

Rizobactérias multifuncionais: utilização na agricultura

Multifunctional rhizobacteria: use in agriculture

Rizobacterias multifuncionales: uso en agricultura

Recebido: 14/02/2022 | Revisado: 22/02/2022 | Aceito: 01/03/2022 | Publicado: 10/03/2022

Mariana Aguiar Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0297-5576>
Universidade Federal de Goiás, Brasil
E-mail: marianaaguiar23@hotmail.com

Adriano Stephan Nascente

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6014-3797>
Embrapa Arroz e Feijão, Brasil
E-mail: adriano.nascente@embrapa.br

Cássia Cristina Rezende

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8463-1907>
Universidade Federal de Goiás, Brasil
E-mail: cassiacristinarezende@hotmail.com

Laylla Luanna de Mello Frasca

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3572-1145>
Universidade Federal de Goiás, Brasil
E-mail: layllafrasca@gmail.com

Marta Cristina Corsi de Filippi

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1676-8164>
Embrapa Arroz e Feijão, Brasil
E-mail: cristina.filippi@embrapa.br

Anna Cristina Lanna

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8018-9349>
Embrapa Arroz e Feijão, Brasil
E-mail: anna.lanna@embrapa.br

Anderson Petrônio de Brito Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1964-1516>
Embrapa Arroz e Feijão, Brasil
E-mail: anderson.ferreira@embrapa.br

Dennis Ricardo Cabral Cruz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5209-7751>
Universidade Federal de Goiás, Brasil
E-mail: denisribral@gmail.com

Mabio Chrisley Lacerda

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8570-3922>
Embrapa Arroz e Feijão, Brasil
E-mail: mabio.lacerda@embrapa.br

Eliane Aparecida Silva Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9099-0439>
Universidade Estadual de Goiás, Brasil
E-mail: eliane73.agro@hotmail.com

Resumo

O uso de tecnologias inovadoras e sustentáveis que primem pelo desenvolvimento de sistemas agrícolas produtivos, como as rizobactérias multifuncionais, são fundamentais para garantir a segurança e qualidade dos alimentos. Diante disso, esse estudo de caráter teórico, realizado por meio de uma pesquisa bibliográfica de caráter exploratório e abordagem qualitativa, teve como objetivo trazer informações referentes às rizobactérias multifuncionais abordando os aspectos gerais, características principais, alguns gêneros de importância agrícola, seus principais mecanismos de ação e a importância da coinoculação. Rizobactérias multifuncionais são bactérias rizosféricas, endofíticas ou simbióticas, que possuem a capacidade de proporcionar melhoria no crescimento das plantas, potencializando o aumento da produtividade. A utilização dessas bactérias nos sistemas agrícolas tem se mostrado uma tecnologia inovadora e sustentável devido aos diferentes mecanismos de ação, que podem ser diretos e indiretos, para beneficiar as plantas e o meio ambiente. As rizobactérias multifuncionais promovem o crescimento vegetal e a supressão de doenças e, com isso, viabilizam a redução do uso de insumos sintéticos como fertilizantes e agrotóxicos. Existem diferentes gêneros de rizobactérias multifuncionais e elas podem apresentar sinergismo e, portanto, maior eficiência utilizando-se a técnica de coinoculação. Esta técnica consiste em adicionar mais de um microrganismo reconhecidamente benéfico às plantas, visando maximizar a contribuição dos mesmos. A coinoculação proporciona vários benefícios para o maior desenvolvimento das plantas, como o aumento do sistema radicular, o que possibilita maior aproveitamento dos fertilizantes, favorece a planta em situações de deficiência hídrica e incrementa a

produtividade. No entanto, diversos desafios ainda precisam ser superados como a seleção de estirpes eficientes para culturas específicas, à compatibilidade com os produtos utilizados no tratamento de sementes e a obtenção de resultados agronômicos consistentes em ensaios de campo. Portanto, estudos nesse sentido são muito importantes para aumentar os conhecimentos sobre rizobactérias multifuncionais e contribuir para tornar os sistemas agrícolas mais eficientes e sustentáveis.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Promoção de crescimento; Mecanismos de ação; Coinoculação.

Abstract

The use of innovative and sustainable technologies that excel in the development of productive agricultural systems, such as multifunctional rhizobacteria, are essential to ensure food safety and quality. Therefore, this theoretical study, carried out through an exploratory bibliographic research and qualitative approach, aimed to bring information regarding multifunctional rhizobacteria, addressing the general aspects, main characteristics, some genera of agricultural importance, their main mechanisms of action and the importance of co-inoculation. Multifunctional rhizobacteria are rhizospheric, endophytic or symbiotic bacteria that can improve plant growth, enhancing productivity. The use of these bacteria in agricultural systems has proved to be an innovative and sustainable technology due to different mechanisms of action, which can be direct or indirect, to benefit plants and the environment. Multifunctional rhizobacteria promote plant growth and suppression of diseases and, therefore, make it possible to reduce the use of synthetic inputs such as fertilizers and pesticides. There are different genera of multifunctional rhizobacteria and they can show synergism and, therefore, greater efficiency using the co-inoculation technique. This technique consists of adding more than one recognized beneficial microorganism to plants, to maximize their contribution. Co-inoculation provides several benefits for the greater development of plants, such as the increase in the root system, which allows better uptake of fertilizers, favors the plant in situations of water deficiency and increases productivity. However, several challenges still need to be overcome, such as the selection of efficient strains for specific crops, compatibility with products used in seed treatment, and obtaining consistent agronomic results under field conditions. Therefore, studies in this direction are very important to increase knowledge about multifunctional rhizobacteria and contribute to making Mayan agricultural systems efficient and sustainable.

Keywords: Sustainability; Growth promoting; Mechanism of action; Co-inoculation.

Resumen

El uso de tecnologías innovadoras y sostenibles que sobresalen en el desarrollo de sistemas agrícolas productivos, como las rizobacterias multifuncionales, son esenciales para garantizar la seguridad y calidad de los alimentos. Por lo tanto, este estudio teórico, realizado a través de una investigación bibliográfica exploratoria y enfoque cualitativo, tuvo como objetivo traer información sobre las rizobacterias multifuncionales, abordando los aspectos generales, características principales, algunos géneros de importancia agrícola, sus principales mecanismos de acción y la importancia de co-inoculación. Las rizobacterias multifuncionales son bacterias rizosféricas, endófitas o simbióticas que pueden mejorar el crecimiento de las plantas y aumentar la productividad. El uso de estas bacterias en los sistemas agrícolas ha demostrado ser una tecnología innovadora y sostenible debido a diferentes mecanismos de acción, que pueden ser directos o indirectos, en beneficio de las plantas y el medio ambiente. Las rizobacterias multifuncionales promueven el crecimiento de las plantas y la supresión de enfermedades y, por lo tanto, permiten reducir el uso de insumos sintéticos como fertilizantes y pesticidas. Existen diferentes géneros de rizobacterias multifuncionales y pueden mostrar sinergismo y, así, mayor eficiencia utilizando la técnica de co-inoculación. Esta técnica consiste en añadir más de un microorganismo benéfico reconocido a las plantas, para maximizar su aporte. La coinoculación aporta varios beneficios para el mayor desarrollo de las plantas, como el aumento del sistema radicular, lo que permite una mejor absorción de los fertilizantes, favorece a la planta en situaciones de deficiencia hídrica y aumenta la productividad. Sin embargo, aún se deben superar varios desafíos, como la selección de cepas eficientes para cultivos específicos, la compatibilidad con los productos utilizados en el tratamiento de semillas y la obtención de resultados agronómicos consistentes en condiciones de campo. Por lo tanto, los estudios en esta dirección son muy importantes para aumentar el conocimiento sobre las rizobacterias multifuncionales y contribuir a que los sistemas agrícolas mayas sean eficientes y sostenibles.

Palabras clave: Sostenibilidad; Promoción del crecimiento; Mecanismo de acción; Co-inoculación.

