



Mecanismos de promoção de crescimento vegetal por bactérias endofíticas

Mechanisms to promote vegetal growth by endophyte bacteria

Andresa Paula da Silva^{1*}, Manuella Nóbrega Dourado²

*Autor correspondente: Andresa Paula da Silva – E-mail: andresapaula.engbio@gmail.com

RESUMO

A redução do uso de defensivos e fertilizantes em sistemas produtivos é chave para uma agricultura mais sustentável, com menor impacto ambiental, maior lucro econômico e bem-estar social. Um sistema sustentável de produção de alimentos busca a implementação de práticas agrícolas capazes de aumentar, proteger, recuperar e conservar os serviços ecossistêmicos. Dessa forma, o uso de produtos biológicos, incluindo tanto o uso de inoculantes, bem como biodefensivos, visando o controle biológico (CB), é uma estratégia de grande importância. As bactérias promotoras de crescimento promovem inúmeros benefícios às culturas agrícolas, aumento da disponibilidade de nutrientes, da produção de hormônios de crescimento vegetal, da indução de resistência sistêmica ou controle direto de pragas e patógenos específicos, acarretando um incremento do crescimento vegetal, consequentemente um aumento da produtividade. Assim, essa revisão tem como objetivo abordar os diferentes mecanismos de ação utilizados na interação bactéria-planta hospedeira.

PALAVRAS-CHAVE: Bactérias endofíticas; Produção agrícola sustentável; Promoção de crescimento vegetal.

ABSTRACT

Decrease in pesticides and agrochemicals has a key role for more sustainable agriculture, with lower environmental impact, greater profit and social well-being. A sustainable system of food production is the result of agricultural practices capable of increasing, protecting, recovering and conserving ecosystem services. The employment of biological products, including inoculants and biodefense products for biological control (BC), is a very relevant strategy. Growth-promoting bacteria have numberless benefits to agriculture, increase in nutrient availability, reduction of hormones of vegetal growth, induction of systemic resistance or direct pest and pathogen control, bringing about an increase in vegetal growth and productivity. Current paper aims at discussing different mechanisms employed between bacteria and the host plant.

KEYWORDS: Endophyte bacteria; Promotion of vegetal growth; Sustainable agricultural product.

INTRODUÇÃO

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) nos trazem a importância de produzir soluções alternativas e sustentáveis para combater as adversidades ambientais e econômicas do mundo. Dentro desses ODS, a agricultura é uma das atividades produtivas e

econômicas mais importantes, podendo combater a fome e com os diferentes modelos de produção promover melhorias no meio ambiente, seja na redução de resíduos ou no aumento de produção. Atualmente, se buscam alternativas de modelos produtivos visando minimizar os possíveis danos causados por defensivos e excesso de fertilizantes.

¹ Bacharel em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia e mestranda no Programa Pós-Graduação de Processos Tecnológicos e Ambientais na Universidade de Sorocaba – UNISO, Sorocaba (SP), Brasil.

² Doutorado no Programa Internacional em Biologia Celular e Molecular Vegetal, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, Brasil e Ohio State University. Programa Pós-Graduação de Processos Tecnológicos e Ambientais, Universidade de Sorocaba – UNISO, Sorocaba (SP), Brasil.

O uso de produtos biológicos, incluindo o uso inoculante e controle biológico (CB), tem aumentado e está ganhando grande importância na agricultura. O registro de novos produtos com novos agentes biológicos tem aumentado 15% ao ano (PARRA, 2019). O Brasil é um dos maiores produtores de produtos biológicos, em 2019 o mercado brasileiro alcançou 500 milhões de reais chegando a 800 milhões até o ano de 2020. Mundialmente, estima-se um mercado de mais de 5 bilhões de dólares, crescendo exponencialmente 9% ao ano (PARRA, 2019), demonstrando, assim, o potencial de mercado para esses produtos.

Segundo Oliveira-Filho *et al.* (2004), os produtos para CB são classificados em dois tipos: produtos químicos, sendo bioquímicos (hormônios e enzimas) ou semioquímicos (feromônios e aleloquímicos), e produtos biológicos (uso de micro e macro organismos vivos capazes de controlar pragas e doenças). Na presente revisão foca-se apenas nos mecanismos de interação com a planta das bactérias promotoras de crescimento vegetal e suas formas de inoculações.

