

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**JOÃO VITOR DA SILVA MARTINS**

**Características agronômicas e nodulação em genótipos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) inoculados com *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense***

**Ilha Solteira**

**2022**

**JOÃO VITOR DA SILVA MARTINS**

**Características agronômicas e nodulação em genótipos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) inoculados com *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense***

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Nome do orientador

**Prof. Dr. Bruno Ettore Pavan**

Nome do coorientador

**Lucymara Merquides Contardi**

Ilha Solteira

2022

FICHA CATALOGRÁFICA  
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Martins, João Vitor da Silva.

M386c Características agronômicas e nodulação em genótipos de feijão-comum inoculados com *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense* / João Vitor da Silva Martins. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022 37 f.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2022

Orientador: Bruno Ettore Pavan

Co-orientador: Lucymara Merquides Contardi

Inclui bibliografia

1. Feijão-comum. 2. Rizóbio. 3. Co-inoculação. 4. Variabilidade genética. 5. Fixação biológica de nitrogênio

**João Josué Barbosa**  
**Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação**  
**Diretor Técnico**  
**CRB 8-5642**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

*CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA*

**ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**TÍTULO: CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E NODULAÇÃO EM  
GENÓTIPOS**

**DE FEIJÃO-COMUM INOCULADOS COM *Rhizobium tropici* E *Azospirillum*  
brasiliense**

**ALUNO: JOÃO VITOR DA SILVA MARTINS RA:151051585**

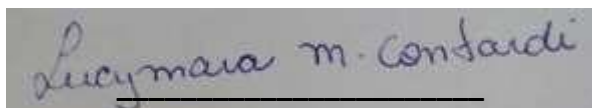
**ORIENTADOR: PROF. DR. BRUNO ETTORE PAVAN**

**Aprovado ( X ) - Reprovado ( ) pela Comissão Examinadora com Nota: 9,0**

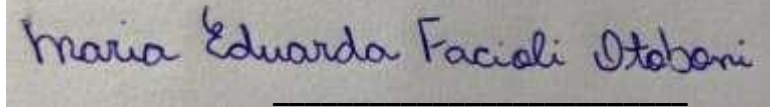
**Comissão Examinadora:**




**PROF. DR. BRUNO ETTORE PAVAN (ORIENTADOR)**



**DOUTORANDA LUCYMARA MERQUIDES CONTARDI**



**DOUTORANDA MARIA EDUARDA FACIOLI OTOBONI**



**ALUNO: JOÃO VITOR DA SILVA MARTINS**

Ilha Solteira(SP) 07 de janeiro de 2021.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família por todo o empenho, dedicação e ajuda nestes anos de graduação.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente ao Prof. Dr. Bruno Ettore Pavan pela oportunidade ofertada de ser membro do Grupo de Melhoramento de Plantas da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira bem como seu acompanhamento, tutoria e orientação durante a graduação. Agradeço também a Lucymara Merquides Contardi que atuou como coorientadora durante os projetos desenvolvidos contribuindo com seus conhecimentos e vivências.

Agradeço a todos os membros do Grupo de Melhoramento de Plantas que compartilharam os momentos de trabalho durante este período e, por fim, a Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (UNESP) aqui como a instituição que me dispôs diversas oportunidades.

## RESUMO

A fixação biológica de nitrogênio é um processo primordial na produção da cultura do feijão. A busca por tecnologias que otimizem este fenômeno é importante para melhorar o crescimento e produtividade do feijoeiro. A identificação de genótipos responsivos a inoculantes bacterianos ajuda no emprego adequado da tecnologia. Diante disso objetivou-se avaliar o efeito de diferentes genótipos e ambientes de inoculação sobre características de crescimento, nodulação, componentes de produção e produtividade de grãos de feijão. O experimento foi desenvolvido em área pertencente à UNESP - Ilha Solteira localizada em Selvíria, MS. Foi utilizado um delineamento experimental em blocos casualizados com esquema fatorial 3x20, sendo avaliados três ambientes de inoculação (não inoculado, inoculação com *Rhizobium tropici* e co-inoculação com *Rhizobium tropici* + *Azospirillum brasilense*) e vinte genótipos de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.), com três repetições. Os genótipos em estudo responderam de forma diversificada dependendo do ambiente de inoculação a que foram submetidos. As características mais influenciadas pelos genótipos e ambientes de inoculação foram a produtividade de grãos, o número de nódulos e a massa de nódulos. A co-inoculação incrementou o número de nódulos principalmente nos genótipos BRS Estilo e Sintonia em comparação aos ambientes sem inoculação ou inoculação apenas com *R. tropici*. A massa de nódulos do genótipo Ling 03 foi mais responsiva à inoculação com *R. tropici*, com média de 110 mg, sendo este valor o maior em comparação aos demais genótipos. A produtividade de grãos (PHA) foi de 0,96, 2,26 e 2,16 t ha<sup>-1</sup> em ambiente não inoculado, aumentando para 2,23, 3,35 e 3,22 t ha<sup>-1</sup> em ambiente inoculado com *R. tropici* nos genótipos BRS Estilo, IPR 81 e Imperador, respectivamente. O genótipo Sintonia teve maior PHA quando submetido em ambiente co-inoculado, apresentando média de 2,42 t ha<sup>-1</sup>, em comparação com os ambientes não inoculado (0,78 t ha<sup>-1</sup>) e inoculado apenas com *R. tropici* (1,21 t ha<sup>-1</sup>). A co-inoculação com *R. tropici* + *A. brasilense* também incrementou a PHA dos genótipos BRS Estilo e IPR 81 para 3,12 e 3,53 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, em comparação ao ambiente não inoculado, no qual foi observado PHA de 0,96 e 2,26 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Foi observada variabilidade genética entre os genótipos estudados principalmente para as características de número e massa de nódulos.

**Palavras-chave:** feijão comum, rizóbio, co-inoculação, variabilidade genética, fixação biológica de nitrogênio

## ABSTRACT

Biological nitrogen fixation is a primordial process in the bean crop production. The search for technologies that optimize this phenomenon is important to improve bean growth and productivity. The identification of genotypes responsive to bacterial inoculants helps in the proper use of the technology. Therefore, the objective was to evaluate the effect of different genotypes and inoculation environments on growth characteristics, nodulation, production components and grain yield of common bean. The experiment was performed in an area belonging to UNESP - Ilha Solteira located in Selvíria, MS. A randomized block experimental design with a 3x20 factorial design was used, with three inoculation environments (non-inoculated, inoculation with *Rhizobium tropici* and co-inoculation with *Rhizobium tropici* + *Azospirillum brasilense*) and twenty common bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.), with three repetitions. The genotypes under study responded differently depending on the inoculation environment to which they were submitted. The traits most influenced by genotypes and inoculation environments were grain yield, number of nodules and nodule mass. Co-inoculation increased the number of nodules mainly in the BRS Estilo and Sintonia genotypes compared to environments without inoculation or inoculation only with *R. tropici*. The nodule mass of genotype Ling 03 was more responsive to inoculation with *R. tropici*, with an average of 110 mg, which was the highest value compared to the other genotypes. Grain yield (PHA) was 0.96, 2.26 and 2.16 t ha<sup>-1</sup> in a non-inoculated environment, increasing to 2.23, 3.35 and 3.22 t ha<sup>-1</sup> in an environment inoculated with *R. tropici* in the genotypes BRS Estilo, IPR 81 and Imperador, respectively. The Sintonia genotype had higher PHA when submitted to a co-inoculated environment, with an average of 2.42 t ha<sup>-1</sup>, compared to the non-inoculated (0.78 t ha<sup>-1</sup>) and inoculated only with *R. tropici* (1.21 t ha<sup>-1</sup>) environments. Co-inoculation with *R. tropici* + *A. brasilense* also increased the PHA of the BRS Estilo and IPR 81 genotypes to 3.12 and 3.53 t ha<sup>-1</sup>, respectively, compared to the non-inoculated environment, which had PHA of 0.96 and 2.26 t ha<sup>-1</sup>, respectively. Genetic variability was observed among the studied genotypes, mainly for the characteristics of number and mass of nodules.

**Keywords:** common bean, rhizobia, co-inoculation, genetic variability, biological nitrogen fixation



## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Genótipos de feijoeiro que avaliados no experimento..... 19
- Tabela 2** – Atributos químicos do solo na profundidade de 0 – 20 cm (Selvíria- MS) em 2018. ....20
- Tabela 3** – Análise de variância das características altura da planta (AP), inserção de primeira vagem (IPV), diâmetro de caule (DC), número de nódulos (NN) e massa seca de nódulos (MN) de genótipos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) submetidos a diferentes ambientes de tratamento. ....22
- Tabela 4** – Análise de variância das características massa seca da parte aérea (MSPA), massa de cem grãos (M100G), produtividade de grãos (PHA), número de vagens por planta (NVP) e número de grãos por vagem (MN) de genótipos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) submetidos a diferentes ambientes de tratamento. ....23
- Tabela 5** – Estimativa dos parâmetros genéticos e ambientais para as características agronômicas e de nodulação em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*).....23
- Tabela 6** – Desdobramento da interação Genótipo x Ambiente referente ao número de nódulos (NN) e massa de nódulos (MN) de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) .....25
- Tabela 7** – Desdobramento da interação Genótipo x Ambiente referente a produtividade de grãos (PHA) de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) .....28

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Feijoeiro (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Fixação biológica do feijoeiro.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3</b>	<b>Co-inoculação em feijoeiro .....</b>	<b>16</b>
<b>2.4</b>	<b>Seleção de genótipos para aumento da fixação biológica.....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1</b>	<b>Delineamento experimental .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2</b>	<b>Material biológico .....</b>	<b>19</b>
<b>3.3</b>	<b>Área experimental e manejo .....</b>	<b>20</b>
<b>3.4</b>	<b>Variáveis avaliadas .....</b>	<b>20</b>
<b>3.5</b>	<b>Análise estatística.....</b>	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>30</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>31</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) possui relevante importância nutricional e econômica (MESQUITA et al., 2007). A cultura apresenta elevada plasticidade e adaptação a diversas condições edafoclimáticas, sendo cultivada em diversos sistemas de produção no Brasil e no mundo (MOREIRA et al., 2017). O cultivo do feijão inclui tanto o uso de tecnologias como irrigação no inverno, em áreas com maior desenvolvimento, como também está associada a cultura de subsistência com uso de baixa tecnologia em pequenas propriedades (BINOTTI et al., 2009). Por este motivo, mesmo o Brasil sendo um dos maiores produtores e consumidores de feijão do mundo, a produtividade média nacional ainda é considerada baixa (MOREIRA et al., 2017).

