

Eficiência de fixação de *n* por rizobactérias nativas do semiárido

A fertilização química por um longo período pode acarretar em vários efeitos negativos para o solo e conseqüentemente para o desenvolvimento das culturas, por isso é importante buscar formas alternativas de fertilização que proporcione a preservação do ambiente de cultivo e um crescimento vegetal eficiente e sustentável. A inoculação de plantas com bactérias fixadoras de nitrogênio tem mostrado resultados bastante positivos em vários trabalhos científicos com diversas espécies vegetais de interesse econômico. Além disso, é uma fonte de nitrogênio mais barata que o fertilizante nitrogenado, diminuindo custos com mão de obra e uso de maquinário. Entretanto as bactérias de inoculantes comerciais podem ter sensibilidade aos estresses abióticos do local a serem introduzidas, diminuindo a eficiência do produto, principalmente em regiões de clima semiárido devido às altas temperaturas do ar, longos períodos de secas e problemas com salinidade do solo e da água. O uso de estirpes nativas pode apresentar maior eficiência de fixação de nitrogênio e desenvolvimento das plantas em condições adversas, por serem adaptados a essas condições. Estudos em ambientes semiáridos mostraram que essas estirpes possuem eficiência de aquisição de nitrogênio igual ou superior ao uso de inoculantes comerciais ou adubação nitrogenada. A utilização de inoculantes voltados para estirpes adaptadas às condições semiáridas pode promover o desenvolvimento da agricultura local, devido à diminuição com a adubação nitrogenada e possibilidade de inserção de outras culturas no sistema de produção. Entretanto, o processo de formulação de um novo inoculante para o mercado demanda recursos, pesquisas e demora anos para ser concluído.

Palavras-chave: Aquisição de nitrogênio; Bactérias associativas; Estirpes nativas; Simbiose; Rizóbios.

Efficiency of *n* fixation by rhizobacteria native to the semiarid

Chemical fertilization for a long period can have several negative effects on the soil and, consequently, on the development of crops, so it is important to seek alternative forms of fertilization that provide for the preservation of the cultivation environment and an efficient and sustainable plant growth. The inoculation of plants with nitrogen-fixing bacteria has shown very positive results in several scientific studies with several plant species of economic interest. In addition, it is a cheaper source of nitrogen than nitrogen fertilizer, reducing labor and machinery costs. However, bacteria from commercial inoculants can be sensitive to abiotic stresses at the location to be introduced, reducing the efficiency of the product, especially in semi-arid climate regions due to high air temperatures, long periods of drought and problems with soil and water salinity. The use of native strains can provide greater efficiency in nitrogen fixation and plant development under adverse conditions, as they are adapted to these conditions. Studies in semiarid environments showed that these strains have nitrogen acquisition efficiency equal to or greater than the use of commercial inoculants or nitrogen fertilization. The use of inoculants aimed at strains adapted to semiarid conditions can promote the development of local agriculture, due to the reduction with nitrogen fertilization and the possibility of inserting other crops in the production system. However, the process of formulating a new inoculant for the market demands resources, research and takes years to complete.

Keywords: Nitrogen acquisition; Associative bacteria; Native strains; Symbiosis; Rhizobia.

Topic: **Microbiologia Agrícola e Ambiental**

Received: **02/10/2021**

Approved: **25/10/2021**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Rhaiana Oliveira de Aviz 
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2715037307668915>
<http://orcid.org/0000-0002-4462-4339>
rhaianaoliveiradeaviz@gmail.com

Nágila Sabrina Guedes da Silva 
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0642338452206429>
<http://orcid.org/0000-0003-4006-1652>
nagilasabrinaguedes@gmail.com

Wagner Martins dos Santos 
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4506292783833761>
<http://orcid.org/0000-0002-3584-1323>
wagnerms97@gmail.com

Erison Martins Amaral 
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0203403737626492>
<http://orcid.org/0000-0002-5627-695X>
erison.m.a13@hotmail.com

João Pedro Alves de Souza Santos 
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5426749144869447>
<http://orcid.org/0000-0003-0804-115X>
peualves02@gmail.com

José Orlando Nunes da Silva 
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1780809142332408>
<http://orcid.org/0000-0001-7622-5095>
joseorlando.agro@gmail.com

Kaique Renan da Silva Salvador 
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6334932641822870>
<http://orcid.org/0000-0002-6119-2865>
kaiquersalvador@outlook.com

Renan Matheus Cordeiro Leite 
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9490242836620362>
<http://orcid.org/0000-0001-8454-8660>
renanmatheuscl@gmail.com

Maurício Luiz de Mello Vieira Leite 
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4204641633941814>
<http://orcid.org/0000-0003-4241-241X>
nopalea21@yahoo.com.br

Carolina Etienne de Rosália e Silva Santos 
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5129566443607422>
<http://orcid.org/0000-0001-8771-8055>
carolina.ssantos@ufrpe.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.010.0008

Referencing this:

AVIZ, R. O.; SILVA, N. S. G.; SANTOS, W. M.; AMARAL, E. M.; SANTOS, J. P. A. S.; SILVA, J. O. N.; SALVADOR, K. R. S.; LEITE, R. M. C.; LEITE, M. L. M. V.; SANTOS, C. E. R. S.. Eficiência de fixação de *n* por rizobactérias nativas do semiárido. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.10, p.81-92, 2021. DOI:
<http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.010.0008>

INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da história da agricultura o ser humano busca técnicas que facilitem e incrementem a produção das culturas, e um marco da modernização agrícola foi a Revolução Verde (JONES et al., 2013), a partir de 1945, caracterizada pelo uso de práticas com objetivo de aumentar a produtividade, como o monocultivo intensivo, uso de maquinário agrícola, aplicação de fertilizantes inorgânicos, agroquímicos, entre outros (DUTRA et al., 2017). Apesar do incremento considerável de produção por área cultivada, os usos contínuos e intensivos dessas técnicas comprometeram as características físicas, químicas e biológicas do solo, causando a sua degradação.