A presente revisão bibliográfica tem como objetivo enumerar e descrever os mecanismos de interação entre bactérias benéficas e planta hospedeira, assim como discutir formas de aplicação desses micro-organismos.

1.1 BACTÉRIAS ENDOFÍTICAS (BE)

Nas culturas agrícolas há uma diversidade de bactérias e outros micro-organismos habitando o interior e a superfície da planta, organismos estes que podem

beneficiar ou prejudicar o hospedeiro vegetal. Bactérias classificadas como endofíticas habitam o interior da planta e são caracterizadas por não serem patogênicas. Como resultado dessa interação bactéria-planta há a produção de hormônios vegetais, o aumento da disponibilidade de nutrientes (fixação do nitrogênio atmosférico) e da biomassa vegetal, assim como o aumento da resistência a patógenos (OLIVEIRA *et al.*, 2003).

As BE induzem a ativação de genes que levam à promoção do crescimento vegetal. Essas bactérias apresentam uma menor competitividade com outros micro-organismos, já que poucos micro-organismos são capazes de entrar e colonizar o interior da planta. Além disso essas bactérias fornecem à planta uma proteção de fator biótico e abióticos, reduzindo a influência dos fatores ambientais em seu desenvolvimento, promovendo o crescimento vegetal em condições de estresse (OLIVEIRA *et al.*, 2003).

Os micro-organismos endofíticos podem ser utilizados como produtos biológicos comerciais, podendo ser isolados do interior da planta, multiplicados em larga escala, e comercializados visando o incremento da produção agrícola de forma mais sustentável. No Brasil, os produtos comerciais pioneiros foram bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* que são comumente utilizados via inoculação da semente para a nodulação de leguminosa e fixação do nitrogênio atmosférico. Gramíneas também podem ser inoculadas com uma bactéria de vida livre: *Nitrospirillum*, capaz de fixar o nitrogênio atmosférico. No entanto tem surgido outros gêneros bacterianos que fornecem nutrientes para as plantas: a

Pseudomonas spp., por exemplo, é um excelente promotor de crescimento vegetal, pois produz pioverdina, um sideróforo capaz de quelar o ferro e fornecer para a planta. Outros gêneros bacterianos como *Bacillus* também vêm sendo bastante estudadas e comercializadas, visando tanto o controle biológico, como a promoção de crescimento vegetal. Outro exemplo é a BE *Streptomyces kasugaensis*, patenteada como um excelente recurso para o controle de doenças fúngicas, principalmente a brusone de arroz (doença causada pelo fungo *Pyricularia grisea* que causa um branqueamento em sua infecção), podendo ter uma resposta eficiente em mais de 50 culturas agrícolas diferentes (FONTES; VALADARES–INGLIS, 2020).

Atualmente, a busca por diferentes métodos de inoculação dessas bactérias endofíticas vem crescendo exponencialmente. O uso bem sucedido de BE para o crescimento vegetal ou para interações de biocontrole devem ser analisadas a partir de diferentes interações com a planta, e podem ser realizadas com uma única bactéria ou em co–

inoculação com diferentes cepas de microorganismos. Cada produto, dependendo do propósito, é aplicado em diferentes estágios de desenvolvimento e diferentes tecidos da planta (LOPES *et al.*, 2021a).

2 MÉTODOS DE INOCULAÇÃO

A interação bactéria–planta e o efeito resultante dessa interação são diretamente influenciados pelo método de aplicação utilizada, e para escolher a metodologia adequada para cada condição, é necessário conhecer as características fenotípicas, fisiológicas e metabólicas da planta e do inoculante. Cada interação é específica, uma bactéria que induz o crescimento em uma determinada espécie de planta não necessariamente tem efeitos similares em outras espécies vegetais (LOPES *et al.*, 2021a). As técnicas mais utilizadas de inoculação são: tratamento de sementes, aplicação na raiz, aplicação no solo (sulco de plantio) e aplicação foliar, como demonstrado na Figura 1.



