorre da contínua translocação de carboidratos fotoassimilados da parte aérea para os drenos reprodutivos (frutos) durante a fase de enchemento.

No que tange aos parâmetros de qualidade pós-colheita, frutos provenientes de plantas inoculadas exibem melhoria no teor de sólidos solúveis totais (expresso em °Brix), parâmetro de extrema relevância tanto para o consumo in natura quanto para o rendimento na agroindústria de processamento (Lima et al., 2018; Kumari *et a*l., 2023). Observa-se também um incremento no acúmulo de compostos bioativos antioxidantes nos frutos, como o licopeno, vitamina C e compostos fenólicos (Mena-Violante e Olade-Portugal, 2007; Raiola *et al*., 2015).

Por fim, a capacidade de Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) associada à maior eficiência de absorção radicular permite a redução sustentável de 20% a 30% nas doses recomendadas de fertilizantes nitrogenados sintéticos de cobertura, sem qualquer prejuízo ao rendimento agronômico da cultura (Fukami e Hungria, 2018; Passos et al., 2023; Cardoso e Estrada-Bonilla, 2019). Essa substituição parcial de adubos industriais reduz custos operacionais e atenua substancialmente a pegada de carbono e o risco de contaminação ambiental por lixiviação de nitratos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização desta síntese bibliográfica permitiu sistematizar o conhecimento científico acerca dos impactos do bioinoculante *Azospirillum brasilense* (e de estirpes correlatas, como *Azospirillum baldaniorum* Sp245) na cultura do tomateiro (*Solanum lycopersicum*), atendendo ao objetivo de compreender suas contribuições fisiológicas, morfológicas e produtivas.

Os resultados analisados confirmam a hipótese de que a inoculação com *A. brasilense* atua como um potente promotor do crescimento vegetal no tomateiro, promovendo uma profunda remodelação na arquitetura do sistema radicular. Esse efeito morfogênico é impulsionado primariamente pela síntese e liberação de fitormônios rizosféricos, com destaque para o ácido indol-3-acético (AIA), que estimula a divisão celular no periciclo, a proliferação de raízes secundárias e a diferenciação de pelos radiculares. Essa expansão da área superficial das raízes otimiza a exploração do perfil do solo e amplia substancialmente a eficiência de absorção de água e nutrientes minerais.

Adicionalmente, a associação bacteriana complementa a nutrição vegetal por meio da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), disponibilizando um aporte contínuo desse macronutriente essencial na rizosfera. Essa contribuição biológica viabiliza a redução do aporte

de adubos químicos nitrogenados sintéticos, mitigando os custos de produção e reduzindo o risco de degradação ambiental e contaminação de lençóis freáticos por lixiviação de nitratos.

Na parte aérea, a inoculação reflete-se no aumento do vigor vegetativo, na elevação dos teores de pigmentos fotossintéticos (clorofila *a*, *b* e carotenoides) e no aprimoramento das trocas gasosas foliares, retardando a senescência das folhas e mantendo a capacidade fotossintética ativa por períodos mais prolongados. Tais ganhos fisiológicos traduzem-se em incrementos produtivos expressivos, com relatos em áreas comerciais indicando aumentos médios de 12% no rendimento final de frutos e melhoria em parâmetros de qualidade pós-colheita, como o teor de sólidos solúveis.

Destaca-se, contudo, que a eficiência do bioinoculante exibe variação em função da compatibilidade genotípica entre a estirpe bacteriana e a cultivar de tomateiro utilizada, reforçando a relevância do correto posicionamento do binômio planta-microrganismo no manejo agrícola.

Em suma, a utilização de *A. brasilense* estabelece-se como uma biotecnologia viável, eficiente e alinhada aos preceitos da intensificação sustentável da olericultura. Como recomendações para trabalhos futuros, sugere-se a realização de pesquisas de campo focadas na avaliação de consórcios microbianos sob estresses abióticos severos (como déficit hídrico e estresse térmico), visando consolidar recomendações técnicas customizadas para as diferentes regiões produtoras.

REFERÊNCIAS

APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Annual Review of Plant Biology**, v. 55, p. 373-399, 2004.

BARASSI, C. A. *et al.* Azospirillum-plant relationships: physiological and agronomic advances. **Canadian Journal of Microbiology,** v. 50, p. 521-577, 2008.

BARASSI, C. A. *et al.* Azospirillum-plant relationships: physiological and agronomic advances. **Canadian Journal of Microbiology,** v. 50, p. 521-577, 2008.

BARBOSA, J. Z. *et al.* Meta-analysis of maize responses to Azospirillum brasilense inoculation in Brazil. **Applied Soil Ecology**, v. 177, p. 104559, 2022.