Segundo estudos realizados por Zhang et al. (2017) e Xie et al. (2018) o uso de fertilizantes inorgânicos no solo em longo prazo proporciona aumento da acidificação, diminuição da população microbiana e do carbono orgânico no solo. Por isso é necessário buscar formas alternativas de manejo que proporcione a preservação do ambiente de cultivo e que a planta consiga ter um bom desenvolvimento. Uma alternativa para contornar essa problemática no campo é a inoculação com microrganismos promotores de crescimento e fixadores de nutrientes em culturas de interesse (PAHARI et al., 2020).

Os inoculantes estão sendo utilizados pelos produtores como alternativa para aquisição de nutrientes e economia com fertilizantes minerais. Esses produtos são regulamentados pelo Decreto Nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que estabelece as normas sobre seu registro, padronização, classificação, inspeção e fiscalização da produção e comércio, e o define como “produto que contém microrganismos com atuação favorável ao crescimento de plantas”, contudo deve possuir apenas os microrganismos especificados (BRASIL, 2004). Dessa forma, no mercado há dois tipos de inoculantes, à base de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCP's). Para obtenção de nitrogênio a inoculação em sementes de plantas com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico (N_2), tem mostrado resultados bastante promissores, relatados em vários trabalhos científicos com espécies vegetais de interesse econômico, isso porque as bactérias fixadoras de N_2 conseguem fixar o N_2 e disponibiliza-lo para a planta em sua forma assimilável (NH_4^+) (BUCHANAN et al., 2015).

Apesar de apresentar várias vantagens para o desenvolvimento das plantas, as bactérias de inoculantes comerciais podem ter sensibilidade aos estresses abióticos do local a ser introduzido, e isso pode diminuir a eficiência do produto, dessa forma é importante à seleção de bactérias que sejam adaptadas ao ambiente de cultivo (GARCÍA et al., 2017). O uso de estirpes nativas pode melhorar o desenvolvimento de plantas em ambientes estressantes, além disso, também podem proporcionar melhoria dos atributos do solo, como aumento de matéria orgânica (MENGUAL et al., 2014). Cultivos em regiões de clima semiárido podem ser dificultados pela baixa fertilidade do solo, longos períodos de seca e precipitação irregular, por isso é importante o isolamento e seleção de bactérias mais resistentes e promissoras na produção de novos inoculantes específicos para essas condições ambientais (SCHOEBITZ et al., 2014).

Dessa forma, objetivou-se com essa revisão de literatura abordar sobre a eficiência de aquisição de nitrogênio pela planta através de inoculação com rizobactérias associativas e simbiotes, e destacar a

importância do uso de rizobactérias nativas de ambientes semiáridos para maior eficiência de fixação de N₂ nesses locais.

METODOLOGIA

Este trabalho se trata de uma revisão bibliográfica, baseada na busca por artigos científicos nacionais e internacionais que abordassem do assunto Microbiologia do solo sendo o tema central a eficiência de aquisição de nitrogênio pela planta através de inoculação com rizobactérias nativas de ambientes semiáridos.

Foram utilizados bancos de dados de renome na área acadêmica como Scientific Electronic Library Online (SciELO), Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Google Acadêmico e Science Direct. Para restrição da pesquisa utilizou-se as palavras-chaves: Rizobactérias, inoculantes, fixação do N, adubação nitrogenada, bactérias de vida livre, simbiontes, associativas, bactérias promotoras de crescimento.

DISCUSSÃO TEÓRICA

Importância do n e fixação biológica

Dentre os minerais essenciais para a nutrição das plantas o nitrogênio (N) é um dos principais elementos requeridos, e a sua disponibilidade no solo tem grande influência no crescimento e desenvolvimento vegetal. Esse elemento faz parte da estrutura de vários compostos, como por exemplo, aminoácidos, ácidos nucleicos (DNA e RNA), alcaloides, proteínas, enzimas e clorofilas. Esse último composto tem bastante sensibilidade à deficiência de N nas plantas, dessa forma quando há escassez desse nutriente nas plantas, elas apresentam amarelecimento das folhas, a chamada clorose. Além disso, as plantas podem apresentar outros sintomas como caules pronunciadamente delgados e frequentemente lenhosos, coloração púrpura em folhas, pecíolos e caules (BUCHANAN et al., 2015; TAIZ et al., 2017).

De acordo com Malavolta (2006), 95% do N está presente no solo na forma orgânica e somente 2% na forma mineral (amônia, nitrito e nitrato), formas em que a planta consegue absorver esse nutriente. O N também está presente em abundância na atmosfera, fazendo parte de cerca de 80% da sua composição, entretanto os vegetais não conseguem absorver, pois está na forma de N₂ (dinitrogênio), possuindo uma tripla ligação que não pode ser reduzida pelas plantas (BUCHANAN et al., 2015). Entretanto, seres vivos que possuem a enzima chamada nitrogenase (Figura 1-A) conseguem realizar a quebra dessa tripla ligação, tornando o N₂ disponível para absorção, processo chamado de fixação biológica do N.

Os microrganismos que possuem essas enzimas são chamados dizotróficos, e são representados por muitas eubactérias diferentes e algumas arqueias metanogênicas, que podem estabelecer algum tipo de interação com a planta e dessa forma disponibilizar o N para absorção. A enzima nitrogenase é composta de duas proteínas, a Fe-proteína e a MoFe-proteína, além de um cofator FeMo que reduz o N₂ para NH₄⁺. Após a fixação do N, o NH₄⁺ é convertido em glutamina e armazenado nos plastídios, essa glutamina também pode ser convertida em amidas e ureides, sendo dessa forma transportadas para a parte aérea das plantas (Figura

1-B) (BUCHANAN et al., 2015).