Figura 1. Diferentes métodos de inoculação de BE em plantas

Atualmente a técnica mais utilizada é o tratamento diretamente nas sementes, através da submersão delas em meios líquidos, com a finalidade de se obter uma resposta inicial através da aceleração da germinação. Quando as bactérias se fixam nas sementes, são capazes de realizar diversos processos de promoção de crescimento, podem estar presentes até o desenvolvimento de suas raízes (LOPES *et al.*, 2021a). Em alface a aplicação de *Pseudomonas fluorescens* e *Burkholderia pyrrocinia* aumentou a área foliar, radicular e a produtividade da cultura, já o uso de *Bacillus pumilus* na mesma cultura proporcionou o aumento da produtividade e promoveu a melhora da qualidade da semente (CARDOSO *et al.*, 2019; BERNARDINO *et al.*, 2018).

A inoculação na raiz pode servir para mudas que de alguma forma serão replantadas e necessitam de um tratamento prévio de fortalecimento ou de controle por infecção radicular que afetam a planta durante o seu replantio. Segundo Lopes *et al.* (2021b), as vantagens da utilização desse método é a propagação do crescimento em plantas assexuadas de forma padronizada. Segundo Oliveira *et al.* (2020), foram retiradas bactérias de amostras de raízes de pimenta-do-reino, plaqueadas e inoculadas novamente nas raízes de mudas de pimenta-do-reino por meio de imersão, esse processo resultou aumento acelerado além do aumento da sua biomassa (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

A aplicação das bactérias promotoras do crescimento (BPCV) no solo ocorre por meio da irrigação, porém a desvantagem é que quando aplicadas em solo, a mobilidade da BE é baixa, pois pode ficar adsorvida à matéria

orgânica ou argila do solo ou competir com os micro-organismos do solo, sendo assim, quanto mais próxima a aplicação for da raiz da planta, melhor será a sua eficiência de colonização da planta e conseqüentemente obteremos melhores resultados no crescimento vegetal (LOPES *et al.*, 2021a). *Pseudomonas fluorescens* e *Burkholderia pyrrocinia* aplicadas em braquiárias no solo resultaram maior crescimento e tolerância ao sombreamento (LOPES *et al.*, 2021c).

E, por fim, com a finalidade de se induzir a frutificação e o aumento da massa foliar, pode-se aplicar através da pulverização diretamente nas folhas, mesmo bactérias que inicialmente são recomendadas a aplicação no solo ou sulco de plantio, podem ser aplicadas nas folhas. Como exemplo, a aplicação de *Nitrospirillum brasilense* diretamente nas folhas do milho promovendo o incremento de sua produtividade (GALINDO *et al.*, 2020) e quando aplicados nas folhas de soja pode-se obter o aumento de sua área foliar (PUENTE *et al.*, 2018).

3 MECANISMOS DE AÇÃO

As bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCV) apresentam diferentes mecanismos de ação, podem atuar de diferentes formas, sendo classificadas como bioestimuladores, biofertilizantes ou como agentes de biocontrole (LOPES *et al.*, 2021a).

3.1 BIOESTIMULANTES

Os Bioestimulantes são conhecidos por modular a síntese de hormônios e ativar as

reações fisiológicas da planta e adequando-as para diversas condições ambientais, dentre elas o crescimento vegetal. Nos mecanismos de produção de fitormônios, a produção de auxina – em especial AIA (ácido-indol-acético) – produzida por plantas e bactérias, exerce um papel essencial no desenvolvimento da planta, pois é responsável por controlar processos fisiológicos, incluindo crescimento e divisão celular, diferenciação de tecidos e resposta à luz (PAPONOV *et al.*, 2005). A Citocinina é outro fitormônio produzido por bactérias endofíticas que promovem o crescimento vegetal, esse hormônio é capaz de promover a divisão e diferenciação celular, induzir o crescimento do caule e retardar a senescência das folhas (ORTIZ-CASTRO *et al.*, 2009).

Durante a interação bactéria-planta, o fitormônio auxina AIA (produzido pela bactéria) pode induzir a expressão do gene ACC sintase (1-aminociclopropano-1-carboxilato) na planta, que irá produzir o ACC (ácido 1-caboxílico-1-aminociclopropano). Esse mesmo ACC é utilizado pela bactéria (por meio da ACC deaminase) como fonte de nitrogênio para a bactéria, e conseqüentemente irá diminuir a conversão de ACC em etileno, o qual age como um modulador de crescimento e como sinalizador de estresse para a planta. Portanto o micro-organismo endofítico que possui ACC-deaminase pode diminuir os níveis de etileno diminuindo a resposta ao estresse (Figura 2) (GLICK *et al.*, 2012; HARDOIM *et al.*, 2008).