Durante o cultivo do feijoeiro a demanda por nitrogênio (N) é alta (MAGALHÃES et al., 2017). Entretanto, assim como em outras espécies de leguminosas, o feijoeiro possui capacidade de realizar a fixação biológica de nitrogênio (FBN; ROCHA, 2021). A FBN é um processo envolvendo ação microbiana que converte o nitrogênio atmosférico (N<sub>2</sub>) em amônia e esta ação supre parcialmente a necessidade de N pela cultura (AKTER et al., 2018).

O feijoeiro possui naturalmente simbiose com *Rhizobium tropici* (DWIVEDI et al., 2015). No entanto, essa simbiose é considerada naturalmente de baixa eficiência em comparação com outras espécies, devido ao melhoramento de plantas focado em fertilizantes nitrogenados, população nativa de rizóbio altamente competitiva e pouco eficaz no solo e alta suscetibilidade a doenças e estresses ambientais (GRAHAM, 1981; VARGAS et al., 2000). Considerando as limitações da relação simbiótica com o feijão comum inoculado com rizóbio e os benefícios para o crescimento da cultura atribuídos ao *Azospirillum*, a co-inoculação com ambos os microrganismos pode melhorar o desempenho da planta (HUNGRIA et al., 2013).

A seleção de novas estirpes para produção de inoculantes incluem maior eficiência da FBN e adaptação à diferentes condições edafoclimáticas. Nesse sentido, materiais vegetais que possibilitem maior infecção nodular devem ser levados em consideração para seleção da melhor combinação simbiótica (ANTUNES et al., 2011).

Os resultados com a associação ou combinação das bactérias ainda são contraditórios para algumas cultivares, pois estas apresentam resultados distintos quando submetidas a diferentes épocas e regiões de cultivo (GITTI et al., 2012;

CORSINI, 2014; PERES, 2014). Moreira et al. (2017) verificaram que após inoculação com diferentes estirpes de *Rhizobium*, houve ganhos significativos em nodulação e produtividade de feijão comum, em que 50% das estirpes promoveram ganhos superiores ou iguais ao tratamento com nitrogênio. Os autores relatam ainda que até 75,8% do N presente na parte aérea é oriunda da FBN

Há indicações de diferentes produtos comerciais e diferentes cultivares com distintos graus de sensibilidade a formulações de inoculantes para o comportamento fisiológico da germinação e nodulação, que pode abrir um novo caminho para estudos futuros de inoculação para a seleção adequada de estirpes de rizóbio eficazes, associado a hospedeiros compatíveis (SANYAL et al., 2019).

Em estudo com sementes de feijão co-inoculadas com *Rhizobium tropici* (CIAT899) e *Paenibacillus polymyxa* (DSM 36) apresentaram maiores concentrações de leghemoglobina, atividade de nitrogenase e eficiência de fixação de N<sub>2</sub> e, assim, formaram associações de maior eficiência simbiótica. A inoculação com *R. tropici* e *P. polymyxa* cepa Loutit (L) estimulou a nodulação, bem como a fixação de nitrogênio. As atividades dos fitormônios dependeram de seu conteúdo e das interações com as estirpes de *R. tropici* e *Paenibacillus* afetam o conteúdo de citocinina no feijoeiro (FIGUEIREDO et al., 2008).

As linhagens de germoplasma PI 136692 (feijão vermelho), GH-196 (feijão carioca) e LEF2RB (feijão carioca) tiveram alta capacidade de FBN no florescimento (10-11 kg N ha<sup>-1</sup>) e especialmente na maturidade (60-72 kg N ha<sup>-1</sup>), além de alto rendimento de sementes (2778–2897 kg ha<sup>-1</sup>), indicando sua capacidade superior de suportar essas duas características economicamente importantes ao longo do crescimento da planta. Esses três genótipos seriam valiosos aos melhoristas para o melhoramento genético da FBN em cultivares de feijão (AKTER et al., 2018).

Estes estudos mostram ampla capacidade de diversidade e demanda por maiores informações sobre hospedeiros e as rizobactérias. Dessa forma, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar o efeito da inoculação e co-inoculação sobre características de crescimento, nodulação, componentes de produção e produtividade de grãos de diferentes genótipos de feijão.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma planta anual herbácea, que pode ser trepadeira ou não, pertencente à família Fabaceae, pertencente ao gênero *Phaseolus*, originário do continente americano, com aproximadamente 55 espécies, mas as mais comuns e mais cultivadas são: *P. vulgaris* L., *P. lunatus* L., *P. coccineus* L., *P. acutifolius* var. *latifolius* G. F. Freeman e *P. polyanthus* Greenm (DEBOUCK, 1991). O *P. vulgaris* L. é a mais importante, pela elevada fonte nutricional e energética, além de ser amplamente distribuída no mundo (CELMELI et al., 2018).

A planta possui sistema radicular pivotante não muito profundo, enquanto a parte aérea consta de uma haste principal ramificada, ereta ou não, com as folhas compostas de três folíolos, pubescentes, sendo um terminal, os dois outros laterais e opostos (BINOTTI, 2015). O fruto é um legume deiscente, tipo vagem, que quando maduro, as valvas se contorcem em espiral, com vagens de comprimento variável, de 10 a 20 cm, recurvadas ou não, terminada geralmente em bico proeminente e de lados convexos; quando maduro, o fruto apresenta geralmente a cor amarelada, com sementes de tamanhos e cores variadas de acordo com a variedade (AFONSO, 2010).

O feijão faz parte da alimentação humana e animal, contribuindo com uma importante fonte de proteína para a dieta em todo mundo. É uma cultura distribuída em muitos países, presente em diversos tipos de sistemas de produção, em propriedades de pequeno, médio e grande porte. Em 2019, a área mundial ocupada com plantio de feijão era de 3,3 milhões de ha e produção de 28,9 milhões de toneladas do grão (FAOSTAT, 2019).

No Brasil, o feijão é cultivado em três safras, primeira safra é cultivado entre agosto e janeiro e representa 50% da área plantada e 40% da produção do País. Já o feijão de segunda safra tem seu cultivo previsto entre janeiro e maio, ocupando 40% da área de cultivo e abrangendo 38% da produção total. O feijão de terceira safra, também chamado de safra de inverno, é cultivado entre os meses de abril e outubro, ocupando aproximadamente 10% da área total e responde por 20% da produção nacional (FERREIRA; SARMENTO, 2021).

O somatório das três épocas de plantio em 2020/21 conta com uma estimativa de produção de 1,8 milhões de toneladas de feijão em cores, com área de 1,2 milhão

de hectares e produtividade de 1.403 kg ha<sup>-1</sup>. Sendo Minas Gerais e Goiás os maiores produtores (CONAB, 2021).

## 2.2 Fixação biológica do feijoeiro

O feijoeiro por ser uma planta de ciclo curto e raízes pouco profundas, apresenta alta exigência em qualidade física e química do solo. Quando necessário, recomenda-se a correção da acidez do solo a fim de elevar o pH entre 5,8 e 6,2, bem como, adubação com nitrogênio, fósforo, potássio (NPK) e boro (OLIVEIRA et al., 2011). Em geral, a recomendação para a adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro comum é de 20 a 100 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (N), variando de acordo com o nível de tecnologia empregado pelo produtor (VIEIRA, 2011).

O feijoeiro assim como outras leguminosas, por exemplo a soja, possui a capacidade de realizar a fixação biológica do nitrogênio atmosférico (FBN), que contempla parte da necessidade do nitrogênio necessário para a cultura (VIEIRA, 2011). A FBN é um processo que se caracteriza por uma alta demanda de energia, obtida do metabolismo de carboidratos supridos pela planta hospedeira (HUNGRIA; NEVES, 1986).

A FBN representa a substituição dos adubos nitrogenados pela inoculação das rizobactérias nas sementes. O N é o elemento mais limitante para o desenvolvimento das plantas em solos tropicais, e o uso de produtos de sínteses biológicas tem sido incrementado na tentativa de aumentar a produção agrícola, reduzindo o custo de produção (ARIAS, 2016). A absorção de N ocorre praticamente durante todo o ciclo da cultura, mas a época de maior exigência, quando a velocidade de absorção é máxima, ocorre dos 35 aos 50 dias após a semeadura, correspondendo a época de florescimento (ROSOLEM; MARUBAYASHI, 1994).

A fixação biológica no feijoeiro é realizada pelas bactérias da ordem Rhizobiales (SCHIAVON et al., 2010). No Brasil, a espécie que é amplamente comercializada para inoculação das sementes é o *Rhizobium tropici* (ROCHA, 2021). Estirpes de *R. tropici* são mais indicadas para produção de inoculantes por serem consideradas mais tolerantes a estresses, como temperatura elevada e acidez do meio, e são simbioticamente mais estáveis em feijoeiro (MARTÍNEZ-ROMERO et al., 1991; BRITO et al., 2011).