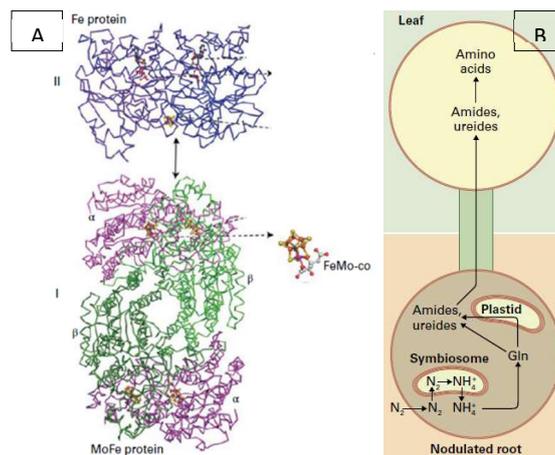


Figura 1: Enzima nitrogenase (A) e rotas do nitrogênio na planta após a fixação (B). **Fonte:** Buchanan et al. (2015).

Esse processo de fixação biológica do N tem grande importância agrícola e ecológica, pois esse processo torna o nitrogênio disponível sem ocorrer perdas por lixiviação, volatilização e desnitrificação, além de ser uma fonte mais barata de N para o agricultor, também promove a sustentabilidade do processo produtivo. Além disso, esses microrganismos tem importante papel na manutenção da fertilidade do solo, pois são capazes de mineralizar nutrientes, degradar compostos e resíduos vegetais presentes no solo em aminoácidos, lipídeos e proteínas (MATTOS, 2015).

Classificação das bactérias fixadoras

As bactérias que possui a capacidade de fixar N_2 estão presentes naturalmente no solo, principalmente na porção onde estão localizadas as raízes das plantas, a chamada rizosfera. Essa zona tem suas características bioquímicas influenciadas pela atividade das raízes das plantas, que exsudam enzimas, aminoácidos, polifenóis, entre outros compostos (CARDOSO et al., 2016; PAHARI et al., 2020). Ankati et al. (2019) verificaram que os exsudatos das raízes de amendoim possuíam ácidos carboxílicos, aminoácidos, ácidos graxos, hidrocarbonetos, e que proporcionaram aumento da colonização de rizobactérias, além disso, esses compostos também interagem com essas bactérias, pois possuem função de sinal bioquímico para nodulação das raízes. Essa resposta das bactérias aos exsudatos das raízes foi observada no estudo de Vives-Peris et al. (2018), onde houve crescimento de estirpes de rizobactérias influenciado pelos exsudatos de plantas cítricas submetidas ao estresse salino e térmico. Devido à liberação desses compostos orgânicos as plantas atraem uma diversidade de espécies de bactérias e outros microrganismos.

No solo há uma diversidade de espécies de bactérias presentes, entretanto a fixação biológica do N ocorre através de uma relação mutualística estabelecida entre a planta e o microrganismo. As bactérias fixadoras são classificadas em três grupos: cianobactérias (*Anabaena*), actinomicetos gram-positivos (*Frankia*) e os rizóbios (gram-negativas) (MARCHESAN et al., 2007).

O primeiro grupo de fixadores de N_2 são as cianobactérias, que são representadas pelo gênero *Anabaena*, e estabelecem interação principalmente com plantas mais primitivas como samambaias e

hepáticas, entretanto, também possui importância agrícola por ser utilizado como inoculante no cultivo do arroz (MARCHESAN et al., 2007).

O segundo grupo diz respeito aos actinomicetos gram-positivos, que também são conhecidos como *Frankia*. Esse grupo estabelece relação principalmente com árvores ou espécies arbustivas, elas formam nódulos e contribuem para o acúmulo de nitrogênio em ecossistemas. Além disso, esses foram os primeiros diazotróficos a serem estudados com o objetivo de promover o incremento de N no cultivo agrícola, através do gênero *Beijerinckia* (MARIN et al., 1999), que também é bastante utilizado na formulação de biofertilizantes (OLIVEIRA et al., 2017).

O terceiro e o principal grupo de interesse agrícola são os rizóbios, pois são capazes de estabelecer interação principalmente com espécies leguminosas, como feijão, soja e ervilha, dessa forma é o principal grupo utilizado para a produção de inoculantes comerciais (BUCHANAN et al., 2015).

Além da classificação mencionada, as bactérias diazotróficas também podem ser classificadas de acordo com a forma de interação que estabelecem com as plantas, sendo elas bactérias de vida livre, associativas e simbiotes (Figura 2). As bactérias de vida livre estão presentes no solo, mas não estabelecem nenhuma interação com as plantas, dessa forma elas fixam N para si e utilizam a matéria orgânica presente no solo como fonte de carbono (MATTOS, 2015).

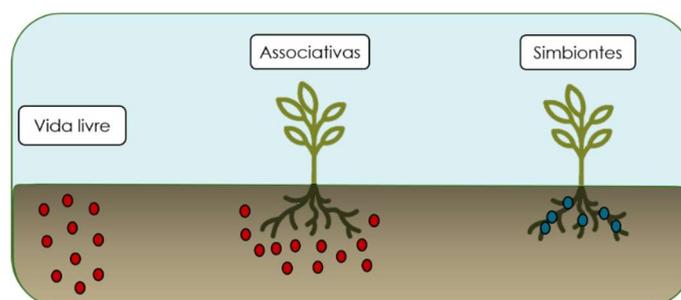


Figura 2: Bactérias diazotróficas de vida livre, associativas e simbiotes no solo.

As bactérias associativas estão presentes na zona das raízes das plantas, pois são atraídas pelos compostos orgânicos liberados pelas raízes que são consumidos como fonte de carbono para a realização da fixação do N_2 , e devido à proximidade as raízes das plantas conseguem absorver o N fixado por essas bactérias (MATTOS, 2015). Além disso, alguns desses microrganismos conseguem entrar na planta através de suas raízes, esses são chamados de bactérias endofíticas, que também fixam nitrogênio, mas não formam nódulos. Estudos mostraram que essas bactérias endofíticas também podem estar presentes no sistema vascular das plantas (MIGUEL et al., 2021) e até em sementes de plantas (GARCIA et al., 2016).