1. Introdução

A intensificação e dependência do uso de insumos sintéticos para a produção agrícola brasileira resultam em problemas de várias ordens, dentre eles os ambientais, como a contaminação do solo, água e ar (Meena et al., 2017). Os processos de produção desses insumos demandam alto valor energético, bem como consumo de combustível fóssil não renovável (Gomes et al., 2021). Além disso, a utilização desses insumos no campo é acompanhada de inúmeras perdas como volatilização, imobilização e/ou outros processos biogeoquímicos, fazendo com que a eficiência da sua utilização seja reduzida

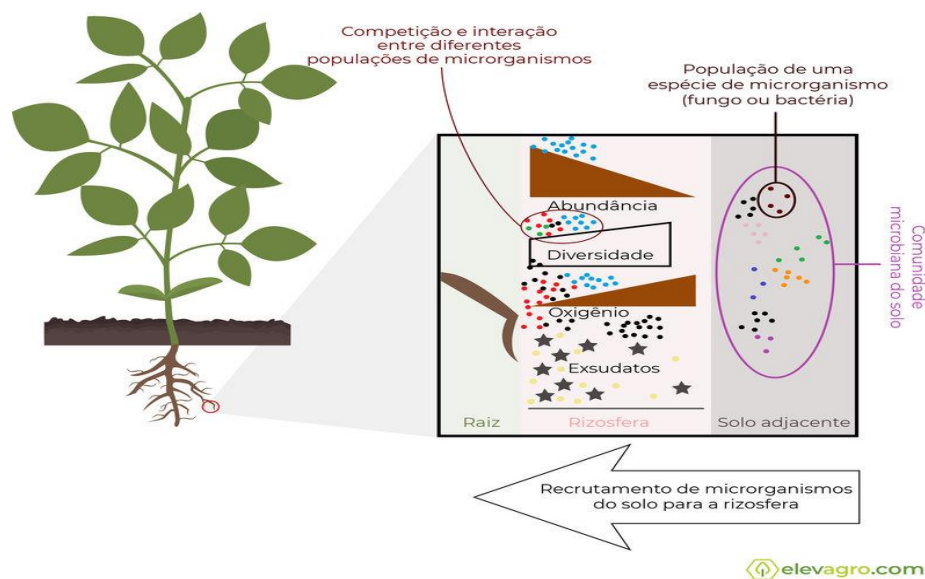
(Fageria, 2014). Somado a todos esses fatores, o Brasil é dependente do mercado internacional de fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos, aumentando consideravelmente os custos de produção (FAO, 2019).

Desse modo torna-se de fundamental importância o uso de tecnologias inovadoras e sustentáveis que primem pelo desenvolvimento de sistemas agrícolas produtivos que economizem energia, sejam ambientalmente corretos e, com isso, garantam a segurança e qualidade dos alimentos (Namasivayam & Bharani, 2012). Nas últimas décadas, microrganismos multifuncionais em campos de produção agrícola, em nível mundial, estão cada vez mais em uso como tecnologia complementar ao uso de fertilizantes (como biofertilizantes) e de agrotóxicos (como biopesticidas), visando, em última análise, a sustentabilidade da agricultura (Campanhola & Bettioli, 2003; Lima, 2010). Dessa forma, microrganismos multifuncionais consistem naqueles que quando associados à planta podem promover o seu crescimento e uma série de outros benefícios através de diferentes mecanismos de ação (Abhilash et al., 2016).

Os microrganismos multifuncionais disponibilizam nutrientes essenciais às culturas na solução do solo, produzem fitormônios, promovem crescimento e maior produtividade das plantas, com baixo custo e sem prejudicar o meio ambiente (Arruda, 2012). Já existem vários produtos comerciais à base de microrganismos, sendo comumente denominados inoculantes ou biofertilizantes. Os inoculantes compreendem formulações contendo microrganismos multifuncionais vivos adicionados a um veículo inerte e, normalmente, são recomendados para aplicação sobre as sementes, superfície vegetal ou no solo. O uso desses produtos tem como objetivo a colonização da planta (raiz e parte aérea) pelo microrganismo inoculado, para que os mecanismos microbianos de promoção do crescimento vegetal possam ser ativados e a planta beneficiada (Vessey, 2003).

Dentre esses microrganismos, as rizobactérias merecem destaque, pois constituem um grupo muito amplo de microrganismos rizosféricos, ou seja, vivem no solo que circunda a raiz, atraídos pelos exsudados radiculares, e estão, portanto, sob a influência do sistema radicular (Ahemad & Kibret, 2014) (Figura 1). Quando essas rizobactérias atuam na promoção de crescimento das plantas, elas são chamadas de rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (RPCV) ou rizobactérias multifuncionais. As rizobactérias multifuncionais podem ser de diferentes gêneros, podendo ser utilizadas de forma isolada (inoculação) ou combinada (coinoculação) e afetam benéficamente o crescimento de uma ou mais espécies vegetais, por meio de diferentes mecanismos de ação (Freitas, 2007; Compant et al., 2005).

Figura 1. Representação da rizosfera com a presença de microrganismos rizosféricos.



Fonte: elevagro.com (2021).

No entanto, apesar da importância das rizobactérias multifuncionais, existe grande variabilidade de resultados de pesquisa com essas rizobactérias sob condições de campo, e com isso poucas espécies são efetivamente transformadas em produtos comerciais, como inoculantes, para utilização em larga escala na agricultura (Steffen et al., 2018). Dessa forma, necessita-se de estudos que visam maior conhecimento das rizobactérias multifuncionais em condições laboratoriais, casa de vegetação e principalmente de campo, abrangendo o ambiente, a cultura, as condições do solo, condições edafoclimáticas, as interações com os microrganismos nativos do solo, além de métodos de manejo como combinações entre diferentes microrganismos multifuncionais, formas de aplicação e quantidade de estirpes (Kappes et al., 2014; Bárbaro et al., 2008; Oliveira et al., 2014; Gerlach, 2017; Kang et al., 2019). Estudos nesse sentido podem contribuir para o avanço do conhecimento sobre rizobactérias multifuncionais e a aplicabilidade nos sistemas agrícolas diversos, garantindo segurança e qualidade para o produtor rural.

Diante disso, essa revisão de literatura objetiva trazer informações referentes às rizobactérias multifuncionais abordando os aspectos gerais, características principais, alguns gêneros de importância agrícola, seus principais mecanismos de ação e a importância da coinoculação.

2. Metodologia

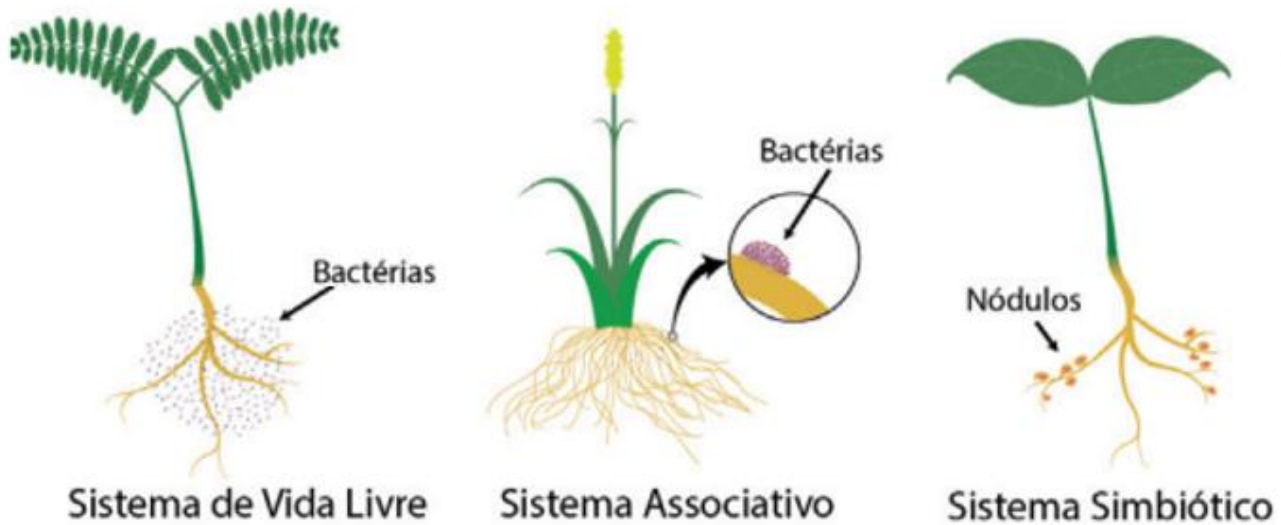
Trata-se de um estudo de caráter teórico, por meio de uma pesquisa bibliográfica de caráter exploratório e abordagem qualitativa (Pereira et al., 2018), que envolveu, fundamentalmente, a análise de informações, buscando elencar as principais ideias e conceitos sobre as rizobactérias multifuncionais, suas características principais, alguns gêneros importantes, seus mecanismos de ação, diretos e indiretos, a importância da coinoculação e os benefícios que as rizobactérias multifuncionais isoladas ou combinadas proporcionam às plantas. No entendimento do autor, o principal objetivo deste tipo de pesquisa pode ser tanto o aprimoramento de ideias, quanto a descoberta de intuições, o que o torna uma opção bastante flexível (Gil, 2018)