Assim como as outras bactérias fixadoras de N, a *R. tropici*, também forma estruturas chamadas nódulos, que por ação da enzima nitrogenase transforma o N<sub>2</sub> em amônia, que é incorporada à compostos nitrogenados e transferida para planta (SILVA et al., 2020). Xavier et al. (2008) relatam que 80% da composição do ar atmosférico está na forma de N<sub>2</sub> e, aproximadamente, 70 a 80 toneladas incidem sobre o solo. A cultura pode fixar mais que 160 kg de nitrogênio por hectare no solo via associação com *Rhizobium* spp. (LUTHRIA; PASTOR-CORRALES, 2006).

Apesar da fixação no feijoeiro não ser tão efetiva quanto na soja (DOWLING; BROUGHTON, 1986), ainda assim é possível verificar uma elevada contribuição da inoculação em ganho produtivo como observado por Pelegrin et al. (2009), Carvalho et al. (2018), Pereira (2019) e Vale Jr (2019).

Recomenda-se realizar a inoculação das sementes e no máximo 24h após, realizar a semeadura para garantir a sobrevivência das bactérias (MENDES et al., 2010). Os inoculantes comercializados no Brasil podem ser líquidos ou turfosos e conter uma ou duas estirpes, que são recomendadas para os solos do país, sendo elas as mais comuns SEMIA 4077, SEMIA 4080 e SEMIA 4088 (PELEGRIN et al., 2009).

Dentre os fatores que atuam para aumentar a eficiência da simbiose do feijoeiro com as rizobactérias podemos citar o pH, que deve estar entre 5,0 e 5,5 (CAMPANHARO et al., 2010, RUFINI et al., 2011); solo, clima, estirpe do microrganismo, temperatura do solo, vegetação associada, fatores nutricionais (PEREIRA, 1982) e tratamento de sementes (SILVA et al., 2020).

Associado com a inoculação e a adubação de base, Vieira et al. (1998) demonstraram que os rizóbios nativos do solo podem ter sua eficiência simbiótica aumentada, quando o feijoeiro é fertilizado com molibdênio (Mo), em um período definido do seu ciclo vegetativo.

Após a inoculação, existem algumas etapas de desenvolvimento das bactérias em conjunto com o desenvolvimento da planta de feijoeiro. Inicialmente entre os estágios V<sub>1</sub> e V<sub>2</sub> ocorre a penetração das bactérias nos pelos radiculares, em V<sub>3</sub> ocorre a colonização das células e a formação dos nódulos e em V<sub>4</sub> ocorre o início da atividade da nitrogenase e fixação do N (OLIVEIRA et al., 2018). Os mesmos autores explicam que durante este período os nódulos ao serem cortados apresentam coloração rósea ou avermelhada, sendo um indício da atividade da nitrogenase. Ao

final do ciclo da cultura, já em R<sub>7</sub> a R<sub>8</sub>, a FBN começa a reduzir, devido a diminuição da atividade da nitrogenase (OLIVEIRA et al., 2018).

Além de uma grande economia nos sistemas produtivos, a FBN contribui para agrossistemas mais ecológicos e benéficos ao ambiente (SCHIAVON et al., 2010). Devido a esta realidade, o Brasil é referência no que diz respeito a produção de leguminosas com uso da FBN, uma vez que nosso país possui condições edafoclimáticas ideais, além de aptidão agrícola para o cultivo. Vale Jr (2019), trabalhando com a cultivar BRS FC 104 inoculadas com *R. tropici*, estirpe CIAT 899, com e sem utilização de N e verificaram que *R. tropici* tem capacidade de suprir a necessidade parcial da cultura em nitrogênio e possui potencial para ser utilizado como uma alternativa econômica para a redução da adubação nitrogenada, porém, o autor destaca que existe a necessidade de se aplicar uma dose inicial de no mínimo 20 kg ha<sup>-1</sup> de N para garantir o início do processo de nodulação rizobiana efetiva e consequentemente o aumento da produtividade.

Esta redução do uso de adubação química se deve principalmente ao melhoramento vegetal para uma maior contribuição de FBN e de diversos trabalhos de seleção de rizóbios para às condições dos solos brasileiros (VALE JR., 2019). Para o caso do feijão, foram isoladas estirpes que são tolerantes à acidez e a altas temperaturas, podendo a inoculação com essas estirpes duplicar a média da produtividade nacional (ARIAS, 2016). Vale Jr. (2019) ressalta que é importante utilizar estirpes que possuem uma capacidade de competir com os rizóbios nativos ineficientes na FBN, uma vez que o feijoeiro comum é considerado promiscuo, podendo estabelecer simbiose com qualquer estirpe nativa. O autor ainda salienta a importância de que a estirpe possua capacidade de infecção rápida para aumentar a capacidade de fixação de N.

A seleção de genótipos superiores para essa característica na cultura é uma necessidade válida, pois além da busca por sustentabilidade, pode reduzir os custos de produção e os impactos ambientais (SCHIAVON et al., 2010). Todavia, essa característica não é integralmente explorada para resultados obtidos no melhoramento da espécie, embora novas técnicas para a seleção destes genótipos venham sendo estudadas.



### 2.3 Co-inoculação em feijoeiro

Apesar dos ganhos apresentados em alguns estudos, o feijoeiro possui uma baixa eficiência de FBN e a conseqüente necessidade de complementação da demanda de nitrogênio com a adubação química (PELEGRIN et al., 2009; BERTOLDO et al., 2015). Para mitigar esta necessidade de aproveitar da capacidade da espécie em fixar N, tem sido preconizada a inoculação combinada ou co-inoculação do feijoeiro mediante a utilização de mais de uma espécie de bactéria, como estirpes selecionadas de *R. tropici* e *Azospirillum brasilense* (HUNGRIA et al., 2013).

Esta combinação pode complementar os mecanismos de fixação de cada espécie, sendo assim, enquanto uma espécie possui uma rota ou modelo metabólico de atuação, a outra possui outro, que se isoladas possuem baixa eficiência, mas quando em associação podem atender a demanda da cultura (HUNGRIA et al., 2013).

A combinação de co-inoculação mais utilizada e que vem demonstrando resultados muito eficientes é a utilização de *Rhizobium* e *Azospirillum*. Essa complementação vem da ação pelo *Rhizobium* no rendimento agrônômico da cultura associado a promoção de crescimento do sistema radicular do feijoeiro, ligado à produção de auxinas pelo *Azospirillum* (HUNGRIA et al., 2013). Estes autores realizaram alguns testes de eficiência que demonstraram potencial de ganhos em produtividade próximos a 20%, em ensaios de campo de diferentes sistemas e produção.

Entretanto, os resultados com a associação ou combinação das bactérias ainda são contraditórios para algumas cultivares, pois estas apresentam resultados distintos quando submetidas a diferentes épocas e regiões de cultivo (GITTI et al., 2012; CORSINI, 2014; PERES, 2014).

### 2.4 Seleção de genótipos para aumento da fixação biológica

Apesar da ampla diversidade de cultivo do feijoeiro no Brasil, existe variedades que possuem maior ou menor capacidade de resposta a fixação biológica (DIAS, 2017; FERREIRA et al., 2013). Este cenário ganha ainda mais importância quando compreendemos que a simbiose em feijão não é tão eficiente quanto em outras culturas como soja e fava (DUWIVEDI et al., 2015) e que ainda se deve complementar a demanda de N com a adubação química (MAGALHÃES et al., 2017).

A seleção de materiais genéticos está relacionada principalmente com a busca de maior afinidade das plantas com as bactérias fixadoras. Que estas possam se associar em maior número e eficiência as raízes, que apesar de atualmente não ser tão estudada possui potencial de exploração via melhoramento (TSUTSUMI et al., 2015; FARID; NAVABI, 2015).

Há inúmeras espécies selvagens e aquelas já melhoradas para maior absorção de N, que quando selecionadas podem aumentar a eficiência da nodulação. Dias (2017) em sua pesquisa avaliou 19 genótipos do grupo carioca e 15 do grupo preto, em ensaios separados por grupo de grão e identificou que os genótipos do grupo carioca BRS Sublime, CNFC 15010 e CNFC 15003 e os do grupo preto, BRS Campeiro e CNFP 15177 foram selecionados quanto aos caracteres de nodulação.

Algumas pesquisas demonstram a ampla diversidade genética e comportamental dos genótipos. Ferreira et al. (2013), avaliaram 377 genótipos selvagens de feijoeiro comum e a cultivar Ouro Negro, utilizada como referência, até então descrita por Bliss et al. (1989) com boa nodulação. Os autores verificaram que muitos destes materiais avaliados apresentaram peso e quantidade de nódulos maior que a referência, evidenciando que ainda há muito a caminhar na seleção e melhoramento de feijoeiro-comum visando a FBN (FERREIRA et al., 2013).

Outras pesquisas com feijão carioca demonstraram que materiais genéticos em estágios mais avançados de melhoramento já possuem maior capacidade de fixação de N<sub>2</sub> (OLIVEIRA; SBARDELOTTO, 2011).

Além disso, a avaliação e escolha de cultivares com maior afinidade a fixação biológica, ainda deve-se salientar a importância e variação comportamental do tipo de inoculação utilizada. O desempenho das cultivares de feijoeiro pode variar em resposta a co-inoculação de *Rhizobium* e *Azospirillum* (LOURENÇO, 2016; RIZZARDI, 2016). Cultivares de feijoeiro comum sendo testadas quanto a sua aptidão para inoculação apresentou resultados contraditórios dependendo do material genético, quanto ao aumento de produtividade e de quantidade de N fixado (REMANS et al. 2008).

Lourenço (2016) comparando seis cultivares (Constanza, Bola, Ouro Vermelho, BRSMG Madrepérola e Manteigão) submetidas a sistema orgânico de produção, a partir de sementes co-inoculadas ou não com *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, verificou que a co-inoculação das sementes não influenciou a

produtividade do feijoeiro, independentemente da cultivar, sob as condições de cultivo orgânico.