As bactérias fixadoras que não formam nódulos podem ser tanto de vida livre quanto associativas, dessa forma o mesmo gênero de bactérias pode estar incluso nessas duas classificações, e são exemplos *Azospirillum*, *Herbaspirillum*, *Gluconacetobacter*, *Acetobacter*, *Beijerinckia*, entre outros gêneros (MATTOS, 2015). Grande parte dos estudos com essas bactérias são voltados para a família *Poaceae*, como milho e cana-de-açúcar, entretanto estudos com o uso em espécies de hortaliças, frutíferas e outras espécies de importância agrícola também tem mostrado bons resultados em campo, como exemplo o trabalho realizado

por Pérez-Pazos et al. (2018), que verificaram desempenho de batata inoculada com *Azotobacter* e *Azospirillum* similar a adubação nitrogenada em relação ao rendimento em toneladas por hectare.

Diferente das bactérias de vida livre e associativas, as bactérias simbiotes estabelecem relação de simbiose com as plantas, formando nódulos nas raízes e dentro dessas estruturas elas se multiplicam, fixam o N_2 e disponibilizam para a planta em troca dos compostos orgânicos produzidos pela fotossíntese, em quantidade que não é prejudicial para o desenvolvimento da planta (BUCHANAN et al., 2015). Essa relação de simbiose é possível somente em plantas da família *Fabaceae*, também conhecidas como leguminosas, pois somente elas têm a capacidade de desenvolver esses nódulos. Essas rizobactérias tem grande destaque na agricultura para o desenvolvimento de inoculantes, sendo utilizados em culturas como soja, feijão, ervilha e amendoim. Em relação aos gêneros de rizobactérias que estão nessa classificação há grande destaque para o gênero *Rhizobium*, entretanto existem outros que também tem essa capacidade de estabelecer simbiose, como por exemplo, *Burkholderia*, *Paraburkholderia*, *Microvirga*, entre outros (MADIGAN et al., 2016).

Apesar das bactérias associativas e simbiotes possuem a mesma capacidade de fixação e disponibilidade de N para a planta, trabalhos demonstraram que as simbiotes se sobressaem em questão de quantidade de N_2 fixado, isso ocorre porque dentro do nódulo elas possuem um ambiente favorável para o seu desenvolvimento, enquanto as associativas estão mais expostas a condições adversas da rizosfera. Sahai et al. (2015) cultivaram sorgo inoculado com *Gluconacetobacter diazotrophicus* e concluíram que as plantas inoculadas ganharam 5-45% de N por meio da fixação biológica, enquanto no trabalho de Pauferro et al. (2010) houve fixação de 85-93% de N em soja inoculada com cepa de *Bradyrhizobium*.

Uso de inoculantes comerciais

Os inoculantes são produtos que estão sendo utilizados pelos produtores como alternativa para aquisição de nutrientes e economia com fertilizantes químicos. Esse produto é regulamentado pelo Decreto Nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que estabelece as normas sobre seu registro, padronização, classificação, inspeção e fiscalização da produção e comércio, e o define como “produto que contém microrganismos com atuação favorável ao crescimento de plantas”, contudo deve possuir apenas os microrganismos especificados (BRASIL, 2004). Dessa forma, no mercado há dois tipos de inoculantes, à base de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCP's).

A inoculação de plantas com bactérias fixadoras de N_2 tem mostrado resultados bastante positivos em vários trabalhos científicos com espécies vegetais de interesse econômico. Pesquisas voltadas para o cultivo de grãos (WALKER et al., 2011; XIAO et al., 2017), hortaliças (FLORES-FÉLIX et al., 2013; TRIPTI et al., 2017) e frutíferas (FUNES-PINTER et al., 2018; YUAN et al., 2013) mostraram que a inoculação das plantas com rizobactérias promoveu aumento da biomassa, comprimento da parte aérea e raiz, diâmetro do caule, quantidade de folhas e maior absorção de nutrientes pela planta. Essa melhora nas características produtivas dos vegetais está ligada ao fato dessas bactérias realizarem alguns processos, como fixação biológica do N, solubilização de fosfato, produção de sideróforos (compostos orgânicos que aumentam a captação de ferro),

produção de fitohormônios como giberelinas, citocianinas, ácido abscísico, etileno, brassinoesteróides, e auxinas (PAHARI et al., 2020; VASSILEV et al., 2015).

Além disso, o uso dos inoculantes é uma fonte de N mais barata que o fertilizante nitrogenado, pois é aplicado em uma quantidade menor e somente durante a semeadura ou plantio, enquanto o N deve ser parcelado devido às perdas que podem ocorrer por volatilização e lixiviação, dessa forma o uso do inoculante também requer menor quantidade de mão de obra e uso de maquinário na terra. Em vários trabalhos a inoculação mostra-se mais eficiente em aquisição de N do que a adubação nitrogenada. Leite et al. (2019) avaliaram o desempenho de capim-Marandu inoculado com *Azospirillum brasilense* em comparação ao uso da fertilização nitrogenada em dois períodos do ano (seco e chuvoso), e verificaram que os tratamentos inoculados aumentaram a produção de forragem (Figura 3) e acúmulo de N na planta, dessa forma proporcionou uma economia de 20% na necessidade de adubação nitrogenada.

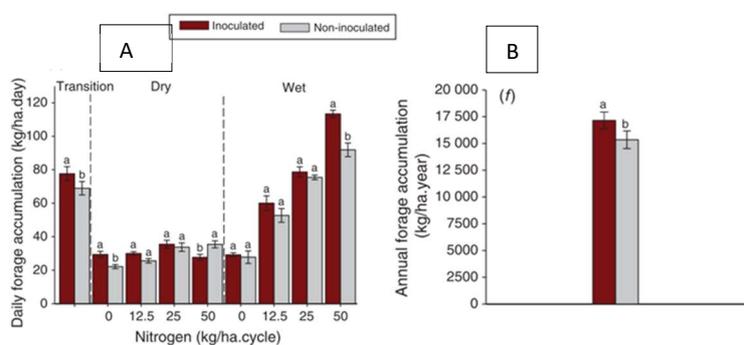


Figura 3: Produção de forragem diária (A) e anual (B) de capim Marandu inoculado com *Azospirillum brasilense* em comparação ao uso da fertilização nitrogenada em dois períodos do ano (seco e chuvoso). **Fonte:** Leite et al. (2019).

