

AMANDA PRADO GILABEL

**FORMAS DE INOCULAÇÃO DE *Rhizobium tropici* E *Azospirillum brasilense* EM
FEIJOEIRO-COMUM**

Botucatu

2022

AMANDA PRADO GILABEL

**FORMAS DE INOCULAÇÃO DE *Rhizobium tropici* E *Azospirillum brasilense* EM
FEIJOEIRO-COMUM**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp, Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Agricultura).

Orientador: Rogério Peres Soratto

Botucatu

2022

G463f Gilabel, Amanda Prado
Formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum*
brasiliense em feijoeiro-comum / Amanda Prado Gilabel. --
Botucatu, 2022
146 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: Rogério Peres Soratto

1. *Azospirillum brasiliense*. 2. Fixação biológica de nitrogênio.
3. Nutrição mineral de plantas. 4. *Phaseolus vulgaris*. 5.
Rhizobium tropici. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: FORMAS DE INOCULAÇÃO DE *Rhizobium tropici* E *Azospirillum brasilense* EM FEIJOEIRO-COMUM

AUTORA: AMANDA PRADO GILABEL

ORIENTADOR: ROGÉRIO PERES SORATTO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ROGÉRIO PERES SORATTO (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / FCA/Unesp Botucatu

Prof. Dr. TIAGO ARANDA CATUCHI (Participação Virtual)
Agronomia / Universidade do Oeste Paulista

Prof. Dr. ORIVALDO ARF (Participação Virtual)
Departamento de Fitotecnia Tecnologia de Alimentos e Socio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Pesquisadora Dr.^a MARIANGELA HUNGRIA DA CUNHA (Participação Virtual)
Biotecnologia do Solo / Embrapa Soja

Prof. Dr. ADELSON PAULO DE ARAÚJO (Participação Virtual)
Departamento de Solos / UFRRJ/ Instituto de Agronomia - Campus Seropédica

Botucatu, 09 de maio de 2022

*Aos meus amados e admirados pais, Márcia e Márcio,
por cada ensinamento, bronca, pelo amor, amizade e
dedicação e por sempre acreditarem em mim e nos meus
sonhos, sendo meus melhores amigos e maiores
incentivadores, travando batalhas ao meu lado para
vencer cada etapa,
dedico.*

AGRADECIMENTOS

A Deus e à Nossa Senhora Aparecida por sempre derramarem suas graças sobre mim, iluminando meu caminho e me dando forças para superar os obstáculos e foco para vencer os desafios.

Aos meus pais, Márcio e Márcia, pelo companheirismo, apoio incondicional e por me ensinarem que com trabalho duro podemos alcançar todos os nossos objetivos. Obrigada por acreditarem no meu sonho em todos os momentos dessa caminhada. Eu amo muito vocês!

À minha “prima-irmã” Ana Paula, ao meu “primo-cunhado” Gabriel, aos meus “primos-sobrinhos” Vitor e Isadora e aos meus tios Carlos, Elaine, Magna, Hebes e Jamil pela amizade, amor e apoio dedicados a mim e a meus pais. Vocês são muito importantes para mim!

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rogério Peres Soratto, por acreditar no meu potencial, pelos ensinamentos, paciência, amizade, por ser um exemplo de profissional e por estar, realmente, presente em cada etapa desse trabalho.

Ao melhor e mais trabalhador grupo de pós-graduação e aos amigos mais leais que alguém poderia ter: Andressa Dalla Côt, Jaqueline Marcon, Anderson Romão, Gyslaine Garreto, Júlio de Almeida, Marcela Pacola, Bárbara da Silva, Tassiane Calles, Victor Dognani e Fernando Guidorizzi. Obrigada pelo companheirismo, amizade, parceria, auxílio nos experimentos, muito trabalho duro e boas risadas durante esses anos de convivência. Vocês são os melhores profissionais e amigos que eu poderia ter!

Aos alunos de iniciação científica, Gustavo Fujihara, Kelyn Henkemaier e Laura Ferreira, pela ajuda nos experimentos e análises laboratoriais e pela amizade. Vocês contribuíram muito para que este trabalho pudesse ser concluído com êxito.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal, Casimiro Alves e Ciro de Oliveira (Cirinho), e aos funcionários das Fazendas de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE), em especial ao Flávio Galhardo, Dirceu Ferreira e Rubya Galvão, que estiveram presentes da sementeira a colheita do feijão, auxiliando nos tratamentos culturais e inúmeras avaliações realizadas ao longo deste trabalho.

À técnica Lara Brito e aos auxiliares do laboratório Relações Solo-Planta, Júlia Briquezi e Vinícius Vieira pelo auxílio nas análises laboratoriais.

As funcionárias do Departamento de Produção Vegetal, Eliane Gonçalves, Valéria Giandoni, Adelina Gonçalves e Talita Brazil que sempre auxiliaram, de uma forma ou de outra, para que o projeto pudesse ser desenvolvido.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Agricultura), da Faculdade de Ciências Agrônomicas, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

(FCA/Unesp), pela oportunidade de realização do curso de doutorado e execução desta pesquisa.

A todo o corpo docente da pós-graduação, pelos conhecimentos transmitidos, orientações e incentivo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – Capes – Código de financiamento 001.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), pelo apoio financeiro, concedido por meio de bolsa de doutorado (Processo nº 2018/15930-7).

À JHS Sementes, Total Biotecnologia e Stoller pela doação de sementes e inoculantes que foram utilizados neste trabalho.

À ICL América do Sul, em especial, à equipe da Regional MT Centro Norte e ao time Cerrados Oeste, pela oportunidade do primeiro emprego, acolhimento, parceria, ensinamentos transmitidos e pela amizade construída. Sinto muito orgulho em trabalhar com vocês e fazer parte do time ICL!

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP) e aos professores da graduação, em especial ao meu primeiro orientador de iniciação científica Prof. Dr. Francisco Antonio Monteiro, meu muito obrigada. Essa escola, as pessoas que dela fazem parte e o árduo trabalho durante os cinco anos de graduação me proporcionaram a realização de um sonho com a obtenção do tão desejado título de Engenheira Agrônoma.

Enfim, agradeço a todos aqueles que participaram direta ou indiretamente em alguma etapa ao longo deste percurso.

RESUMO

Uma técnica que começa a ser explorada na cultura do feijão-comum é a coinoculação, que consiste na associação de bactérias do gênero *Azospirillum* com as do gênero *Rhizobium*. É possível que algumas bactérias, dentre elas as do gênero *Azospirillum*, beneficiem o crescimento da planta por uma combinação de vários mecanismos. No entanto, a inoculação/coinoculação pode ser realizada de formas distintas, gerando diferentes respostas no crescimento, desenvolvimento e produção das culturas. O objetivo desse trabalho foi avaliar as formas de inoculação da bactéria simbiótica (*Rhizobium*) e da bactéria associativa (*Azospirillum*), de maneira isolada ou coinoculada, no crescimento, nodulação, fixação biológica de N₂, nutrição mineral e produtividade de grãos do feijoeiro-comum. Foram conduzidos dois experimentos, em condições de campo, na Fazenda Experimental Lageado, em Botucatu-SP, durante os períodos de março a julho (experimento 1) e agosto a dezembro (experimento 2) de 2019; e um experimento, também em condições de campo, na Fazenda Experimental da Unoeste, no município de Presidente Bernardes-SP, durante o período de abril a agosto de 2020 (experimento 3). Os experimentos foram conduzidos no delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por três formas de inoculação com *R. tropici* (sem Rhizo, Rhizo semente e Rhizo sulco), combinadas ou não com quatro formas de inoculação com *A. brasilense* (sem Azo, Azo semente, Azo sulco e Azo foliar) mais um controle com N (120 kg ha⁻¹ de N), em esquema fatorial 3x4+1, totalizando 13 tratamentos. Nos experimentos 2 e 3 foram inseridos mais dois tratamentos referentes ao fornecimento de N mineral (40 e 80 kg ha⁻¹ de N). A cultivar de feijão-comum utilizada em todos os experimentos foi a BRS Estilo (Embrapa). Nos estádios fenológicos V4, R6 e R8 as plantas de feijão foram avaliadas quanto ao número (NN) e matéria seca de nódulos (MSN), crescimento radicular, matéria seca de raízes (MSR) e parte aérea (MSPA) e teor (NPA) e quantidade acumulada de N na parte aérea (NAPA) e abundância relativa de ureídeos (ARU). Já no estádio R6 foram feitas avaliações relacionadas ao índice relativo de clorofila (Spad) e diagnose foliar. Por ocasião do encerramento do ciclo das plantas, foram avaliados os componentes da produção e produtividade de grãos (PG). Os resultados foram submetidos à análise de variância, pelo teste F. As médias dos tratamentos componentes do fatorial foram comparadas, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Por meio do teste de Dunnett ($P \leq 0,05$), os contrastes ortogonais dos tratamentos do fatorial foram comparados com a testemunha. Nos exps. 1 e 2, conduzidos em solo com textura argilosa, maior teor de matéria orgânica, fertilidade natural mais elevada e histórico de cultivo de feijão, a aplicação de *R. tropici* via sulco de semeadura e *A. brasilense* via sulco ou via foliar, proporcionaram os resultados mais promissores em termos de NN e MSN. Já para as condições do exp. 3 (solo arenoso, menor teor de matéria orgânica e fertilidade natural mais baixa), houve melhores respostas, em termos de nodulação, com a aplicação tanto de Rhizo, quanto de Azo, nas modalidades via sementes e sulco de semeadura, mas, não com as duas espécies juntas na mesma forma de inoculação. Foi observada redução tanto do NN, quanto da MSN, com o fornecimento de N mineral em todos os estádios

fenológicos/experimentos. Houve resposta à adubação nitrogenada mineral para as variáveis relacionadas ao crescimento radicular (SR, CR e VR), MSR, MSPA, NPA e NAPA. Apesar disso, a aplicação de *Rhizobium* e *Azospirillum* também proporcionou efeito no crescimento radicular do feijão, com os resultados mais interessantes com as inoculações/coinoculações via sementes e sulco de semeadura, mas não com os microrganismos juntos na mesma via, principalmente nos exps. 1 e 2. A inoculação com *Rhizobium* via sementes incrementou a MSPA do feijoeiro, em V4 e R6, nas condições do exp. 3. Em relação aos teores foliares dos macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Cu, Zn, Mn e Fe) do feijoeiro-comum, não houve efeito claro da inoculação/coinoculação de *Rhizobium* e *Azospirillum*. Quanto ao fornecimento de N mineral, houve algum efeito sobre os teores de N, K, Cu e Zn na folha diagnóstica do feijoeiro-comum. A inoculação, especialmente com *Rhizobium*, proporcionou incremento na ARU em comparação aos tratamentos sem inoculação. Contudo, a aplicação de *Azospirillum* via sulco e foliar, sem *Rhizobium*, também proporcionou resultados interessantes nessa variável. Houve redução ARU com a aplicação de N em todos os estádios fenológicos/experimentos. O fornecimento de N mineral incrementou o número de vagens por planta, especialmente, nos exps. 2 e 3. Quanto a PG, foi possível observar, em todos os experimentos, resultados muito próximos entre a inoculação/coinoculação de *Rhizobium* e *Azospirillum* e a aplicação de N mineral, seja de dose mais baixa (40 kg ha⁻¹) ou mais elevada (120 kg ha⁻¹). Apenas em solo mais arenoso (exp. 3), obtivemos respostas mais pronunciadas, em termos de PG, quando do fornecimento de N para a cultura do feijão-comum. Em relação as formas de inoculação, apesar dos resultados variados em alguns parâmetros, a aplicação de *R. tropici* e *A. brasilense* nas modalidades via sementes e sulco de semeadura, mas, não com as duas espécies juntas na mesma forma de inoculação, proporcionaram os resultados mais promissores.

Palavras-chave: *Azospirillum brasilense*; fixação biológica de nitrogênio; nutrição mineral de plantas; *Phaseolus vulgaris*; *Rhizobium tropici*.

ABSTRACT

A technique that is beginning to be explored in common bean is the co-inoculation, which consists of the association of bacteria of the genus *Azospirillum* with those of the genus *Rhizobium*. It is possible that some bacteria, including those of the genus *Azospirillum*, benefit plant growth by a combination of several mechanisms. However, inoculation/co-inoculation can be performed in different ways, generating different responses in the growth, development and production of crops. The aim of this study was to evaluate the ways of inoculation of the symbiotic bacterium (*Rhizobium*) and the associative bacterium (*Azospirillum*), alone or co-inoculated, in the growth, nodulation, biological N fixation, mineral nutrition and grain yield of common bean. Two experiments were carried out under field conditions at Lageado Experimental Farm, in Botucatu-SP, during the periods from March to July (trial 1) and from August to December (trial 2) of 2019; and an experiment, also under field conditions, at the Experimental Farm of Unoeste, in Presidente Bernardes-SP, during the period from April to August 2020 (trial 3). The experiments were carried out in a randomized block design, with four replications. The treatments consisted of three ways of inoculation with *R. tropici*, combined or not with four ways of inoculation with *A. brasilense* plus a control with N (120 kg ha⁻¹ of N), in a 3x4+1 factorial scheme, totaling 13 treatments. In trials 2 and 3, two more treatments were added regarding the mineral N supply (40 and 80 kg ha⁻¹ of N). In the phenological stages V4, R6 and R8, the common bean was evaluated for the nodules number (NN) and dry matter (MSN), root growth, roots dry matter (MSR) and shoot (MSPA) and content (NPA) and accumulated amount of N in the shoot (NAPA) and relative abundance of ureides (ARU). In the R6 stage, evaluations were made related to the relative chlorophyll index (Spad) and foliar diagnosis. At the end of the plant cycle, the components of production and grain yield (PG) were evaluated. The results were submitted to analysis of variance, using the F test. The means of the treatments components of the factorial were compared, using the Tukey test at 5% probability. Using Dunnett's test ($P \leq 0.05$), the orthogonal contrasts of the factorial treatments were compared with the control. In trials 1 and 2, carried out in soil with a clayey texture, higher organic matter content, higher natural fertility and history of bean cultivation, the application of *R. tropici* by sowing furrow and *A. brasilense* by furrow or foliar way, provided the most promising results in terms of NN and MSN. For the conditions of exp. 3 (sandy soil, lower organic matter content and lower natural fertility), there were better responses, in terms of nodulation, with the application of both Rhizo and Azo, by seeds and sowing furrow, but not with the two species together in the same inoculation method. A reduction in both NN and MSN was observed with the supply of mineral N in all phenological stages/experiments. There was a response to mineral N fertilization for variables related to root growth (SR, CR and VR), MSR, MSPA, NPA and NAPA. Despite this, the application of *Rhizobium* and *Azospirillum* also had an effect on common bean root growth, with the most interesting results with inoculation/co-inoculation by seeds and sowing furrow, but not with microorganisms together in the same way, especially in exp. 1 and 2. Inoculation with *Rhizobium* by seeds increased the bean MSPA, in V4 and R6, under the

conditions of exp. 3. Regarding the foliar contents of macro (N, P, K, Ca, Mg and S) and micronutrients (Cu, Zn, Mn and Fe) of bean, there was no clear effect of inoculation/co-inoculation of *Rhizobium* and *Azospirillum*. As for the supply of mineral N, there was some effect on the levels of N, K, Cu and Zn in the common bean diagnostic leaf. Inoculation, especially with *Rhizobium*, provided an increase in ARU compared to treatments without inoculation. However, the application of *Azospirillum* by furrow and foliar, without *Rhizobium*, also provided interesting results in this variable. There was a reduction in ARU with the application of N in all phenological stages/experiments. The supply of mineral N increased the number of pods per plant, especially in exp. 2 and 3. For PG, it was possible to observe, in all trials, very similar results between the inoculation/co-inoculation of *Rhizobium* and *Azospirillum* and the application of mineral N, whether at a lower rate (40 kg ha⁻¹) or higher rate (120 kg ha⁻¹). Only in more sandy soil (exp. 3), we obtained more pronounced responses, in terms of PG, when supplying N to the common bean crop. Regarding the inoculation methods, despite the varied results in some parameters, the application of *R. tropici* and *A. brasilense* by seeds and sowing furrow, but not with the two species together in the same way, provided the best results

Keywords: *Azospirillum brasilense*; biological nitrogen fixation; mineral plant nutrition; *Phaseolus vulgaris*; *Rhizobium tropici*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Temperatura máxima (—), temperatura mínima (—), precipitação (■) e irrigação (■) nas áreas experimentais, em Botucatu, São Paulo, Brasil, durante os períodos de março a julho (exp. 1 - a) e agosto a dezembro (exp. 2 - b) de 2019, e em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil, durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3 - c)
..... 45

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Atributos químicos do solo, na profundidade de 0 a 0,20 m, antes da instalação dos experimentos, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 46
- Tabela 2 - Formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, aplicadas ao feijoeiro-comum conduzido em condições de campo durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 47
- Tabela 3 - Tratos fitossanitários realizados na cultura do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 49
- Tabela 4 – Número (NN) e matéria seca de nódulos (MSN) no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 54
- Tabela 5 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para número (NN) e matéria seca de nódulos (MSN) do feijoeiro, no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido), conduzido em condições de campo, durante o período de agosto a dezembro de 2019 (exp. 2), em Botucatu, São Paulo, Brasil 55
- Tabela 6 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para número (NN) e matéria seca de nódulos (MSN) do feijoeiro, no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido), conduzido em condições de campo, durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 56
- Tabela 7 – Número (NN) e matéria seca de nódulos (MSN) no estágio fenológico R6 (florescimento pleno) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu,

São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 57

Tabela 8 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para número (NN) e matéria seca de nódulos (MSN) do feijoeiro, no estágio fenológico R6 (florescimento pleno), conduzido em condições de campo, durante o período de março a julho de 2019 (exp. 1), em Botucatu, São Paulo, Brasil 58

Tabela 9 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para número (NN) e matéria seca de nódulos (MSN) do feijoeiro, no estágio fenológico R6 (florescimento pleno), conduzido em condições de campo, durante o período de agosto a dezembro de 2019 (exp. 2), em Botucatu, São Paulo, Brasil 59

Tabela 10 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para número (NN) e matéria seca de nódulos (MSN) do feijoeiro, no estágio fenológico R6 (florescimento pleno), conduzido em condições de campo, durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 59

Tabela 11 – Número (NN) e matéria seca de nódulos (MSN) no estágio fenológico R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 60