Rizzardi (2016), ao estudar linhagens de feijão comum do grupo carioca (LEC 01-11, FT 875, LEC 01-10 e CNFC 10762) associado com cinco doses de nitrogênio (0, 20, 40, 60 e 80 kg ha<sup>-1</sup>) e três inoculações (CIAT 899, UFLA 02-100 e sem inoculação) verificaram que a inoculação de sementes de feijoeiro com inoculante CIAT 899 proporcionou melhores resultados que os demais quanto ao número de nódulos, ao teor de nitrogênio nas folhas e nos grãos e massa seca de parte aérea. A aplicação de N neste estudo proporcionou aumentos na massa seca de parte aérea, no número de vagens por planta, na produtividade de grãos e no teor de nitrogênio no grão. Entretanto as doses de nitrogênio acima de 20 kg ha<sup>-1</sup> na forma de uréia influenciaram negativamente o número de nódulos e massa seca de nódulos.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições, em esquema fatorial 20 x 3, constituído pela combinação de vinte genótipos de feijão comum (Tabela 2) e três formas de inoculação (ausência de inoculação, inoculação com *Rhizobium tropici*, co-inoculação de *Rhizobium tropici* + *Azospirillum brasilense*).

As parcelas foram constituídas de quatro linhas de 4,0 m de comprimento. As avaliações foram realizadas nas duas linhas centrais, desprezando-se 0,5 m das extremidades.

#### 3.2 Material biológico

Os genótipos avaliados no experimento e seus respectivos programas de melhoramento de origem são apresentados na tabela 2.

**Tabela 1** – Genótipos de feijoeiro que avaliados no experimento.

Genótipos	Programa de Melhoramento	Genótipos	Programa de Melhoramento
1. Ling 03	UNESP <sup>1</sup>	11. BRS Notável	EMBRAPA
2. Ling 06	UNESP	12. Pérola	EMBRAPA
3. Ling 08	UNESP	13. IPR 81	IAPAR <sup>4</sup>
4. Ling 13	UNESP	14. IPR Campos Gerais	IAPAR
5. Carioca MG	UFLA <sup>2</sup>	15. IPR Sabiá	IAPAR
6. Esal 1	UFLA	16. IPR Tangará	IAPAR
7. BRSMG Majestoso	UFLA	17. Imperador	IAC <sup>5</sup>
8. BRSMG Uai	UFLA	18. Sintonia	IAC
9. BRS Cometa	EMBRAPA <sup>3</sup>	19. Milênio	IAC
10. BRS Estilo	EMBRAPA	20. Alvorada	IAC

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira; <sup>2</sup>Universidade Federal de Lavras; <sup>3</sup>Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; <sup>4</sup>Instituto Agrônômico do Paraná; <sup>5</sup>Instituto Agrônômico de Campinas

As sementes foram tratadas utilizando o produto comercial Standak Top na dose de 200 ml p.c. para 100 kg de sementes, antes da inoculação com os microorganismos. A inoculação das sementes de feijão com *Rhizobium tropici* SEMIA 4088 e *A. brasilense* estirpes Ab-V5 e Ab-V6 foi feita via inoculante líquido diretamente nas sementes, antes da semeadura, ambos na dose de 100 ml ha<sup>-1</sup>.

### 3.3 Área experimental e manejo

O experimento foi instalado no período de inverno, no ano de 2018, na área experimental pertencente à Faculdade de Engenharia – UNESP, Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria - MS (51° 22' de longitude O; 20° 22' de Latitude S e 335 m de altitude). O clima da região é Aw, segundo classificação de Köppen, tropical úmido com estação chuvosa no verão e inverno seco (ALVARES et al., 2013). O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico de textura argilosa (SANTOS et al., 2018).

A adubação de sementeira foi realizada de acordo com a análise de solo (Tabela 1), sendo aplicados 10 kg N ha<sup>-1</sup>, 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> e 30 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada em todos os tratamentos na recomendação mínima para cultura de 20 kg de nitrogênio por hectare, sendo esperada produtividade média de 1,0 a 1,5 t ha<sup>-1</sup> (RAIJ et al., 1997).

**Tabela 2** – Atributos químicos do solo na profundidade de 0 – 20 cm (Selvíria- MS) em 2018.

<b>P resina</b> mg dm <sup>-3</sup>	<b>M.O.</b> g dm <sup>-3</sup>	<b>pH</b> CaCl <sub>2</sub>	<b>K</b> -----	<b>Ca</b>	<b>Mg</b> mmolc dm <sup>-3</sup>	<b>H+Al</b> -----	<b>CTC</b>	<b>V</b> %
23	20	5,0	2,3	20	17	34	73,3	54

A sementeira foi realizada manualmente com distribuição de sementes visando obter de 10–12 plantas m<sup>-1</sup>. No estágio V<sub>4</sub>, foi realizada aplicação de herbicida registrado para cultura, para o controle de plantas daninhas. A irrigação fornecida no período do experimento, quando necessária, foi realizada por sistema de pivô central, seguindo as recomendações para a cultura.

### 3.4 Variáveis avaliadas

Foram avaliadas as variáveis de respostas de inoculação obtidas em três plantas por parcela no estádio R<sub>7</sub>. A massa seca da parte aérea (MSPA) coletada foi colocada em estufa de ventilação forçada a 60°C, até atingir massa constante (72 horas). O número de nódulos (NN) foram contados e depois foram colocados em estufa com ventilação forçada de ar a 60°C até atingir massa constante (72 horas) para obter a massa de nódulos (MN).

Para as variáveis de componentes de produção e arquitetura de planta foram coletadas 6 plantas da área útil de cada parcela e mensurou-se: altura de inserção de primeira vagem (IPV), medindo as plantas de cada parcela a partir da cicatriz cotiledonar até a inserção da primeira vagem; diâmetro do caule (DC), com auxílio de um paquímetro sendo as plantas medidas no ponto da cicatriz cotiledonar; altura total da planta (ATP), considerando-se do comprimento da base da planta até o final da guia com auxílio de uma trena milimétrica; número de vagens por planta (NVP), obtido pela contagem de vagens em cada planta; número de grãos por planta (NGP), contando-se o número de grãos em cada planta, utilizados posteriormente para o cálculo de número de grãos por vagem (NGV), que corresponde a relação entre o número de grãos e o número de vagens; massa de 100 grãos (M100G), determinada pela avaliação de uma amostra de 100 grãos por parcela, tendo sua massa corrigida para a base úmida de 13%. A Produtividade de grãos (PHA) foi obtida considerando-se todas as plantas da área útil da parcela ajustando-se os dados para 13% de umidade.

### **3.5 Análise estatística**

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), considerando os genótipos como aleatórios e as inoculações como efeitos fixos, obtendo os seguintes parâmetros genéticos: CVg: Coeficiente de variação genotípica; CV<sub>GxA</sub>: coeficiente de variação genótipo X ambiente; H<sup>2</sup>: herdabilidade média; r: relação CVg%/CVe%.

As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade utilizando-se o programa computacional em genética e estatística GENES (CRUZ, 2013; 2016).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 contém o resumo da análise de variância das características estruturais e de nodulação das plantas. Não houve diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) entre os fatores estudados para a variável altura de planta. Houve diferenças significativas entre os ambientes para a variável de diâmetro de caule (DC;  $P < 0,05$ ) e entre os genótipos para as variáveis de inserção de primeira vagem (IPV;  $P < 0,01$ ) e DC ( $P < 0,01$ ). Houve interação significativa ( $P < 0,01$ ) entre genótipo e ambiente para número de nódulos (NN) e massa de nódulos (MN).

**Tabela 3** – Análise de variância das características altura da planta (AP), inserção de primeira vagem (IPV), diâmetro de caule (DC), número de nódulos (NN) e massa seca de nódulos (MN) de genótipos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) submetidos a diferentes ambientes de tratamento.

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios				
		AP ----- cm -----	IPV	DC mm	NN un	MN mg
Bloco	2	7,93**	14,07	1,14	103	2320
Genótipo	19	108	17,25*	3,12**	198**	3151**
Ambiente <sup>1</sup>	2	3,96	8,27	4,18**	240	4944
Gen x Amb	38	34,0	14,4	0,63	220**	2290**
Resíduo	118	33,4	10,0	0,66	11,1	155
Média		31,5	13,0	4,70	12,1	36,6
C.V. (100%)		18,4	24,4	17,2	27,5	34,0

<sup>1</sup>Sem inoculação, inoculação com *Rhizobium tropici* e co-inoculação com *Rhizobium tropici* + *Azospirillum brasilense*; C.V.: coeficiente de variação experimental. \*\* e \* Significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

A Tabela 4 contém o resumo da análise de variância das características produtivas do feijoeiro. Não houve diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) entre as médias de número de grãos por vagem (NGV) para ambos os fatores estudados. Houve diferenças significativas ( $P < 0,01$ ) entre os genótipos para as variáveis massa seca de parte aérea (MSPA), massa de cem grãos (M100G) e número de vagens por planta (NVP). Houve interação significativa ( $P < 0,01$ ) entre genótipo e ambiente para a produtividade de grãos (PHA). As interações significativas indicam que para as variáveis avaliadas os genótipos de feijoeiro respondem de forma diferenciada às diferentes condições de inoculação. Isso possibilita a seleção dos genótipos que sejam mais responsivos ao tratamento de inoculação ou co-inoculação.

**Tabela 4** – Análise de variância das características massa seca da parte aérea (MSPA), massa de cem grãos (M100G), produtividade de grãos (PHA), número de vagens por planta (NVP) e número de grãos por vagem (MN) de genótipos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) submetidos a diferentes ambientes de tratamento.