A pesquisa foi realizada de dezembro de 2021 à janeiro de 2022 e baseou-se, principalmente, em artigos científicos retirados da plataforma online do Google Acadêmico e da base de dados SciElo. Foram utilizados também, em menores quantidades, documentos como dissertações, teses e capítulos de livro para complementar as informações. Utilizou-se palavras-chaves como “rizobactérias multifuncionais”, “rizobactérias promotoras de crescimento vegetal”, “promoção de crescimento”, “sustentabilidade” e “coinoculação” para a pesquisa dos artigos. As publicações utilizadas datam de 1988 a 2022. As citações mais antigas foram utilizadas, em sua maioria, para conceituar e caracterizar aspectos relacionados as rizobactérias multifuncionais e as mais atuais para apresentar resultados de pesquisa, ideias e perspectivas sobre o tema abordado.

3. Características Gerais das Rizobactérias Multifuncionais

As rizobactérias podem ser de vida livre, formar associações simbióticas com plantas (nódulos em leguminosas, como as bactérias fixadoras de nitrogênio) e colonizar os tecidos internos dos vegetais (bactérias endofíticas ou associativas) (Glick, 2012; Wang et al., 2012) (Figura 2). De acordo com Harthmann (2009), as rizobactérias para serem consideradas promotoras de crescimento vegetal devem apresentar as seguintes características: serem proficientes para colonizar a superfície da raiz, e o interior das plantas ou das células das plantas e sobreviver, multiplicar e competir com outros microrganismos, pelo menos durante o tempo necessário para exprimir as suas atividades de promoção/proteção do crescimento das plantas.

Figura 2. Interações entre plantas e rizobactérias multifuncionais.



Fonte: Carvalho et al. (2017) (Adaptado por Silva, 2021).

O grau de intimidade entre rizobactérias multifuncionais e plantas, bem como o modo que colonizam o sistema radicular, influencia a capacidade dessas em serem eficientes na promoção de crescimento (Vessey, 2003; Gray & Smith, 2005). Assim, há uma classificação de rizobactérias com base no gradiente de proximidade com a raiz e na intimidade de associação, os quais determinam os níveis de complexidade da interação. Segundo Gray & Smith (2005), as rizobactérias se classificam em dois grupos: as rizobactérias intracelulares, que habitam o interior das células radiculares, em estruturas nodulares especializadas, como por exemplo as que fixam nitrogênio simbioticamente em plantas leguminosas, como as bactérias dos gêneros *Bradyrhizobium* e *Rhizobium*, conhecidos como rizóbios (Bhattacharyya & Jha, 2012). O outro grupo são as rizobactérias extracelulares, que habitam a região da rizosfera ou os espaços entre as células do córtex da raiz, abrangendo as rizobactérias de vida livre e as endofíticas. Alguns exemplos de gêneros de rizobactérias extracelulares são *Azospirillum* sp., *Bacillus* sp., *Burkholderia* sp., *Pseudomonas* sp. e *Serratia* sp. As rizobactérias extracelulares não são capazes de produzir nódulos, porém, podem beneficiar o crescimento de plantas através do aumento na disponibilidade de nutrientes, produção de fitormônios, controle de patógenos, dentre outros (Bubanz, 2018) (Figura 3).

Figura 3. Rizobactérias intracelulares X rizobactérias extracelulares associadas à raízes de plantas.



Fonte: Silva (2016).

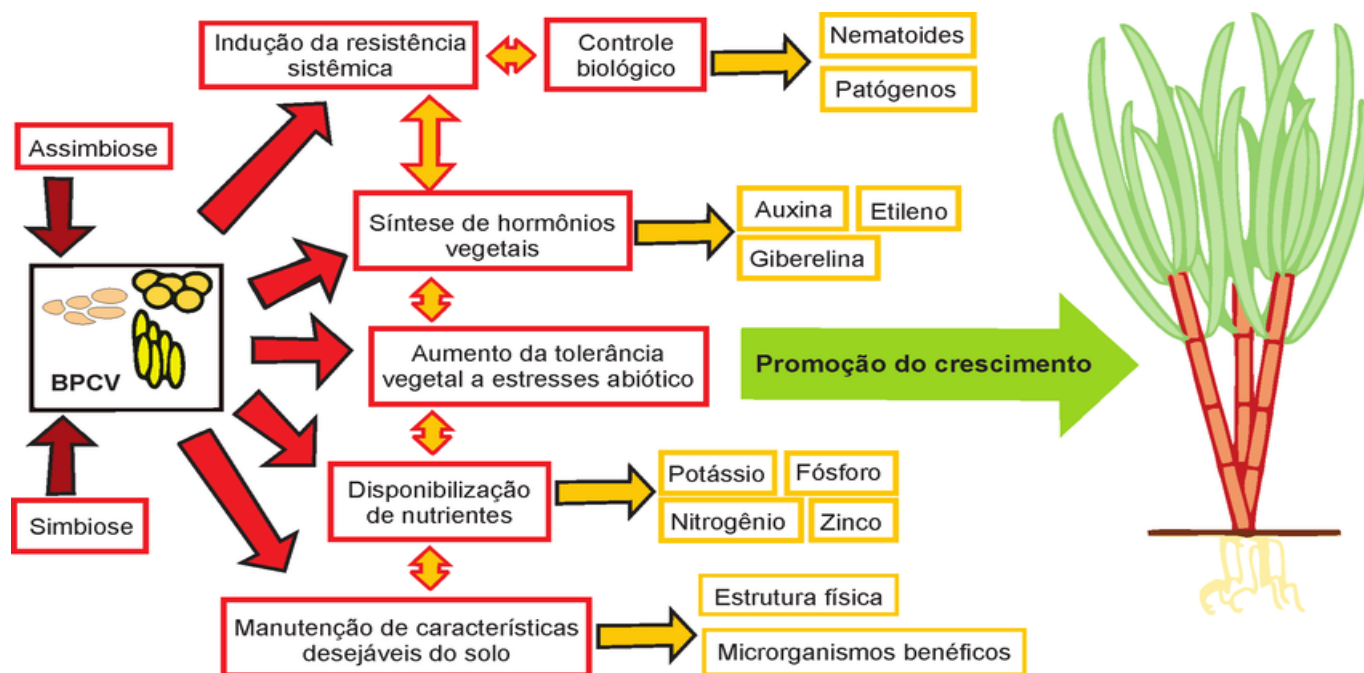
As rizobactérias multifuncionais também podem ser classificadas com base em suas atividades funcionais: biofertilizantes, quando as mesmas aumentam a disponibilidade de nutrientes às plantas; fitoestimuladores, quando promovem o crescimento de plantas, geralmente através da produção de fitohormônios; rizoremediadores, quando eliminam ou reduzem o nível de poluentes orgânicos degradantes e biopesticidas, quando controlam doenças, principalmente devido à produção de antibióticos e metabólitos antifúngicos (Kloepper, 2003). Na maioria dos casos estudados, isolados de rizobactérias, frequentemente, possuem múltiplos mecanismos de ação para promover o crescimento das plantas (Kloepper, 2003, Nihorimbere et al., 2011; Taha et al., 2016).