Fatores que afetam os inoculantes

Alguns estudos (QUAGLIOTTO et al., 2009; VIVES-PERIS et al., 2018) mostraram que inoculantes comerciais podem perder seu efeito benéfico quando introduzido em condições de solo que não proporcionem a proliferação e nodulação nas raízes por essas estirpes, dentre alguns fatores pode-se citar condições de estresses abióticos (como salinidade e temperatura elevada) e a competição e antagonismo entre as estirpes nativas e as introduzidas no solo (NUZZO et al., 2020). Ouma et al. (2016) verificaram que houve maior nodulação em feijão e soja das estirpes de rizobactérias nativas em comparação as estirpes comerciais. Segundo Schmidt et al. (2015), para que haja a eficiência de nodulação equiparada é necessário uma aplicação de inoculante comercial aproximadamente 100% maior em relação ao inoculante à base de bactérias nativas, o que pode aumentar o custo de produção, entretanto a eficiência da nodulação por estirpes comerciais pode ser aumentada se o solo for pobre em biomassa microbiana nativa.

Cultivos em regiões de clima semiárido podem ser dificultados pela baixa fertilidade do solo, longos períodos de seca e pouca precipitação pluvial. Estudos voltados para a caracterização dos solos do Semiárido brasileiro, como o realizado por Farias et al. (2017), mostraram que esses solos possuem tendência a alcalinidade e aumento da condutividade elétrica devido à irregularidade da pluviosidade (diminuindo a remoção de cátions por lixiviação), além disso, possuem baixa CTC e carbono orgânico total (Tabela 1),

indicando baixa fertilidade natural. Devido essas condições os agricultores familiares locais, que dispõem, geralmente, de baixa tecnologia produtiva, optam pelo uso de culturas que apresentam adaptação a essas condições adversas, como por exemplo, mandioca, mamona, amendoim e feijão-caupi.

Tabela 1: Características de dois tipos de solos presentes no semiárido.

Solo 1 - PLANOSSOLO NÁTRICO				
Horizontes (cm)	pH em água	CE (dS.m ⁻¹)	CTC	COT (g.Kg ⁻¹)
A (0-3)	4,94	0,06	5,48	16,53
AB (3-20)	6,30	0,05	6,45	5,85
B (20-90)	6,90	0,86	14,65	4,05
Solo 2 - PLANOSSOLO HÁPLICO				
Horizontes (cm)	pH em água	CE (dS.m ⁻¹)	CTC	COT (g.Kg ⁻¹)
A(0-10)	4,76	0,10	4,18	9,34
B21(10-40)	5,01	1,23	9,90	5,96
B22(40-80)	7,66	1,26	6,11	2,14

CE: Condutividade elétrica; CTC: Capacidade de troca de cátions; COT: Carbono orgânico total. **Fonte:** Farias et al. (2017).

Os inoculantes comerciais são bastante sensíveis às condições semiáridas. Um exemplo é o trabalho realizado por Marinho et al. (2017), que avaliaram a eficiência agrônômica de cultivares de feijão-caupi inoculados com rizóbios nas condições do Semiárido brasileiro, a cultivar BRS Pujante atingiu produtividade de cerca de 1.800 kg.ha⁻¹, entretanto essa ainda é uma produtividade baixa comparada com o resultado obtido por Silva et al. (2019), que avaliaram o desempenho agrônômico de genótipos de feijão-caupi em Minas Gerais, em ambiente tropical e para essa mesma cultivar também inoculada obtiveram produtividade de cerca de 2.230 kg.ha⁻¹, representando uma diferença de 19,28%.

Rizóbios nativos

As estirpes de rizobactérias nativas ou indígenas são presentes naturalmente no solo de determinado local, e que tem a capacidade de realizar simbiose com vegetais e promover os mesmos benefícios do inoculante comercial, como fixação de nitrogênio. Além de ter maior eficiência de nodulação, essas estirpes também conseguem proteger a planta de estresses abióticos (YASIN et al., 2018), pragas e doenças (GADHAVE et al., 2016), isso porque já possuem uma adaptação a essas condições específicas.

Em estudo realizado por Al-Daghari et al. (2020), o uso de bactérias indígenas isoladas da rizosfera de melão cultivado em diferentes tipos de solo promoveu aumento da resistência dessa cultura ao ataque do patógeno *Monosporascus cannonballus*, que é vetor do colapso do meloeiro (conhecido popularmente como morte súbita), além disso, também promoveu maior crescimento vegetativo da planta. Raklami et al. (2019) observaram em feijão fava e trigo duro, que a inoculação desses vegetais com estirpes nativas além de aumentar a produtividade melhorou as características do solo, como pH, matéria orgânica, carbono e nitrogênio disponível em solos de região semiárida. Dessa forma, a inoculação de espécies vegetais de interesse com estirpes de rizobactérias nativas do local de plantio é uma alternativa bastante promissora para incrementar o desenvolvimento de culturas, mesmo em ambientes estressantes.

O estudo e desenvolvimento de inoculantes a base de rizobactérias nativas de um local ocorre através do isolamento desse microrganismo, utilizando amostras da rizosfera de “plantas iscas”,

posteriormente são levadas ao laboratório e realizadas análises bioquímicas e genéticas, como produção de fitohormônios, solubilização do fosfato, identificação de genes *nifH* e *nodC*, entre outros, após os testes em laboratório são realizados os testes de eficiência simbiótica e nodulífera (no caso de rizobactérias simbiotes), esse teste é realizado em vasos e em casa de vegetação, utilizando a cultura para qual deseja-se desenvolver um inoculante, verificada a eficiência da rizobactéria inicia-se a fase de campo, onde são realizados testes em vários locais para validar o inoculante e verificar outros atributos na cultura escolhida, como por exemplo a produtividade (LYRA et al., 2019).