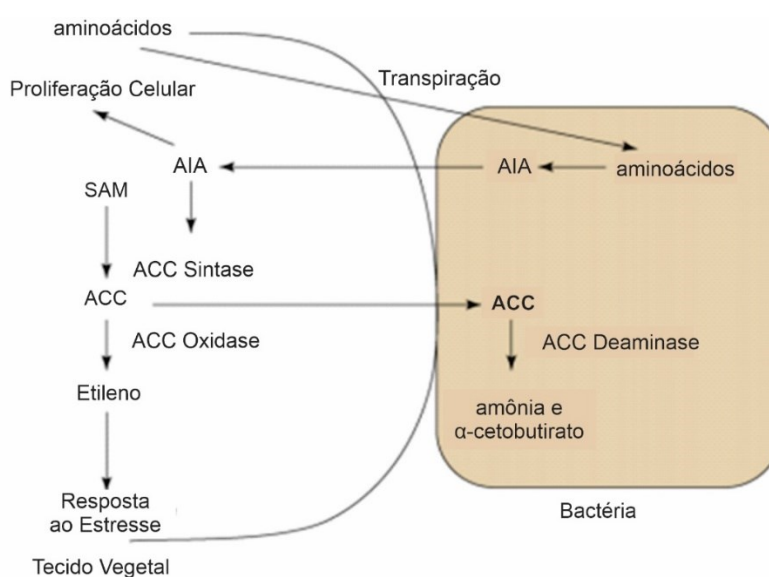


Figura 2. Representação esquemática de como as bactérias produzindo a ACC deaminase utilizam o ACC como fonte de nitrogênio e reduzem a concentração de etileno, diminuindo o estresse vegetal. SAM: S-adenosil-metionina. Fonte: Adaptado de Arshad *et al.*, 2007.

O aumento da concentração do etileno na planta acarreta a diminuição da fase vegetativa, promovendo a senescência e

reduzindo a produção de frutos (OLIVEIRA *et al.*, 2003; LOPES *et al.*, 2021a).

3.2 BIOFERTILIZANTES

Os Biofertilizantes utilizam os BPCV para o aumento da disponibilidade de substâncias presentes no próprio ambiente para o desenvolvimento da planta, tais como a

fixação biológica do nitrogênio (FBN), solubilização do fosfato (SF) e produção de sideróforos (PS) (LOPES *et al.*, 2021a).

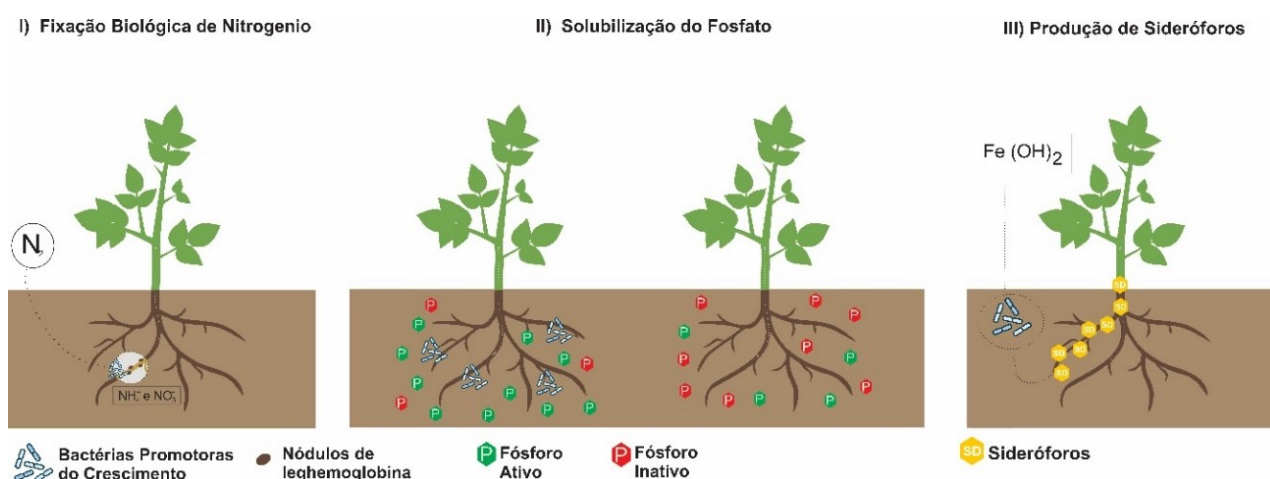


Figura 3. Representação esquemática de bactérias promotoras de crescimento usados como Biofertilizantes I) Fixação biológica do nitrogênio, transformando o N_2 atmosférico em NO_3^- (nitrato) e NH_4^+ (amônia) disponíveis para a planta. II) Solubilização de fosfato indisponível para a planta. III) Produção de sideróforos através da captação do hidróxido de ferro disponível no ambiente pelas BE.