Tabela 12 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para número (NN) e matéria seca de nódulos (MSN) do feijoeiro, no estágio fenológico R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens), conduzido em condições de campo, durante o período de março a julho de 2019 (exp. 1), em Botucatu, São Paulo, Brasil 61

Tabela 13 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para número (NN) e matéria seca de nódulos (MSN) do feijoeiro, no estágio fenológico R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens), conduzido em condições de campo, durante o período de agosto a dezembro de 2019 (exp. 2), em Botucatu, São Paulo, Brasil 62

Tabela 14 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para número (NN) e matéria seca de nódulos (MSN) do feijoeiro, no estágio fenológico R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens),

conduzido em condições de campo, durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 62

Tabela 15 – Superfície (SR) e comprimento radicular (CR) no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 66

Tabela 16 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para superfície (SR) e comprimento radicular (CR) do feijoeiro, no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido), conduzido em condições de campo, durante o período de março a julho de 2019 (exp. 1), em Botucatu, São Paulo, Brasil 67

Tabela 17 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para superfície (SR) e comprimento radicular (CR) do feijoeiro, no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido), conduzido em condições de campo, durante o período de agosto a dezembro de 2019 (exp. 2), em Botucatu, São Paulo, Brasil 67

Tabela 18 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para superfície (SR) e comprimento radicular (CR) do feijoeiro, no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido), conduzido em condições de campo, durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 68

Tabela 19 – Volume radicular (VR) e diâmetro médio de raízes (DMR) no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 69

Tabela 20 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para volume radicular (VR) do feijoeiro, no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido), conduzido em condições de campo, durante o período de março a julho de 2019 (exp. 1), em Botucatu, São Paulo, Brasil 70

Tabela 21 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para diâmetro médio de raízes (DMR) do feijoeiro, no estágio fenológico

V4 (terceiro trifólio completamente expandido), conduzido em condições de campo, durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 70

Tabela 22 – Superfície (SR) e comprimento radicular (CR) no estágio fenológico R6 (florescimento pleno) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 71

Tabela 23 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para superfície (SR) e comprimento radicular (CR) do feijoeiro, no estágio fenológico R6 (florescimento pleno), conduzido em condições de campo, durante o período de março a julho de 2019 (exp. 1), em Botucatu, São Paulo, Brasil 72

Tabela 24 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para superfície (SR) e comprimento radicular (CR) do feijoeiro, no estágio fenológico R6 (florescimento pleno), conduzido em condições de campo, durante o período de agosto a dezembro de 2019 (exp. 2), em Botucatu, São Paulo, Brasil 73

Tabela 25 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para superfície (SR) e comprimento radicular (CR) do feijoeiro, no estágio fenológico R6 (florescimento pleno), conduzido em condições de campo, durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 73

Tabela 26 – Volume radicular (VR) e diâmetro médio de raízes (DMR) no estágio fenológico R6 (florescimento pleno) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 74

Tabela 27 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para volume radicular (VR) do feijoeiro, no estágio fenológico R6 (florescimento pleno), conduzido em condições de campo, durante o período de março a julho de 2019 (exp. 1), em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 75

Tabela 28 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para diâmetro médio de raízes (DMR) do feijoeiro, no estágio fenológico

R6 (florescimento pleno), conduzido em condições de campo, durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil	76
Tabela 29 – Superfície (SR) e comprimento radicular (CR) no estágio fenológico R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de <i>Rhizobium tropici</i> e <i>Azospirillum brasilense</i> , isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil	77
Tabela 30 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de <i>Rhizobium tropici</i> e <i>Azospirillum brasilense</i> , isolados ou coinoculados, para comprimento radicular (CR) do feijoeiro, no estágio fenológico R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens), conduzido em condições de campo, durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil	78
Tabela 31 – Volume radicular (VR) e diâmetro médio de raízes (DMR) no estágio fenológico R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de <i>Rhizobium tropici</i> e <i>Azospirillum brasilense</i> , isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil	79
Tabela 32 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de <i>Rhizobium tropici</i> e <i>Azospirillum brasilense</i> , isolados ou coinoculados, para volume radicular (VR) e diâmetro médio de raízes (DMR) do feijoeiro, no estágio fenológico R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens), conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho de 2019 (exp. 1), em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil	80
Tabela 33 – Matéria seca de parte aérea (MSPA) e raízes (MSR) no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de <i>Rhizobium tropici</i> e <i>Azospirillum brasilense</i> , isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil	83
Tabela 34 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de <i>Rhizobium tropici</i> e <i>Azospirillum brasilense</i> , isolados ou coinoculados, matéria seca de raízes (MSR) do feijoeiro, no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido), conduzido em condições de	

campo, durante o período de março a julho (exp. 1) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil 84

Tabela 35 – Teor de nitrogênio na parte aérea (NPA) e nitrogênio acumulado na parte aérea (NAPA) no estádio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 85

Tabela 36 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para teor de nitrogênio na parte aérea (NPA) do feijoeiro, no estádio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido), conduzido em condições de campo, durante o período de março a julho (exp. 1) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil 86

Tabela 37 – Matéria seca de parte aérea (MSPA) e de raízes (MSR) no estádio fenológico R6 (florescimento pleno) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 87

Tabela 38 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para matéria seca de parte aérea (MSPA) e de raízes (MSR) do feijoeiro, no estádio fenológico R6 (florescimento pleno), conduzido em condições de campo, durante o período de março a julho (exp. 1) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 88

Tabela 39 – Teor de nitrogênio na parte aérea (NPA) e nitrogênio acumulado na parte aérea (NAPA) no estádio fenológico R6 (florescimento pleno) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 89

Tabela 40 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para teor de nitrogênio na parte aérea (NPA) do feijoeiro, no estádio fenológico R6 (florescimento pleno), conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil 90

- Tabela 41 – Índice Spad no estágio fenológico R6 (florescimento pleno) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 91
- Tabela 42 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para índice Spad do feijoeiro, no estágio fenológico R6 (florescimento pleno), conduzido em condições de campo, durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 92
- Tabela 43 – Teor de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na folha diagnóstica, coletada em R6 (florescimento pleno), do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 93
- Tabela 44 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para teor de nitrogênio (N) e potássio (K) na folha diagnóstica, coletada em R6 (florescimento pleno), do feijoeiro, conduzido em condições de campo, durante os períodos de agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 94
- Tabela 45 – Teor de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na folha diagnóstica, coletada em R6 (florescimento pleno), do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 95
- Tabela 46 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para teor de cálcio (Ca) na folha diagnóstica, coletada em R6 (florescimento pleno), do feijoeiro, conduzido em condições de campo, durante os períodos de agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 96
- Tabela 47 – Teor de cobre (Cu) e zinco (Zn) na folha diagnóstica, coletada em R6 (florescimento pleno), do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados

ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 97

Tabela 48 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para teor de cobre (Cu) e zinco (Zn) na folha diagnóstica, coletada em R6 (florescimento pleno), do feijoeiro, conduzido em condições de campo, durante o período de março a julho (exp. 1) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil 98

Tabela 49 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para teor de cobre (Cu) e zinco (Zn) na folha diagnóstica, coletada em R6 (florescimento pleno), do feijoeiro, conduzido em condições de campo, durante o período de agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil 98

Tabela 50 – Teor de manganês (Mn) e ferro (Fe) na folha diagnóstica, coletada em R6 (florescimento pleno), do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 99

Tabela 51 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para teor de manganês (Mn) e ferro (Fe) na folha diagnóstica, coletada em R6 (florescimento pleno), do feijoeiro, conduzido em condições de campo, durante o período de agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil 100

Tabela 52 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para teor de manganês (Mn) na folha diagnóstica, coletada em R6 (florescimento pleno), do feijoeiro, conduzido em condições de campo, durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 101

Tabela 53 – Matéria seca de parte aérea (MSPA) e raízes (MSR) no estágio fenológico R8 (formação de grãos e enchimento de vagens) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 102

- Tabela 54 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para matéria seca de parte aérea (MSPA) do feijoeiro, no estágio fenológico R8 (formação de grãos e enchimento de vagens), conduzido em condições de campo, durante os períodos de agosto a dezembro de 2019 (exp. 2), em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 103
- Tabela 55 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para matéria seca de raízes (MSR) do feijoeiro, no estágio fenológico R8 (formação de grãos e enchimento de vagens), conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho de 2019 (exp. 1), em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 103
- Tabela 56 – Teor de nitrogênio na parte aérea (NPA) e nitrogênio acumulado na parte aérea (NAPA) no estágio fenológico R8 (formação de grãos e enchimento de vagens) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 104
- Tabela 57 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para teor de nitrogênio na parte aérea (NPA) do feijoeiro, no estágio fenológico R8 (formação de grãos e enchimento de vagens), conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil 105
- Tabela 58 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para nitrogênio acumulado na parte aérea (NAPA) do feijoeiro, no estágio fenológico R8 (formação de grãos e enchimento de vagens), conduzido em condições de campo, durante os períodos de agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 105
- Tabela 59 – Abundância relativa de ureídeos (ARU) nos estádios fenológicos V4 (terceiro trifólio completamente expandido), R6 (florescimento pleno) e R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 108

- Tabela 60 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para abundância relativa de ureídeos (ARU) do feijoeiro, nos estádios fenológicos V4 (terceiro trifólio completamente expandido), R6 (florescimento pleno) e R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens), conduzido em condições de campo, durante o período de março a julho de 2019 (exp. 1), em Botucatu, São Paulo, Brasil 109
- Tabela 61 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para abundância relativa de ureídeos (ARU) do feijoeiro, nos estádios fenológicos V4 (terceiro trifólio completamente expandido), R6 (florescimento pleno) e R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens), conduzido em condições de campo, durante o período de agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil 111
- Tabela 62 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para abundância relativa de ureídeos (ARU) do feijoeiro, nos estádios fenológicos V4 (terceiro trifólio completamente expandido), R6 (florescimento pleno) e R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens), conduzido em condições de campo, durante o período de de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 112
- Tabela 63 – Número de vagens por planta (NV) e número de grãos por vagem (NG) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 113
- Tabela 64 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para número de vagens por planta (NV) do feijoeiro, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho de 2019 (exp. 1), em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 114
- Tabela 65 – Massa de 100 grãos (M100G) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 115
- Tabela 66 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para massa de 100 grãos (M100G) do feijoeiro, conduzido em condições de campo, durante o período de agosto a dezembro de 2019 (exp. 2), em Botucatu, São Paulo, Brasil 116

- Tabela 67 – População final de plantas (PF) e produtividade de grãos (PG) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil 117
- Tabela 68 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para produtividade de grãos (PG) do feijoeiro, conduzido em condições de campo, durante o período de março a julho de 2019 (exp. 1), em Botucatu, São Paulo, Brasil 118

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	29
2	REVISÃO DE LITERATURA	32
2.1	A cultura do feijão-comum	32
2.2	Nitrogênio no feijoeiro	33
2.3	Fixação biológica de nitrogênio na cultura do feijão-comum	35
2.4	Coinoculação de <i>Rhizobium</i> e <i>Azospirillum</i> no feijoeiro	38
2.5	Formas de coinoculação de <i>Rhizobium</i> e <i>Azospirillum</i>	41
3	MATERIAL E MÉTODOS	44
3.1	Localização e caracterização edafoclimática das áreas experimentais.	44
3.2	Delineamento experimental e tratamentos	46
3.3	Caracterização da cultivar de feijão-comum	47
3.4	Instalação e condução dos experimentos	47
3.5	Avaliações	50
3.5.1	Avaliações realizadas nos estádios fenológicos V4 (terceira folha trifoliolada completamente expandida), R6 (florescimento pleno) e início de R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens)	50
3.5.2	Avaliações realizadas no estádio R6	51
3.5.3	Avaliações realizadas no final do ciclo das plantas	52
3.6	Análise estatística	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1	Nodulação	54
4.2	Crescimento radicular	65
4.3	Índice SPAD, diagnose foliar, matéria seca de parte aérea e raízes e nitrogênio na parte aérea	82
4.4	Abundância relativa de ureídeos na parte aérea	107
4.5	Componentes da produção e produtividade de grãos	113
5	CONCLUSÕES	119
	REFERÊNCIAS	121
	APÊNDICE A	135
	APÊNDICE B	136
	APÊNDICE C	137
	APÊNDICE D	138
	APÊNDICE E	139

APÊNDICE F	140
APÊNDICE G	141
APÊNDICE H	142
APÊNDICE I	143
APÊNDICE J	144
APÊNDICE K	145
APÊNDICE L	146

1 INTRODUÇÃO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos alimentos mais tradicionais na alimentação e culinária brasileiras, constituindo, juntamente com o arroz, a base da alimentação da população. A leguminosa tem recebido *status* de alimento funcional devido ao seu teor proteico, conteúdo de compostos fenólicos bioativos e grandes quantidades de carboidratos complexos e fibras, além de ser fonte de vitaminas, ferro, fósforo, magnésio, manganês, zinco e cálcio (LIMA et al., 2014; ZARGAR et al., 2017).

Conforme dados registrados pela FAO (2021), a produção mundial média de feijão no ano de 2020 foi de 27,5 milhões de toneladas, em uma área cultivada de 34,8 milhões de hectares. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de feijão, sendo responsável por 11% do total de grãos produzido. Estima-se que, na safra 2020/21 no país foram cultivados 2,9 milhões de hectares de feijão, com produção próxima de 2,9 milhões de toneladas de grãos e produtividade média de 984 kg ha⁻¹ (CONAB, 2021).

O nitrogênio (N) é o elemento requerido em maior quantidade pelas plantas e, geralmente, o nutriente mais limitante para a produtividade das culturas (HOLLAND et al., 2018). Dentre os nutrientes exigidos pelo feijoeiro, o N é o mais absorvido (SORATTO et al., 2013; FAGERIA et al., 2015) e desempenha diversas funções na planta. Sendo assim, a deficiência de N inibe rapidamente o crescimento e desenvolvimento vegetal (TAIZ et al., 2017; SOUZA; FERNANDES, 2018).

As condições de alta temperatura e umidade, típicas de clima tropical, aceleram os processos de decomposição da matéria orgânica e perdas de N, resultando em solos com baixos teores do elemento, o que implica em necessidade de reposição do nutriente durante os ciclos de cultivo (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2001). Assim, o uso de fertilizantes nitrogenados é uma prática comum para aumentar a produtividade da cultura, mas é responsável por elevar os custos da produção agrícola e pode gerar danos ao ambiente, uma vez que parte do total aplicado, em média 50%, é perdida (LOPES, 2007; CHAVARRIA; MELLO, 2011; AUSTIN et al., 2013). Para contornar essa situação, uma das alternativas disponíveis para os produtores é a utilização de técnicas mais sustentáveis e conservacionistas para que as lavouras alcancem o seu máximo potencial produtivo; uma vez que, o crescimento significativo da produção agrícola nos últimos anos tem também aumentado os impactos potenciais da agricultura no ambiente (PRESCHSL et al., 2017; BETTIOL, 2019).

O feijoeiro-comum, sendo uma leguminosa, é capaz de estabelecer relação simbiótica com bactérias, principalmente, do gênero *Rhizobium* e assim obter parte do N necessário ao seu crescimento por meio da fixação biológica de N (FBN) (GRAHAM; VANCE, 2000). O N fixado através da simbiose rizóbio/leguminosa é diretamente incorporado às plantas, sem perdas (LOPES, 2007). No entanto, para a cultura do feijão, existe uma série de fatores que acarretam variabilidade de resposta à inoculação, o que constitui um fator limitante a FBN (CASSINI; FRANCO, 2006; ANDRAUS; CARDOSO; FERREIRA, 2016). Ao que tudo indica, a FBN pode contribuir com até 40 kg ha⁻¹ de N para o feijão-comum (FANCELLI; DOURADO NETO, 2007; SANTANA et al.; 2018). No entanto, em condições de campo, os resultados têm sido controversos, hora com produtividades altas, alcançando até 3.500 kg ha⁻¹ (PELEGRIN et al., 2009; SOUZA; FERREIRA, 2017) e, em outras situações, produtividades muito baixas, menores que 1.500 kg ha⁻¹ (SOUZA; SORATTO; PAGANI, 2011; SOARES et al., 2016); no entanto, superiores à média nacional de produtividade.

Com o intuito de melhorar o desempenho do rizóbio e, conseqüentemente, a eficiência da FBN no feijoeiro-comum, dentre outros benefícios, a técnica de coinoculação ou inoculação mista começa a ser explorada na cultura. A coinoculação consiste na combinação de diferentes bactérias, como, por exemplo, as do gênero *Rhizobium* (simbióticas) com as do gênero *Azospirillum* (associativas), os quais produzem efeito sinérgico que superam os resultados produtivos obtidos quando utilizadas de forma isolada (FERLINI, 2006; BÁRBARO et al., 2008). O aumento de produtividade tem sido atribuído à ampliação da superfície radicular e, conseqüente, aumento do volume de solo explorado e absorção de N (FERLINI, 2006; CASSÁN et al., 2008; KHAN; SAIF, 2017), e/ou à potencialização da nodulação e atividade dos nódulos (BURDMAN; HAMAOU; OKON, 2000; FERLINI, 2006; HUNGRIA; NOGUEIRA; ARAUJO, 2013). Entretanto, por se tratar de organismos vivos, facilmente influenciados por fatores de natureza física, química e biológica, ainda não se sabe ao certo qual das hipóteses mencionadas é mais importante para o benefício observado; visto que, os resultados de pesquisas obtidos em condições de campo têm sido bastante controversos.

Outra questão ainda controversa diz respeito às formas de inoculação das bactérias, que pode ser realizada de maneiras distintas (via sementes, via sulco de semeadura ou via foliar), gerando diferentes respostas no crescimento,

desenvolvimento e produção das culturas (BRACCINI et al., 2016). Assim, são necessários outros estudos que contribuam na formação de um posicionamento sólido quanto à aplicação do inoculante contendo *R. tropici*, via sulco de semeadura, associado ou não ao uso do inoculante a base de *A. brasilense*, via sulco de semeadura ou via foliar, em comparação com a aplicação convencional via sementes.

Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito das formas de inoculação da bactéria simbiótica (*Rhizobium*) e da bactéria associativa (*Azospirillum*), isoladas ou coinoculadas, no crescimento, nodulação, fixação biológica de N₂, nutrição mineral e produtividade de grãos do feijoeiro-comum.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do feijão-comum

O feijoeiro-comum é uma planta anual, originária das Américas, que não possui um centro específico de origem, mas sim centros de domesticação independentes (HARLAN, 1971). A espécie é uma dicotiledônea, pertencente à família *Fabaceae*, com metabolismo C3 e sistema radicular pivotante. Desenvolve-se melhor em temperaturas amenas (15 a 29 °C), apresenta baixo ponto de compensação luminosa e é fotoneutra (WILLIAN, 1973; CASSINI; FRANCO, 2006). O ciclo da cultura é curto, 65 a 100 dias, e é dividido em fases vegetativa (V) e reprodutiva (R), que por sua vez são subdivididas em dez etapas ou estádios (V0, V1, V2, V3, V4, R5, R6, R7, R8 e R9) (FERNÁNDEZ; GEPTS, 1986). O feijão-comum se caracteriza por apresentar diferentes hábitos de crescimento, que são classificados como: determinado (tipo I - arbustivo) e indeterminado (tipo II - arbustivo, III - prostrado e IV - trepador) (BINOTTI, 2015). Apesar de apresentar ampla adaptação e distribuição geográfica, a espécie é pouco tolerante a fatores extremos do ambiente. Portanto, o conhecimento sobre as suas exigências edafoclimáticas e limitações é essencial para a escolha de um ambiente aonde a cultura possa crescer, se desenvolver e, por conseguinte, aproveitar o seu máximo potencial produtivo (ANDRADE et al., 2006).

O feijão-comum apresenta alto valor nutritivo, com bom conteúdo de carboidratos, vitaminas, minerais, fibras, ferro e compostos fenólicos com ação antioxidante (ABREU, 2005; BORÉM; CARNEIRO, 2006). Além disso, essa leguminosa constitui a fonte primária de proteína na dieta da população brasileira; pois, em média, os teores de proteína nos grãos de feijão situam-se entre 22 e 29% (SORATTO et al., 2011). O consumo per capita estimado de feijão é de 12,7 kg habitante⁻¹ ano⁻¹ (FAO, 2019), sendo a principal fonte de proteína de baixo custo para as populações de países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil (FAGERIA et al., 2014).

De acordo com dados registrados pela FAO (2021), a produção mundial média de feijão no período de 1994 a 2020 foi 21,8 milhões de toneladas por ano. Os cinco principais países produtores de feijão, no ano de 2020, que juntos responderam por cerca de 52% da produção mundial, foram: Índia (20%), Myanmar (11,3%), Brasil (11%), Estados Unidos (5,5%) e China (4,7%). No Brasil, foram cultivados 2,9 milhões de hectares de feijão, com produção próxima de 2,9 milhões de toneladas de grãos e

produtividade média de 984 kg ha⁻¹, na safra 2020/21. Os estados do Paraná e Minas Gerais destacam-se por apresentarem as maiores produções, 534.000 t e 529.300 t, respectivamente. Distrito Federal e Goiás, por sua vez, apresentaram as maiores produtividades, 2.712 kg ha⁻¹ e 2.449 kg ha⁻¹, sendo muito superiores à média nacional (CONAB, 2021).

A produção de feijão é variável entre os anos, o que provoca perturbações e inconstância no cenário comercial brasileiro. Entre os principais fatores limitantes da produtividade da cultura do feijoeiro no país, destacam-se aqueles relacionados ao nível técnico empregado pelos produtores (CTSBF, 2012) e ao cultivo do feijoeiro em solos de baixa fertilidade, especialmente pobres em N (MERCANTE et al., 1999; PELEGRIN et al., 2009).

No país, o cultivo do feijão é realizado em três épocas, safra “das águas”, “da seca” e “de inverno”. Na safra “das águas” a semeadura ocorre de outubro a dezembro, na região Centro-Sul; já na safra “da seca”, a semeadura é realizada de janeiro a março. Na terceira época, safra “de inverno”, a semeadura na região Centro-Sul é feita de abril a junho (MELO et al., 2007; CONAB, 2018). O feijoeiro-comum é cultivado por pequenos, médios e grandes produtores, em diversificados sistemas de produção, níveis tecnológicos distintos e em todas as regiões brasileiras (VALADÃO et al., 2009). Assim, a utilização e adaptação dessa cultura em um sistema de cultivo agrícola que visa à sustentabilidade na produção desperta interesse crescente, tanto de pesquisadores, como de agricultores.

2.2 Nitrogênio no feijoeiro

O feijoeiro é considerado uma planta exigente em nutrientes, devido ao sistema radicular pouco desenvolvido e superficial e ao ciclo curto. As leguminosas, de maneira geral, exigem grandes quantidades de N, sendo que para cada tonelada de grãos de feijão produzida, são extraídos cerca de 46 kg de N, para suprir as necessidades metabólicas e fisiológicas da planta, e, aproximadamente, 27 kg t⁻¹ são exportados nos grãos na forma de proteínas (NEPAR/SBCS, 2017). Dentre os nutrientes exigidos pela cultura, o N é o requerido em maior quantidade (SORATTO et al., 2013; FAGERIA et al., 2015) e desempenha diversas funções na planta, dentre elas: constituinte de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos e clorofilas; requerido para a síntese e transporte de citocininas; faz parte do triptofano que é o aminoácido aromático precursor das auxinas; participa dos processos de absorção iônica,

fotossíntese, respiração, sínteses em geral, multiplicação e diferenciação celular e estimula o crescimento de raízes (FAGAN, 2011; TAIZ et al., 2017; SOUZA; FERNANDES, 2018). Sendo assim, a deficiência de N inibe rapidamente o crescimento e desenvolvimento vegetal (TAIZ et al., 2017).

As condições de alta temperatura e umidade, típicas de clima tropical, aceleram os processos de decomposição da matéria orgânica e perdas de N, resultando em solos com baixos teores do elemento, o que implica em necessidade de reposição do nutriente durante os ciclos de cultivo (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2001). Assim, o uso de fertilizantes nitrogenados é uma prática comum para aumentar a produtividade das culturas, mas é responsável por elevar os custos da produção agrícola e pode gerar danos ao ambiente, uma vez que parte do total aplicado, em média 50%, é perdida por diversas vias como: volatilização de amônia, desnitrificação, erosão, imobilização microbiana, lixiviação de nitrato e escoamento superficial, provocado pela água das chuvas e/ou irrigações (FAGERIA; BALIGAR, 2005; FURTINI et al., 2006; LOPES, 2007; SANTOS; FAGERIA, 2007; LAGO et al., 2009; CHAVARRIA; MELLO, 2011; REIS JUNIOR et al., 2011; AUSTIN et al., 2013). Além disso, por apresentar grande dinâmica no sistema solo-planta, o manejo adequado do N (época de aplicação e dose) é tido como um dos mais difíceis (MAIA et al., 2012).

A recomendação de adubação nitrogenada, comumente adotada para a cultura do feijão-comum, tem sido a aplicação de parte do N no sulco, juntamente com o fósforo (P) e o potássio (K) por ocasião da semeadura, e parte em cobertura (AMBROSANO et al., 1997; BARBOSA FILHO; FAGERIA; SILVA, 2005; VIEIRA, 2006). Porém, em alguns casos, a utilização de doses elevadas de N no sulco de semeadura, especialmente associadas à adubação potássica, pode comprometer a população de plantas (SANTOS; FAGERIA, 2007). A aplicação em cobertura onera o custo de produção e pode provocar danos à cultura, em razão do tráfego de maquinário agrícola (KLUTHCOUSKI et al., 2006).

Os boletins técnicos para recomendações de adubação, geralmente, preconizam doses de 0 a 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura do feijoeiro-comum e 20 a 90 kg ha⁻¹ do nutriente em cobertura até os 30 dias após a emergência das plantas (AMBROSANO et al., 1997; SOUSA; LOBATO, 2004). No entanto, para os cultivos mais tecnificados, com emprego de irrigação, e alto potencial produtivo, tem-se verificado resposta do feijoeiro a doses de N superiores a 120 kg ha⁻¹ (OLIVEIRA; FAGERIA, 2003; CUNHA et al., 2011). Porém, dada a elevada extensão territorial brasileira ainda agricultável e

a incapacidade das indústrias em atender a demanda por fertilizantes nitrogenados, é fundamental analisar o potencial de contribuição da fixação biológica de N_2 atmosférico (FBN) como um processo estratégico de suprimento de N para o desenvolvimento sustentável e para a competitividade comercial da produção agrícola (LOPES, 2007).

2.3 Fixação biológica de nitrogênio na cultura do feijão-comum

O ar atmosférico é, na realidade, uma mistura de gases, composto por N (78%), oxigênio (21%), dióxido de carbono (0,03%) e outros gases (0,97%). Embora o N_2 seja abundante, nenhum animal ou planta consegue utilizá-lo como nutriente devido à tripla ligação que existe entre os dois átomos de N, que é uma das mais fortes de que se tem conhecimento na natureza (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2001; FAGAN et al., 2007; HOFFMAN et al., 2014). No entanto, microrganismos procarióticos conhecidos como diazotróficos, cuja classificação mais utilizada refere-se à estrutura de associação e a relação de troca com o hospedeiro, podendo ser simbióticos, endofíticos, associativos e rizosféricos (MOREIRA et al., 2010; REIS et al., 2018), possuem um complexo enzimático (nitrogenase) que lhes permite capturar o N atmosférico, reduzi-lo à amônia e, em seguida, incorporá-la às formas de N que podem ser assimiladas pela planta hospedeira (HUNGRIA et al., 2005, 2006a, b).

Na associação com leguminosas, a bactéria (rizóbio) tem como característica principal a capacidade de interação com o sistema radicular da planta hospedeira por meio do desenvolvimento de estruturas hipertróficas altamente especializadas, os nódulos radiculares, local onde ocorre a FBN. Essa interação representa uma simbiose, ou, mais especificamente, uma interação mutualística, já que a bactéria se beneficia do suprimento de fotossintatos fornecidos pela planta hospedeira, enquanto a planta recebe o N fixado pelo rizóbio na forma amoniacal, transformando-o em compostos nitrogenados que podem ser translocados para suas diferentes partes (CASSINI; FRANCO, 2006). O metabolismo da bactéria diazotrófica e da planta se complementam, sendo que cada qual estimula o outro a produzir substâncias específicas para que a associação aconteça (KERBAUY, 2008).

A incorporação de N, via FBN, aos diferentes ecossistemas do planeta é bastante significativa, resultando em uma economia substancial de energia fóssil normalmente empregada na produção de fertilizantes nitrogenados necessários para atender a demanda da agricultura mundial (ALCÂNTARA et al. 2009), representando redução

dos custos de produção e contribuindo para a preservação do ambiente (HUNGRIA; VARGAS, 2000). De acordo com os dados da FAO (2019), o Brasil importa 95% do N usado na agricultura, ocupando o posto de segundo maior importador mundial do nutriente. Com a alta nos preços dos fertilizantes nitrogenados observada nos últimos dois anos, a tonelada de ureia, por exemplo, passou de R\$ 1.811,00 em janeiro de 2020 para R\$ 6.000,00 em dezembro de 2021; ao passo que a dose de inoculante se manteve em R\$ 3,50-4,00 (CONAB, 2021). Por conseguinte, o uso de bactérias diazotróficas capazes de fixar N quando em simbiose com o feijoeiro, representa uma economia significativa para o agricultor.

Sendo uma leguminosa, o feijoeiro-comum é capaz de estabelecer relação simbiótica, principalmente, com bactérias do gênero *Rhizobium*; e assim, obter parte do N necessário ao seu crescimento por meio da FBN (GRAHAM; VANCE, 2000). O N fixado através da simbiose rizóbio/leguminosa é diretamente incorporado às plantas, sem perdas (LOPES, 2007). A FBN pode contribuir com 20 a 40 kg ha⁻¹ de N para o feijão-comum (MALAVOLTA, 1987; RAPOSEIRAS et al., 2006; FANCELLI; DOURADO NETO, 2007; SANTANA et al.; 2018). Porém, no campo, os resultados decorrentes da FBN têm sido inconsistentes, com produtividades variando de 2.500 a 3.500 kg ha⁻¹ (PELEGRIN et al., 2009; HUNGRIA; NOGUEIRA; ARAUJO, 2013; SOUZA; FERREIRA, 2017) e, em outras situações, produtividades muito baixas, entre 600 a 1.500 kg ha⁻¹ (SOUZA; SORATTO; PAGANI, 2011; SOARES et al., 2016); no entanto, superiores à média nacional de produtividade. Acredita-se que a FBN não é capaz de suprir todo o N necessário para a obtenção de elevadas produtividades de grãos pelo feijoeiro, devido à falta de fontes de energia (malato, succinato e fumarato) para suportar altas taxas de FBN após o início da fase reprodutiva, época de maior demanda por N pela cultura. Nesse momento, toda a atividade metabólica da planta é direcionada para suportar o crescimento dos órgãos reprodutivos e, conseqüentemente, não há fornecimento adequado de carboidratos para suprir as bactérias (LAWN; BRUN, 1974; MOREIRA; STONE; BIAVA, 2003; DIAS et al., 2012).

Várias espécies pertencentes ao gênero *Rhizobium* são reportadas na literatura como sendo capazes de nodular e fixar N₂ quando em simbiose com plantas de feijão-comum; no entanto, problemas relacionados à instabilidade genética de muitas estirpes de rizóbio podem causar perdas na eficiência ou na capacidade de nodulação durante períodos de estresse (PEREIRA et al., 1984; PELEGRIN et al., 2009). Estudos demonstraram que estirpes de *R. tropici* são consideradas mais tolerantes a

estresses, como temperatura elevada e acidez do solo, e são simbioticamente mais estáveis (MARTÍNEZ-ROMERO et al., 1991). Por esse motivo, essa espécie é recomendada para produção de inoculantes comerciais para a cultura do feijoeiro-comum no Brasil (STRALIOTTO, 2002; BRITO; MURAOKA; SILVA, 2011). *R. tropici* são bactérias Gram-negativas, aeróbicas, na qual as condições ótimas para o crescimento são pH de 5 a 7 e temperatura de até 40 °C (MARTÍNEZ-ROMERO et al., 1991). As estirpes de *R. tropici* recomendadas e aprovadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para inoculação do feijoeiro-comum no Brasil são: SEMIA 4077 (=CIAT 899), SEMIA 4080 (=PRF 81) e SEMIA 4088 (=H 12) (BARBOSA; GONZAGA, 2012).

A recomendação técnica para a cultura do feijão, quando a inoculação for feita via semente, é que a dose de inoculante forneça pelo menos $1,2 \times 10^6$ células semente⁻¹; já quando a inoculação for realizada no sulco de semeadura, a concentração deve ser maior, no mínimo $2,5 \times 10^6$ células semente⁻¹. Inoculantes à base de *Rhizobium* devem conter, até a data de vencimento, no mínimo, 1×10^9 unidades formadoras de colônia (ufc) por g ou mL do produto (HUNGRIA; NOGUEIRA; ARAUJO, 2013).

Todavia, por se tratar de organismos vivos, diversos fatores biológicos, químicos e físicos podem interferir na simbiose entre bactérias e planta, dentre eles: temperatura, umidade, salinidade, uso de fertilizantes nitrogenados, efeito de toxicidade de fungicidas e inseticidas aplicados às sementes, solos ácidos, preparo do solo, deficiências nutricionais e elementos tóxicos; além das características da espécie hospedeira (KINTSCHEV; GOULART; MERCANTE, 2014; TORABIAN et al., 2019). A demanda energética para a FBN é alta, representando um dos processos metabólicos mais caros para a planta; por isso, não é observada FBN eficiente na presença de fontes de N mineral, uma vez que o N do fertilizante está prontamente disponível e será preferencialmente absorvido, em detrimento da FBN (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2001; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

De maneira geral, aplicações de doses elevadas de N, principalmente na semeadura, prejudicam a nodulação e a FBN (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; SOUZA; SORATTO; PAGANI, 2011; PARENTE, 2014). Brito, Muraoka e Silva (2011) avaliaram doses de N entre 5,3 e 160 kg ha⁻¹ e observaram que a porcentagem de N proveniente da FBN era inversamente proporcional à dose de N mineral aplicada. Steiner et al. (2019) relataram que o estímulo para iniciar a nodulação é totalmente dependente da

concentração de N encontrada no solo e ou nas taxas de aplicação do fertilizante. Os mesmos autores constataram que, tanto o número, quanto a massa de nódulos tiveram redução linear quando se trabalhou com doses de 0 a 120 kg ha⁻¹. No caso do feijoeiro-comum, ainda há mais um agravante, a existência generalizada e diversificada de rizóbios nativos nos solos, que interagem diferencialmente com os diversos cultivares utilizados, acarretando variabilidade de resposta à inoculação, o que constitui um fator limitante a FBN (CASSINI; FRANCO, 2006; ANDRAUS; CARDOSO; FERREIRA, 2016).

2.4 Coinoculação de *Rhizobium* e *Azospirillum* no feijoeiro

Há uma associação constante entre plantas e microrganismo habitantes do solo, numa região denominada rizosfera, que consiste na zona de solo próxima às raízes. Nessa região existe intensa atividade microbiana devido à presença de exsudados radiculares (HARTMANN; ROTHBALLER; SCHMID, 2008; HUNGRIA et al., 2010). A diversidade de organismos que vivem na rizosfera propicia uma variedade de interações entre a microbiota do solo e as plantas. Os microrganismos da rizosfera são classificados como: neutros, benéficos ou deletérios para o crescimento das plantas (RAAIJMAKERS et al., 2008).

As bactérias benéficas, as quais promovem o crescimento vegetal, são denominadas de PGPR e podem ser isoladas tanto da rizosfera como do interior dos tecidos das plantas (DODD; ZINOVKINA; SAFRONOVA, 2010; GODOY, 2020). Dentre os microorganismos tidos como PGPR, as espécies do gênero *Azospirillum* constituem um dos grupos mais estudados (HARTMANN; BALDAM, 2006). As bactérias do gênero *Azospirillum* tiveram destaque mundial a partir da década de 1970, com a descoberta pela pesquisadora da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), Dra. Johanna Döbereiner (1924-2000), da capacidade de FBN dessas bactérias quando em associação com gramíneas (HUNGRIA, 2011).