No entanto, as interações plantas-microrganismos são sempre dinâmicas e influenciadas por diversos fatores bióticos e abióticos, por isso, uma rizobactéria multifuncional pode não atuar incondicionalmente sobre qualquer espécie vegetal e qualquer condição ambiental (Partida-Martínez & Heil, 2011). A utilização de inoculantes à base de rizobactérias multifuncionais, por exemplo, somente poderá resultar em incrementos produtivos se houver condições ambientais favoráveis, se a bactéria for compatível com a cultura inoculada e se a relação custo-benefício para a manutenção da interação planta-rizobactéria multifuncional estiver adequadamente balanceada para sustentar esta interação (Partida-Martínez & Heil, 2011). Isso se deve ao fato dos habitats que essas bactérias rizosféricas ocupam, quando em associação com as plantas, serem heterogêneos e descontínuos, dessa forma, o estabelecimento de uma espécie de rizobactéria multifuncional introduzida via inoculante fica condicionado à sua capacidade de competir com os microrganismos nativos (adaptados ao ambiente), pelos nutrientes disponíveis, de sobressair aos predadores e antagonistas e de resistir a possíveis estresses abióticos (Oliveira et al., 2014a). No entanto, mesmo que a expressão dos efeitos de promoção do crescimento vegetal por rizobactérias sejam dependentes desses fatores, os inoculantes são desenvolvidos para que essas bactérias colonizem o ambiente rizosférico ou os tecidos/células vegetais com elevadas densidades populacionais, aumentando a capacidade dessas de sobressaírem aos demais microrganismos e de promoverem o crescimento das plantas (Compant et al., 2010).

4. Mecanismos de Ação das Rizobactérias Multifuncionais

As rizobactérias multifuncionais podem promover o crescimento das plantas por diferentes mecanismos de ação diretos ou indiretos (Ahmad & Kibret, 2014) (Figura 4). Os mecanismos diretos consistem na produção de compostos que favorecem o crescimento das plantas, como fitormônios como ácido 3-indolacético (AIA), auxinas e citocininas (Glick, 1999; Júnior, 2021); no aumento do sistema radicular para facilitar a absorção de água e nutrientes pelos vegetais (Ahmad & Kibret, 2014; Reddy, 2013; Glick, 2012; Duca et al., 2014); na fixação biológica de nitrogênio - FBN (N) e solubilização de fosfato (P), nutrientes que se encontram pouco disponíveis no solo para a absorção/assimilação pelas plantas (Ahn et al., 2011; Nihorimbere et al., 2011; Jog et al., 2014; Mehta et al., 2014; Ramírez et al., 2015); na produção de sideróforos, moléculas orgânicas, quelantes de ferro, que atuam diretamente na manutenção da saúde das plantas, pois impedem a captação desse nutriente por eventuais microrganismos patogênicos, além de reduzirem o estresse oriundo de solos com altas taxas de metais pesados (Lee et al., 2012; Lakshmanan et al., 2015).

Figura 4. Mecanismos de ação das rizobactérias multifuncionais, simbióticas ou não-simbióticas no desenvolvimento de plantas.



Fonte: Carvalho (2015) (Adaptado de Maheshewari, 2011).

Na cultura do feijoeiro-comum, comparada com a fertilização nitrogenada, a FBN proporcionou um aumento de 10,2% na produção de grãos, proporcionando uma receita líquida e relação custo/benefício 15,8% e 7,8%, respectivamente, superior à adubação nitrogenada (Sousa et al., 2020). Chagas Junior et al. (2022) verificaram que sete isolados de *Bacillus subtilis* foram capazes de solubilizar fosfato e produzir AIA. Silva et al. (2018) constataram que a aplicação de *Bacillus pumilus* em mudas micropropagadas de bananeira, cultivar Prata Catarina, promoveu incrementos no desenvolvimento das plantas por meio da produção de sideróforos e enzimas (proteases, amilases, pectinase, lipases e celulases). Picazevicz et al. (2019) relataram que o uso de *Azospirillum brasiliense*, em conjunto com a adubação nitrogenada e molibdênio, contribuiu para maior FBN na cultura do milho promovendo seu crescimento. Em um estudo conduzido por Souza et al. (2019) plântulas de arroz irrigado tratadas com um isolado de *Serratia sp.* (BRM 32114) apresentaram comprimento radicular de até 30,4%

maior que plântulas não tratadas (controle). Nascente et al. (2017) relataram que um isolado de *Serratia spp.* promoveu a maior taxa fotossintética, maior acúmulo de nutrientes e maior produção de biomassa seca para o arroz de terras altas.

Já os mecanismos indiretos de crescimento pelas rizobactérias multifuncionais estão relacionados à diminuição ou inibição de efeitos causados por organismos fitopatogênicos, atuando, portanto, no controle biológico (Glick, 1999). Isso é possível devido à capacidade dos microrganismos em produzir moléculas com propriedades antibióticas ou antifúngicas (Bhattacharyya & Jha, 2012; Lin et al., 2014). Essas bactérias também podem impossibilitar a formação de biofilme de microrganismos fitopatogênicos presentes na rizosfera (Reddy, 2014; Bhattacharyya & Jha, 2012); ou ainda possibilitar a indução de resistência da planta contra patógenos biotróficos e necrotróficos (Bitas et al., 2013; Farag et al., 2013; Wang et al., 2013). Oliveira et al. (2017) mostraram efeitos benéficos de rizobactérias multifuncionais na redução da população de nematoides de galha (*Meloidogyne spp.*) no feijão-comum. Enquanto Cardozo e Araujo (2011) observaram aumento no crescimento e redução na reprodução de nematoides da galha *Meloidogyne spp.*, aplicando *Bacillus subtilis* em suspensão aquosa na cultura da cana-de-açúcar. Em um outro estudo rizobactérias multifuncionais tiveram efeito positivo no controle de fungos e na qualidade sanitária de sementes de arroz, eficácia na inibição do crescimento micelial de *Sclerotinia sclerotiorum* e produção de compostos orgânicos voláteis no controle do patógeno na cultura da soja (Pinho et al., 2020)

Do ponto de vista biotecnológico, as rizobactérias multifuncionais são almeçadas e rastreadas para uma possível aplicação no campo, objetivando a promoção de crescimento, o controle biológico e o aumento da produção agrícola (Verma et al., 2001), de forma mais econômica e sustentável. A atividade agrícola pode ser grandemente beneficiada pela utilização da diversidade microbiana em novos processos biotecnológicos (Oliveira et al, 2014b). Esses benefícios são promissores levando em conta o desafio atual encontrado para a atividade agrícola, que busca a gestão bem-sucedida dos recursos naturais na satisfação das necessidades humanas, conservando riquezas naturais e mantendo a qualidade ambiental. Estudos visando à utilização desses microrganismos em processos biotecnológicos capazes de beneficiar a agricultura de forma produtiva e sustentável são de interesse por parte do mercado e também dos produtores agrícolas, se apresentando como um segmento muito promissor (Singh et al., 2011).

5. Exemplos de Rizobactérias Multifuncionais

Dentre as rizobactérias multifuncionais, as bactérias do gênero *Bradyrhizobium* merecem destaque devido à simbiose que realizam com as plantas da família *Leguminosae*, que se caracteriza pela formação de estruturas hipertróficas nas raízes e, excepcionalmente, no caule, denominadas nódulos. Essas bactérias tem a capacidade de fixar nitrogênio devido ao complexo enzimático nitrogenase, que são capazes de romper a tripla ligação do N₂ atmosférico reduzindo-o a amônia (NH³⁺), (Cantarella, 2007; Santos, 2018). A associação dessas bactérias com a cultura da soja é a associação mais sofisticada e eficiente que existe entre plantas e rizobactérias multifuncionais, podendo fornecer todo o nitrogênio que a cultura necessita (Hungria; Campos; Mendes, 2001). Silva et al. (2011) constataram que as plantas de soja inoculadas com diferentes doses de inoculante a base de *Bradyrhizobium japonicum* apresentaram uma boa produtividade sem incrementos significativos da aplicação de nitrogênio na semeadura da cultura, demonstrando que a FBN realizada por essa bactéria foi capaz de suprir a demanda exigida do nutriente.