O nitrogênio é um dos elementos mais abundantes na atmosfera, constitui 78% do ar atmosférico. A planta não é capaz de utilizar esses nitrogênios atmosféricos (N_2), mas a bactéria possui a capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico, transformando em NO_3^- (nitrato) e NH_4^+ (amônia), tornando esse elemento disponível para a planta. O nitrogênio exerce um papel fundamental no crescimento da planta, no entanto, essa fixação do N_2 atmosférico deve ocorrer obrigatoriamente em um ambiente anaeróbico para que a enzima nitrogenase, responsável por esse processo, funcione. Sendo assim, a planta diferencia as células radiculares em estruturas denominadas nódulos, esses nódulos são formados por uma

heme proteína chamada de leghemoglobina que se liga ao oxigênio presente em altas concentrações na planta; em resposta a esta infecção bacteriana, a proteína se liga ao O_2 regularizando a quantidade de O_2 distribuída e protegendo a enzima nitrogenase (FAGAN *et al.*, 2007).

O fosfato, apesar de sua grande concentração presente no solo, não é totalmente solúvel. As bactérias são capazes de promover a solubilização do fosfato indisponível para a planta. Essas bactérias estão presentes no solo, no entanto devido à grande diversidade e à competitividade, não promovem essa solubilização de forma eficiente. Para que a quantidade de fósforo seja absorvida pela

planta em quantidades necessárias para o seu crescimento a inoculação de BPCV se torna essencial (OLIVEIRA *et al.*, 2003).

Como estratégia das BPCV também pode ocorrer a produção de sideróforos pelas bactérias, esses sideróforos são capazes de se ligar ao hidróxido de ferro presente no ambiente, quelando e transportando o ferro para a planta, esses sideróforos utilizam o ferro do ambiente, diminuindo a disponibilidade de ferro para possíveis fitopatógenos, portanto, além de fornecer nutriente para a planta, também é capaz de controlar possíveis patógenos de solo (LOPES *et al.*, 2021a).

3.3 BIOCONTROLE

Além de inúmeras funções da BE na promoção direta do crescimento vegetal, essas bactérias também atuam como agentes de biocontrole, promovendo o crescimento vegetal de forma indireta (pelo controle de pragas e patógenos) e possibilitando um sistema de produção mais sustentável, diminuindo ou em alguns casos substituindo defensivos, herbicidas e ativos químicos por produtos biológicos, com micro-organismos como princípio ativo. A bactéria mais utilizada nesse caso é o gênero *Bacillus* que produz uma diversidade de moléculas antifúngicas e inseticidas (BRAGA *et al.*, 2016).

Outro aspecto adicional do controle direto pela produção de biodefensivos, a utilização das BPCV como agente de biocontrole indireto pode oferecer duas respostas

diferentes da planta: resistência sistêmica induzida e resistência sistêmica adquirida. Ambas têm como objetivo ativar o sistema de defesa da planta, tornando-a tolerante a diferentes estresses, inclusive outras doenças ou parasitas (VALLAD; GOODMAN, 2004).

A resistência sistêmica induzida (ISR), capaz de ativar os mecanismos de defesa da planta, pode fazer com que se defenda de patógenos através de elicitores específicos presentes na rizosfera, assim como outros receptores como BE ou metabólitos excretado da própria planta (BOUKERMA *et al.*, 2017). A ISR é induzida pela produção de dois fito-hormônios da planta: o ácido jasmônico e o etileno (FUKAMI *et al.*, 2017; REZENDE *et al.*, 2021). Por outro lado, a resistência sistêmica adquirida (SAR) é a ativação da resposta do sistema de defesa da própria planta, que é induzida quando exposta a um determinado patógeno, e responde com a indução da expressão de genes específicos para sua resistência (BOAS *et al.*, 2020; MARTINEZ *et al.*, 2015). Na indução da SAR, é necessária a formação do ácido salicílico (fito-hormônio produzido pela planta) como uma via regulatória associado ao acúmulo de proteínas produzidas, no entanto esse processo apresenta baixa especificidade à infecção, ou seja, ela pode não desencadear a expressão dos genes específicos para defesa daquele patógeno específico (MARTINEZ *et al.*, 2015). A Figura 4 apresenta resumidamente os mecanismos de ação da SAR e ISR.