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Quadrados Médios				
		MSPA	M100G	PHA	NVP	NGV
		g	g	t ha <sup>-1</sup>	un	un
Bloco	2	30,4	8,41	1,84	29,2	2,07
Genótipo	19	346**	32,4**	1,72**	75,8**	2,11
Ambiente <sup>1</sup>	2	71,1	18,5	0,13	63,9	0,08
Gen x Amb	38	121	9,24	1,24**	20,2	0,97
Resíduo	118	110	8,95	0,37	14,7	0,71
Média		23,9	24,1	2,39	12,9	4,10
C.V. (100%)		43,9	12,4	25,3	29,7	20,5

<sup>1</sup>Sem inoculação, inoculação com *Rhizobium tropici* e co-inoculação com *Rhizobium tropici* + *Azospirillum brasilense*; C.V.: coeficiente de variação experimental. \*\* e \* Significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

A estimativa dos parâmetros genéticos e ambientais para as características agrônômicas e de nodulação das plantas são apresentadas na Tabela 5. De acordo com Resende (2015), os valores de herdabilidade individual ( $h^2$ ) são classificadas como baixa ( $0,01 \leq h^2 \leq 0,15$ ), média ( $0,15 < h^2 < 0,50$ ) e alta ( $h^2 \geq 0,50$ ). Desta forma, nos genótipos de feijoeiro do presente estudo, exceto a característica de IPV ( $h^2$  intermediária), todas as demais variáveis tiveram alta  $h^2$ .

**Tabela 5** – Estimativa dos parâmetros genéticos e ambientais para as características agrônômicas e de nodulação em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*)

Parâmetro	AP	MSPA	DC	IPV	NVP	NN	MN	NGV	M100G	PHA
$h^2$ (%)	69,1	68,2	78,9	41,9	80,6	94,4	95,1	66,3	72,4	78,8
C.Vg (%)	9,15	21,4	11,1	6,90	20,2	37,6	49,8	9,60	6,70	16,2
CVg /CVe	0,50	0,49	0,65	0,28	0,68	1,37	1,47	0,47	0,54	0,64

AP: Altura de Planta; MSPA: Massa seca da parte aérea; DC: Diâmetro do caule; IPV: Inserção de primeira vagem; NVP: Número de vagens por planta; NN: Número de nódulos; MN: Massa seca de nódulos; NGV: Número de grãos por vagens; M100G: Massa de cem grãos; PHA: Produtividade de grãos;  $h^2$ : herdabilidade média; CVg: Coeficiente de variação genética; CVg /CVe: razão entre coeficiente de variação genético e ambiental.

Além da herdabilidade, o coeficiente de variação genética (CVg) e a relação entre os coeficientes de variação genética e ambiental (CVg /CVe) também são parâmetros utilizados na quantificação da variabilidade genética presente na população (SANTOS, 1985). A variabilidade genética numa população é considerada fator determinante em qualquer programa de melhoramento (GONÇALVES et al., 2016). Valores elevados (acima de 25%) de CVg são indicativos de que a população é promissora para a seleção da característica em estudo (CORREA et al., 2003). As



características de NN e NM apresentaram relação CVg /CVe maior que 1 e CVg maior que 25% (Tabela 5), indicando que essas características são determinadas principalmente pelo caráter genético, sendo uma situação favorável à seleção dos genótipos (FALEIRO et al., 2002), confirmando o sucesso do melhoramento dos genótipos avaliados neste estudo.

A observação de existência de variabilidade genética para o potencial de nodulação demonstra que este fenômeno em feijoeiro comum pode ser aumentado via melhoramento (FARID; NAVABI, 2015). Como a  $h^2$ , o CVg e a relação CVg/CVe dos caracteres NN e MN foram altos (Tabela 5), é identificada situação favorável na seleção dos genótipos para as características de nodulação.

A Tabela 5 contém as médias de NN e MN oriundas do desdobramento da interação entre os fatores genótipo e ambiente de inoculação. Em condição de ambiente não inoculado, o genótipo Majestoso teve maior ( $P < 0,05$ ) NN em relação aos demais, seguido pelo genótipo Pérola. Quando não há inoculação, os genótipos Ling 03, Ling 06, Ling 08, Carioca MG, BRS Cometa, BRS Estilo, BRS Notável, IPR 81 e IPR Tangará apresentaram médias inferiores de NN, sendo que os genótipos que tiveram menores NN ( $P < 0,05$ ) em relação a todos os demais estudados foram Uai, IPR Campos Gerais e Sintonia (Tabela 6). Com relação a MN, os genótipos Pérola e Alvorada tiveram as maiores ( $P < 0,05$ ) médias e os genótipos Ling 03, Ling 08, Uai, BRS Cometa, BRS Notável, IPR 81, IPR Campos Gerais, IPR Sabiá e Sintonia tiveram as menores ( $P < 0,05$ ) médias em ambiente não inoculado.

Quando em ambiente sob inoculação com *R. tropici*, a maior média de NN ( $P < 0,05$ ) foi no genótipo Ling 03, seguido pelos genótipos Milênio e Uai (Tabela 6). Os genótipos Esal 1 e Majestoso, também tiveram NN superiores ( $P < 0,05$ ) em comparação à maioria dos genótipos estudados quando inoculados com *R. tropici*. Os genótipos menos responsivos à inoculação com *R. tropici* em relação à variável NN foram Carioca MG, BRS Notável, Imperador, Alvorada, Ling 08, IPR Sabiá, IPR Tangará e Sintonia (Tabela 6). Para a variável MN, a maior ( $P < 0,05$ ) média foi observada no genótipo Ling 03, enquanto os genótipos Ling 08, Carioca MG, BRS notável, IPR 81, IPR Campos Gerais, IPR Sabiá, IPR Tangará, Imperador e Sintonia apresentaram as menores ( $P < 0,05$ ) médias em ambiente sob inoculação com *R. tropici* (Tabela 6).

**Tabela 6** – Desdobramento da interação Genótipo x Ambiente referente ao número de nódulos (NN) e massa de nódulos (MN) de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*)

Genótipo	NN (un)			MN (mg)		
	NI	Rt	Co	NI	Rt	Co
1. Ling 03	12,3 Bd	37,7 Aa	5,67 Cd	13,3 Bc	110 Aa	15,5 Bd
2. Ling 06	6,67 Bd	15,0 Ae	12,7 Ac	29,5 Ab	48,4 Ac	45,0 Ac
3. Ling 08	10,0 Ad	2,00 Bg	1,00 Be	25,0 Ac	21,6 Ad	1,03 Bd
4. Ling 13	17,3 Ac	17,0 Ae	21,3 Ab	30,5 Bb	92,4 Ab	86,6 Ab
5. Carioca MG	10,7 Ad	8,67 Af	12,0 Ac	42,3 Ab	24,4 Ad	42,4 Ac
6. Esal 1	14,0 Bc	21,3 Ad	4,67 Cd	39,7 Bb	86,7 Ab	6,27 Cd
7. Majestoso	33,0 Aa	21,7 Bd	15,0 Cc	38,9 Cb	91,7 Bb	115 Aa
8. Uai	1,67 Be	27,0 Ac	0,00 Be	4,37 Bc	81,5 Ab	0,00 Bd
9. BRS Cometa	11,3 Ad	9,33 Af	5,33 Ad	18,2 Bc	37,0 Ac	7,57 Bd
10. BRS Estilo	7,67 Cd	15,0 Be	29,3 Aa	34,9 Ab	35,3 Ac	23,0 Ac
11. BRS Notável	7,00 Ad	11,0 Af	13,0 Ac	6,07 Bc	23,5 Bd	47,1 Ac
12. Pérola	24,7 Ab	11,7 Bf	0,00 Ce	55,9 Aa	36,9 Ac	0,00 Bd
13. IPR 81	8,00 Bd	13,0 Ae	15,3 Ac	21,4 Bc	24,9 Bd	61,3 Ab
14. IPR Campos Gerais	2,00 Ce	14,3 Ae	8,33 Bd	7,53 Bc	20,1 Bd	39,3 Ac
15. IPR Sabiá	18,0 Ac	5,00 Bg	6,00 Bd	18,7 Ac	11,3 Ad	31,9 Ac
16. IPR Tangará	7,00 Bd	2,67 Bg	20,0 Ab	38,6 Bb	0,00 Cd	75,6 Ab
17. Imperador	14,0 Ac	9,67 Af	4,33 Bd	32,9 Ab	13,4 Bd	3,23 Bd
18. Sintonia	3,33 Be	1,00 Bg	13,7 Ac	2,77 Bc	2,47 Bd	38,9 Ac
19. Milênio	17,7 Bc	31,0 Ab	3,00 Ce	37,2 Bb	88,8 Ab	4,80 Cd
20. Alvorada	16,0 Ac	8,33 Bf	11,7 Bc	59,8 Aa	69,7 Ab	76,1 Ab

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 %. NI: Não inoculado; Rt: Inoculação com *Rhizobium tropici*; Co: Co-inoculação de *Rhizobium tropici* + *Azospirillum brasilense*.

Quando em ambiente co-inoculado com *R. tropici* + *A. brasilense*, o genótipo que apresentou o maior NN ( $P < 0,05$ ) foi o BRS Estilo, seguido pelo Ling 13 e IPR Tangará (Tabela 6). Valores inferiores de NN foram obtidos nos demais genótipos sob co-inoculação, sendo que as menores médias de NN ( $P < 0,05$ ) foram observadas no Ling 08, Uai, Pérola e Milênio, quando comparados aos demais genótipos estudados (Tabela 6). A respeito da MN, o genótipo majestoso foi o de maior média ( $P < 0,05$ ) quando submetido a co-inoculação, seguido pelos genótipos Ling 13, IPR 81, IPR Tangará e Alvorada. Os genótipos menos responsivos ( $P < 0,05$ ) à co-inoculação com relação a MN foram Ling 03, Ling 08, Esal 1, Uai, BRS Cometa, Pérola, Imperador e Milênio (Tabela 6).