Bactérias do gênero *Azospirillum sp.* também são exemplos de rizobactérias promotoras do crescimento vegetal, pois promovem a FBN (de maneira menos eficiente do que o gênero *Bradyrhizobium*), como também produzem compostos promotores de crescimento ou estimulam a produção endógena desses compostos na planta (Bulegoni et al., 2016). Essas rizobactérias são denominadas associativas facultativas, uma vez que proliferam na superfície das raízes e/ou no interior dos tecidos vegetais (Rodrigues et al., 2012). Entre os compostos promotores de crescimento vegetal produzidos por elas, tem-se: auxina ou AIA (Crozier et al., 1988), outros compostos indólicos (Crozier et al., 1988), citocininas (Cacciari et al., 1989) e

ácido giberélico (Bottini et al., 1989). Avaliando duas formas de inoculação com *Azospirillum brasilense* (semente e sulco) na cultura do milho associado a adubação nitrogenada, Oliveira et al. (2018) relataram que o uso da inoculação, independente da adubação nitrogenada, reflete em aumento da produção de grãos.

Outro exemplo é o grupo do gênero *Bacillus sp.* Como mecanismos diretos, essas rizobactérias promovem o aumento da fixação de nitrogênio, solubilizam nutrientes, sintetizam fitohormônios e melhoram as condições do solo. Como mecanismo indireto, *Bacillus sp.* promove supressão de microrganismos patogênicos às plantas. Adicionalmente, a associação benéfica entre plantas e *Bacillus sp.* proporciona o aumento fisiológico de metabolitos que desencadeiam a sensibilidade do sistema radicular às condições externas, estimulando a percepção e absorção de nutrientes e água (Ribeiro; Sei; Leite, 2012). Ribeiro; Sei; Leite (2012) relataram que a promoção de crescimento de plantas, promovida por *Bacillus sp.*, foi observada desde a rápida germinação das sementes, emergência de plântulas até o crescimento/desenvolvimento das plantas, o que fez com que a planta atingisse o estágio adulto mais rapidamente, permanecendo menos tempo no campo, o que favorece o escape contra pragas e doenças. Braga Junior (2015) verificou que isolados de *Bacillus sp.* foram capazes de promover o crescimento de soja e feijão caupi, avaliado pelo maior acúmulo de biomassa seca.

Por fim, o gênero *Serratia sp.* também se destaca como rizobactérias multifuncionais. As espécies desse gênero podem ser encontradas em diversos habitats como água doce, salgada ou poluída, no solo e nas plantas. Quando associadas às plantas são capazes de promover o crescimento dessas por diferentes mecanismos como a produção de fitohormônios e sideróforos, bem como o controle de doenças (Grimont & Grimont, 2006). El-Esawi et al. (2020) sugerem que a inoculação de *Serratia sp.* promove potencial de fitoremediação e tolerância ao estresse causado pelos metais pesados, modulando os atributos fotossintéticos e a biossíntese dos genes relacionados aos estresses. Os autores desse estudo relataram que a utilização de *Serratia sp.* reduziu o estresse causado por metais pesados na soja, uma vez que aumentou o acúmulo de biomassa seca de parte aérea, intensificou as trocas gasosas, aumentou a taxa de absorção de nutriente, da capacidade antioxidante e do teor de clorofila nas plantas.

Estudos da ação microbiana em diferentes culturas são essenciais para o entendimento da relação entre plantas e microrganismos, visando o uso eficiente de seus mecanismos de promoção de crescimento em prol da produtividade final e do aproveitamento dos recursos naturais (Brito et al, 2018). O isolamento seletivo e inoculação destes microrganismos pode ser uma alternativa promissora como biofertilizantes na produção vegetal em sistemas agrícolas mais sustentáveis visando, principalmente, favorecer a ação sinérgica entre várias estirpes. Rizobactérias que apresentem benefícios às culturas de interesse agrícola podem ser utilizadas futuramente em sistemas de produção agrícola de forma a proporcionar a intensificação de uma produtividade sustentável (Esitken et al., 2010; Stefan et al., 2013).

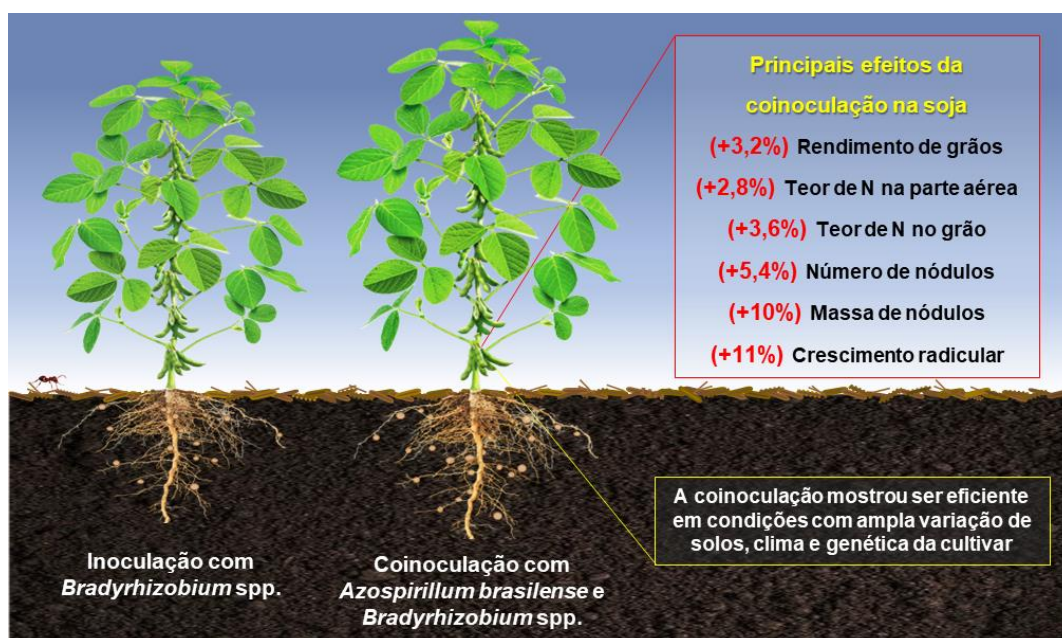
6. Coinoculação

Uma alternativa promissora e recentemente explorada no Brasil para aumentar a eficiência da utilização de microrganismos multifuncionais é a mistura de duas ou mais espécies, uma técnica definida como coinoculação (Hungria et al., 2013). A coinoculação entra em sintonia com a abordagem atual da agricultura, que é uma produção agrícola sustentável com garantia de altos rendimentos (Hungria, 2015). Espera-se que essa técnica potencialize os efeitos benéficos desses microrganismos sobre as plantas, ou seja, que os resultados produtivos obtidos com a coinoculação superem os obtidos com o uso de bactérias de forma isolada (Ferlini, 2006; Bárbaro et al., 2008).

De acordo com Galindo et al. (2016), a coinoculação de rizobactérias multifuncionais, *Bradyrhizobium sp.*, *Rhizobium sp.*, *Azospirillum sp.*, *Bacillus spp.*, *Serratia spp.* e *Pseudomonas spp.*, pode favorecer o desenvolvimento das culturas, especialmente o maior desenvolvimento do sistema radicular, com uma maior absorção de água e nutrientes e,

consequentemente, maior rendimento de grãos. A técnica já é bastante explorada em alguns países, apresentando aumentos significativos na produtividade (Atieno et al., 2012). Entretanto, no Brasil ainda é pouco explorada comercialmente, se limitando a cultura da soja e feijoeiro com a combinação de *Bradyrhizobium japonicum* ou *Rhizobium sp.* com *Azospirillum brasilense*, mas com grande importância pois estabelece uma relação extremamente harmônica (simbiose) com as plantas (Figura 5) (Kumudini, 2010). Em soja coinoculada com *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* houve aumento na produtividade de grãos (18.1%) em comparação com a soja inoculada apenas com *B. japonicum*, resultando em aumento de lucratividade da ordem de 20,4% (Galindo et al., 2018). Gitti (2015) verificaram que a coinoculação de *Azospirillum brasilense* e *Bradyrhizobium* em soja promoveu maior número e massa de nódulos do que os tratamentos em que foram aplicados apenas fertilizantes minerais (Gitti, 2015).

Figura 5. Representação da importância da coinoculação da soja com *Azospirillum brasilense* e *Bradyrhizobium spp.* comparada a inoculação padrão.



Fonte: Barbosa (2021).