Além da resistência às condições adversas, a fixação biológica do N realizados por esses microrganismos também não é afetada, mostrando resultados iguais ou superiores em relação a estirpes comerciais ou fertilização nitrogenada. Antunes et al. (2019) avaliaram isolados de rizobactérias presentes na rizosfera de sorgo, capim-bufell e tifton 85 como inoculantes para o milho nas condições de clima semiárido, e verificaram que as estirpes nativas pertencentes aos gêneros *Bacillus* não diferiram da estirpe comercial e nem da fertilização nitrogenada, atingindo acúmulo de N de 226 mg.planta⁻¹. Já em plantas leguminosas, como possuem vantagem devido à formação de nódulo, o acúmulo de N se sobressai, como visto no estudo de Osei et al. (2018), onde avaliaram o desempenho de estirpes de *Bradyrhizobium* nativas de local semiárido como inoculantes para o amendoim, e constataram que em relação ao acúmulo de N as estirpes nativas foram superiores aos inoculantes comerciais BR10254, BR3267 e SEMIA 6144 (Figura 4).

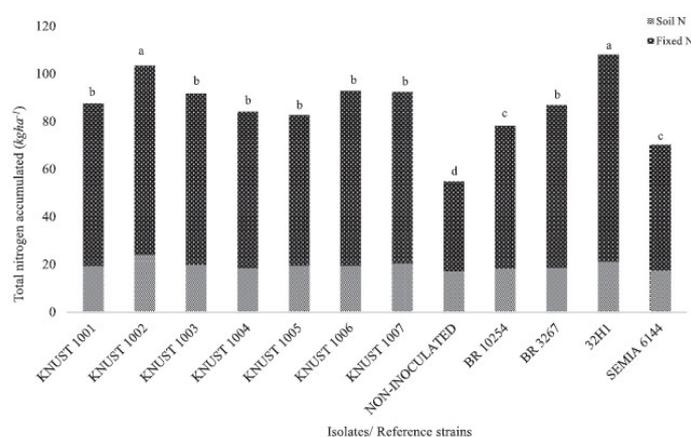


Figura 4: Nitrogênio total acumulado e estimativa de nitrogênio fixado em amendoim inoculado com estirpes comerciais e estirpes de *Bradyrhizobium* nativas de solo do semiárido. **Fonte:** Osei et al. (2018).

CONCLUSÕES

O uso de inoculantes é uma alternativa de aquisição de nitrogênio mais barata em comparação à adubação nitrogenada, e contribui com a sustentabilidade dos sistemas produtivos reduzindo as perdas desse nutriente e incrementando a produção agrícola.

As estirpes nativas do Semiárido brasileiro são adaptadas as condições de altas temperaturas do ar, baixa umidade do solo e salinidade, dessa forma possuem maior eficiência em fixar nitrogênio em comparação aos inoculantes comerciais, além disso, produzem diversos compostos que promovem o crescimento da planta, entretanto na agricultura local ainda são utilizados inoculantes comerciais, que

perdem seu efeito devido à sensibilidade que possuem às condições abióticas.

O investimento no desenvolvimento de inoculantes voltados para estirpes adaptadas as condições semiáridas pode promover o desenvolvimento da agricultura local, devido à diminuição com a adubação nitrogenada e possibilidade de inserção de outras culturas no sistema de produção. Entretanto o processo de formulação de um novo inoculante para o mercado demanda recursos, pesquisas e demora anos para ser concluído.

REFERÊNCIAS

- AL-DAGHARI, D. S. S.; AL-SADI, A. M.; JANKE, R.; AL-MAHMOOLI, I. H.; VELAZHAHAN, R.. Potential of indigenous antagonistic rhizobacteria in the biological control of *Monosporascus* root rot and vine decline disease of muskmelon. *Acta Agriculturae Scandinavica*, v.70, n.5, p.371-380, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1080/09064710.2020.1748703>
- ANKATI, S.; PODILE, A. R.. Metabolites in the root exudates of groundnut change during interaction with plant growth promoting rhizobacteria in a strain-specific manner. *Journal of Plant Physiology*, v.243, p.8, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jplph.2019.153057>
- ANTUNES, G. R.; SANTANA, S. R. A.; ESCOBAR, I. E. C.; BRASIL, M. S.; ARAÚJO, G. G. L.; VOLTOLINI, T. V.; FERNANDES JÚNIOR, P. I.. Associative diazotrophic bacteria from forage grasses in the Brazilian semi-arid region are effective plant growth promoters. *Crop and Pasture Science*, v.70, n.10, p.899-907, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1071/CP19076>
- BRASIL. Decreto n. 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Brasília: DOU, 2004.
- BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L.. *Biochemistry e molecular biology of plants*. 2 ed. Pondicherry: Wiley Blackwell, 2015.
- CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D.. Transformações microbiana do fósforo. *Microbiologia do Solo*, p.149-166, 2016.
- DUTRA, R. M. S.; SOUZA, M. M. O.. Cerrado, revolução verde e a evolução no consumo de agrotóxicos. *Sociedade & Natureza*, v.29, n.3, p.469-484, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/SN-v29n3-2017-8>
- FARIAS, D. T.; PORTELA, J. C.; SILVA, F. W. A.; SOUSA, A. K. F.; OLIVEIRA FILHO, T. J.. Avaliação de atributos químicos e uso de solos da região semiárida. In: II CONGRESSO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - COINTER PDVAGRO. Anais. Natal: IFRN, 2017. DOI: <http://doi.org/10.31692/2526-7701.IICINTERPDVAGRO.2017.00027>
- FLORES-FÉLIX, J. D.; MENÉNDEZ, E.; RIVERA, L. P.; MARCOS-GARCÍA, M.; MARTÍNEZ-HIDALGO, P.; MATEOS, P. F.; MARTÍNEZ-MOLINA, E.; VELÁZQUEZ, M. E.; GARCÍA-FRAILE, P.; RIVAS, R.. Use of *Rhizobium leguminosarum* as a potential biofertilizer for *Lactuca sativa* and *Daucus carota* crops. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v.176, n.6, p.876-882, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1002/jpln.201300116>
- FUNES-PINTER, M. I.; SALOMON, M. V.; BERLI, F.; GIL, R.; BOTTINI, R.; PICCOLI, P.. Plant growth promoting rhizobacteria alleviate stress by AsIII in grapevine. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.267, p.100-108, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.agee.2018.08.015>
- GADHAVE, K. R.; HOURSTON, J. E.; GANGE, A. C.. Developing soil microbial inoculants for pest management: can one have too much of a good thing?. *Journal of Chemical Ecology*, v.42, n.4, p.348-356, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10886-016-0689-8>
- GARCÍA, J. E.; MARONICHE, G.; CREUS, C.; SUÁREZ-RODRÍGUEZ, R.; RAMÍREZ-TRUJILLO, J. A.; GROPPA, M. D.. In vitro PGPR properties and osmotic tolerance of different *Azospirillum* native strains and their effects on growth of maize under drought stress. *Microbiological Research*, v.202, p.21-29, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.micres.2017.04.007>
- GARCIA, T. V.; KNAAK, N.; FIUZA, L. M.. Bactérias endofíticas como agentes de controle biológico na orizicultura. *Arquivos do Instituto Biológico*, v.82, p.1-9, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1808-1657001262013>
- JONES, D. L.; CROSS, P.; WITHERS, P. J. A.; DELUCA, T. H.; ROBINSON, D. A.; QUILLIAM, R. S.; HARRIS, I. M.; CHADWICK, D. R.; EDWARDS-JONES, G.. REVIEW: Nutrient stripping: The global disparity between food security and soil nutrient stocks. *Journal of Applied Ecology*, v.50, n.4, p.851-862, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/1365-2664.12089>
- LEITE, R. C.; SANTOS, J. G. D.; SILVA, E. L.; ALVES, C. R. C. R.; HUNGRIA, M.; LEITE, R. C.; SANTOS, A. C.. Productivity increase, reduction of nitrogen fertiliser use and drought-stress mitigation by inoculation of Marandu grass (*Urochloa brizantha*) with *Azospirillum* brasilense. *Crop and Pasture Science*, v.70, n.1, p.61-67, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1071/CP18105>
- LYRA, M. C. C. P.; FREITAS, A. D. S.; SILVA, M. L. R. B.; BEZERRA, R. V.; SILVA, V. S. G.; SILVA, A. F.; MERGULHÃO, A. C. E. S.; DANTAS, E. F.; SANTOS, C. E. R. S.. Diversity of rhizobia isolated from nodules of indigenous tree legumes from the Brazilian dry forest. *Acta Agronomica*, v.68, n.1, p.47-55, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v68n1.61243>
- MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M.; BENDER, K. S.; BUCKLEY,