A formação dos nódulos nas raízes de plantas da família Leguminosae ocorre naturalmente, mesmo sem o processo de inoculação (FERREIRA et al., 2013; PELEGRIN et al., 2009). Nos solos brasileiros é verificada a presença de elevada população nativa de estirpes de rizóbio capazes de nodular o feijoeiro (VARGAS et

al., 2000). No presente trabalho foi possível verificar que alguns genótipos possuem maior formação destas estruturas do que outros. Tem-se verificado na literatura que há variabilidade na eficiência de FBN entre diferentes genótipos de feijoeiro e esta característica tem sido usada para o melhoramento genético da cultura (SILVA et al., 2011; KNUPP et al., 2011). A variabilidade nos caracteres de nodulação obtidas nos diferentes genótipos estudados (Tabela 6) pode ter sido causada por diferenças nas habilidades de translocação de carboidratos para os nódulos e nas taxas de absorção de N, o que pode ter feito com que alguns genótipos tivessem sua demanda de N atendida e outros não (GRAHAM, 1981; BRITO et al., 2008).

A formação dos nódulos é extremamente importante, pois neles há bactérias, principalmente (porém não exclusivamente) da ordem Rhizobiales. Estas bactérias, através do complexo enzimático da nitrogenase, transformam o N<sub>2</sub> atmosférico em amônia que, incorporada aos esqueletos de carbono, é transformada em compostos nitrogenados que são transferidos para a planta hospedeira (HUNGRIA et al., 1997). Neste contexto, o presente trabalho possibilitou a identificação daqueles genótipos que são naturalmente mais eficientes no processo de nodulação. Apesar do processo muitas vezes ocorrer naturalmente, pode haver menor tolerância das populações nativas de bactérias a estresses ambientais como alta temperatura e acidez do solo, tornando a atividade desses microorganismos instável e menos eficiente. Por isso, tem havido interesse na inoculação de novas estirpes de *R. tropici* que são geneticamente estáveis e mais tolerantes a condições ambientais adversas, apresentando assim maior eficiência na FBN (MOSTASSO et al., 2002; HUNGRIA et al., 2003; PINTO et al., 2007).

A média de MN das plantas submetidas ao ambiente de inoculação com *R. tropici* foi 39 % maior em comparação à média das plantas não inoculadas. Alguns genótipos foram mais responsivos à esta inoculação em termos de NN e MN, como o Ling 03 (Tabela 6). A identificação de genótipos com elevada capacidade de nodulação pode ser uma estratégia para o uso imediato da FBN no sentido de reduzir o uso da adubação mineral. Oliveira e Sbardelotto (2011) também observaram variabilidade na resposta de diferentes genótipos de feijoeiro submetidos a inoculação com *R. tropici*. Estes autores verificaram melhor nodulação em alguns genótipos e recomendaram o uso das cultivares mais responsivas à inoculação como opção de cultivo em conjunto com uso do inoculante como alternativa à introdução de N via fertilizante mineral, considerando que o custo com inoculação é expressivamente

menor em comparação ao custo da utilização de N mineral (DIAS, 2017). Bertoldo et al. (2015) em estudo comparando a inoculação com uso de ureia verificaram que o maior retorno por real investido foi obtido com a FBN. Além do fator econômico, há também o fator de sustentabilidade ambiental, uma vez que há a menor emissão de gases de efeito estufa e redução na poluição de lençóis freáticos (HUNGRIA; MENDES, 2015).

A Tabela 7 contém as médias de PHA oriundas do desdobramento da interação entre os fatores genótipo e ambiente. Os genótipos BRS Estilo e IPR 81 são mais produtivos ( $P < 0,05$ ) quando submetidos a ambiente inoculado ou co-inoculado. O genótipo Sintonia tem sua PHA aumentada em ambiente co-inoculado com *R. tropici* + *A. brasilense*. O genótipo Majestoso teve maior produtividade de grãos ( $P < 0,05$ ) quando não foi inoculado, comparado aos tratamentos de inoculação e co-inoculação (Tabela 7).

No desdobramento de genótipos dentro de ambientes, a PHA observada nos genótipos IPR Sabiá, Ling 13, Milênio e Majestoso foram maiores que dos genótipos BRS Notável, Uai, BRS Cometa, BRS Estilo e Sintonia, os quais foram semelhantes entre si e tiveram menores médias de produtividade de grãos em comparação aos demais genótipos (Tabela 7).

Quando inoculados com *R. tropici*, os genótipos Ling 06, Ling 08, Ling 13, Pérola, IPR 81, IPR Sabiá, Imperador e Milênio, foram semelhantes entre si e superiores em PHA. Já os genótipos Ling 03, Carioca MG, Esal 1, BRS Cometa, BRS Uai, Estilo, BRS Notável, IPR Campos Gerais, IPR Tangará e Sintonia tiveram as menores produtividades, não diferindo estatisticamente entre si (Tabela 7). Pelegrin et al. (2009) observaram que a inoculação com rizóbio promoveu produtividade do genótipo Pérola de  $3,13 \text{ t ha}^{-1}$  equivalentes à aplicação de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N mineral. No presente estudo, o genótipo Pérola foi um dos que apresentaram superioridade na PHA sob inoculação com apenas *R. tropici* em comparação com outros genótipos (Tabela 7). Porém, em ambiente de co-inoculação com *R. tropici* + *A. brasilense*, o Pérola sofreu queda na produtividade, quando comparado aos outros tratamentos (Tabela 7). Já Araújo et al. (2007) observaram que o genótipo Carioca, quando inoculado com *R. tropici* apresentou produtividade superior à testemunha não inoculada e ao tratamento com N mineral na dose de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$ . No entanto, no presente estudo não foi observada diferença significativa entre ambiente não inoculado e inoculado com *R. tropici* no genótipo Carioca MG (Tabela 7).

**Tabela 7** – Desdobramento da interação Genótipo x Ambiente referente a produtividade de grãos (PHA) de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*)

Genótipo	PHA (t ha <sup>-1</sup> )		
	NI	Rt	Co
1. Ling 03	2,68 Ab	2,09 Ab	2,42 Ab
2. Ling 06	2,69 Ab	2,50 Aa	3,20 Aa
3. Ling 08	2,35 Ab	3,56 Aa	2,81 Aa
4. Ling 13	3,15 Aa	2,65 Aa	2,33 Ab
5. Carioca MG	2,31 Ab	1,78 Ab	2,24 Ab
6. Esal 1	2,67 Ab	1,76 Ab	1,91 Ab
7. Majestoso	4,15 Aa	2,45 Ba	2,70 Ba
8. Uai	1,64 Ac	1,87 Ab	2,23 Ab
9. BRS Cometa	1,52 Ac	1,05 Ab	2,26 Ab
10. BRS Estilo	0,96 Bc	2,23 Ab	3,12 Aa
11. BRS Notável	1,93 Ac	2,27 Ab	3,06 Aa
12. Pérola	2,63 Ab	2,82 Aa	1,21 Bc
13. IPR 81	2,26 Bb	3,35 Aa	3,53 Aa
14. IPR Campos Gerais	2,74 Ab	2,17 Ab	2,32 Ab
15. IPR Sabiá	3,19 Aa	2,55 Aa	1,07 Bc
16. IPR Tangará	2,29 Ab	2,14 Ab	2,81 Aa
17. Imperador	2,16 Bb	3,22 Aa	1,94 Bb
18. Sintonia	0,78 Bc	1,21 Bb	2,42 Ab
19. Milênio	3,01 Aa	2,64 Aa	2,38 Ab
20. Alvorada	3,10 Aa	2,47 Aa	2,63 Aa

Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 %. NI: Não inoculado; Rt: Inoculação com *Rhizobium tropici*; Co: Co-inoculação de *Rhizobium tropici* + *Azospirillum brasilense*.

Em ambiente de co-inoculação com *R. tropici* + *A. brasilense*, além dos genótipos Majestoso e Alvorada, os genótipos IPR 81, Ling 06, BRS Estilo, BRS Notável, Ling 08 e IPR Tangará foram superiores em PHA ( $P < 0,05$ ) a todos os demais genótipos sob co-inoculação (Tabela 7). Médias intermediárias e semelhantes de PHA foram observadas nos genótipos Ling 03, Sintonia, Milênio, IPR Campos Gerais, BRS Cometa, Carioca MG, Ling 13, Uai, Imperador e Esal 1, sendo estes genótipos mais produtivos em comparação aos genótipos Pérola e IPR Sabiá, os quais foram os menos produtivos ( $P < 0,05$ ) sob co-inoculação, em comparação a todos os demais genótipos (Tabela 7).

O genótipo BRS Estilo é considerado de alto desempenho e, em geral, se destaca quanto a produtividade e adaptabilidade em relação a outros genótipos (PEREIRA et al., 2009; BARILI et al., 2015). Entretanto, no presente estudo o genótipo BRS Estilo não se sobressaiu quando não inoculado ou inoculado com *R. tropici* (Tabela 7). Este genótipo só apresentou PHA superior quando submetido a co-inoculação com *R. tropici* + *A. brasilense* (Tabela 7). A variabilidade nos valores de PHA entre os diferentes genótipos submetidos a co-inoculação pode indicar maior

afinidade com este tratamento por parte de algumas cultivares, como foi o caso da BRS Estilo (Tabela 7). De acordo com Hungria et al. (2013), a associação de *R. tropici* e *A. brasilense* pode complementar os mecanismos de fixação de cada espécie. Desta forma, tais espécies, que possuem modelo ou rotas metabólicas de atuação diferentes, que se isoladas possuem baixa eficiência, quando em associação podem atender a demanda da cultura (HUNGRIA et al., 2013).

*Azospirillum* spp. e *Rhizobium* spp. são bactérias do solo amplamente difundidas na natureza (REMANS et al., 2008). Cepas de ambas as espécies foram isoladas da rizosfera de uma grande diversidade de culturas, bem como do solo de regiões tropicais e temperadas (BASHAN 1999; MCINNES et al. 2004). Isso implica que, mesmo que nenhuma inoculação seja aplicada, o desempenho da planta pode depender da capacidade de resposta do genótipo às populações nativas do solo dessas rizobactérias promotoras do crescimento da planta (REMANS et al., 2008).

## 5 CONCLUSÃO

Os genótipos em estudo respondem de forma diversificada dependendo do ambiente de inoculação a que são submetidos.