No feijoeiro-comum, a coinoculação aumentou em 9%, 25%, 35% e 31% o número de nódulos, massa de nódulos secos e massa da parte aérea seca, respectivamente quando comparada ao tratamento nitrogenado, resultando em uma produção de grãos de 3200 kg ha⁻¹, superior em 5% e 26% à adubação nitrogenada e à inoculação somente com *Rhizobium tropici*, respectivamente (Souza & Ferreira, 2017). Sob o ponto de vista econômico, em ambiente de agricultura empresarial a coinoculação resultou em taxas de retorno de 90% e 114% em Goiás e Minas Gerais, respectivamente e de 13% em ambiente de agricultura familiar no estado de Goiás (Ferreira et al., 2020).

Apesar de muitos anos de pesquisa, ainda se constata grande variabilidade de respostas com o uso da inoculação e coinoculação de microrganismos multifuncionais, ou seja, alguns resultados mostram à promoção e outros a inibição do crescimento vegetal. Autores como Gitti et al. (2012), Zuffo et al. (2015) e Zuffo et al. (2016), não evidenciaram resposta ao uso dessa prática. Com isso, estudos para o avanço de conhecimento em escala laboratorial, casa de vegetação e campo para estabelecimento de métodos de manejo (formas de aplicação, quantidade, interação com outras bactérias, condições edafoclimáticas) e recomendações de uso da coinoculação nas diferentes espécies é de fundamental importância para que o

produtor tenha confiança e segurança em utilizar essa tecnologia em sua lavoura, garantindo qualidade, produtividade e retorno econômico (Kappes et al., 2014; Bárbaro et al., 2008; Oliveira et al., 2014; Gerlach, 2017).

Estudos com arroz de terras altas, realizados na Embrapa Arroz e Feijão, confirmaram o potencial uso da coinoculação, uma vez que proporcionou incrementos significativos na produtividade do arroz de terras altas tanto em casa de vegetação (Nascente et al., 2017) quanto em condições de campo (Nascente et al., 2019). Aumentos significativos na taxa fotossintética e produção de biomassa foram observados em plantas de arroz de terras altas coinoculadas com os isolados 1301 (*Bacillus sp.*) e Ab-V5 (*Azospirillum brasilense*). Por outro lado, estudo com a soja mostrou maior acúmulo de biomassa seca de parte aérea quando as plantas foram coinoculadas com os isolados 1301 e BRM 32114 (*Serratia sp.*) (Silva, 2020). Os resultados obtidos demonstram que a coinoculação de rizobactérias multifuncionais tem grande potencial para ser empregada em sistemas agrícolas intensivos.

7. Considerações Finais

Rizobactérias multifuncionais é uma tecnologia inovadora e viável para uso nos diferentes sistemas de produção agrícola rumo à sustentabilidade da agricultura, em nível mundial. As mais variadas espécies de rizobactérias se apresentam nos agroecossistemas de forma livre, em associações simbióticas ou endofiticamente, atuando não só como promotoras de crescimento de plantas como também supressoras de doenças. Isso traduz a grandeza de sua importância para o estabelecimento de sistemas produtivos intensivos e sustentáveis. Sabe-se, hoje, que vários gêneros de rizobactérias multifuncionais podem atuar por meio de diferentes mecanismos de ação auxiliando as plantas a enfrentar estresses bióticos e abióticos para sobreviver e reproduzir. Além disso, muitos microrganismos, quando atuam juntos (coinoculação), apresentam efeitos sinérgicos, os quais potencializam os benefícios sobre as plantas. Portanto, estudos que visam aumentar os conhecimentos sobre as rizobactérias multifuncionais, utilizadas de forma isolada ou combinada, são muito importantes para ajudar com que essa tecnologia chegue cada vez mais até do produtor rural, ajudando a tornar os sistemas agrícolas mais eficientes e sustentáveis.

Referências

- Abhilash, P. C. C., Dubey, R. K., Tripathi, V., Gupta, V. K. & Singh, H. B. (2016). Plant Growth-Promoting Microorganisms for Environmental Sustainability. *Trends in Biotechnology*, 34 (11), 847-850
- Ahemad, M., & Kibret, M. (2014). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. *Journal of King saud University-science*, 26(1), 1-20.
- Ahn, I. P., Lee, S. W., Kim, M. G., Park, S. R., Hwang, D. J., & Bae, S. C. (2011). Priming by rhizobacterium protects tomato plants from biotrophic and necrotrophic pathogen infections through multiple defense mechanisms. *Molecules and cells*, 32(1), 7-14.
- Atieno, M., Herrmann, L., Okalebo, R., & Lesueur, D. (2012). Efficiency of different formulations of Bradyrhizobium japonicum and effect of co-inoculation of Bacillus subtilis with two different strains of Bradyrhizobium japonicum. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(7), 2541-2550.
- Arruda, L. M. (2012). Seleção e caracterização de rizobactérias promotoras de crescimento de milho cultivadas no Rio Grande do Sul.
- Bárbaro, I. M., Brancalhão, S. R., Ticelli, M., Miguel, F. B., & Silva, J. D. (2008). Técnica alternativa: co-inoculação de soja com Azospirillum e Bradyrhizobium visando incremento de produtividade. *Artigo em Hypertexto*. Disponível em: < http://www.infobibos.com/Artigos/2008_4/coinoculacao/index.htm >. Acessado em, 10 jan 2022.
- Bhattacharyya, P. N., & Jha, D. K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(4), 1327-1350.
- Bottini, R., Fulchieri, M., Pearce, D., & Pharis, R. P. (1989). Identification of gibberellins A1, A3, and iso-A3 in cultures of Azospirillum lipoferum. *Plant Physiology*, 90(1), 45-47.
- Bitas, V., Kim, H. S., Bennett, J. W., & Kang, S. (2013). Sniffing on microbes: diverse roles of microbial volatile organic compounds in plant health. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 26(8), 835-843.
- Braga Júnior, G. M. (2015). Eficiência de Bacillus subtilis no biocontrole de fitopatógenos e promotor de crescimento vegetal.