Azospirillum é um gênero de bactérias Gram-negativas; de vida livre no solo, rizosfera, rizoplano e filosfera; espiraladas; móveis, com flagelo polar e cílios laterais; com metabolismo de carbono e N bastante versáteis, o que lhes confere competitividade durante o processo de colonização. Utilizam no seu metabolismo fontes de N como amônia, nitrato, nitrito, aminoácidos e N molecular. A forma de ação dessas bactérias ainda não foi totalmente compreendida. Até o momento, sabe-se que possuem capacidade de fixar N atmosférico quando associadas com plantas da

família *Poaceae*. Inicialmente foram consideradas como bactérias exclusivamente tropicais, mas apesar de terem preferência pelas áreas quentes, também foram encontradas em clima temperado, sendo atualmente denominadas de cosmopolitas (DROZDOWICZ, 1997; ELMERICH; NEWTON, 2007). O *Azospirillum* é um colonizador geral de raízes; sendo assim, não é uma bactéria específica, uma vez que não apresenta preferência por plantas cultivadas, daninhas, anuais ou perenes (BASHAN; HOLGUIN, 1997).

Com o intuito de melhorar o desempenho do rizóbio e, conseqüentemente, a eficiência da FBN no feijoeiro-comum, dentre outros benefícios, a técnica de coinoculação ou inoculação mista começa a ser explorada na cultura. A coinoculação consiste na combinação de bactérias do gênero *Rhizobium* (simbióticas) com as do gênero *Azospirillum* (associativas), aos quais produzem efeito sinérgico que superam os resultados produtivos obtidos quando utilizadas de forma isolada (FERLINI, 2006; BÁRBARO et al., 2008).

O *Azospirillum* é bastante difundido na América do Sul, onde estudos sobre inoculação em várias culturas têm mostrado resultados positivos e variáveis, devido em parte às práticas de manejo da cultura e às condições ambientais. Além disso, inoculação combinada de *Azospirillum* com rizóbio em leguminosas (coinoculação) tem se tornado uma prática agrícola emergente nos últimos anos, principalmente para soja [*Glycine max* L. (Merrill)], apresentando alta reprodutibilidade e eficiência em condições de campo (CASSÁN et al., 2020).

A coinoculação de *A. brasilense*, associada com estirpes de rizóbios, tem demonstrado que essa classe de microorganismos, tidos como plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR), ou rizobactérias promotora do crescimento de plantas, pode influenciar de forma positiva algumas leguminosas, estimulando seu crescimento (DARDANELLI et al., 2008; FIGUEIREDO et al., 2010). O aumento de produtividade das culturas observados com a coinoculação pode ocorrer e é atribuído à ampliação da superfície radicular e conseqüente aumento do volume de solo explorado e absorção de N (FERLINI, 2006; CASSÁN et al., 2008; KHAN; SAIF, 2017; GARCIA, 2021), e/ou à potencialização da nodulação e atividade dos nódulos (BURDMAN; HAMAOU; OKON, 2000; FERLINI, 2006; HUNGRIA; MENDES; MERCANTE, 2013), possibilitando ganho monetário para o agricultor, além de contribuir com os compromissos governamentais em diminuir as emissões de gases do efeito estufa (HUNGRIA; MENDES; MERCANTE, 2013). Entretanto, no caso do feijoeiro-comum,

devido à inconsistência dos resultados observados, uma vez que se trata de organismos vivos que são facilmente influenciados por diversos fatores, não se sabe ao certo qual das hipóteses mencionadas é mais importante para o benefício observado.

O estímulo ao crescimento da planta pode ocorrer por diversas razões, entre elas: síntese dos fitormônios auxinas, citocininas (TIEN; GASKINS; HUBBELL, 1979), giberilinas (BOTTINI et al., 1989) e etileno (STRZELCZYK; KAMPERT; LI, 1994); produção de maior quantidade de flavonoides e isoflavonoides, os quais estimulam a nodulação (BURDMAN et al. 1996); solubilização de fosfatos (RODRIGUEZ et al., 2004); aumento da resistência a condições adversas como seca, salinidade e compostos tóxicos; aumento da permeabilidade da raiz e melhorias na absorção de nutrientes em geral (BASHAN; BASHAN, 2005); influência sob a FBN (HUERGO et al., 2008); aumento da atividade da redutase do nitrato (CASSÁN; GARCIA DE SALAMONE, 2008) e atuação no controle biológico de patógenos (CORREA et al., 2008).

Cassán et al. (2020) afirmam que o montante de N fixado pelos *Azospirillum* é pequeno, incremento de 5–18% no N total das plantas inoculadas; assim, a promoção do crescimento vegetal foi induzida por outros mecanismos, principalmente, pela produção de fitormônios.

As bactérias do gênero *Azospirillum* estimulam a densidade e comprimento dos pelos radiculares, a taxa de aparecimento de raízes laterais e área de superfície das raízes, promovendo maior crescimento radicular, o que beneficia as plantas com maior absorção de água e nutrientes (OKON; LABANDERA-GONZALES, 1994; CASSÁN et al., 2008; KHAN; SAIF, 2017). No entanto, a intensidade desses efeitos sobre a morfologia radicular é dependente da espécie de planta e cultivar e, mais importante, da concentração de inóculo. Concentrações elevadas de inóculo podem prejudicar o alongamento de raízes (OKON; KAPULNIK, 1986), bem como o crescimento da planta (BURDMAN et al., 1997), além de reduzir a massa fresca de raízes (VEDDER-WEISS et al., 1999).

O *Azospirillum* tem uma forte atração microaerófila ao nicho rizosférico das raízes das leguminosas e mobilidade mais rápida do que *Rhizobium*; sendo assim, as raízes das leguminosas podem ser ocupadas primeiramente por *Azospirillum*, permitindo pré-condicionamento das mesmas para colonização mais eficaz pelo *Rhizobium* (OKON; ITZIGSOHN, 1995). De acordo com Bashan e Bashan (2005), a

coinoculação estimula a nodulação (número e matéria seca) e potencializa a atividade dos nódulos, diferenciação das células epidérmicas em pelos radiculares, área da superfície radicular e produtividade em soja, feijão, alfafa, amendoim (*Arachis hypogaea* L.) e outras culturas. Os autores Remans et al. (2008); Yadegari et al. (2010) e Hungria, Nogueira e Araujo (2013) também afirmaram que a coinoculação de *Rhizobium* e *Azospirillum* em plantas de feijão demonstram grande potencial para aumentar a nodulação e o crescimento dessas plantas. Veronezi et al. (2012) verificaram que a coinoculação do isolado CPAO 19.5 L3 com as estirpes AbV-5 e AbV-6 de *A. brasilense* resultou em um incremento de 63,3% no número de nódulos das plantas, quando comparadas com as plantas apenas inoculadas com o isolado CPAO 19.5 L3.

Hungria, Nogueira e Araujo (2013), ao conduzirem experimentos com feijoeiro-comum, em dois locais (Londrina e Ponta Grossa), por três estações de cultivo (2009/2010, 2010 e 2010/11), observaram que a coinoculação de *R. tropici*, via sementes, e *A. brasilense*, via sulco de semeadura, resultou em aumento na produtividade de grãos, em média de 19,6% em comparação com a população de rizóbios nativos, e 14,7% quando comparado com a inoculação exclusivamente com rizóbios.

2.5 Formas de coinoculação de *Rhizobium* e *Azospirillum*

Contudo, apesar da técnica de coinoculação ter se mostrado bastante promissora, ainda não se sabe ao certo qual a melhor forma de inoculação dos microrganismos visando menor competição por fatores de crescimento e maior eficiência dos mesmos. A inoculação/coinoculação pode ser realizada de maneiras distintas, gerando diferentes respostas no crescimento, desenvolvimento e produção das culturas (BRACCINI et al., 2016).

Correia (2015) obteve maior produtividade da soja com inoculação de rizóbio via sulco de semeadura, em área com e sem histórico de inoculação. Na cultura do feijão-comum, Souza e Ferreira (2017) observaram que a combinação *R. tropici* via semente + três doses de *A. brasilense* aplicadas sobre as plantas proporcionou incrementos na produtividade de grãos em relação ao controle com N e inoculação apenas com rizóbio; porém, os resultados acerca da forma de inoculação do *Azospirillum* não foram consistentes.

Voss (2002) descreve que melhores resultados com a aplicação do inoculante via sulco podem estar relacionados às condições ambientais em que o rizóbio é submetido. No sulco, principalmente em sistema de semeadura direta, a temperatura do solo é mais amena que na superfície e o teor de água do solo é maior, proporcionando melhores condições para o estabelecimento e sobrevivência dos microrganismos. Características edafoclimáticas e de manejo dos inoculantes nem sempre são ideais quando a inoculação é realizada via semente, sendo possível e provável que as bactérias sejam expostas a altas temperaturas, radiação solar excessiva, contato direto com defensivos agrícolas, excesso de molhamento das sementes e condições desfavoráveis de armazenamento. Esses fatores, de acordo com Câmara (2014), reduzem o número de bactérias viáveis, prejudicando a FBN e reduzindo a produtividade de grãos.

Vieira Neto et al. (2008), ao estudarem formas de inoculação e seus efeitos sobre a nodulação da soja, concluíram que após vários anos de cultivo, a melhor resposta de nodulação ocorre com aplicação de inoculante líquido no sulco de semeadura. Correia (2015), avaliando taxa de inoculação e dose de inoculante via sulco de semeadura, em comparação com duas testemunhas (sem inoculante e inoculação via sementes), observou maiores produtividades de soja com inoculação via sulco, em área com e sem histórico de inoculação.

Meirelles et al. (2014), ao estudarem a coinoculação em feijão irrigado, observaram maior produtividade de grãos no tratamento com *R. tropici* na semente + duas doses de *A. brasilense* via foliar, assim como maior número e matéria seca de nódulos e maior matéria seca de parte aérea. Buzo et al. (2019), por outro lado, não verificaram efeito da aplicação foliar de *A. brasilense* em feijoeiro inoculado com *R. tropici* via sementes.

Morais et al. (2016) relataram que a inoculação via sementes é impraticável em condições de campo, uma vez que as sementes geralmente são comercializadas já tratadas com defensivos agrícolas e a necessidade de tratá-las novamente, adicionando as bactérias, parece não ser atrativa aos agricultores. Porém, Souza (2014), ao conduzir estudos com a cultura do milho no Cerrado, observou que a inoculação de *Azospirillum* via sementes promoveu aumento na altura de inserção da espiga, massa de grãos e produtividade. Segundo Fukami et al. (2016), pouco se sabe sobre os efeitos dos pesticidas usados no tratamento de sementes e a compatibilidade destes com *Azospirillum*, assim métodos alternativos de inoculação são necessários,

com destaque para a aplicação foliar na fase vegetativa. De acordo com Portugal et al. (2016), a inoculação foliar com a *A. brasilense* provou ser vantajosa para a cultura do milho e, portanto, uma opção para o agricultor. Souza e Ferreira (2017) conduziram sete experimentos, durante três anos consecutivos, com o intuito de testar diferentes concentrações de *A. brasilense*, via sementes ou pulverizadas sobre as plantas, em coinoculação com *R. tropici*. Os autores observaram que a combinação *R. tropici* via sementes + três doses de *A. brasilense* aplicadas sobre as plantas proporcionou, na média de todos os ensaios, incrementos de 11,5 e 26% na produtividade de grãos em relação ao controle com N e inoculação apenas com rizóbio, respectivamente. Contudo, os efeitos, especialmente da coinoculação e da forma de aplicação do *Azospirillum*, na nodulação e na produtividade de grãos do feijoeiro-comum não foram consistentes. Assim, torna-se necessário a realização de outros experimentos que contribuam na definição de um posicionamento sólido quanto à aplicação do inoculante contendo *R. tropici*, via sulco de semeadura, associado ou não ao uso do inoculante a base de *A. brasilense*, via sulco de semeadura ou via foliar, em comparação com a aplicação convencional via tratamento de sementes.

Diante do exposto, a produção agrícola pode ser melhorada com o emprego de microrganismos, os quais, já representam importantes ferramentas no cenário atual e, provavelmente, terão ainda mais destaque num futuro próximo. Dentre essas, a inoculação de bactérias fixadoras de N, simbióticas e associativas, isoladas ou coinoculadas, fornece N às plantas, reduzindo o uso de adubos nitrogenados e, com isso, os custos de produção; além de contribuir para a preservação do ambiente. No entanto, os resultados acerca de inoculação/coinoculação na cultura do feijão-comum, bem como a forma mais adequada de inoculação, ainda são incipientes e contraditórios, demonstrando a necessidade da realização de outros estudos envolvendo essas temáticas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização edafoclimática das áreas experimentais

Foram conduzidos três experimentos em condições de campo. Os experimentos 1 e 2 foram instalados na Fazenda Experimental Lageado, da Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP, no município de Botucatu-SP (22° 51'S; 48° 26'W e altitude de 740 m), durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019. O experimento 3 (exp. 3) foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE), em Presidente Bernardes-SP (22° 17'S; 51° 40'W e altitude de 429 m) no período de abril a agosto de 2020.

Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante em Botucatu é do tipo Cwa (subtropical úmido), que se caracteriza por verão quente e chuvoso (temperaturas superiores a 22° C) e inverno seco (temperaturas inferiores a 18°C). Já em Presidente Bernardes, o clima predominante é Aw (tropical úmido), também com verão chuvoso (outubro a março) e estação seca no inverno (abril a setembro); porém, a temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C. Os dados climáticos registrados durante a condução dos experimentos estão apresentados na Figura 1.

Mediante levantamento detalhado e utilizando-se o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013), o solo das áreas experimentais foi classificado como Nitossolo Vermelho distroférico, com 268, 186 e 546 g dm⁻³ de areia, silte e argila, respectivamente, nos exps. 1 e 2; e como Argissolo Vermelho distroférico, com 786, 60 e 154 g dm⁻³ de areia, silte e argila, respectivamente, no exp. 3. Antes da instalação de cada um dos experimentos foram coletadas amostras de solo na camada de 0 a 0,20 m de profundidade para a análise química, segundo metodologia proposta por Raij et al. (2001), cujos resultados estão apresentados na Tabela 1.

Previamente à instalação dos experimentos, foi realizada coleta de amostras de solo da camada 0 a 0,20 m, para a estimativa do número de células viáveis de rizóbios no solo, conforme metodologia proposta por Vincent (1970), cujos resultados foram $9,17 \times 10^4$ rizóbios g⁻¹ para os exps. 1 e 2, e $4,27 \times 10^3$ rizóbios g⁻¹ para o exp. 3.

Figura 1 - Temperatura máxima (—), temperatura mínima (—), precipitação (■) e irrigação (■) nas áreas experimentais, em Botucatu, São Paulo, Brasil, durante os períodos de março a julho (exp. 1 - a) e agosto a dezembro (exp. 2 - b) de 2019, e em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil, durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3 - c)

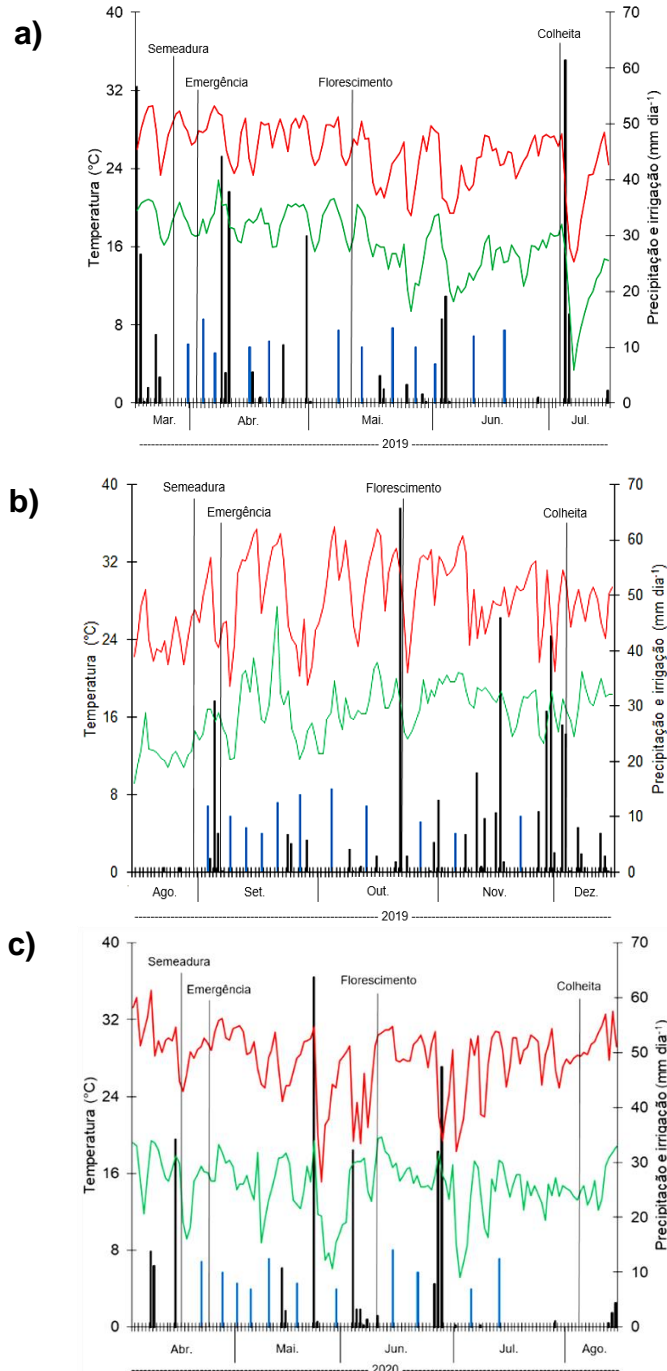


Tabela 1 - Atributos químicos do solo, na profundidade de 0 a 0,20 m, antes da instalação dos experimentos, em Botucatu (exps. 1 e 2) e Presidente Bernardes (exp. 3), São Paulo, Brasil

	pH(CaCl ₂)	M.O. g dm ⁻³	P(resina) — mg dm ⁻³ —	S	H+Al	K	Ca	Mg	CTC	V %	
				mmol _c dm ⁻³							
Exp. 1	4,8	29	38	9	46	4,9	19	10	79	42	
Exp. 2	4,8	35	35	9	50	7,6	34	10	101	51	
Exp. 3	5,6	13	25	6	16	2,1	21	9	49	67	
	Cu	Fe	Mn				Zn				
	mg dm ⁻³										
Exp. 1	10	22	23				2,5				
Exp. 2	12	25	26				4,4				
Exp. 3	0,4	9	3				0,9				

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

Em todos os experimentos, o delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por três formas de inoculação com *R. tropici*, combinadas ou não, com quatro formas de inoculação com *A. brasilense* mais um controle com aplicação de fertilizante nitrogenado (120 kg ha⁻¹), em esquema fatorial 3x4+1, totalizando 13 tratamentos (Tabela 2). Nos exps. 2 e 3, além dos tratamentos apresentados na Tabela 2, foram inseridos mais dois tratamentos referentes ao fornecimento de N mineral, ou seja, com aplicação de 40 e 80 kg ha⁻¹ de N. As doses (número de células (ufc)/semente ou planta) de *R. tropici*, bem como as de *A. brasilense*, foram definidas com base em trabalhos previamente conduzidos (GILABEL, 2018) e também na literatura (HUNGRIA; NOGUEIRA; ARAUJO, 2013; SOUZA; FERREIRA, 2017). Para as inoculações/coinoculações via sementes com *R. tropici* e *A. brasilense* foram fornecidas 2,5 x 10⁶ ufc/semente e 2,5 x 10⁵ ufc/semente, respectivamente. Já para as inoculações/coinoculações via sulco de semeadura e via foliar (*A. brasilense*) foram fornecidas 5,0 x 10⁶ ufc/planta, no caso do *R. tropici*, e 5,0 x 10⁵ ufc/planta para *A. brasilense*.