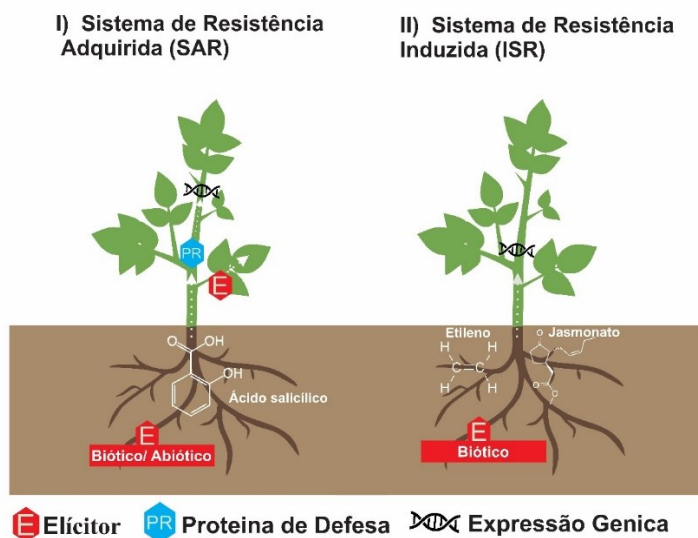


Figura 4. Modelo de resistência sistêmica em plantas

I) SAR: Resistência sistêmica adquirida: induzida por elicitores bióticos e abióticos presentes nas raízes ou nas folhas, depende do ácido salicílico e associado às proteínas de defesas da planta. II) ISR: Resistência sistêmica induzida: depende dos fito-hormônios Etileno e Jasmonato para induzir a resistência através da exposição da raiz a micro-organismos endofíticos, não está associado ao acúmulo de proteínas de defesas da planta. Ambas as respostas estão relacionadas à indução da alteração da expressão gênica da planta.

Outro mecanismo utilizado é a formação de biofilme, onde bactérias colonizam a superfície da planta, formando uma “película” microbiana, que atua como barreira física, reduzindo a competitividade microbiana fornecendo uma maior proteção à planta, em muitos casos esses micro-organismos estão associados a outros mecanismos de ação,

como antagonistas de patógenos promovendo o biocontrole (SANTOS *et al.*, 2021), além de poderem induzir a disponibilidade de outros nutrientes necessários para o crescimento vegetal (LOPES *et al.*, 2021a).

A Figura 5 lista resumidamente os principais mecanismos de ação da interação BPCV-planta.

| BIOESTIMULANTE | BIOFERTILIZANTE | BIOCONTROLE |
|--|--|---|
| Estimula a produção de hormônios e outros nutrientes | Auxilia na disponibilização de nutrientes e outros compostos | Produz antioxidantes, osmorreguladores e biofilme. |
| Aumenta a produção de Auxina, citocinina, giberelina, ACC deaminase, Ácido abscísico, jasmonatos, brassinosteróides e estríglactonas | N, P, Fe, K E S | Aumenta da Resistência Induzida (IRS) e Resistência Adquirida (SAR) |
| Reduz o etileno | Fixação de N Solubilização de P Produção de Sideróforos VOC, ácidos e quelantes | Aumento da tolerância ao estresse |
| | | Reduz o ataque de doenças e pragas |

Figura 5. Resumo dos mecanismos de ação de bactérias promotoras de crescimento sendo utilizadas como bioestimulantes, biofertilizantes e biocontrole

Fonte: Autor.