- Brito, T. S., Buss, L. A., Carvalho, J. P. F., Eberling, T., Martínez, A., Guimaraes, V. F., & Chaves, E. I. D. (2018). Growth promotion of *Burkholderia ambifaria* associated to nitrogen fertilization in the initial development of corn. *J Agric Sci*, 10(6), 123-135.
- Bubanz, H. C. S. (2018). Potencial de rizobactérias para a promoção de crescimento vegetal.
- Bulegoni, L. G., Rampim, L., Klein, J., Kestring, D., Guimarães, V. F., Battistus, A. G., & Inagaki, A. M. (2016). Componentes de produção e produtividade da cultura da soja submetida à inoculação de *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*. *Terra Latinoamericana*, 34(2), 169-176.
- Cacciari, I., Lippi, D., Pietrosanti, T., & Pietrosanti, W. (1989). Phytohormone-like substances produced by single and mixed diazotrophic cultures of *Azospirillum* and *Arthrobacter*. *Plant and soil*, 115(1), 151-153.
- Campanhola, C., & Bettiol, W. (2003). *Métodos alternativos de controle fitossanitário*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003.
- Cantarella, H. (2007). Nitrogênio. *Fertilidade do solo*, 1, 375-470.
- Cardozo, R. B.; Araújo, F. F. (2011). Multiplicação de *Bacillus subtilis* em vinhaça e viabilidade no controle da meloidoginose, em cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(12), 1283-1288.
- Compant, S., Duffy, B., Nowak, J., Clément, C., & Barka, E. A. (2005). Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects. *Applied and environmental microbiology*, 71(9), 4951-4959.
- Compant, S., Clément, C., & Sessitsch, A. (2010). Plant growth-promoting bacteria in the rhizo-and endosphere of plants: their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(5), 669-678.
- Crozier, A., Arruda, P., Jasmim, J. M., Monteiro, A. M., & Sandberg, G. (1988). Analysis of indole-3-acetic acid and related indoles in culture medium from *Azospirillum lipoferum* and *Azospirillum brasilense*. *Applied and Environmental Microbiology*, 54(11), 2833-2837.
- Duca, D.; Lorv, J.; Patten, C. L.; Rose, D.; Glick, B. R. (2014). Ácido indol-3-acético nas interações planta-micróbio. *Antonie van Leeuwenhoek*, 106, 85-125.
- El-Esawi, M. A., Elkelish, A., Soliman, M., Elansary, H. O., Zaid, A., & Wani, S. H. (2020). *Serratia marcescens* BM1 enhances cadmium stress tolerance and phytoremediation potential of soybean through modulation of osmolytes, leaf gas exchange, antioxidant machinery, and stress-responsive genes expression. *Antioxidants*, 9(1), 43.
- Esitken, A., Yildiz, H. E., Ercisli, S., Donmez, M. F., Turan, M., & Gunes, A. (2010). Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. *Scientia horticulturae*, 124(1), 62-66.
- Fageria, N. K. (2014). Yield and yield components and phosphorus use efficiency of lowland rice genotypes. *Journal of plant nutrition*, 37(7), 979-989.
- FAO – Food and Agriculture Organization. Dados sobre alimentação e agricultura. FAOSTAT (2019). <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>.
- Farag, M. A., Zhang, H., & Ryu, C. M. (2013). Dynamic chemical communication between plants and bacteria through airborne signals: induced resistance by bacterial volatiles. *Journal of chemical ecology*, 39(7), 1007-1018.
- Ferlini, H. A. (2006). Co-Inoculación en Soja (*Glycine max*) con *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense*. [S.l.: s.n.]. <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/co-inoculacion-en-soja-t26446.htm>
- Ferreira, E. P. D. B., Silva, O. F. D., & Wander, A. E. (2020). Economics of rhizobia and azospirilla co-inoculation in irrigated common bean in commercial and family farming. , 55.
- Galindo, F. S., Teixeira, M. C. M., Buzetti, S., Santini, J. M. K., Alves, C. J., Nogueira, L. M., ... & Bellotte, J. L. M. (2016). Corn yield and foliar diagnosis affected by nitrogen fertilization and inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40.
- Galindo, F. S., Teixeira, M., Buzetti, S., Ludkiewicz, M. G., Rosa, P. A., & Tritapepe, C. A. (2018). Technical and economic viability of co-inoculation with *Azospirillum brasilense* in soybean cultivars in the Cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22, 51-56.
- Gerlach, G. A. X. (2017). Leguminosas em consórcio com milho segunda safra e o seu efeito no manejo do nitrogênio na soja e arroz de terras altas cultivados em sucessão.
- Gil, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. (5a ed.), São Paulo: Atlas, 2018.
- Gitti, D. C., Arf, O., Kaneko, F. H., Rodrigues, R. A. F., Buzetti, S., Portugal, J. R., & Corsini, D. C. D. C. (2012). Inoculação de *Azospirillum brasilense* em cultivares de feijões cultivados no inverno. *Agrarian*, 5(15), 36-46.
- Gitti, D. D. C. (2015). Inoculação e coinoculação na cultura da soja. *Tecnologia e Produção: Soja*, 2015, 15-28.
- Glick, BR, Holguin, G., Patten, CL, & Penrose, DM (1999). *Mecanismos bioquímicos e genéticos usados por bactérias promotoras de crescimento de plantas*. Mundial Científico.
- Glick, B. R. (2012). Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. *Scientifica*, 2012.
- Gomes, J. P. A., Souza, M. N., Júnior, A. C. S., & Moulin, M. M. Uso de microrganismos eficientes como alternativa para agricultura sustentável: um referencial teórico.
- Gray, E. J., & Smith, D. L. (2005). Intracellular and extracellular PGPR: commonalities and distinctions in the plant-bacterium signaling processes. *Soil biology and biochemistry*, 37(3), 395-412.
- Grimont, F. & Grimont P. A. D. (2006). The Genus *Serratia*. *Prokaryotes*. (6), 219-244.

- Harthmann, O. E. L. (2009). Microbiolização de sementes com rizobactérias na produção de cebola.
- Hungria, M., Campo, R. J., & Mendes, I. D. C. (2001). Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja. Embrapa *Soja-Circular Técnica* (INFOTECA-E).
- Hungria, M., Nogueira, M. A., & Araujo, R. S. (2013). Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. *Biology and Fertility of Soils*, 49(7), 791-801.
- Hungria, M., Chibeba, A. M., Guimarães, M. F., Brito, O. R., Araújo, R. S. & Nogueira, M. A. (2015). Inoculação de soja com bradyrhizobium e azospirillum promove nodulação precoce. In Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 7.; MERCOSOJA, 2015, Florianópolis. Tecnologia e mercado global: perspectivas para soja: anais. Londrina: Embrapa Soja, 2015..
- Kang, S. M., Khan, A. L., Wagas, M., Asaf, S., Lee, K. E., Park, Y. G., Kim, A. Y., Khan, M. A., You, Y. H. & Lee, I. J. (2019). Integrated phytohormone production by the plant growth-promoting rhizobacterium *Bacillus tequilensis* SSB07 induced thermotolerance in soybean. *Journal of Plant Interactions*, 14 (1), 416-423.
- Kappes, C., & Zancanaro, L. (2014). Manejo da fertilidade do solo em sistemas de produção no Mato Grosso. In *Congresso Nacional De Milho E Sorgo* (Vol. 3, pp. 358-381).
- Klopper, J. W. (2003, October). A review of mechanisms for plant growth promotion by PGPR. In 6th *international PGPR workshop* (Vol. 10, pp. 5-10).
- Kumudini, S., & Singh, G. (2010). Soybean growth and development. *The soybean: botany, production and uses*, 48-73.
- Jog, R., Pandya, M., Nareshkumar, G., & Rajkumar, S. (2014). Mechanism of phosphate solubilization and antifungal activity of *Streptomyces* spp. isolated from wheat roots and rhizosphere and their application in improving plant growth. *Microbiology*, 160(4), 778-788.
- Júnior, D. G. F., & Queiroz, E. H. G. (2021). Inoculação de *Azospirillum brasilense* na cultura do milho: aliando produtividade e sustentabilidade.
- Junior, A. F. C., Junior, G. M. B. J. B., Lima, C. A. L., Martins, A. L. L. M., Souza, M. C. S., & Chagas, L. F. B. C. (2022). *Bacillus subtilis* como inoculante promotor de crescimento vegetal em soja. *Diversitas Journal*, 7(1), 0001-0016.
- Lakshmanan, V., Shantharaj, D., Li, G., Seyfferth, A. L., Sherrier, D. J., & Bais, H. P. (2015). A natural rice rhizospheric bacterium abates arsenic accumulation in rice (*Oryza sativa* L.). *Planta*, 242(4), 1037-1050.
- Lee, J., Postmaster, A., Soon, H. P., Keast, D., & Carson, K. C. (2012). Siderophore production by actinomycetes isolates from two soil sites in Western Australia. *Biometals*, 25(2), 285-296.
- Lima, F. (2010). *Bacillus subtilis* e níveis de nitrogênio sobre o desenvolvimento e a produtividade do milho. *Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí. Teresina, PI*.
- Lin, Y., Du, D., Si, C., Zhao, Q., Li, Z., & Li, P. (2014). Potential biocontrol *Bacillus* sp. strains isolated by an improved method from vinegar waste compost exhibit antibiosis against fungal pathogens and promote growth of cucumbers. *Biological Control*, 71, 7-15.
- Meena, V. S., Meena, S. K., Verma, J. P., Kumar, A., Aeron, A., Mishra, P. K., ... & Dotaniya, M. L. (2017). Plant beneficial rhizospheric microorganism (PBRM) strategies to improve nutrients use efficiency: a review. *Ecological Engineering*, 107, 8-32.
- Mehta, P., Walia, A., Kulshrestha, S., Chauhan, A., & Shirkot, C. K. (2015). Efficiency of plant growth-promoting P-solubilizing *Bacillus circulans* CB7 for enhancement of tomato growth under net house conditions. *Journal of basic microbiology*, 55(1), 33-44.
- Moreno-Ramírez, L., González-Mendoza, D., Cecena-Duran, C., & Grimaldo-Juarez, O. (2015). Molecular identification of phosphate-solubilizing native bacteria isolated from the rhizosphere of *Prosopis glandulosa* in Mexicali valley. *Genetics and Molecular Research*, 14(1), 2793-2798.
- Nascente, A. S., de Filippi, M. C. C., Lanna, A. C., de Souza, A. C. A., da Silva Lobo, V. L., & da Silva, G. B. (2017). Biomass, gas exchange, and nutrient contents in upland rice plants affected by application forms of microorganism growth promoters. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(3), 2956-2965.
- Nascente, A. S., de Filippi, M. C. C., Lanna, A. C., de Sousa, T. P., de Souza, A. C. A., da Silva Lobo, V. L., & da Silva, G. B. (2017). Effects of beneficial microorganisms on lowland rice development. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(32), 25233-25242.
- Nascente, A. S., Lanna, A. C., de Sousa, T. P., Chaibub, A. A., de Souza, A. C. A., & de Filippi, M. C. C. (2019). N fertilizer dose-dependent efficiency of *Serratia* spp. for improving growth and yield of upland rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Plant Production*, 13(3), 217-226.
- Nihorimbere, V., Ongena, M., Smargiassi, M., & Thonart, P. (2011). Beneficial effect of the rhizosphere microbial community for plant growth and health. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 15(2), 327-337.
- de Oliveira, A. L. M., dos Reis Costa, K., Cristina, D., Silva, B., & Zuluaga, M. Y. A. (2014a). Biodiversity of soil bacteria and its applications for a sustainable agriculture.
- de Oliveira, A. L. M., dos Reis Costa, K., Ferreira, D. C., Milani, K. M. L., dos Santos, O. J. A. P., Silva, M. B., & Zuluaga, M. Y. A. (2014b). Aplicações da biodiversidade bacteriana do solo para a sustentabilidade da agricultura. *BBR-Biochemistry and Biotechnology Reports*, 3(1), 56-77.
- Oliveira, G. R. F., Silva, M. S., Proença, S. L., Bossolani, J. W., Camargo, J. A., Franco, F. S. & SÁ, M. E. (2017). Influence of *Bacillus subtilis* in nematodes biological control and production aspects of bean. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, 11 (1), 47-58.
- Oliveira, RP, Lima, SF, Alvarez, RDCF, Baldani, VLD, Oliveira, MP e Brasil, MS (2018). Inoculação de *Azospirillum brasilense* e manejo de fertilizante nitrogenado em milho. *Revista Brasileira de Agricultura* , 93 (3), 347-361.
- Partida-Martinez, L. P. P., & Heil, M. (2011). The microbe-free plant: fact or artifact?. *Frontiers in plant science*, 2, 100.