Cada parcela experimental possuía as dimensões de 7 x 3,60 m, perfazendo uma área de, aproximadamente, 25 m², na qual foram semeadas oito fileiras de feijão espaçadas de 0,45 m e a distância entre parcelas foi de 1 m, para evitar contaminações. Para as avaliações foram consideradas as seis linhas centrais desprezando 0,5 m na extremidade de cada fileira de plantas e uma fileira de cada lado da unidade experimental.

Tabela 2 - Formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, aplicadas ao feijoeiro-comum conduzido em condições de campo durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Tratamento	<i>R. tropici</i>	<i>A. brasilense</i>	Aplicação de N
1	-	-	120 kg ha ⁻¹ de N
2	-	-	-
3	Via sementes	-	-
4	Via sulco de semeadura	-	-
5	-	Via sementes	-
6	-	Via sulco de semeadura	-
7	-	Via foliar em V4	-
8	Via sementes	Via sementes	-
9	Via sementes	Via sulco de semeadura	-
10	Via sementes	Via foliar em V4	-
11	Via sulco de semeadura	Via sementes	-
12	Via sulco de semeadura	Via sulco de semeadura	-
13	Via sulco de semeadura	Via foliar em V4	-

3.3 Caracterização da cultivar de feijão-comum

Em todos os experimentos, a cultivar de feijão-comum utilizada foi a BRS Estilo. Esta cultivar apresenta as seguintes características: grupo carioca; hábito de crescimento indeterminado (tipo II); arquitetura de planta ereta, ciclo normal (85 – 95 dias); floração média de 44 dias; grãos mais claros do que os da cultivar Pérola (bege claro), mas com forma semelhante; massa de 100 grãos igual a 26 gramas; resistência moderada à antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) e ferrugem (*Uromyces appendiculatus*); suscetível ao crestamento bacteriano (*Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli*), mancha angular (*Phaseoisariopsis griseola*), mosaico dourado (Vírus do mosaico-dourado do feijoeiro), murcha de Fusarium (*Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*) e murcha de Curtobacterium (*Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens*) (EMBRAPA, 2014).

3.4 Instalação e condução dos experimentos

Os exps. 1 e 2 foram instalados em sistema plantio direto, em área anteriormente ocupada pela cultura do milho [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.]. O exp. 3 também foi instalado em sistema plantio direto, porém, em área anteriormente cultivada com milho (*Zea mays* L.) consorciado com braquiária (*Urochloa ruziziensis*). O manejo das áreas foi realizado cerca de 15 dias antes da semeadura do feijão, em cada

experimento, por meio da dessecação das plantas com herbicida glifosato na dose 2880 g ha⁻¹ do ingrediente ativo (i.a.) e uniformização mecânica utilizando triturador de palha.

A semeadura do feijão foi realizada no dia 25/03/2019 no exp. 1, em 30/08/2019 no exp. 2 e em 15/04/2020 no exp. 3, com o auxílio de uma semeadora-adubadora tratorizada modelo SHP 249, marca Semeato, regulada com espaçamento de 0,45 m entre fileiras e densidade de 14 sementes por metro.

As sementes foram tratadas com o fungicida carboxina + tiram (60 + 60 g do i.a. por 100 kg de sementes) e com o inseticida tiametoxam (105 g do i.a. por 100 kg de semente) dois dias antes da semeadura.

A inoculação das sementes de feijão com *R. tropici* SEMIA 4088 e *A. brasilense* estirpes Ab-V5 e Ab-V6 foi feita, via inoculante líquido, produto comercial, conforme os tratamentos (Tabela 2). Quando a inoculação foi realizada via sementes, a mistura dos inoculantes foi feita a sombra, imediatamente (1 a 3 horas) antes da semeadura. As aplicações de inoculantes via sulco de semeadura e via foliar foram realizadas com o auxílio de um pulverizador costal pressurizado por CO₂. O fornecimento de cobalto (3,53 g ha⁻¹) e molibdênio (35,25 g ha⁻¹) para o feijão foi feito via aplicação foliar, com auxílio de um pulverizador tratorizado, quando as plantas alcançaram o estágio V4, o que ocorreu em 22/04/2019 (20 dias após a emergência (DAE)) no exp. 1, em 26/09/2019 (19 DAE) no exp. 2 e em 11/05/2020 (19 DAE) no exp. 3.

A adubação de semeadura constou da aplicação, em todos os tratamentos, de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples) e 50 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio), de acordo com as recomendações de Ambrosano et al. (1997). A adubação nitrogenada foi realizada apenas no tratamento 1 nos três experimentos, e também nos dois tratamentos adicionais nos exps. 2 e 3. Em todos os tratamentos com aplicação de N mineral, foram fornecidos 40 kg ha⁻¹ de N no sulco de semeadura e o restante em cobertura quando as plantas estavam em V4. No caso do tratamento com aplicação de apenas 40 kg ha⁻¹ de N (exps. 2 e 3), toda a adubação nitrogenada foi aplicada no sulco de semeadura. A fonte de N utilizada foi o nitrato de amônio (32% de N).

Em todos os experimentos, o controle de plantas daninhas foi realizado através da associação do método químico e de capinas manuais durante o desenvolvimento da cultura. Com relação ao controle de pragas e doenças, foi feito através do monitoramento da cultura, utilizando pulverizador tratorizado e pesticidas

recomendados para o feijoeiro. Todos os tratamentos fitossanitários realizados na cultura do feijão-comum, nos três experimentos, bem como ingredientes ativos e doses aplicadas, estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Tratamentos fitossanitários realizados na cultura do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Data	Classe	Ingrediente ativo (concentração)	Dose (g i.a. ha ⁻¹)
Experimento 1			
12/04/19	Herbicida	Fomesafen (250 g L ⁻¹)	200
12/04/19	Espalhante adesivo	Nonil Fenoxi Poli (Etilenoxi) Etanol (200 g L ⁻¹)	80
12/04/19	Inseticida	Tiametoxam (250 g kg ⁻¹)	50
26/04/19	Herbicida	Bentazona (480 g L ⁻¹)	720
26/04/19	Inseticida	Beta-ciflutrina (50 g L ⁻¹)	5
15/05/19	Fungicida	Tiofanato-metílico (200 g kg ⁻¹) + Clorotalonil (500 g kg ⁻¹)	400 + 1000
06/06/19	Fungicida	Trifloxistrobina (150 g L ⁻¹) + Protiocanazol (175 g L ⁻¹)	75 + 87,5
06/06/19	Inseticida	Tiametoxam (141 g L ⁻¹) + Lambda-cialotrina (106 g L ⁻¹)	35,25 + 26,50
28/06/19	Herbicida (dessecação pré-colheita)	Paraquate (200 g L ⁻¹)	500
Experimento 2			
17/09/19	Herbicida	Fomesafen (250 g L ⁻¹)	300
17/09/19	Espalhante adesivo	Nonil Fenoxi Poli (Etilenoxi) Etanol (200 g L ⁻¹)	80
17/09/19	Inseticida	Tiametoxam (250 g kg ⁻¹)	50
04/10/19	Inseticida	Beta-ciflutrina (50 g L ⁻¹)	7,5
04/10/19	Inseticida	Clorantraniliprole (200 g L ⁻¹)	12
04/10/19	Fungicida	Tiofanato-metílico (200 g kg ⁻¹) + Clorotalonil (500 g kg ⁻¹)	400 + 1000
24/10/19	Fungicida	Trifloxistrobina (150 g L ⁻¹) + Protiocanazol (175 g L ⁻¹)	67,50 + 78,75
24/10/19	Inseticida	Tiametoxam (141 g L ⁻¹) + Lambda-cialotrina (106 g L ⁻¹)	42,3 + 31,8
13/11/19	Fungicida	Piraclostrobina (250 g L ⁻¹)	112,5
13/11/19	Inseticida	Tiametoxam (141 g L ⁻¹) + Lambda-cialotrina (106 g L ⁻¹)	42,3 + 31,8
Experimento 3			
05/06/2020	Fungicida	Azoxistrobina (200 g L ⁻¹) + Difenocanazol (125 g L ⁻¹)	100 + 62,5
02/07/2020	Fungicida	Piraclostrobina (250 g L ⁻¹)	100
02/07/2020	Inseticida	Indoxacarbe (150 g L ⁻¹)	60
02/07/2020	Inseticida	Tiametoxam (141 g L ⁻¹) + Lambda-cialotrina (106 g L ⁻¹)	42,3 + 31,8

O fornecimento de água, em todos os experimentos, foi realizado por um sistema de irrigação convencional por aspersão (irrigação complementar), aplicando-se uma lâmina de cerca de 8 mm em cada irrigação e sempre durante as primeiras horas da manhã, de acordo com a necessidade da cultura (Figura 1).

O florescimento pleno do feijoeiro ocorreu no dia 11/05/2019 (39 DAE) no exp. 1, em 21/10/2019 (44 DAE) no exp. 2 e em 10/06/2020 (49 DAE) no exp. 3. A colheita foi realizada nos dias 03/07/2019 (92 DAE), 03/12/2019 (87 DAE) e 04/08/2020 (104 DAE) para os exps. 1, 2 e 3, respectivamente.

3.5 Avaliações:

3.5.1 Avaliações realizadas nos estádios fenológicos V4 (terceira folha trifoliolada completamente expandida), R6 (florescimento pleno) e início de R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens)

a) Número e matéria seca de nódulos

Foram coletados os sistemas radiculares de cinco plantas em sequência por parcela, com o auxílio de uma pá reta. O material foi cuidadosamente lavado e, posteriormente, foram determinados o número de nódulos por planta, mediante contagem, e a matéria seca de nódulos por meio de secagem dos mesmos em estufa de circulação forçada a 60 °C, por 72 horas e, em seguida, pesagem.

b) Crescimento radicular

Das plantas coletadas para avaliação da nodulação, as raízes, após lavadas, foram amostradas e acondicionadas em coletor universal, com solução de 30% de álcool + 70% de água, e refrigeradas para posteriores avaliações. As análises foram realizadas em *scanner*, desenvolvido para este fim, acoplado a um computador dotado do software WinRhizo, que utiliza como princípio a metodologia proposta por Tennant (1975). Neste equipamento, foram determinados superfície ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$), comprimento (cm planta^{-1}) e volume radicular ($\text{cm}^3 \text{ planta}^{-1}$) e diâmetro médio de raízes (mm).

c) Matéria seca de raízes e parte aérea

Todo o material coletado foi seco em estufa de circulação forçada a 60 °C por 72 horas e, em seguida, pesado.

d) Teor e quantidade acumulada de N na parte aérea

O material utilizado para determinação da matéria seca, depois de moído em moinho tipo Willey, foi submetido à análise para determinação do teor de N (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Posteriormente, os teores foram multiplicados pela matéria seca e pela população final de plantas para o cálculo da quantidade acumulada.

e) Abundância relativa de ureídeos na parte aérea

O material coletado para determinação da matéria seca e que, depois de processado, foi usado para a determinação do teor e quantidade acumulada de N, também foi utilizado para realização da análise de ureídeos (HUNGRIA, 1994; VOGELS; van der DRIFT, 1970) e nitrato (CATALDO et al., 1975) no tecido seco. Ambos os solutos de N foram convertidos em base de N, multiplicando-se a concentração ($\mu\text{mol g}^{-1}$) pelo número de átomos de N na molécula (quatro nos ureídeos e um no NO_3^-). Finalmente, a abundância relativa de ureídeos (ARU - %) foi calculada como a razão entre os ureídeos e a maioria dos solutos de N nos extratos de tecidos, conforme mostrado na equação abaixo (UNKOVICH et al., 2008).

$$\text{ARU (\%)} = \frac{100 \times 4 \times [\text{Ureídeos}]}{4 \times [\text{Ureídeos}] + [\text{Nitrato}]}$$

3.5.2 Avaliações realizadas no estágio R6

a) Índice relativo de clorofila

Foram realizadas as leituras indiretas do índice relativo de clorofila (IRC), com o aparelho SPAD-502. As determinações do IRC foram feitas no período da manhã (8:00-10:00h), sombreando o aparelho com o corpo para evitar interferência da luz solar. Dez plantas foram amostradas por unidade experimental, sendo que, em cada planta foram realizadas três leituras por trifólio de cada folha trifoliolada avaliada como diagnóstica (terceira folha trifoliolada completamente expandida a partir do ápice), em todo o limbo, exceto nervuras, somando, assim, 30 leituras por parcela.

b) Diagnose foliar

Foram coletadas 10 folhas do terço médio das plantas por parcela (AMBROSANO et al., 1997), secas em estufa a 60 °C, por 72 horas, moídas em moinho tipo Willey e, em seguida, submetidas à análise para determinação dos teores

dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn), segundo os métodos descritos por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

3.5.3 Avaliações realizadas no final do ciclo das plantas

a) Componentes da produção

- População final de plantas

A determinação da população final foi realizada na véspera da colheita, considerando duas fileiras centrais com comprimento de 2 m em cada unidade experimental, sendo os resultados convertidos em plantas ha^{-1} .

- Número de vagens por planta

Determinado mediante a relação entre número total de vagens e o número total de plantas, avaliado em dez plantas dentro da área útil de cada parcela experimental.

- Número de grãos por vagem

Determinado mediante a relação entre número total de grãos e o número total de vagens, avaliado em dez plantas dentro da área útil de cada parcela experimental.

- Massa de 100 grãos (g)

Foi avaliada através da pesagem de duas amostras, de 100 grãos cada uma, em cada unidade experimental. Os dados obtidos foram transformados para 13% de umidade (base úmida).

b) Produtividade de grãos

Para esta avaliação foram colhidas, manualmente, as plantas contidas na área útil de cada unidade experimental (duas linhas de 2 metros). Após esta operação, as plantas foram secas ao sol e, posteriormente trilhadas mecanicamente. Os grãos, após abanação, foram pesados e foi calculada a produtividade em kg ha^{-1} , corrigida para 13% de umidade (base úmida).

3.6 Análise estatística

Para cada um dos experimentos separadamente, os resultados foram submetidos à análise de variância, pelo teste F. As médias dos tratamentos componentes do fatorial foram comparadas, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Por meio do teste de Dunnett ($P \leq 0,05$), os contrastes ortogonais dos tratamentos do fatorial foram comparados com a(s) testemunha(s). Quando houve interação significativa pelo teste F para o fatorial,

foram realizados contrastes ortogonais entre cada tratamento e a testemunha. Para a variável na qual o teste F detectou efeito simples dos fatores, foram realizados contrastes ortogonais entre as médias de cada nível do fator e a testemunha. Já, quando o teste F não detectou efeito significativo para o fatorial, foi realizado apenas contraste ortogonal entre a média do fatorial e a testemunha.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Nodulação

A inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* $5,0 \times 10^6$ células semente⁻¹ (Rhizo sulco) proporcionou incremento de 20% no número de nódulos (NN) do feijoeiro no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido), no experimento 1 (exp. 1), quando comparada ao tratamento sem inoculação com *R. tropici* (sem Rhizo) (Tabela 4).

Tabela 4 – Número (NN) e matéria seca de nódulos (MSN) no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Tratamento	NN			MSN		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
	n° planta ⁻¹			mg planta ⁻¹		
Inoculação com <i>Rhizobium</i> (R)*						
Sem Rhizo	35b ^{**3}	32	35b ¹	42,76	9,55b ¹	17,88c ¹
Rhizo semente	40ab	37	39b ¹	43,34	11,31a ¹	23,90b ¹
Rhizo sulco	42a	37	57a ¹	43,34	9,14b ¹	50,27a ¹
Inoculação com <i>Azospirillum</i> (A)						
Sem Azo	39 ³	41a ¹	44a ¹	41,79b	10,19ab ¹	23,17c ¹
Azo semente	41	31b	37b ¹	48,94a	10,75a ¹	28,73b ¹
Azo sulco	36 ³	35ab	49a ¹	38,71b	9,06b ¹	40,15a ¹
Azo foliar ^{***}	-	-	-	-	-	-
Fonte de variação	<i>P > F</i>					
R	0,047	0,104	<0,001	0,971	0,002	<0,001
A	0,191	0,007	<0,001	0,003	0,020	<0,001
R x A	0,059	<0,001	<0,001	0,496	<0,001	<0,001
CV (%)	18,3	18,6	13,4	15,5	13,9	16,3
d.m.s. ^{****}	14,96	13,19	11,41	13,43	2,75	9,86
Controle 40 kg ha ⁻¹ N	-	28	22	-	5,73	3,62
Controle 80 kg ha ⁻¹ N	-	-	-	-	-	-
Controle 120 kg ha ⁻¹ N	54	-	-	46,20	-	-

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* $2,5 \times 10^6$ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* $5,0 \times 10^6$ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* $2,5 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** Tratamento ainda não aplicado. **** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1,2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Os tratamentos sem Rhizo, sem inoculação com *A. brasilense* (sem Azo) e inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹ (Azo

sulco) diferiram do controle com aplicação de N mineral, apresentando 35, 28 e 33% menos nódulos, respectivamente (Tabela 4).

A inoculação via sementes com *A. brasilense* $2,5 \times 10^5$ células semente⁻¹ (Azo semente) proporcionou a maior matéria seca de nódulos (MSN) do feijoeiro no estágio fenológico V4, no exp. 1 (Tabela 4). No entanto, não houve diferença de nenhum dos tratamentos em relação ao controle com fertilizante nitrogenado.

Os tratamentos com inoculação podem não ter diferido do controle com N mineral para NN e MSN do feijoeiro em V4 no exp. 1, devido ao fato de que apenas 40 kg ha⁻¹ de N haviam sido aplicados na semeadura do feijão, o restante (80 kg ha⁻¹ de N) foi aplicado em cobertura no estágio V4, logo após a coleta e avaliação dessas amostras.