Apesar de não ser o foco desta revisão, além das bactérias, diferentes fungos como *Metarhizium*, *Trichoderma* e *Beauveria* também são utilizados como agentes de biocontrole de pragas e doenças, assim como são capazes de disponibilizar nutrientes para as plantas. Segundo Vila e Vila *et al.* (2020), fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são importantes simbioses de plantas, sua alta capacidade de absorção de água e nutrientes (principalmente fósforo) do solo também podem favorecer o aumento da capacidade de defesa da planta a diferentes estresses.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de bactérias promotoras de crescimento pode trazer inúmeros benefícios, tanto um crescimento vegetal acelerado, quanto o aumento da disponibilidade de nutrientes, hormônios e resistência necessários para o seu desenvolvimento, resultando um incremento na produtividade da cultura agrícola, podendo ser induzido através da produção de fito-hormônios, da disponibilização de nutrientes já presentes no meio ambiente (solo ou ar atmosférico) ou através do controle de patógenos ou outros estresses. Os mecanismos de ação de cada planta são diferentes, por isso para cada cultura agrícola e cada interação bactéria-planta são necessários métodos diferentes de inoculação. Ainda há muito o que ser compreendido nessa área da microbiologia, ainda não dominamos as complexas interações ecológicas que ocorrem entre micro-organismo, planta e solo.

A compreensão desses processos microbianos e a otimização desses processos de aplicações de produtos biológicos possibilitam modulações na fisiologia da planta resultando um incremento na produção agrícola, além da diminuição do uso de insumos como defensivos e fertilizantes, diminuindo significativamente o custo de produção e a produção de resíduos tóxicos.

Com isso, o uso de micro-organismos promotores de crescimento vem aumentando exponencialmente, tanto no controle biológico, bem como apenas na promoção de crescimento e indução da resistência sistêmica da planta. Essas alternativas apresentadas nos traz uma solução de menor custo para uma agricultura mais socioambiental e economicamente sustentável.

REFERÊNCIAS

- ARSHAD, M.; SALEEN, M.; HUSSAIN, S. Perspectives of bacterial ACC deaminase in phytoremediation. **TRENDS in Biotechnology**, v. 25, n. 8, 2007. Doi: 10.1016/j.tibtech.2007.05.005
- BERNARDINO, D. L. M. P.; DAVID, A. M. S. S.; FIGUEIREDO, J. C.; CANGUSSU, L. V. S.; SILVA, C. D.; RIBEIRO, R. C. F. Efeitos de rizobactérias e substratos na qualidade fisiológica de sementes de alface. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 316–326, 2018.
- BOAS, D. F. V.; LUIZ, J. H. H.; MALPASS, G. R. P. *et al.* Endophytic microorganisms as source of new medicinal interest compounds: a brief revision. **Revista Brasileira de Ciências, Tecnologia e Inovação**, v. 5, n. 1, p. 71–86, jan./jun. 2020. Doi: <https://doi.org/10.18554/rbcti.v5i1.3600>