- Pereira A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J. & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. UFSM. https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1
- Picazevicz, A. A. C., Kusdra, J. F., & de Lima Moreno, A. (2019). Crescimento do milho em resposta à rizobactérias, molibdênio e nitrogênio. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 10(4), 167-174.
- Pinho, R. S. C., Pozzebon, B. C., Rodrigues, K. R. R., Arns, R. B., Alves, C. A. & Bergmann, M. B. (2020). Rizobactérias no controle de *Sclerotinia sclerotiorum*, e efeitos no desenvolvimento vegetativo de plântulas de soja. *Colloquium Agrariae*, 16 (4), 110-120
- Raja Namasivayam, S. K., & Bharani, R. S. A. (2012). Effect of compost derived from decomposed fruit wastes by effective microorganism (EM) technology on plant growth parameters of Vigna mungo. *J Bioremed Biodeg*, 3(167), 2.
- Reddy, P. P. (2013). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Recent advances in crop protection. Springer, India, 131-145.
- Ribeiro, R.; Sei, F. B.; Leite, M.S. (2011). Bacillus subtilis: agente de controle biológico e promotor de crescimento em plantas. Equipe de Pesquisa e Desenvolvimento de Novozymes Turfal, 01.
- Rodrigues, A. C., Antunes, J. E. L., de Medeiros, V. V., de França BARROS, B. G., & Figueiredo, M. D. V. B. (2012). Resposta da co-inoculação de bactérias promotoras de crescimento em plantas e Bradyrhizobium sp. em caupi. *Bioscience journal*, 28(1).
- dos Santos FREITAS, S. Rizobactérias Promotoras do Crescimento de Plantas. *Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental*, 1.
- Santos, F. L. D. (2018). Inoculação e coinoculação de rizobactérias promotoras de crescimento em plantas de arroz, milho e trigo.
- Singh, JS, Pandey, VC, & Singh, DP (2011). Microrganismos eficientes do solo: uma nova dimensão para a agricultura sustentável e o desenvolvimento ambiental. *Agricultura, ecossistemas e meio ambiente* , 140 (3-4), 339-353.
- da Silva, A. F., de Carvalho, M. A. C., Schoninger, E. L., Monteiro, S., Caione, G., & Santos, P. A. (2011). Doses de inoculante e nitrogênio na semeadura da soja em área de primeiro cultivo. *Bioscience Journal*, 27(3).
- Silva, C., Brito, T. L. D., Taniguchi, C. A., Lopes, L. A., Pinto, G. A., & de Carvalho, A. C. (2018). Growth-promoting potential of bacterial biomass in the banana micropropagated plants. *Embrapa Agroindústria Tropical-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.
- Silva, M. A., Nascente, A. S., FILIPPI, M. C. C. D., Lanna, A. C., SILVA, G. B. D., & SILVA, J. F. A. E. (2020). Individual and combined growth-promoting microorganisms affect biomass production, gas exchange and nutrient content in soybean plants. *Revista Caatinga*, 33, 619-632.
- Sousa, I. M., Nascente, A. S., & de Filippi, M. C. C. (2019). Bactérias promotoras do crescimento radicular em plântulas de dois cultivares de arroz irrigado por inundação. *Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado (ALICE)*.
- de Souza, JEB, & de Brito Ferreira, EP (2017). Melhorando a sustentabilidade dos sistemas de produção de feijão por co-inoculação de rizóbio e azospirilla. *Agricultura, Ecossistemas e Meio Ambiente* , 237 , 250-257.
- de Sousa, MA, de Oliveira, MM, Damin, V., & Ferreira, EPDB (2020). Produtividade e economia do feijoeiro inoculado em função da aplicação de nitrogênio em diferentes fases fenológicas. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* , 20 (4), 1848-1858.
- Stefan, M., Munteanu, N., Stoleru, V., Mihasan, M., & Hritcu, L. (2013). Seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria enhances photosynthesis and yield of runner bean (*Phaseolus coccineus* L.). *Scientia Horticulturae*, 151, 22-29.
- Steffen, G. P. K., Maldaner, J., Missio, E. L. & Steffen, R. B. (2018). *Trichoderma controla fitonematóides e aumenta produtividade da soja*, Campos & Negócios. <https://revistacampoenegocios.com.br/trichoderma-controla-fitonematoides-e-aumenta-produtividade-da-soja/>
- Taha, R. S., Mahdi, A. H., & Abd El-Rahman, H. A. (2016). Effect of biofertilizers as a partial substitute for mineral fertilizers on growth, anatomical structure, mineral elements and yield of wheat under newly reclaimed soil conditions. *International J. Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(8), 458-469.
- Verma, S. C., Ladha, J. K., & Tripathi, A. K. (2001). Evaluation of plant growth promoting and colonization ability of endophytic diazotrophs from deep water rice. *Journal of biotechnology*, 91(2-3), 127-141.
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and soil*, 255(2), 571-586.
- Wang, D., Yang, S., Tang, F., & Zhu, H. (2012). Symbiosis specificity in the legume–rhizobial mutualism. *Cellular microbiology*, 14(3), 334-342.
- Wang, C., Wang, Z., Qiao, X., Li, Z., Li, F., Chen, M., ... & Cui, H. (2013). Antifungal activity of volatile organic compounds from *Streptomyces alboflavus* TD-1. *FEMS microbiology letters*, 341(1), 45-51.
- Zuffo, A. M., Rezende, P. M., Bruzi, A. T., Oliveira, N. T., Soares, I. O., Neto, G. F., ... & Silva, L. O. (2015). Co-inoculation of *Bradyrhizobium japonicum* and *Azospirillum brasilense* in the soybean crop. *Revista de Ciências Agrárias*, 38(1), 87-93.
- Zuffo, A. M., Bruzi, A. T., de Rezende, P. M., Bianchi, M. C., Zambiazzi, E. V., Soares, I. O., ... & Vilela, G. L. D. (2016). Morphoagronomic and productive traits of RR soybean due to inoculation via *Azospirillum brasilense* groove. *African Journal of Microbiology Research*, 10(13), 438-444.