As características mais influenciadas pelos genótipos e ambientes de inoculação foram a produtividade de grãos, o número de nódulos e a massa de nódulos.

A inoculação com *R. tropici* aumentou a produtividade dos genótipos BRS Estilo, IPR 81 e Imperador em comparação ao ambiente não inoculado. A co-inoculação com *R. tropici* + *A. brasilense* incrementou a produtividade de grãos dos genótipos BRS Estilo, IPR 81 e Sintonia. A co-inoculação com *R. tropici* + *A. brasilense* incrementou o número de nódulos principalmente os genótipos BRS Estilo e Sintonia em comparação aos ambientes sem inoculação ou inoculação apenas com *R. tropici*.

Há ampla variabilidade genética entre os genótipos estudados principalmente para as características de número e massa de nódulos.

## REFERÊNCIAS

- AFONSO, S. M. E. **Caracterização físico-química e atividade antioxidante de novas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Segurança Alimentar) - Escola Superior Agrária de Bragança, Bragança, 44p., 2010.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- AKTER, Z.; PAGANI, B. B.; LUPWAYI, N. Z.; BALASUBRAMANIAN, P. M. Biological nitrogen fixation by irrigated dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 98, n. 5, p. 1159-1167, 2018.
- ANTUNES, J. E. L.; GOMES, R. L. F.; LOPES, A. C. A.; ARAÚJO, A. S. F.; LYRA, M. C. C. P.; FIGUEIREDO, M. V. B. Symbiotic efficiency of rhizobia isolated from nodules of lima bean (*Phaseolus lunatus* L.). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 751-757, 2011.
- ARAÚJO, F. F.; CARMONA, F. G.; TIRITAN, C. S.; CRESTE, J. E. Fixação biológica de N<sub>2</sub> no feijoeiro submetido a dosagens de inoculante e tratamento químico na semente comparado à adubação nitrogenada. **Acta Scientiarum-Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 4, p. 535-540, 2007.
- ARIAS, L. V. A. **Inoculação de *Azotobacter* spp. em sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris*): qualidade fisiológica das sementes e produção de grãos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 60p., 2016.
- BARILI, L. D.; VALE, N. M. do; PRADO, A. L. do; CARNEIRO, J. E. de S.; SILVA, F. F.; NASCIMENTO, M. Genotype-environment interaction in common bean cultivars with carioca grain cultivated in Brazil in the last 40 years. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 15, n. 4, p. 244-250, 2015.
- BASHAN, Y. Interactions of *Azospirillum* spp. in soils: a review. **Biology and Fertility of Soils**, Firenze, v. 29, p. 246–256, 1999.
- BERTOLDO, J. G.; PELISSER, A.; SILVA, R. P. da.; FAVRETO, R.; OLIVEIRA, L. A. D. de. Alternativas na fertilização de feijão visando a reduzir a aplicação de N-ureia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 3, p. 348-355, 2015.
- BINOTTI, F. F. S. Descrição e fisiologia da planta. In: ARF, O.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P.; FERRARI, S. (eds.). **Aspectos gerais da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, p. 29-38, 2015.
- BINOTTI, F. F. S.; ARF, O.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S.; ALVAREZ, A. C. C.; KAMMURA, K. M. Effect of sources, doses and nitrogen split in winter common bean in no tillage system. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 473-481, 2009.
- BLISS, F. A.; PEREIRA, P. A. A.; ARAÚJO, R. S.; HENSON, R. A.; KINIECK, K. A.; MCFERSON, J. R.; TEIXEIRA, M. G.; SILVA, C. C. Registration of five high nitrogen



fixing common bean germplasm lines. **Crop Science**, Madison, v. 29, n. 1, p. 240-241, 1989.

BRITO, M.M.P.; MURAOKA, T.; SILVA, E.C. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio do solo no desenvolvimento de feijão e caupi. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n.1, p. 206-215, 2011.

BRITO, O. R.; OTSUBO, A. A.; MERCANTE, F. M.; OTSUBO, V. H. N. Evaluation of the Carioca and black beans group lines inoculated with *Rhizobium tropici* strains. **Annual Report of Bean Improvement Cooperative**, Nebraska, v. 51, n. 1, p. 254-255, 2008.

CAMPANHARO, M.; JUNIOR, M. A. L.; NASCIMENTO, C. W.; STAMFORD, N. P.; FREIRE, F. J.; DA COSTA, J. V. Acidez do solo na fixação biológica de nitrogênio em feijoeiro comum. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 3, p. 285-290, 2010.

CARVALHO, R. H. D., JESUS, E. D. C., SOUZA FILHO, B. F. D., FONTANA, A., STRALIOTTO, R.; ARAUJO, A. P. Crescimento e produção do feijoeiro comum sob co-inoculação com *Rhizobium*, *Azospirillum* e *Bradyrhizobium* em condições de campo. **Cadernos de Agroecologia**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, 2018.

CELMELI, T.; SARI, H.; CANCI, H.; SARI, D.; ADAK, A.; EKER, T.; TOKER, C. The Nutritional Content of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Landraces in Comparison to Modern Varieties. **Agronomy**, Basel, v. 8, n. 9, p.166, 2018.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira. Safra 2020/21**. 10º levantamento. v. 8, n. 10, p. 12-15, 2021.

CORREA, A. M.; GONÇALVES, M. C.; DESTRO, D.; SOUZA, L. C. F.; SOBRINHO, T. A. Estimates of genetic parameters in common bean genotypes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 3, n. 3, p. 223-230, 2003.

CORSINI, D. C. D. C. **Inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* e *Rhizobium tropici* e adubação nitrogenada em cobertura em feijoeiro de inverno irrigado em sistema de plantio direto**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - UNESP, Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 77f., 2014.

CRUZ, C. D. Programa Genes - Ampliado e integrado aos aplicativos R, Matlab e Selegen. **Acta Scientiarum-Agronomy**, Maringá, v. 38, n. 4, p. 547-552, 2016.

CRUZ, C. D. GENES: software para análise de dados em estatística experimental e em genética quantitativa. **Acta Scientiarum-Agronomy**, Maringá, v. 35, p. 271-276, 2013.

DEBOUCK, D. G. Systematics and morphology. In: SCHOONHOVEN, A. Van; VOYSEST, O. (Ed.). **Common beans: research for crop improvement**. Cali: CIAT, p. 55-118, 1991.

DIAS, P. A. S.; MELO, P. G. S.; FERREIRA, E. D. B.; PEREIRA, H. S.; MELO, L. C. (2017). Potencial genético de linhagens elite de feijoeiro-comum de grãos carioca para fixação biológica de nitrogênio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 9., 2017. **Anais...** Foz do Iguaçu. Melhoramento de plantas: projetando o futuro. Foz do Iguaçu: SBMP, 2017.

DIAS, P. A. S. **Potencial genético de linhagens elite de feijoeiro comum para fixação biológica de nitrogênio**. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 106f., 2017.

DOWLING, D. N.; BROUGHTON, W. J. Competition for nodulation of legumes. **Annual Review of Microbiology**, Palo Alto, v. 40, p. 131-137, 1986.

DWIVEDI, S. L.; SAHRAWAT, K. L.; UPADHYAYA, H. D.; MENGONI, A.; GALARDINI, M.; BAZZICALUPO, M. Advances in host plant and rhizobium genomics to enhance symbiotic nitrogen fixation in grain legumes. **Advances in Agronomy**. Newark, v. 129, p. 1–116, 2015.

FERREIRA, A. W.; SARMENTO, P. H. L. **Feijão: Desenvolver, validar e transferir soluções tecnológicas para garantir a sustentabilidade, diminuir riscos de produção e aumentar a competitividade da cultura do feijão-comum cultivados em primeira, segunda e em terceira safra**. Santo Antônio do Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1p., 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/arroz-e-feijao/inovacao-tecnologica/fejao>. Acesso em: 14 jul. 2021.

FALEIRO, F. G.; CRUZ, C. D.; CASTRO, C. D.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. D. Comparação de blocos casualizados e testemunhas intercalares na estimação de parâmetros genéticos em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 1675-1680, 2002.

FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database** 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 15 jul. 2021.

FARID, M.; NAVABI, A. N<sub>2</sub> fixation ability of different dry bean genotypes. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 95, n. 6, p. 1243-1257, 2015.

FERREIRA, E. P. B.; MERCANTE, F. M.; HUNGRIA, M.; MENDES, I. C.; ARAÚJO, J. L. S.; FERNANDES JÚNIOR, P. I.; ARAÚJO, A. P. Contribuições para melhoria da eficiência da fixação biológica de nitrogênio no feijoeiro comum no Brasil. In: ARAÚJO, A. P.; ALVES, B. J. R. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. 22. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 8, p. 251-291, 2013.

FIGUEIREDO, M. V. B.; MARTINEZ, C. R.; BURITY, H. A. Plant growth-promoting rhizobacteria for improving nodulation and nitrogen fixation in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Dordrecht, v. 24, p. 1187–1193, 2008.

GITTI, D. C.; ARF, O.; KANEKO, F. H.; RODRIGUES, R. A. F.; BUZETTI, S.; PORTUGAL, J. R.; CORSINI, D. C. D. C. Inoculação de *Azospirillum brasilense* em cultivares de feijões cultivados no inverno. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 5 n. 15, p. 30-40, 2012.

GONÇALVES, D. L.; BARELLI, M. A. A.; SANTOS, P. R. J.; OLIVEIRA, T. C.; SILVA, C. R.; NEVES, L. G.; POLETINE, J. P.; LUZ, P. B. Variabilidade genética de germoplasma tradicional de feijoeiro comum na região de Cáceres-MT. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 1, p. 100-107, 2016.