No experimento 2 (exp. 2), houve interação significativa entre inoculação com *Rhizobium* e inoculação com *Azospirillum* para NN e MSN do feijão-comum no estágio V4 (Tabela 4). A inoculação via sementes com *R. tropici* $2,5 \times 10^6$ células semente⁻¹ (Rhizo semente), sem Azo, proporcionou o maior NN por planta (56), o dobro do número observado para o controle com N (28 nódulos planta⁻¹) (Tabela 5).

Tabela 5 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para número (NN) e matéria seca de nódulos (MSN) do feijoeiro, no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido), conduzido em condições de campo, durante o período de agosto a dezembro de 2019 (exp. 2), em Botucatu, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	NN (nº planta ⁻¹)			MSN (mg planta ⁻¹)		
Sem Azo	30aB**	56aA ¹	36aB	9,06aB ¹	14,76aA ¹	6,76bB
Azo semente	30aA	27bA	37aA	9,82aB ¹	8,38bB	14,06aA ¹
Azo sulco	36aA	29bA	38aA	9,79aA ¹	10,80bA ¹	6,60bB
Azo foliar***	-	-	-	-	-	-
d.m.s.****		13,19			2,75	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		28			5,73	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* $2,5 \times 10^6$ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* $5,0 \times 10^6$ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* $2,5 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** Tratamento ainda não aplicado. **** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

As combinações Rhizo semente + sem Azo e Rhizo sulco + Azo semente se destacaram quanto a MSN em relação aos demais tratamentos. Apenas os tratamentos com combinações de Rhizo semente + Azo semente, Rhizo sulco + sem Azo e Rhizo

sulco + Azo sulco não diferiram do controle com aplicação de fertilizante nitrogenado para MSN, os demais tratamentos proporcionaram incrementos nessa variável (Tabela 5).

No experimento 3 (exp. 3), também foi observada interação significativa entre inoculação com *Rhizobium* e inoculação com *Azospirillum* para NN e MSN do feijão-comum no estágio V4 (Tabela 4). Os tratamentos com aplicação de Rhizo no sulco, independentemente da forma de inoculação com *Azospirillum*, proporcionaram os resultados mais pronunciados em termos de NN por planta (Tabela 6). Resultados similares foram observados também para MSN; no entanto, apenas as combinações Rhizo sulco + Azo semente e Rhizo sulco + Azo sulco se destacaram, o Rhizo sulco + sem Azo apresentou MSN inferior aos dois tratamentos citados. Quanto a testemunha nitrogenada (40 kg ha⁻¹ de N), somente os tratamentos sem Rhizo + sem Azo e sem Rhizo + Azo semente não foram diferentes desta, nem em NN, nem em MSN; todos os outros tratamentos proporcionaram incrementos nessas duas variáveis (Tabela 6).

Tabela 6 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para número (NN) e matéria seca de nódulos (MSN) do feijoeiro, no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido), conduzido em condições de campo, durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	NN (nº planta ⁻¹)			MSN (mg planta ⁻¹)		
Sem Azo	31bB**	47aA ¹	54aA ¹	7,81bC	24,20aB ¹	37,52bA ¹
Azo semente	23bC	34bB ¹	54aA ¹	7,29bC	22,77aB ¹	56,14aA ¹
Azo sulco	50aB ¹	36bC ¹	62aA ¹	38,54aB ¹	24,75aC ¹	57,17aA ¹
Azo foliar***	-	-	-	-	-	-
d.m.s.****		11,41			9,86	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		22			3,62	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** Tratamento ainda não aplicado. **** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1,2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Foi observada interação entre os fatores estudados para NN e MSN do feijoeiro no estágio fenológico R6 (florescimento pleno) nos três experimentos (Tabela 7). No exp. 1, o desdobramento da interação demonstrou que os tratamentos Rhizo semente

+ sem Azo, Rhizo semente + Azo sulco e Rhizo sulco + inoculação via foliar com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹ (Azo foliar) possibilitaram os maiores NN, 41, 45 e 48 nódulos por planta, respectivamente, com incrementos de 41, 55 e 66% em relação ao controle com 120 kg ha⁻¹ N mineral (Tabela 8). Já para MSN, o Rhizo sulco + Azo foliar se destacou com 124,51 mg planta⁻¹, aproximadamente, 2,7 vezes maior que o valor observado para o controle com N (46,78 mg planta⁻¹).

Tabela 7 – Número (NN) e matéria seca de nódulos (MSN) no estágio fenológico R6 (florescimento pleno) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Tratamento	NN			MSN		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
	nº planta ⁻¹			mg planta ⁻¹		
Inoculação com <i>Rhizobium</i> (R)*						
Sem Rhizo	32	31a ^{2 3}	40c ³	55,53b	16,98 ³	33,59c ^{2 3}
Rhizo semente	36	23b	62b ^{1 2 3}	61,45b	15,51 ³	58,20b ^{1 2 3}
Rhizo sulco	35	31a ^{2 3}	72a ^{1 2 3}	77,81a ³	17,84 ³	70,50a ^{1 2 3}
Inoculação com <i>Azospirillum</i> (A)						
Sem Azo	36a ^{**}	25b	57 ^{1 2 3}	65,32b ³	13,82b	47,58b ^{1 2 3}
Azo semente	29b	33a ^{2 3}	59 ^{1 2 3}	53,29c	16,87ab ³	53,39b ^{1 2 3}
Azo sulco	36a	26b	60 ^{1 2 3}	57,21bc	17,35ab ³	65,85a ^{1 2 3}
Azo foliar	37a	29ab	55 ^{1 2 3}	83,91a ³	19,06a ³	49,57b ^{1 2 3}
Fonte de variação	<i>P > F</i>					
R	0,155	<0,001	<0,001	<0,001	0,136	<0,001
A	0,005	0,002	0,539	<0,001	0,004	<0,001
R x A	<0,001	<0,001	0,006	<0,001	<0,001	<0,001
CV (%)	17,2	17,7	16,1	13,7	19,3	17,4
d.m.s. ^{***}	12,39	11,00	17,74	18,14	6,67	17,83
Controle 40 kg ha ⁻¹ N	-	34	30	-	18,02	18,01
Controle 80 kg ha ⁻¹ N	-	20	28	-	14,12	9,55
Controle 120 kg ha ⁻¹ N	29	20	15	46,78	8,06	3,59

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* $2,5 \times 10^6$ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* $5,0 \times 10^6$ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* $2,5 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

No exp. 2, os tratamentos sem Rhizo + Azo sulco, Rhizo semente + sem Azo, Rhizo semente + Azo foliar e Rhizo sulco + Azo sulco tiveram os menores NN, e dentre esses o Rhizo semente + sem Azo e Rhizo semente + Azo foliar proporcionaram menor

NN que o controle com 40 kg ha⁻¹ de N (Tabela 9). Quanto a MSN, os tratamentos sem Rhizo + Azo sulco, Rhizo semente + sem Azo, Rhizo semente + Azo semente, Rhizo semente + Azo foliar e Rhizo sulco + sem Azo se destacaram negativamente. O tratamento sem Rhizo + Azo sulco resultou em menor MSN que o controle com 40 kg ha⁻¹ de N. Apenas Rhizo semente + sem Azo, Rhizo semente + Azo foliar e Rhizo sulco + sem Azo não diferiram de nenhum dos controles com N para MSN (Tabela 9).

Tabela 8 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para número (NN) e matéria seca de nódulos (MSN) do feijoeiro, no estágio fenológico R6 (florescimento pleno), conduzido em condições de campo, durante o período de março a julho de 2019 (exp. 1), em Botucatu, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	NN (n ^o planta ⁻¹)			MSN (mg planta ⁻¹)		
Sem Azo	39aAB**	41abA ³	29bB	70,05aA ³	63,62abA	62,27bA
Azo semente	31aA	28cA	28bA	55,43aA	47,73bA	56,73bA
Azo sulco	28aB	45aA ³	35bAB	36,76bB	67,11aA ³	67,75bA ³
Azo foliar	31aB	32bcB	48aA ³	59,86aB	67,36aB ³	124,51aA ³
d.m.s.***		12,39			18,14	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		29			46,78	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

No exp. 3, os tratamentos sem Rhizo, independentemente da forma de inoculação com *Azospirillum*, e também Rhizo semente + Azo sulco e Rhizo semente + Azo foliar se destacaram negativamente quanto ao NN (Tabela 10). Já em relação a MSN, os tratamentos Rhizo sulco + Azo sulco e Rhizo sulco + Azo foliar proporcionaram os maiores resultados, 83,23 e 80,02 mg planta⁻¹, respectivamente. Tanto para NN, quanto para MSN, todos os tratamentos diferiram de pelo menos um controle nitrogenado; sendo que, a maioria se destacou positivamente em relação aos três controles (40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N).

Tabela 9 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para número (NN) e matéria seca de nódulos (MSN) do feijoeiro, no estágio fenológico R6 (florescimento pleno), conduzido em condições de campo, durante o período de agosto a dezembro de 2019 (exp. 2), em Botucatu, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	NN (nº planta ⁻¹)			MSN (mg planta ⁻¹)		
Sem Azo	26bcA**	17bB ¹	33aA ^{2 3}	16,60aA ³	12,43bA	12,45cA
Azo semente	39aA ^{2 3}	25abB	36aA ^{2 3}	19,68aA ³	14,92bA ³	16,01bcA ³
Azo sulco	24cA	31aA ^{2 3}	23bA	9,39bB ¹	22,79aA ^{2 3}	19,88abA ³
Azo foliar	35abA ^{2 3}	18bB ¹	34aA ^{2 3}	22,26aA ^{2 3}	11,89bB	23,04aA ^{2 3}
d.m.s.**		11,00			6,67	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		34			18,02	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		20			14,12	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		20			8,06	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Tabela 10 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para número (NN) e matéria seca de nódulos (MSN) do feijoeiro, no estágio fenológico R6 (florescimento pleno), conduzido em condições de campo, durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	NN (nº planta ⁻¹)			MSN (mg planta ⁻¹)		
Sem Azo	36aB** ³	65abA ^{1 2 3}	71aA ^{1 2 3}	27,37bB ³	56,14abA ^{1 2 3}	59,23bA ^{1 2 3}
Azo semente	38aB ³	76aA ^{1 2 3}	64aA ^{1 2 3}	27,50bB ^{2 3}	73,15aA ^{1 2 3}	59,52bA ^{1 2 3}
Azo sulco	48aB ^{1 2 3}	56bB ^{1 2 3}	76aA ^{1 2 3}	50,73aB ^{1 2 3}	63,58aB ^{1 2 3}	83,23aA ^{1 2 3}
Azo foliar	38aB ³	51bB ^{1 2 3}	76aA ^{1 2 3}	28,78bB ^{2 3}	39,91bB ^{1 2 3}	80,02aA ^{1 2 3}
d.m.s.**		17,74			17,83	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		30			18,01	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		28			9,55	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		15			3,59	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Houve interação entre os fatores estudados para NN e MSN do feijoeiro no estágio fenológico R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens) em todos os experimentos (Tabela 11). No exp.1, sem Rhizo + Azo semente, sem Rhizo + Azo foliar, Rhizo semente + Azo sulco e Rhizo sulco + sem Azo proporcionaram os maiores NN por planta (Tabela 12). Apenas Rhizo semente + sem Azo, Rhizo semente + Azo semente, Rhizo sulco + Azo semente e Rhizo sulco + Azo sulco não diferiram do controle com 120 kg ha⁻¹ de N para NN. Em relação a MSN, Rhizo semente + Azo foliar, Rhizo sulco + sem Azo e Rhizo sulco + Azo foliar e se destacaram positivamente (Tabela 12). Todos os tratamentos diferiram do controle com aplicação de N mineral para essa variável.

Tabela 11 – Número (NN) e matéria seca de nódulos (MSN) no estágio fenológico R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Tratamento	NN			MSN		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
	n ^o planta ⁻¹			mg planta ⁻¹		
Inoculação com <i>Rhizobium</i> (R)*						
Sem Rhizo	41a** ³	44	53 ^{1 2 3}	36,00b ³	39,99b	37,39b ^{1 2 3}
Rhizo semente	36ab ³	50	51 ^{2 3}	36,24b ³	39,40b	35,80b ^{1 2 3}
Rhizo sulco	35b ³	50	57 ^{1 2 3}	47,05a ³	62,12a ² ₃	43,18a ^{1 2 3}
Inoculação com <i>Azospirillum</i> (A)						
Sem Azo	38 ³	47	43b ^{2 3}	42,07 ³	46,80	23,50c ^{2 3}
Azo semente	36 ³	48	62a ^{1 2 3}	38,31 ³	48,47 ³	51,31a ^{1 2 3}
Azo sulco	34 ³	52	54a ^{1 2 3}	36,30 ³	48,93 ³	47,69a ^{1 2 3}
Azo foliar	40 ³	45	56a ^{1 2 3}	42,37 ³	44,50	32,66b ^{1 2 3}
Fonte de variação	P > F					
R	0,028	0,075	0,112	<0,001	<0,001	0,008
A	0,148	0,247	<0,001	0,079	0,693	<0,001
R x A	<0,001	0,042	<0,001	<0,001	0,005	<0,001
CV (%)	17,3	17,6	14,8	16,4	21,1	16,9
d.m.s.***	13,79	17,34	15,47	13,27	22,61	12,44
Controle 40 kg ha ⁻¹ N	-	47	37	-	57,73	17,43
Controle 80 kg ha ⁻¹ N	-	37	23	-	36,78	6,22
Controle 120 kg ha ⁻¹ N	20	36	15	12,44	25,66	4,59

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett (P ≤ 0,05).

No exp. 2, a combinação sem Rhizo + Azo semente apresentou o menor NN por planta (39) no estádio R8 (Tabela 13). Os tratamentos Rhizo semente + Azo sulco e Rhizo sulco + Azo semente proporcionaram maior NN que os controles com 80 e 120 kg ha⁻¹ de N. Os tratamentos com aplicação de Rhizo no sulco, independente da combinação com Azo, aumentaram a MSN do feijão-comum em R8 e o sem Rhizo + Azo foliar apresentou a menor MSN (Tabela 13). Os tratamentos com Rhizo na semente, independente do fornecimento de Azo, e também o sem Rhizo + Azo semente não diferiram de nenhum dos controles com aplicação de N mineral.

Tabela 12 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para número (NN) e matéria seca de nódulos (MSN) do feijoeiro, no estádio fenológico R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens), conduzido em condições de campo, durante o período de março a julho de 2019 (exp. 1), em Botucatu, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	NN (nº planta ⁻¹)			MSN (mg planta ⁻¹)		
Sem Azo	36abB ^{***}	26bB	51aA ³	31,77aB ³	34,67abB ³	59,78aA ³
Azo semente	46abA ³	32bB	31bcB	40,69aAB ³	30,99bB ³	43,26bA ³
Azo sulco	34bB ³	49aA ³	21cC	38,06aA ³	34,28abA ³	36,55bA ³
Azo foliar	48aA ³	37abA ³	37bA ³	33,49aB ³	45,01aA ³	48,61abA ³
d.m.s.***		13,79			13,27	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		20			12,44	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. 1, 2 e 3 Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

No exp. 3, as combinações Rhizo sulco + Azo semente, Rhizo sulco + Azo sulco e Rhizo semente + Azo foliar apresentaram os maiores NN, 78, 68 e 68 nódulos planta⁻¹, respectivamente (Tabela 14). O Rhizo sulco + sem Azo foi o único tratamento a proporcionar incremento no NN em relação a apenas um controle com N (120 kg ha⁻¹ de N). O Rhizo sulco + Azo sulco e Rhizo sulco + Azo semente se destacaram positivamente quanto a MSN do feijão-comum em R8. O Rhizo semente + sem Azo apresentou a menor MSN (14,53 mg planta⁻¹) e não se diferenciou de nenhum controle com aplicação de N mineral (Tabela 14).

Tabela 13 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para número (NN) e matéria seca de nódulos (MSN) do feijoeiro, no estágio fenológico R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens), conduzido em condições de campo, durante o período de agosto a dezembro de 2019 (exp. 2), em Botucatu, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	NN (n° planta ⁻¹)			MSN (mg planta ⁻¹)		
Sem Azo	52aA**	46aA	45aA	49,78aAB ³	36,04aB	54,58aA ³
Azo semente	39aB	48aAB	59aA ^{2 3}	36,54abB	41,47aB	67,38aA ^{2 3}
Azo sulco	46aA	60aA ^{2 3}	50aA	49,54aAB ³	38,81aB	58,44aA ³
Azo foliar	40aA	47aA	48aA	24,10bB ¹	41,30aB	68,09aA ^{2 3}
d.m.s.***		17,34			22,61	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		47			57,73	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		37			36,78	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		36			25,66	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Tabela 14 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para número (NN) e matéria seca de nódulos (MSN) do feijoeiro, no estágio fenológico R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens), conduzido em condições de campo, durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	NN (n° planta ⁻¹)			MSN (mg planta ⁻¹)		
Sem Azo	53aA** ^{1 2 3}	41bAB ^{2 3}	35bB ³	28,79bA ^{2 3}	14,53bB	27,18bA ^{2 3}
Azo semente	57aB ^{1 2 3}	50bB ^{2 3}	78aA ^{1 2 3}	50,89aA ^{1 2 3}	47,24aA ^{1 2 3}	55,79aA ^{1 2 3}
Azo sulco	51aB ^{2 3}	43bB ^{2 3}	68aA ^{1 2 3}	40,82abB ^{1 2 3}	40,37aB ^{1 2 3}	61,89aA ^{1 2 3}
Azo foliar	53aB ^{1 2 3}	68aA ^{1 2 3}	46bB ^{2 3}	29,08bB ^{2 3}	41,05aA ^{1 2 3}	27,84bB ^{2 3}
d.m.s.***		15,47			12,44	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		37			17,43	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		23			6,22	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		15			4,59	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

De maneira geral, os resultados demonstram que a aplicação de *R. tropici* via sulco de semeadura e *A. brasilense* via sulco ou via foliar, especialmente nos exps. 1 e 2, proporcionaram os resultados mais promissores em termos de NN e MSN. No exp. 3, também foram obtidos alguns resultados significativos para esses parâmetros com a aplicação tanto de Rhizo, quanto de Azo, nas modalidades via sementes e sulco de semeadura, mas não com as duas espécies juntas na mesma forma de inoculação. A inoculação via sulco de semeadura coloca os microrganismos no exato local onde eles precisam estar para atuar, o solo, e evita o contato direto destes com os defensivos agrícolas aplicados nas sementes; assim, a mortalidade de bactérias é muito menor do que a observada na inoculação via tratamento de sementes (TS).