D. H.; STAHL, D. A.. **Microbiologia de Brock**. 14 ed. Porto Alegre: Artmed, 2016.

MALAVOLTA, E.. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronomica Ceres, 2006.

MARCHESAN, E.; SANTOS, F. M.; AVILA, L. A.; CAMARGO, E. R.; MARTIN, T. N.; BRENZONI, E. O.. Desempenho do arroz irrigado em resposta à utilização de cianobactérias fixadoras de nitrogênio. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.29, n.1, p.63-68, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v29i1.67>

MARIN, V. A.; BALDANI, V. L. D.; TEIXEIRA, K. R. S.; BALDANI, J. I.. Fixação biológica de nitrogênio: bactérias fixadoras de nitrogênio de importância para a agricultura tropical. **Embrapa Agrobiologia**, n.1, p.32, 1999.

MARINHO, R. C. N.; FERREIRA, L. V. M.; SILVA, A. F.; MARTINS, L. M. V.; NÓBREGA, R. S. A.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I.. Symbiotic and agronomic efficiency of new cowpea rhizobia from Brazilian semi-arid. **Bragantia**, v.76, n.2, p.273-281, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.003>

MATTOS, M. L. T.. Microbiologia do solo. In: NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. O.. **Recurso solo**: propriedades e usos. São Carlos: Cubo, 2015. p.250-272.

MENGUAL, C.; SCHOEBITZ, M.; AZCÓN, R.; ROLDÁN, A.. Microbial inoculants and organic amendment improves plant establishment and soil rehabilitation under semiarid conditions. **Journal of Environmental Management**, v.134, p.1-7, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.01.008>

MIGUEL, P. S. B.; DELVAUX, J. C.; OLIVEIRA, M. N. V.; CAMARGO, R.; FRANCO, M. H. R.; SOBREIRA, H. A.; SOARES, D. F.; JARDIM, V. H. P.. Bactérias Endofíticas: Colonização, Benefícios E Identificação. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.1, p.8777-8791, 2021. DOI: <http://doi.org/10.34117/bjdv7n1-595>

NUZZO, A.; SATPUTE, A.; ALBRECHT, U.; STRAUSS, S. L.. Impact of soil microbial amendments on tomato rhizosphere microbiome and plant growth in field soil. **Microbial Ecology**, v.80, n.2, p.398-409, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00248-020-01497-7>

OLIVEIRA, F. L.; OLIVEIRA, W. S.; STAMFORD, N. P.; SILVA, E. V. N.; SANTOS, C. E. R. S.; FREITAS, A. D. S.. Effectiveness of biofertilizer enriched in N by Beijerinckia indica on sugarcane grown on an Ultisol and the interactive effects between biofertilizer and sugarcane filter cake. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.17, n.4, p.1040-1057, 2017. DOI: <http://doi.org/10.4067/S0718-95162017000400015>

OSEI, O.; ABAIDOO, R. C.; AHIABOR, B. D. K.; BODDEY, R. M.; ROUWS, L. F. M.. Bacteria related to Bradyrhizobium yuanmingense from Ghana are effective groundnut micro-symbionts. **Applied Soil Ecology**, v.127, p.41-50, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.03.003>

OUMA, E. W.; ASANGO, A. M.; MAINGI, J.; NJERU, E. M.. Elucidating the potential of native rhizobial isolates to improve biological nitrogen fixation and growth of common bean and soybean in smallholder farming systems of Kenya.

International Journal of Agronomy, v.2016, n.1, p.8., 2016. DOI: <http://doi.org/10.1155/2016/4569241>

PAHARI, A.; PRADHAN, A.; NAYAK, S. K.; MISHRA, B. B.. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (Pgpr): Prospects and Application. In: NAYAK, S. K.; MISHRA, B. B.. **Frontiers in Soil and Environmental Microbiology**. Boca Raton: CRC Press, 2020. p.47-56.