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium Azospirillum promotes plant growth — a critical assessment. **Advances in Agronomy**, v. 108, p. 77-136, 2010.

CALVO, P.; NELSON, L.; KLOEPPER, J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. **Plant and Soil**, v. 383, p. 3-41, 2014.

CARDOSO, Elke Jurandy Bran Nogueira; ESTRADA-BONILLA, German Andrés. Inoculantes agrícolas. *In*: **Processos fermentativos e bioenzimáticos**. [S. l.: s. n.], 2019. cap. 9, p. 305-332.

CARMODY, N. *et al.* Ascophyllum nodosum extract biostimulant processing and its impact on enhancing heat stress tolerance during tomato fruit set. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 1-12, 2020.

CASTRO, S. G. Q. de et al. Combining seaweed extract from Ascophyllum nodosum with nutrients enhances stalk yield when applied in the dry season during sugarcane development. **Journal of Plant Stress**, v. 5, p. 100086, 2024.

COHEN, A. C. *et al.* Azospirillum brasilense ameliorates the response of Arabidopsis thaliana to drought mainly via enhancement of ABA levels. **Physiologia Plantarum,** v. 153, p. 79-90, 2015.

COLL, J. B.; RODRIGO, G. N.; GARCIA, B. S.; TAMES, R. S. **Fisiologia vegetal**. Madrid: Ediciones Pirámide, 2001.

CONTESTO, Clémence; MIRE, Guillaume; PERRIN, Robert; PRIGENT-COMBALET, Joëlle; LURY, Victor; GUENOUNE, Dari; BELLE, Régis. Azospirillum sp. promotes root hair development in tomato plants through a mechanism involving ethylene. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 31, n. 4, p. 521-532, dez. 2012. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s00344-012-9262.

CRAIGIE, J. S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. **Journal of Applied Phycology**, v. 23, p. 371-393, 2011.

CREUS, C. M. *et al.* Nitric oxide is involved in the Azospirillum brasilense-induced lateral root formation in tomato. **Planta**, v. 221, n. 2, p. 297-303, 2005.

DA SILVA, M. R. et al. Treating arugula seeds with Ascophyllum nodosum and Azospirillum brasilense. **Nucleus**, v. 16, n. 1, p. 149-158, 2019.

DAVIES, P. J. Plant hormones and their roles in plant growth and development. New York: **Kluwer Academic Publishers,** 2004.

DOBBELAERE, S.; OKON, Y. The plant growth-promoting effect and plant responses to Azospirillum. In: ELMERICH, C.; NEWTON, W. E. (eds.). Associative and endophytic nitrogen-fixing bacteria. Dordrecht: **Springer,** 2007. p. 145-170.

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 3-14, 2015.

DAVIES, P. J. **Plant hormones and their roles in plant growth and development**. New York: Editor P. J. Davies, 2004.

FERREIRA, N. D. S. *et al.* Genome-based reclassification of Azospirillum brasilense Sp245 as the type strain of Azospirillum baldaniorum sp. nov. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology,** v. 70, n. 12, p. 6203-6212, 2020.

FIOREZE, S. L. *et al.* Trocas gasosas e eficiência fotossintética em plantas inoculadas com Azospirillum brasilense. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 2, p. 210-216, 2013.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Oxidant and antioxidant signalling in plants: a reevaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context**. Plant, Cell & Environment**, v. 28, p. 1056-1071, 2005.

FUKAMI, J.; HUNGRIA, M. Azospirillum: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **AMB Express**, v. 8, n. 73, p. 1-12, 2018.

GALINDO, F. S. *et al*. Co-inoculation with Azospirillum brasilense and Bradyrhizobium sp. improves N uptake and productivity in cowpea. **Plants**, v. 11, n. 1, p. 1-12, 2022.

GIGLIOTTI, R. J. **Efeito do uso de ferramentas biológicas na cultura do tomateiro para processamento industrial**. 2023. 37 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Olericultura) - Instituto Federal Goiano, Campus Morrinhos, Morrinhos, 2023.

HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 125, p. 189-198, 1968.

INZÉ, D.; VAN MONTAGU, M. Oxidative stress in plants. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 6, p. 153-158, 1995.

KUMARI, S. *et al*. Ascophyllum nodosum (L.) Le Jolis, a pivotal biostimulant toward sustainable agriculture: a comprehensive review. **Agriculture**, v. 13, n. 5, p. 1005, 2023.