Hungria, Nogueira e Araújo (2013) observaram que a coinoculação com *R. tropici* nas sementes e *A. brasilense* ($2,5 \times 10^5$ células semente⁻¹) no sulco de semeadura resultou, aos 25 DAE, em maior nodulação (número e matéria seca de nódulos) do feijoeiro, nas duas localidades em que os ensaios foram conduzidos (Londrina e Ponta Grossa). No entanto, em Ponta Grossa-PR, também houve aumento da nodulação apenas com a inoculação de *Azospirillum* ($2,5 \times 10^5$ células semente⁻¹) no sulco. Já Souza e Ferreira (2017) concluíram que, na média dos sete experimentos realizados em campo, houve um aumento de, aproximadamente, 9% e 25% do número e matéria seca de nódulos, respectivamente, de todos os tratamentos coinoculados (*R. tropici* + uma dose de *A. brasilense* nas sementes, *R. tropici* + duas doses de *A. brasilense* nas sementes, *R. tropici* + duas doses de *A. brasilense* pulverizadas nas plantas e *R. tropici* + três doses de *A. brasilense* pulverizadas nas plantas) em comparação ao tratamento com inoculação única de *Rhizobium*.

Os resultados obtidos, principalmente nos exps. 1 e 2, parecem um pouco contraditórios, visto que até mesmo os tratamentos sem Rhizo e sem Azo apresentaram boa nodulação. Tal fato talvez possa ser explicado pela alta população de rizóbios nativos no solo (conforme resultados apresentados), que competem por sítios de infecção com o *R. tropici* oriundo do inoculante, mas que podem ser menos eficientes em termos de FBN, e que também podem interagir de maneira distinta com os *Azospirillum*, resultando em variabilidade de resposta à inoculação. No caso do feijoeiro-comum, a existência generalizada e diversificada de rizóbios nativos nos solos, que interagem diferencialmente com os diversos cultivares utilizados, acarretam variabilidade de resposta à inoculação, constituindo um fator limitante a FBN (CASSINI; FRANCO, 2006; ANDRAUS; CARDOSO; FERREIRA, 2016).

Outro fator que pode ter contribuído para os resultados obtidos nos exps. 1 e 2, pode ter sido o fato de que não foi feita calagem na área antes da instalação dos experimentos, e o pH, em CaCl₂, era menor que 5,0 (Tabela 1). Por se tratar de microrganismos, a acidez do solo pode interferir e muito na sobrevivência dos mesmos. Em trabalho realizado por Rufini et al. (2011), com objetivo de avaliar o efeito do pH na eficiência simbiótica de estirpes de *Rhizobium*, em solo com e sem calagem, observou-se que os tratamentos que receberam calagem foram superiores aos demais em todos os parâmetros analisados; e concluiu-se que, o aumento do pH do solo favorece a simbiose entre as bactérias fixadoras de nitrogênio nodulíferas e o feijoeiro-comum.

No exp. 3, os tratamentos com aplicação de *Rhizobium* via sulco de semeadura, mas também via sementes, se destacaram; talvez pelo fato de que a população de rizóbios nativos do solo era um pouco menor ($4,27 \times 10^3$ rizóbios g⁻¹) que na área experimental onde os dois primeiros ensaios foram instalados ($9,17 \times 10^4$ rizóbios g⁻¹), havendo, portanto, menor competição por sítios de infecção e possibilitando que os *Rhizobium* inoculados se sobressaíssem.

A maioria dos solos com histórico de cultivo de feijão contém rizóbios nativos que podem interferir no estabelecimento e na eficácia das estirpes inoculadas, reduzindo as respostas à inoculação (VLASSAK; VANDERLEYDEN; FRANCO, 1996; VARGAS; MENDES; HUNGRIA, 2000; RAPOSEIRAS et al., 2006). Uma das alternativas para alcançar maior eficiência da FBN em feijoeiro seria a inoculação de estirpes de rizóbio mais competitivas e adaptadas às regiões tropicais. Para isso, vários trabalhos visando o isolamento, a caracterização e a seleção de outras estirpes de *Rhizobium spp* vem sendo desenvolvidos por inúmeros pesquisadores (ADHIKARI; ITOH; SUYAMA, 2013; BRITO et al., 2015; MOREIRA; OLIVEIRA; FERREIRA, 2017). Outra possibilidade, é a combinação com microrganismos que possam auxiliar os rizóbios, como é o caso das PGPR, cujos *Azospirillum* são os mais estudados e que vêm proporcionando resultados bastante significativos, principalmente na cultura da soja; além de outros microrganismos, como os *Bacillus*, que também são promissores (SANTOS; NOGUEIRA; HUNGRIA, 2019; MORETTI et al., 2020).

Além disso, por se tratar de organismos vivos, diversos fatores biológicos, químicos e físicos podem também interferir nas relações entre bactérias e planta, afetando a nodulação, dentre eles: temperatura, umidade, salinidade, efeito de toxicidade de fungicidas e inseticidas aplicados às sementes, solos ácidos,

deficiências nutricionais e elementos tóxicos, dentre outros; além das características da espécie hospedeira (HUNGRIA; VARGAS, 2000; HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2001; CASSINI; FRANCO, 2006; KINTSCHEV; GOULART; MERCANTE, 2014; PORTUGAL et al., 2016; TORABIAN et al., 2019). O estado nutricional da planta, a qualidade dos exsudatos, a existência de microorganismos competidores e a escolha da estirpe também são fatores que podem influenciar na interação entre a planta e a bactéria e afetar a eficiência da FBN (QUADROS, 2009).

Apesar de ser uma informação já bastante consolidada na literatura, principalmente para a cultura da soja, fica muito claro agora também para a cultura do feijoeiro-comum, mediante os resultados obtidos em todos os experimentos e estádios fenológicos avaliados, o efeito negativo do N sobre a nodulação (NN e MSN). Aplicações de doses elevadas de N, principalmente na semeadura, prejudicam a nodulação e a FBN (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; SOUZA; SORATTO; PAGANI, 2011; PARENTE, 2014). Brito, Muraoka e Silva (2011) avaliaram doses de N entre 5,3 e 160 kg ha⁻¹ e observaram que a porcentagem de N proveniente da FBN era inversamente proporcional à dose de N mineral aplicada. Steiner et al. (2019) relataram que o estímulo para iniciar a nodulação é totalmente dependente da concentração de N encontrada no solo e ou nas taxas de aplicação do fertilizante. Os mesmos autores constataram que, tanto o número, quanto a massa de nódulos tiveram redução linear quando se trabalhou com doses de 0 a 120 kg ha⁻¹.

4.2 Crescimento radicular

Foi observada interação significativa entre os fatores estudados para superfície (SR) e comprimento radicular (CR) do feijão-comum no estádio fenológico V4, em todos os experimentos (Tabela 15). A não aplicação das bactérias (sem Rhizo + sem Azo) resultou em menores valores, tanto da SR, quanto do CR no exp. 1 (Tabela 16). O único tratamento que não foi diferente do controle com N, em termos de SR, foi o Rhizo sulco + Azo semente, os demais tiveram SR menor que a do controle. Já em relação ao CR, houve redução em todos os tratamentos, exceto Rhizo semente + sem Azo, quando comparado ao controle com aplicação de N mineral.

Já no exp. 2, o tratamento Rhizo semente + sem Azo proporcionou a maior SR e CR (Tabela 17). Quando comparados ao controle com N, todos os tratamentos tiveram menor SR. Por outro lado, em relação ao CR, os tratamentos sem Rhizo + Azo sulco, Rhizo semente + sem Azo e Rhizo sulco + sem Azo não foram diferentes do controle, enquanto os demais tratamentos tiveram menor CR (Tabela 17).

Tabela 15 – Superfície (SR) e comprimento radicular (CR) no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Tratamento	SR			CR		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
	cm ² planta ⁻¹			cm planta ⁻¹		
Inoculação com <i>Rhizobium</i> (R)*						
Sem Rhizo	93,8 ³	58,4 ¹	87,5	672,8 ³	461,7 ¹	732,6
Rhizo semente	109,5 ³	57,1 ¹	77,0 ¹	815,7 ³	489,6 ¹	638,7 ¹
Rhizo sulco	111,2 ³	63,1 ¹	86,1	782,5 ³	503,6 ¹	743,5
Inoculação com <i>Azospirillum</i> (A)						
Sem Azo	96,1b ^{***3}	65,3a ¹	94,6a	721,4 ³	527,2a	797,9a
Azo semente	117,8a ³	52,9b ¹	72,0b ¹	803,8 ³	429,0b ¹	613,9b ¹
Azo sulco	100,6ab ³	60,4ab ¹	84,0ab ¹	745,8 ³	498,7ab ¹	703,0ab
Azo foliar ^{***}	-	-	-	-	-	-
Fonte de variação	<i>P</i> > <i>F</i>					
R	0,063	0,233	0,109	0,051	0,503	0,117
A	0,024	0,007	<0,001	0,355	0,032	0,008
R x A	0,031	0,005	0,042	0,031	0,017	0,030
CV (%)	18,1	14,7	15,1	18,6	18,1	18,5
d.m.s. ^{****}	39,94	17,25	25,93	285,40	181,48	274,53
Controle 40 kg ha ⁻¹ N	-	102,8	110,9	-	699,9	915,4
Controle 80 kg ha ⁻¹ N	-	-	-	-	-	-
Controle 120 kg ha ⁻¹ N	171,2	-	-	1155,2	-	-

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** Tratamento ainda não aplicado. **** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett (*P* ≤ 0,05).

Tabela 16 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para superfície (SR) e comprimento radicular (CR) do feijoeiro, no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido), conduzido em condições de campo, durante o período de março a julho de 2019 (exp. 1), em Botucatu, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	SR (cm ² planta ⁻¹)			CR (cm planta ⁻¹)		
Sem Azo	68,1bB ^{***3}	114,5aA ³	105,6abA ³	488,4bB ³	885,6aA	790,2aA ³
Azo semente	115,2aA ³	105,3aA ³	132,8aA	826,4aA ³	750,0aA ³	834,9aA ³
Azo sulco	97,9abA ³	108,7aA ³	95,3bA ³	703,5abA ³	811,6aA ³	722,5aA ³
Azo foliar ^{***}	-	-	-	-	-	-
d.m.s. ^{****}		39,94			285,40	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		171,2			1155,2	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** Tratamento ainda não aplicado. **** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Tabela 17 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para superfície (SR) e comprimento radicular (CR) do feijoeiro, no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido), conduzido em condições de campo, durante o período de agosto a dezembro de 2019 (exp. 2), em Botucatu, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	SR (cm ² planta ⁻¹)			CR (cm planta ⁻¹)		
Sem Azo	57,0aB ^{**1}	72,6aA ¹	66,3aAB ¹	426,0abB ¹	605,4aA	550,1aAB
Azo semente	51,8aA ¹	52,5bA ¹	54,3aA ¹	389,3bA ¹	448,3bA ¹	449,4aA ¹
Azo sulco	66,6aA ¹	46,1bB ¹	68,6aA ¹	569,9aA	415,1bA ¹	511,2aA ¹
Azo foliar ^{***}	-	-	-	-	-	-
d.m.s. ^{****}		17,25			181,48	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		102,8			699,9	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** Tratamento ainda não aplicado. **** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Já no exp. 3, as combinações sem Rhizo + Azo sulco e Rhizo sulco + sem Azo proporcionaram os maiores valores em termos de SR e CR no estágio fenológico V4 do feijoeiro-comum (Tabela 18). Para ambos os parâmetros, observou-se comportamento similar em relação ao controle com N, na qual os tratamentos sem Rhizo + sem Azo, sem Rhizo + Azo sulco, Rhizo semente + sem Azo e Rhizo sulco + sem Azo não diferiram do mesmo (Tabela 18). Para CR, o Rhizo sulco + Azo semente também não diferiu do controle nitrogenado.

Tabela 18 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para superfície (SR) e comprimento radicular (CR) do feijoeiro, no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido), conduzido em condições de campo, durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	SR (cm ² planta ⁻¹)			CR (cm planta ⁻¹)		
Sem Azo	92,9aA**	90,1aA	100,9aA	786,4aA	726,2aA	881,0aA
Azo semente	67,8bA ¹	67,2bA ¹	80,9abA ¹	542,1bA ¹	569,0aA ¹	730,5abA
Azo sulco	101,9aA	73,7abB ¹	76,5bB ¹	869,3aA	620,8aB ¹	619,0bB ¹
Azo foliar***	-	-	-	-	-	-
d.m.s.****		25,93			274,53	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		110,9			915,4	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** Tratamento ainda não aplicado. **** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Houve interação significativa para volume radicular (VR) do feijoeiro, em V4, no exp. 1 (Tabela 19). O tratamento sem Rhizo + sem Azo obteve o menor VR, 0,715 cm³ planta⁻¹, 59% menor que o controle com fertilizante nitrogenado (Tabela 20). Apenas o Rhizo sulco + Azo semente não diferiu do controle com N mineral, enquanto os demais tratamentos tiveram redução no VR. No exps. 2 e 3, houve efeito apenas do fator inoculação com *Azospirillum*, na qual a não aplicação da bactéria proporcionou o maior VR em ambos os casos (Tabela 19). No exp. 2 todos os tratamentos reduziram o VR em relação ao controle com N; já no exp. 3, os tratamentos sem Rhizo e sem Azo não diferiram do controle com N. Não houve diferença estatística entre os tratamentos, e nem em comparação ao controle com N mineral, para diâmetro médio

de raízes (DMR) do feijão no estágio V4, nos exps. 1 e 2; porém, no exp. 3, foi observada interação significativa entre os fatores para esse parâmetro (Tabela 19). O Rhizo sulco + Azo semente resultou em menor DMR, o que é de extrema importância, visto que a absorção de água e nutrientes é realizada por raízes finas (Tabela 21). Não houve diferença de nenhum dos tratamentos em relação ao controle com aplicação de N mineral (40 kg ha⁻¹ de N) para DMR.

Tabela 19 – Volume radicular (VR) e diâmetro médio de raízes (DMR) no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Tratamento	VR			DMR		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
	cm ³ planta ⁻¹			mm		
Inoculação com <i>Rhizobium</i> (R)*						
Sem Rhizo	1,029 ³	0,586 ¹	0,834	0,435	0,392	0,382
Rhizo semente	1,180 ³	0,581 ¹	0,741 ¹	0,430	0,378	0,385
Rhizo sulco	1,192 ³	0,582 ¹	0,797 ¹	0,429	0,385	0,374
Inoculação com <i>Azospirillum</i> (A)						
Sem Azo	1,013b ^{***}	0,680a ¹	0,897a	0,421	0,392	0,382
Azo semente	1,302a ³	0,505b ¹	0,675b ¹	0,443	0,383	0,377
Azo sulco	1,086b ³	0,565b ¹	0,801ab ¹	0,429	0,381	0,382
Azo foliar ^{***}	-	-	-	-	-	-
Fonte de variação	<i>P > F</i>					
R	0,111	0,990	0,243	0,916	0,605	0,408
A	0,005	0,001	0,002	0,315	0,647	0,759
R × A	0,030	0,142	0,244	0,893	0,479	0,032
CV (%)	17,9	16,5	16,9	8,3	8,3	5,3
d.m.s. ^{****}	0,43	0,20	0,27	0,07	0,07	0,04
Controle 40 kg ha ⁻¹ N	-	0,992	1,074	-	0,427	0,390
Controle 80 kg ha ⁻¹ N	-	-	-	-	-	-
Controle 120 kg ha ⁻¹ N	1,730	-	-	0,434	-	-

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** Tratamento ainda não aplicado. **** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Tabela 20 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para volume radicular (VR) do feijoeiro, no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido), conduzido em condições de campo, durante o período de março a julho de 2019 (exp. 1), em Botucatu, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *		
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	VR (cm ³ planta ⁻¹)		
Sem Azo	0,715bB** ³	1,195aA ³	1,128abA ³
Azo semente	1,287aA ³	1,180aA ³	1,440aA
Azo sulco	1,086aA ³	1,164aA ³	1,010bA ³
Azo foliar***	-	-	-
d.m.s.****		0,43	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		1,730	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** Tratamento ainda não aplicado. **** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Tabela 21 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para diâmetro médio de raízes (DMR) do feijoeiro, no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido), conduzido em condições de campo, durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *		
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	DMR (mm)		
Sem Azo	0,377aA**	0,399aA	0,371abA
Azo semente	0,396aA	0,378aAB	0,357bB
Azo sulco	0,373aA	0,378aA	0,395aA
Azo foliar***	-	-	-
d.m.s.****		0,04	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		0,390	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** Tratamento ainda não aplicado. **** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Foi observada interação significativa entre os fatores estudados para SR e CR do feijão-comum no estágio fenológico R6, nos três experimentos (Tabela 22). A aplicação de Rhizo semente + Azo sulco possibilitou a maior SR e CR no exp. 1, sendo o único tratamento que não se diferenciou do controle com 120 kg ha⁻¹ de N, uma vez que os demais tiveram SR e CR menor que do controle (Tabela 23).

Tabela 22 – Superfície (SR) e comprimento radicular (CR) no estágio fenológico R6 (florescimento pleno) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Tratamento	SR			CR		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
	cm ² planta ⁻¹			cm planta ⁻¹		
Inoculação com <i>Rhizobium</i> (R)*						
Sem Rhizo	187,3b ^{***}	148,0 ¹	194,3b ^{1 2 3}	1011,6b ³	902,7 ¹	1265,2b ^{1 2 3}
Rhizo semente	219,0a ³	161,6 ¹	246,2a ^{1 3}	1278,9a ³	1029,0 ¹	1648,2a ³
Rhizo sulco	155,2c ³	154,0 ¹	207,2b ^{1 2 3}	836,1c ³	1006,7 ¹	1287,8b ^{1 2 3}
Inoculação com <i>Azospirillum</i> (A)						
Sem Azo	164,1b ³	144,4b ¹	230,2 ^{1 3}	891,0b ³	975,1 ¹	1441,0 ^{1 3}
Azo semente	159,9b ³	153,0ab ¹	210,1 ^{1 2 3}	997,3b ³	1026,0 ¹	1396,2 ^{1 2 3}
Azo sulco	214,4a ³	169,3a ¹	206,7 ^{1 2 3}	1244,0a ³	935,1 ¹	1298,0 ^{1 2 3}
Azo foliar	210,1a ³	151,4ab ¹	216,6 ^{1 3}	1036,6b ³	981,6 ¹	1466,4 ³
Fonte de variação	<i>P > F</i>					
R	<0,001	0,222	<0,001	<0,001	0,222	<0,001
A	<0,001	0,054	0,133	<0,001	0,781	0,121
R x A	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,024	<0,001
CV (%)	16,8	14,0	11,8	17,5	21,9	12,7
d.m.s. ^{***}	68,29	47,49	55,68	380,07	453,21	389,57
Controle 40 kg ha ⁻¹ N	-	237,6	343,3	-	1534,2	1845,0
Controle 80 kg ha ⁻¹ N	-	185,4	267,1	-	1091,1	1805,3
Controle 120 kg ha ⁻¹ N	363,7	181,4	338,7	1850,4	1127,4	2075,2

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1,2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett (*P* ≤ 0,05).