- BOUKERMA, L.; BENCHABANE, A. C.; KHELIFI, L. Activity of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPRs) in the Biocontrol of Tomato Fusarium Wilt. **Plant Protection Science Agricultural Journals**, v. 53, n. 2, p. 78–84, 2017. Doi: 10.17221/178/2015–PPS
- BRAGA, R. M.; DOURADO, M. N.; ARAUJO, W. L. Microbial interactions: ecology in a molecular perspective. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 47, p. 86–98, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.10.005>
- CARDOSO, A. F.; RÊGO, M. C. F.; BATISTA, T. F. V.; VIANA, R. G.; LINS, A. L. F. de A; SILVA, G. B. Morphoanatomy and Chlorophyll of Lettuce Plants Induced by Rhizobacteria. **Journal of Agricultural Studies**, v. 7, p. 196–211, 2019.
- FAGAN, E. B.; MEDEIROS, S. L. P.; MANFRON, P. A. *et al.* Fisiology of biologic fixation nitrogen in soybean – a review. **Revista da FZVA (Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, Uruguaiana, v. 14, n. 1, p. 89–106, 2007.
- FONTES, E. M. G.; VALADARES–INGLIS, M. C. **Controle biológico de pragas da agricultura**. Brasília: Embrapa, 2020.
- 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, n. 1, p. 1–13, 2017.
- GALINDO, F. S.; PAGLIARI, P. H.; RODRIGUES, W. L.; AZAMBUJA PEREIRA, M. R.; BUZZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Investigation of *Azospirillum brasilense* Inoculation and Silicon Application on Corn Yield Responses. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, n. 4, p. 2406–2418, 2020.
- GLICK, B. R. Plant growth–promoting bacteria: mechanisms and applications. **Scientifica (Cairo)**, v. 2012, p. 963401, 2012.
- HARDOIM, P. R.; VAN OVERBEEK, L. S.; VAN ELSAS, J. D. Properties of bacterial endophytes and their proposed role in plant growth. **Trends in Microbiology**, v. 16, p. 463–471, 2008.
- LOPES, M. J. S.; SANTIAGO, B. S.; SILVA, I. N. B.; GURGEL, E. S. C. Microbial biotechnology: inoculation, mechanisms of action and benefits to plants Biotecnología microbiana: inoculación, mecanismos de acción y beneficios de las plantas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, e356101220585, 2021a. Doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i12.205851>
- LOPES, M. J. S.; DIAS–FILHO, M. B.; GURGEL, E. S. C. Successful plant growth–promoting microbes: inoculation methods and abiotic factors. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 5, 606454, p. 1–13, 2021b.
- LOPES, M. J. S.; DIAS–FILHO, M. B.; CASTRO, T. H. R.; GURGEL, E. S.; SILVA, G. B. Efficiency of biostimulants for alleviating shade effects on forage grass. **Journal of Agricultural Studies**, v. 9, p. 14–30, 2021c.
- MARTINEZ, H. C.; ROSERO, N. C.; ÁLVARES, A. B. *et al.* Applying Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) of the Genus *Pseudomonas* ssp as Biological Controllers of Insects and Plague Nematodes. **Ciencia y Tecnología**, v. 8, n. 1, p. 25–35, 2015.
- OLIVEIRA, L. C. de; NAKASONE, A. K.; LACERDA, L.; NECHET, K. de L.; LEMOS, W. de P.; MARINHO, A. M. de R.; HALFELD–VIEIRA, B. de A. Bactérias endofíticas e a promoção de crescimento de plantas de pimenta–do–reino. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, 2020.
- OLIVEIRA–FILHO, E. C.; FARIA, M. R.; CASTRO, M. L. M. P. **Regulamentação de produtos biológicos para o controle de pragas agrícolas**. Brasília: Embrapa Recursos

Genéticos e Biotecnologia, 2004, 33p. (Documentos 0102–0110;119).

OLIVEIRA, A. L. M.; URQUIAGA, S.; BALDANI, J. I. **Processos e mecanismos envolvidos na influência de microrganismos sobre o crescimento vegetal**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2003. 40p. (Embrapa Agrobiologia. Documento 161).

ORTIZ–CASTRO, R.; CANTERO, E. V.; BUCIO, J. L. Participación de las citocininas en la estimulación del crecimiento vegetal por *Bacillus megaterium*. **Revista Biológicas**, n. 11, 2009.

PAPONOV, I. A.; TEALE, W. D.; TREBAR, M.; BLILOU, K.; PALME, K. The PIN auxin efflux facilitators: evolutionary and functional perspectives. **Trends Plant Science**, v. 10, p. 170–177, 2005.

PARRA, J. R. P. Controle biológico na agricultura brasileira. **Entomological Communications**, v. 1, ec01002, p. 2019, 2019.

PUENTE, M. L.; GUALPA, J. L.; LOPEZ, G. A.; MOLINA, R. M.; CARLETTI, S. M.; CASSÁN, F. D. The benefits of foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* in soybean are explained by an auxin signaling model. **Symbiosis**, v. 76, n. 1, p. 41–49, 2017.

REZENDE, C. C.; SILVA, M. A.; FRASCA, L. L. M.; FARIA, D. R.; FILIPPI, M. C. C.; LANNA, A. C.; NASCENTE, A. S. Microrganismos multifuncionais: utilização na agricultura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, e50810212725, 2021.

SANTOS, L. A. L.; PINHEIRO, L. R. B.; ROCHA, L. S. *et al.* Biological control of anthracnosis in papaya fruits by biofilm–forming epiphytic bacteria. **Summa Phytopathol**, v. 47, n. 1, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1590/0100–5405/216998>

VALLAD, G. E.; GOODMAN, R. M. Systemic Acquired Resistance and Induced Systemic

Resistance in Conventional Agriculture. **Crop Science**, v. 44, p. 1920–1934, 2004. Doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.1920>

VILA E VILA, V.; REZENDE, R.; SILVA, L. H. M. *et al.* Soil microbiota on disease tolerance in plants: A review. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, e25910817161, 2021. Doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd–v10i8.17161>

Recebido em: 31/03/2022

Aceito em: 03/06/2022