- GRAHAM, P. H. Some problems of nodulation and symbiotic nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris* L.: A review. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 4, p. 93-112, 1981.
- HUNGRIA, M.; MENDES, I. C. Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis? In: DE BRUIJIN, F. (Ed.). **Biological Nitrogen Fixation**. New Jersey: Wiley Publisher, Hoboken, p. 1005-1019, 2015.
- HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAÚJO, R. S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. **Biology and Fertility of Soils**, Firenze, v. 49, p. 791-801, 2013.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. Benefits of inoculation of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) crop with efficient and competitive *Rhizobium tropici* strains. **Biology and Fertility of Soils**, Firenze, v. 39, p. 88–93, 2003.
- HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T.; ARAÚJO, R. S. Fixação biológica do nitrogênio em feijoeiro. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. eds. **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina, Embrapa-CPAC, p. 189-294, 1997.
- HUNGRIA, M.; NEVES, M. C. P. Efeito da manipulação de fotossintatos na fixação biológica de nitrogênio em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 1, p. 9-24, 1986.
- KNUPP, A. M.; FERREIRA, E. P. B.; PEREIRA, H. S.; WENDLAND, A.; MELO, L. C. Resposta de genótipos de feijão preto à inoculação com *Rhizobium tropici*. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, **Anais...** Goiânia, 2011.
- LOURENÇO, F. J. de C. **Desempenho de cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em Rio Pomba, Minas Gerais, no sistema orgânico de produção, a partir da co-inoculação das sementes com *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense***. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 43f., 2016.
- LUTHRIA, D. L.; PASTOR-CORRALES, M. A. Phenolic acids content of fifteen dry edible bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. **Journal of Food Composition and Analysis**, Amsterdam, v.19, p. 205–211, 2006.
- MAGALHÃES, I. D. P. B.; SEDIYAMA, M. A. N.; SILVA, F. D. B. D.; VIDIGAL, S. M.; PINTO, C. L. O.; LOPES, I. P. C. Produtividade e exportação de nutrientes em feijão-vagem adubado com esterco de galinha. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 64, n. 1, p. 98-107, 2017.
- MARTÍNEZ-ROMERO, E.; SEGOVIA, E.; MERCANTE, F. M.; FRANCO, A.A.; GRAHAM, P. H.; PARDO, M. A. *Rhizobium tropici*, a novel species nodulating *Phaseolus vulgaris* L. beans and *Leucaena* sp. trees. **International Journal of Systematic Bacteriology**, Ames, v. 41, p. 417-426, 1991.
- MCINNES, A.; THIES, J. E.; ABBOTT, L. K.; HOWIESON, J. G. Structure and diversity among rhizobial strains, populations and communities: a review. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 36, p. 1295–1308, 2004.

MENDES, I.C.; REIS, F.B.J.; CUNHA, M.H. **20 Perguntas e respostas sobre fixação biológica de nitrogênio**. Planaltina: Embrapa cerrados, 33p., 2010.

MESQUITA, F. R.; CORRÊA, A. D.; ABREU, C. M. P.; LIMA, R. A. Z.; ABREU, A. F. B. Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines: Chemical composition and protein digestibility. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, p. 1114–1121, 2007.

MOREIRA L. P.; OLIVEIRA A. P. S.; FERREIRA E. P. B. Nodulation, contribution of biological N<sub>2</sub> fixation, and productivity of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) inoculated with rhizobia isolates. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 11, p. 644–651, 2017.

MOSTASSO, L.; MOSTASSO, F. L.; DIAS, B. G.; VARGAS, M. A.; HUNGRIA, M. Selection of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) rhizobial strains for the Brazilian Cerrados. **Field Crops Research**, Amsterdam v. 73, n. 2-3, p. 121-132, 2002.

OLIVEIRA, R. C. de; SBARDELOTTO, J. M. Nodulação em diferentes variedades de feijão inoculadas com *Rhizobium tropici*. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 4, n. 2, p. 46-52, 2011.

OLIVEIRA, L. F. C., OLIVEIRA, M. D. C., WENDLAND, A., HEINEMANN, A. B., GUIMARÃES, C. M., FERREIRA, E. D. B., QUINTELA, E. D.; BARBOSA, F. R.; CARVALHO, M. da C. S.; LOBO JUNIOR, M.; SILVEIRA, P. M. da; da SILVA, S. C. (2018). **Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos**. Brasília: Embrapa, 59p., 2018.

PELEGRIN, R.; MERCANTE, F. M.; MIYUKI, I.; OTSUBO, N.; OTSUBO, A. A. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 219 - 226, 2009.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; FARIA, L. C. de; DEL PELOSO, M. J.; COSTA, J. G. C. da; RAVA, C. A.; WENDLAND, A. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijoeiro comum com grãos tipo carioca na Região Central do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 1, p. 29-37, 2009.

PEREIRA, J. de L. **Fixação biológica de nitrogênio e o desempenho produtivo do feijão comum**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Agronomia) Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA, Anápolis, 28p., 2019.

PEREIRA, P. A. A. (1982). Fixação biológica de nitrogênio no feijoeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 8, n. 90, p. 41-46, 1982.

PERES, A. R. **Co-inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense* em feijoeiro cultivado sob duas lâminas de irrigação: produção e qualidade fisiológica das sementes**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia, UNESP, Campus Ilha Solteira, Ilha Solteira, 71f., 2014.

PINTO, F. G. S.; HUNGRIA, M.; MERCANTE, F. M. Polyphasic characterization of Brazilian *Rhizobium tropici* strains effective in fixing N<sub>2</sub> with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 39, n. 8, p. 1851-1864, 2007.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. rev. e atual, Boletim Técnico, 100, Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 285p., 1997.

REMANS, R.; RAMAEKERS, L.; SCHELKENS, S.; HERNANDEZ, G.; GARCIA, A.; REYES, J.L.; MENDEZ, N.; TOSCANO, V.; MULLING, M.; GALVEZ, L.; WANDERLEYDEN, J. Effect of *Rhizobium* – *Azospirillum* coinoculation on nitrogen fixation and yield of two contrasting *Phaseolus vulgaris* L. cultivated across different environments in Cuba. **Plant and Soil**, Amsterdam, v 312, p. 25-37, 2008

RESENDE, M. D. V. **Genética quantitativa e de populações**. Viçosa, MG: Suprema, 463p., 2015.

RIZZARDI, D. A. **Linhagens de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) submetidas a doses de nitrogênio e à inoculação com estirpes de *Rhizobium* spp.** Dissertação (Mestre em Genética e Melhoramento) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 93f., 2016.

ROCHA, T. T. T. da. Fixação biológica de nitrogênio no feijoeiro - restrições e melhoramento: uma revisão de literatura. **Revista Multidisciplinar De Educação E Meio Ambiente**, Fortaleza, v. 2, n. 3, p. 31, 2021.

ROSOLEM, C. A.; MARUBAYASHI, O. M. Seja o doutor do seu feijoeiro. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.68 , p. 1-16, 1994.

RUFINI, M.; FERREIRA, P. A. A.; SOARES, B. L.; OLIVEIRA, D. P.; ANDRADE, M. J. B. D.; MOREIRA, F. M. D. S. Simbiose de bactérias fixadoras de nitrogênio com feijoeiro-comum em diferentes valores de pH. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, p. 81-88, 2011.

SANTOS H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO, J. C. F.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 356p., 2018.

SANTOS, M. X. **Estudo do potencial genético de duas raças brasileiras de milho (*Zea mays* L.), para fins de melhoramento**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 185p., 1985.

SANYAL, D.; OSORNO, J. M.; CHATTERJEE, A. Influence of *Rhizobium* inoculation on dry bean yield and symbiotic nitrogen fixation potential, **Journal of Plant Nutrition**, Oxfordshire, v. 43, n. 6, p. 798-810, 2019.

SCHIAVON, A., RODRIGUES, E., BATISTA, J., GOMES, D., & HUNGRIA, M. (2010). **Análise proteômica de raízes de feijão (*Phaseolus vulgaris*) inoculadas com *Rhizobium tropici***. Londrina: Embrapa Soja, Documentos, 323, p. 9-12, 2010.

SILVA, E. A., BARBOSA, E. R., DA COSTA, C. M., DA SILVA, G. G., TEODORO, H. L. C., & CUNHA, L. T. Ação de fungicidas na fixação biológica do nitrogênio em feijoeiro. **Revista Agroveterinária do Sul de Minas**, Varginha, v. 2, n. 1, p. 21-32, 2020.

SILVA, J. D. C.; de BRITO, L. F.; FERREIRA, E. D. B.; STRALIOTTO, R. Avaliação do potencial simbiótico de cultivares de feijoeiro em combinação com estirpes elite de rizóbio. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 10, **Anais...** Goiânia, 2011.

TSUTSUMI, C. Y.; BULEGON, L. G.; PIANO, J. T. Melhoramento genético do feijoeiro, avanços, perspectivas e novos estudos. **Nativa**, Sinope, v. 3, n. 3, p. 217-223, 2015.

VALE JUNIOR, C. C. do. **Influência da inoculação de *Rhizobium tropici* associado ao manejo da adubação nitrogenada no feijoeiro comum**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Agronomia) - Centro Universitário de Goiás - Uni-ANHANGUERA, Goiânia, 44f., 2019.

VARGAS, M. A.; MENDES, I. C.; HUNGRIA, M. Response of field-grown bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to Rhizobium inoculation and nitrogen fertilization in two Cerrados soils. **Biology and Fertility of Soils**, Firenze, v. 32, n. 3, p. 228-233, 2000.

VIEIRA, C. Adubação mineral e calagem. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão**. 2. ed. Viçosa: UFV, . p. 115-142, 2011.

VIEIRA, C. Adubação mineral e calagem. In: VIEIRA, C. et al. (Coord.). **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas**. Viçosa: UFV, p. 115-151, 1998.

XAVIER, T. F. ARAÚJO, A. S. F. DE; SANTOS, V. B. DOS; CAMPOS, F. L. Inoculação e adubação nitrogenada sobre a nodulação e a produtividade de grãos de feijão-caupi. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 07, p. 2037-2041, 2008.