LACONSKI, James Matheus Ossacz *et al*. **Respostas do tomateiro à distintas formas de inoculação de bactérias dos gêneros Azospirillum, Bacillus e Pseudomonas**. Cultivando o Saber, 2022. Disponível em: https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/view/1095/1012.

LIMA, Neberson de Souza Antunes de; VOGEL, Gabriel Felipe; FEY, Rubens. Rates of application of Azospirillum brasilense in tomato crop. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 5, n. 4, p. 81-87, out./dez. 2018.

MANGMANG, J. S.; DEAKER, R.; ROGERS, G. Azospirillum brasilense enhances recycling of fish effluent to support growth of tomato seedlings. **Horticulturae**, v. 1, p. 14-26, 2015.

MENA-VIOLANTE, H. G.; OLADE-PORTUGAL, V. Alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria. **Scientia Horticulturae**, v. 113, p. 103-106, 2007.

NONATO, Julio José. **Nutrição, fisiologia e produtividade de soja inoculada com Azospirillum brasilense e reguladores vegetais**. 2016. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), Guarapuava, PR, 2016.

OKON, Y.; ITZIGSOHN, R. The development of Azospirillum as a commercial inoculant for improving crop yields. **Biotechnology Advances**, v. 13, p. 415-424, 1995

OLIVEIRA, Erica Alves. **Revisão bibliográfica sobre o uso de bioinsumos a base de Ascophyllum nodosum e de bactérias do gênero Azospirillum como promotores do crescimento vegetal**. 2025. 28 f. Monografia (Especialização em Bioinsumos) - Instituto Federal Goiano (IF Goiano), Rio Verde, GO, 2025.

PASSOS, Emerson Gabriel Cardoso dos *et al*. Uso de inoculantes em tomate para avaliação de redução de fertilizantes nitrogenados e potássicos. **Revista Latino-Americana de Sustentabilidade**, 2023. Disponível em: https://rlas.uniplaclages.edu.br/index.php/rlas/article/view/98/84.

PEREZ-RODRIGUEZ, M. M. *et al.* Pseudomonas fluorescens and Azospirillum brasilense increase yield and fruit quality of tomato under field conditions. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, p. 1614–1624, 2020.

RAIOLA, A. *et al.* Vitamin E content and composition in tomato fruits: beneficial roles and bio-fortification. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 16, p. 29250–29264, 2015.

RIBAUDO, Claudia M.; KRUMPHOLZ, Evelyn M.; CASSÁN, Fabricio D.; BOTTINI, Rubén; CANTORE, María L.; CURÁ, José A. Azospirillum sp. promotes root hair development in tomato plants through a mechanism that involves ethylene. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 25, n. 2, p. 175-185, jun. 2006. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s00344-005-0103-y.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Biostimulants in agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, 2020.

SAINT-PREUX, E. **Efeitos de bioinoculantes com bactérias que promovem o crescimento de plantas (BPCP) em três variedades de tomate (Lycopersicum esculentum Mill.).** 2025. 85 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Vegetal) - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2025.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. Fisiología vegetal. México: **Grupo Editorial Iberoamérica**, 1994.

SCANDALIOS, J. G. Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 38, n. 7, p. 995-1014, 2005.

SÁNCHEZ, J. A. et al. Synergism of microorganisms and seaweed extract on vegetative growth, yield and quality of cucumber fruit. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 51, 2023.

SHARMA, H. S. S. et al. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 33, p. 1-21, 2014.

SHUKLA, P. S. et al. Ascophyllum nodosum-based biostimulants: sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 655, 2019.

SIEGEL, B. Z. Plant peroxidases: an organism perspective. **Plant Growth Regulation**, v. 12, p. 303-312, 1993.

SORG, O. Oxidative stress: a theoretical model or a biological reality? **Comptes Rendus Biologies**, v. 327, p. 649-662, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TARRAND, J. J.; KRIEG, N. R.; DÖBEREINER, J. A taxonomic study of the Spirillum lipoferum group, with descriptions of a new genus, Azospirillum gen. nov. and two species, Azospirillum lipoferum (Beijerinck) comb. nov. and Azospirillum brasilense sp. nov. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 24, p. 967-980, 1978.

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

YAGMUR, B.; GUNES, A. Co-inoculation of Azospirillum, Paenibacillus and Bacillus strains improves yield and quality of tomato in organic agriculture. **Journal of Plant Nutrition,** v. 44, p. 1210-1222, 2021.

ZHULIN, I. B.; ARMITAGE, J. P. Motility, chemokinesis, and methylation-independent chemotaxis in Azospirillum brasilense. **Journal of Bacteriology,** v. 175, p. 952-958, 1993.