PAUFERRO, N.; GUIMARÃES, A. P.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J.R.; BODDEY, R. M.. 15N natural abundance of biologically fixed N2 in soybean is controlled more by the Bradyrhizobium strain than by the variety of the host plant. **Soil Biology and Biochemistry**, v.42, n.10, p.1694-1700, 2010. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.05.032>

PÉREZ-PAZOS, J. V.; SÁNCHEZ-LÓPEZ, D. B.. Influence of plant growth promoting bacteria in seed yields of super-elite sweet potato (Ipomoea batatas Lam) in the field. **Biotecnología Aplicada**, v.35, n.2, p.397-400, 2018.

QUAGLIOTTO, L.; AZZIZ, G.; BAISA, N.; VAZ, P.; PÉREZ, C.; DUCAMP, F.; CADENAZZI, M.; ALTIER, N.; ARIAS, A.. Three native Pseudomonas fluorescens strains tested under growth chamber and field conditions as biocontrol agents against damping-off in alfalfa. **Biological Control**, v.51, n.1, p.42-50, 2009. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.05.006>

RAKLAMI, A.; BECHTAOUI, N.; TAHIRI, A. I.; ANLI, M.; MEDDICH, A.; OUFDOU, K.. Use of rhizobacteria and mycorrhizae consortium in the open field as a strategy for improving crop nutrition, productivity and soil fertility. **Frontiers in Microbiology**, v.10, p.1-11, 2019. DOI: <http://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01106>

SAHAL, R.; SAXENA, A. K.; TILAK, K. V. B. R.. Effect of Gluconacetobacter diazotrophicus on sweet Sorghum (Sorghum bicolor) in tropical semi-arid soil. **Agricultural Research**, v.4, n.4, p.347-353, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1007/s40003-015-0186-2>

SCHMIDT, J.; MESSMER, M.; WILBOIS, K. P.. Beneficial microorganisms for soybean (Glycine max (L.) Merr), with a focus on low root-zone temperatures. **Plant and Soil**, v.397, n.1-2, p.411-445, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11104-015-2546-x>

SCHOEBITZ, M.; MENGUAL, C.; ROLDÁN, A.. Combined effects of clay immobilized Azospirillum brasilense and Pantoea dispersa and organic olive residue on plant performance and soil properties in the revegetation of a semiarid area. **Science of the Total Environment**, v.466-467, p.67-73, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.012>

SILVA, M. B. O.; CARVALHO, A. J.; BATISTA, P. S. C.; SANTOS JÚNIOR, P. V.; OLIVEIRA, S. M. Agronomic performance of cowpea genotypes. **Revista de Ciências Agrárias**, v.41, n.4, p.1059-1066, 2019. DOI: <http://doi.org/10.19084/rca.16782>

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A.. **Fisiologia e desenvolvimento Vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TRIPTI; KUMAR, A.; USMANI, Z.; KUMAR, V.; ANSHUMALI..

Biochar and flyash inoculated with plant growth promoting rhizobacteria act as potential biofertilizer for luxuriant growth and yield of tomato plant. **Journal of Environmental Management**, v.190, p.20-27, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.060>

VASSILEV, N.; VASSILEVA, M.; LOPEZ, A.; MARTOS, V.; REYES, A.; MAKSIMOVIC, I.; EICHLER-LÖBERMANN, B.; MALUSÀ, E.. Unexploited potential of some biotechnological techniques for biofertilizer production and formulation. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.99, n.12, p.4983-4996, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00253-015-6656-4>

VIVES-PERIS, V.; MOLINA, L.; SEGURA, A.; GÓMEZ-CADENAS, A.; PÉREZ-CLEMENTE, R. M.. Root exudates from citrus plants subjected to abiotic stress conditions have a positive effect on rhizobacteria. **Journal of Plant Physiology**, v.228, p.208-217, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.06.003>

WALKER, V.; BERTRAND, C.; BELLVERT, F.; MOËNNE-LOCCOZ, Y.; BALLY, R.; COMTE, G.. Host plant secondary metabolite profiling shows a complex, strain-dependent response of maize to plant growth-promoting rhizobacteria of the genus *Azospirillum*. **New Phytologist**, v.189, n.2, p.494-506, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03484.x>

XIAO, X.; FAN, M.; WANG, E.; CHEN, W.; WEI, G.. Interactions of plant growth-promoting rhizobacteria and soil factors in two leguminous plants. **Applied Microbiology and**

Biotechnology, v.101, n.23-24, p.8485-8497, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00253-017-8550-8>

XIE, W. Y.; YUAN, S. T.; XU, M. G.; YANG, X. P.; SHEN, Q. R.; ZHANG, W. W.; SU, J. Q.; ZHAO, F. J.. Long-term effects of manure and chemical fertilizers on soil antibiotic resistance. **Soil Biology and Biochemistry**, v.122, p.111-119, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.04.009>

YASIN, N. A.; AKRAM, W.; KHAN, W. U.; AHMAD, S. R.; AHMAD, A.; ALI, A.. Halotolerant plant-growth promoting rhizobacteria modulate gene expression and osmolyte production to improve salinity tolerance and growth in *Capsicum annum* L. **Environmental Science and Pollution Research**, v.25, n.23, p.23236-23250, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11356-018-2381-8>

YUAN, J.; RUAN, Y.; WANG, B.; ZHANG, J.; WASEEM, R.; HUANG, Q.; SHEN, Q.. Plant growth-promoting rhizobacteria strain *Bacillus amyloliquefaciens* njn-6-enriched bio-organic fertilizer suppressed fusarium wilt and promoted the growth of banana plants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.61, n.16, p.3774-3780, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1021/jf400038z>

ZHANG, J.; WANG, J.; AN, T.; WEI, D.; CHI, F.; ZHOU, B.. Effects of long-term fertilization on soil humic acid composition and structure in Black Soil. **PLoS ONE**, v.12, n.11, p.1-15, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0186918>

A CBPC - Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.