Rhizo semente + Azo semente, Rhizo semente + Azo sulco e Rhizo sulco + Azo sulco proporcionaram os maiores valores de SR no exp. 2; no entanto o único tratamento que não reduziu essa variável foi Rhizo sulco + Azo sulco, não sendo diferente de nenhum dos três controles com N (Tabela 24). Nos demais tratamentos foi observada redução da SR quando comparados a um ou mais dos controles com N. Já em relação a variável CR, o sem Rhizo + Azo sulco proporcionou o menor valor, 620,8 cm planta⁻¹, sendo diferente dos controles com 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N.

Tabela 23 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para superfície (SR) e comprimento radicular (CR) do feijoeiro, no estágio fenológico R6 (florescimento pleno), conduzido em condições de campo, durante o período de março a julho de 2019 (exp. 1), em Botucatu, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	SR (cm ² planta ⁻¹)			CR (cm planta ⁻¹)		
Sem Azo	206,6aA** ³	147,6cB ³	138,1aB ³	1158,8aA ³	808,1cB ³	706,2aB ³
Azo semente	171,2aA ³	179,8bcA ³	128,6aA ³	910,6aAB ³	1225,8bA ³	855,4aB ³
Azo sulco	159,5aB ³	317,9aA	165,8aB ³	980,9aB ³	1821,5aA	929,5aB ³
Azo foliar	211,8aA ³	230,5bA ³	188,0aA ³	996,2aAB ³	1260,2bA ³	853,4aB ³
d.m.s.***		68,29			380,07	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		363,7			1850,4	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

No exp. 3, o tratamento Rhizo semente + Azo semente proporcionou os maiores valores tanto de SR (320,9 cm² planta⁻¹), quanto de CR (2159,2 cm planta⁻¹) no estágio R6 do feijão-comum (Tabela 25). Em relação a SR, esse foi o único tratamento a não se diferenciar de nenhum dos controles com N; já quanto ao CR, além desse, a combinação sem Rhizo + Azo foliar também não diferiu dos controles com 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ N (Tabela 25).

Tabela 24 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para superfície (SR) e comprimento radicular (CR) do feijoeiro, no estágio fenológico R6 (florescimento pleno), conduzido em condições de campo, durante o período de agosto a dezembro de 2019 (exp. 2), em Botucatu, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	SR (cm ² planta ⁻¹)			CR (cm planta ⁻¹)		
Sem Azo	62,9aA** ¹	129,6bA ^{1 2 3}	140,7bA ¹	1094,9aA	795,0aA ¹	1035,5aA ¹
Azo semente	143,0aB ¹	183,1aA ¹	132,9bB ^{1 2 3}	974,9abA ¹	1152,3aA	950,9aA ¹
Azo sulco	137,8aB ^{1 2}	173,7aAB ¹	196,4aA	620,8bB ^{1 2 3}	1131,4aA	1053,0aA ¹
Azo foliar	148,2aA ¹	159,9abA ¹	145,9bA ¹	920,3abA ¹	1037,2aA ¹	987,3aA ¹
d.m.s.***		47,49			453,21	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		237,6			1534,2	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		185,4			1091,1	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		181,4			1127,4	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹.

** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1,2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Tabela 25 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para superfície (SR) e comprimento radicular (CR) do feijoeiro, no estágio fenológico R6 (florescimento pleno), conduzido em condições de campo, durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	SR (cm ² planta ⁻¹)			CR (cm planta ⁻¹)		
Sem Azo	175,3bB** ^{1 2 3}	239,7bA ^{1 3}	275,5aA ^{1 3}	1102,9bB ^{1 2 3}	1545,3bA ³	1674,9aA ³
Azo semente	154,8bB ^{1 2 3}	320,9aA	154,5cB ^{1 2 3}	1096,9bB ^{1 2 3}	2159,2aA	932,5cB ^{1 2 3}
Azo sulco	201,7abA ^{1 2 3}	195,1bA ^{1 2 3}	223,3bA ^{1 3}	1168,2bA ^{1 2 3}	1330,5bA ^{1 2 3}	1395,3abA ^{1 2 3}
Azo foliar	245,4aA ^{1 3}	229,1bA ^{1 3}	175,4bcB ^{1 2 3}	1693,0aA	1558,0bA ³	1148,2bcB ^{1 2 3}
d.m.s.***		55,68			389,57	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		343,3			1845,0	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		267,1			1805,3	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		338,7			2075,2	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1,2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Foi observada interação significativa para VR do feijoeiro no estádio R6, nos exps. 1 e 3 (Tabela 26). No exp. 1, Rhizo semente + Azo sulco, Rhizo semente + Azo foliar e Rhizo sulco + Azo foliar se destacaram positivamente; porém, apenas o Rhizo semente + Azo sulco não diferiu do controle com aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N, nos demais tratamentos o VR sempre foi menor que o do controle (Tabela 27). Já no exp. 3, Rhizo semente + Azo semente proporcionou o maior VR do feijoeiro, 4,348 cm³ planta⁻¹, sendo o único tratamento a incrementar o VR em relação a um dos controles com N (80 kg ha⁻¹ de N); todos os demais tratamentos diferiram de um ou mais controles nitrogenados por reduzirem o VR em relação a estes (Tabela 27).

Tabela 26 – Volume radicular (VR) e diâmetro médio de raízes (DMR) no estádio fenológico R6 (florescimento pleno) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Tratamento	VR			DMR		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
	cm ³ planta ⁻¹			mm		
Inoculação com <i>Rhizobium</i> (R)*						
Sem Rhizo	2,469b ^{**3}	2,083 ¹	2,360c ^{1 3}	0,566	0,536a	0,497
Rhizo semente	3,081a ³	2,158 ¹	3,158a ^{1 3}	0,562	0,488b	0,510
Rhizo sulco	2,410b ³	2,130 ¹	2,723b ^{1 3}	0,562	0,531ab	0,506
Inoculação com <i>Azospirillum</i> (A)						
Sem Azo	2,392b ³	2,015 ¹	2,896 ^{1 3}	0,566	0,503	0,505
Azo semente	2,253b ³	2,119 ¹	2,707 ^{1 3}	0,549	0,538	0,500
Azo sulco	2,828a ³	2,310 ¹	2,762 ^{1 3}	0,567	0,533	0,529
Azo foliar	3,141a ³	2,050 ¹	2,623 ^{1 3}	0,573	0,498	0,484
Fonte de variação	<i>P > F</i>					
R	<0,001	0,905	<0,001	0,962	0,034	0,584
A	<0,001	0,451	0,335	0,659	0,189	0,054
R x A	<0,001	0,200	<0,001	0,074	0,052	0,017
CV (%)	14,0	22,6	13,3	8,8	10,5	7,6
d.m.s.***	0,81	0,93	0,83	0,11	0,10	0,08
Controle 40 kg ha ⁻¹ N	-	3,274	4,421	-	0,518	0,554
Controle 80 kg ha ⁻¹ N	-	2,312	3,075	-	0,514	0,466
Controle 120 kg ha ⁻¹ N	4,801	2,858	4,252	0,560	0,504	0,477

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett (*P* ≤ 0,05).

No exp. 2, não houve efeito dos fatores para VR, mas todos os tratamentos diferiram negativamente do controle com 40 kg ha⁻¹ de N (Tabela 26).

Para a variável DMR do feijão em R6, no exp. 1, não houve efeito dos fatores estudados; já no exp. 2, a inoculação Rhizo semente proporcionou raízes mais finas, com diâmetro médio de 0,488 mm; no entanto nenhum dos tratamentos foi diferente dos controles com N (Tabela 26). No exp. 3, houve interação significativa entre os fatores estudados para DMR, na qual sem Rhizo + Azo semente e sem Rhizo + Azo foliar proporcionaram os menores valores observados, ou seja, raízes mais finas, diferindo também do controle com aplicação de 40 kg ha⁻¹ de N (Tabela 28). O sem Rhizo + Azo sulco resultou em DMR superior ao dos controles com 80 e 120 kg ha⁻¹ de N.

Tabela 27 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para volume radicular (VR) do feijoeiro, no estágio fenológico R6 (florescimento pleno), conduzido em condições de campo, durante o período de março a julho de 2019 (exp. 1), em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	VR (cm ³ planta ⁻¹)			VR (cm ³ planta ⁻¹)		
Sem Azo	2,677aA ^{**3}	2,159bA ³	2,341abA ³	2,220abB ^{1 2 3}	2,852bB ^{1 3}	3,615aA
Azo semente	2,569aA ³	2,307bAB ³	1,885bB ³	1,745bB ^{1 2 3}	4,348aA ²	2,027cB ^{1 2 3}
Azo sulco	2,076aB ³	3,993aA	2,416abB ³	2,799aA ^{1 3}	2,640bA ^{1 3}	2,849bA ^{1 3}
Azo foliar	2,556aB ³	3,866aA ³	3,001aB ³	2,675aA ^{1 3}	2,795bA ^{1 3}	2,400bcA ^{1 3}
d.m.s.***		0,81			0,83	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		-			4,421	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		-			3,075	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		4,801			4,252	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Houve efeito dos fatores separadamente para SR do feijão-comum em R8, nos três experimentos (Tabela 29). No exp. 1, sem Rhizo e Azo semente causaram redução nessa variável. Por outro lado, no exp. 2 a situação se inverteu e Rhizo semente e sem Azo possibilitaram as menores SR. Já no exp. 3, a inoculação Rhizo sulco reduziu a SR, enquanto que Azo semente proporcionou o maior valor observado, 265,7 cm² planta⁻¹. No exp. 1, não houve diferença dos tratamentos de

inoculação/coinoculação com os controles com aplicação de N em relação a SR (Tabela 29). Já no exp. 2, Rhizo semente, sem Azo e Azo foliar tiveram SR menor que a do controle com 80 kg ha⁻¹ de N. No exp. 3, Azo semente incrementou a SR em relação aos controles com aplicação de 40 e 120 kg ha⁻¹ de N.

Tabela 28 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para diâmetro médio de raízes (DMR) do feijoeiro, no estágio fenológico R6 (florescimento pleno), conduzido em condições de campo, durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *		
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	DMR (mm)		
Sem Azo	0,508abA**	0,499aA	0,509aA
Azo semente	0,451bB ¹	0,542aA	0,507aAB
Azo sulco	0,565aA ^{2 3}	0,513aA	0,508aA
Azo foliar	0,462bA ¹	0,488aA	0,502aA
d.m.s.***		0,08	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		0,554	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		0,466	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		0,477	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Na Tabela 29, também é possível observar efeito separado dos fatores estudados para CR do feijoeiro em R8, nos exps.1 e 2. No exp. 1, embora o teste F tenha sido significativo para inoculação com *Rhizobium*, o teste de Tukey a 5% de probabilidade não constatou essa diferença e por isso as letras são iguais para as três formas de inoculação. Já em relação a inoculação com *Azospirillum*, Azo foliar se destacou positivamente com 1285,0 cm planta⁻¹. Nenhum dos tratamentos diferiu do controle com aplicação de N mineral (120 kg ha⁻¹ de N), quanto ao CR, no exp. 1. No exp. 2, Rhizo semente ocasionou redução no CR, quando comparado ao sem Rhizo, e sem Azo foi diferente do controle com 80 kg ha⁻¹ de N, reduzindo em 27% o CR do feijão. Para o exp. 3, houve interação significativa entre os fatores estudados para CR (Tabela 29); na qual, sem Rhizo + Azo semente se destacou positivamente com 1825,4 cm planta⁻¹, incrementando essa variável em relação aos três controles com aplicação de N mineral (Tabela 30).

Tabela 29 – Superfície (SR) e comprimento radicular (CR) no estágio fenológico R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Tratamento	SR			CR		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
	cm ² planta ⁻¹			cm planta ⁻¹		
Inoculação com <i>Rhizobium</i> (R)*						
Sem Rhizo	198,2b**	199,9ab	238,3a	983,8a	1514,4a	1562,2a ¹
Rhizo semente	229,7a	190,5b ²	235,2a	1131,9a	1310,5b	1468,1ab
Rhizo sulco	225,3ab	209,3a	193,3b	1141,4a	1440,7ab	1294,2b
Inoculação com <i>Azospirillum</i> (A)						
Sem Azo	220,5ab	187,1b ²	220,0b	1112,2ab	1292,1 ²	1454,3a
Azo semente	201,9b	212,4a	265,7a ^{1 3}	931,4b	1498,8	1662,7a ¹
Azo sulco	206,4ab	206,4ab	186,0b	1014,2b	1443,3	1206,2b
Azo foliar	242,0a	193,7ab ²	217,4b	1285,0a	1453,3	1442,7a
Fonte de variação	<i>P > F</i>					
R	0,022	0,041	0,002	0,043	0,039	0,003
A	0,024	0,016	<0,001	<0,001	0,127	<0,001
R x A	0,485	0,089	0,257	0,402	0,611	<0,001
CV (%)	15,2	10,1	16,3	17,5	15,3	14,1
d.m.s.***	70,50	51,37	75,02	398,02	482,56	419,43
Controle 40 kg ha ⁻¹ N	-	226,6	174,9	-	1427,7	1126,2
Controle 80 kg ha ⁻¹ N	-	250,5	194,5	-	1775,8	1322,5
Controle 120 kg ha ⁻¹ N	228,7	237,8	189,1	1194,7	1706,6	1288,8

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1,2e3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett (*P* ≤ 0,05).

Foi observado interação significativa entre os fatores em questão para o VR do feijão-comum no estágio R8, no exp.1 (Tabela 31). A aplicação de Rhizo sulco + Azo sulco proporcionou o menor VR observado, 2,442 cm³ planta⁻¹, 30% menor que o do controle com aplicação de 120 kg ha⁻¹ (Tabela 32). No exp. 2, houve efeito apenas da inoculação com *Rhizobium*, na qual o Rhizo sulco se destacou positivamente, proporcionando 2,882 cm³ planta⁻¹ (Tabela 31). No exp. 3 houve efeito isolado dos fatores estudados para VR do feijão no estágio R8. As aplicações de Rhizo sulco e Azo sulco proporcionaram os menores valores observados para essa variável. Nenhum

tratamento diferiu dos controles com N mineral quanto ao VR do feijoeiro, nos exps. 2 e 3 (Tabela 31).

Tabela 30 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para comprimento radicular (CR) do feijoeiro, no estágio fenológico R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens), conduzido em condições de campo, durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *		
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	CR (cm planta ⁻¹)		
Sem Azo	1716,0aA ^{**1 3}	1561,9aA ¹	1085,1bB
Azo semente	1825,4aA ^{1 2 3}	1641,9aA ¹	1521,0aA
Azo sulco	1460,9abA	984,5bB	1173,2abAB
Azo foliar	1246,4bB	1684,0aA ¹	1397,7abAB
d.m.s. ^{***}		419,43	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		1126,2	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		1322,5	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		1288,8	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* $2,5 \times 10^6$ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* $5,0 \times 10^6$ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* $2,5 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Em relação ao DMR do feijoeiro em R8, houve efeito da inoculação com *Azospirillum* no exp. 1, na qual foi observado menor diâmetro no tratamento sem Azo em comparação ao Azo sulco (Tabela 31). No exp. 2, não houve efeito dos fatores estudados sobre essa variável.

Foi observada interação significativa entre os fatores para DMR do feijoeiro no estágio R8, no exp. 3 (Tabela 31). A combinação Rhizo semente + Azo foliar proporcionou o menor DMR, 0,448 mm (Tabela 32). Os tratamentos sem Rhizo + Azo semente, Rhizo semente + Azo foliar e Rhizo sulco + Azo foliar resultaram em menor DMR que o controle com aplicação de 40 kg ha⁻¹ de N.

Tabela 31 – Volume radicular (VR) e diâmetro médio de raízes (DMR) no estágio fenológico R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Tratamento	VR			DMR		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
	cm ³ planta ⁻¹			mm		
Inoculação com <i>Rhizobium</i> (R)*						
Sem Rhizo	2,812	2,393b	3,007a	0,607	0,474	0,497
Rhizo semente	3,050	2,479b	3,133a	0,588	0,500	0,506
Rhizo sulco	3,036	2,882a	2,440b	0,604	0,461	0,483
Inoculação com <i>Azospirillum</i> (A)						
Sem Azo	3,189a**	2,467	2,895ab	0,580b	0,482	0,501
Azo semente	2,805ab	2,816	3,234a	0,590ab	0,499	0,485
Azo sulco	2,772b	2,664	2,420b	0,638a	0,473	0,507
Azo foliar	3,098ab	2,391	2,892ab	0,589ab	0,461	0,489
Fonte de variação	<i>P > F</i>					
R	0,113	0,004	0,006	0,542	0,096	0,373
A	0,012	0,062	0,023	0,038	0,306	0,627
R x A	0,006	0,118	0,979	0,304	0,325	0,009
CV (%)	11,8	15,8	21,3	8,5	10,5	9,1
d.m.s.***	0,74	0,99	1,26	0,10	0,11	0,10
Controle 40 kg ha ⁻¹ N	-	3,362	2,475	-	0,464	0,573
Controle 80 kg ha ⁻¹ N	-	3,314	2,965	-	0,475	0,515
Controle 120 kg ha ⁻¹ N	3,499	3,326	2,495	0,605	0,556	0,528

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* $2,5 \times 10^6$ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* $5,0 \times 10^6$ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* $2,5 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1,2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Os resultados dos três experimentos demonstram que a aplicação de N mineral estimulou o crescimento das raízes, o que pode ser comprovado pelos maiores resultados em termos de SR, CR e VR do feijoeiro-comum, principalmente nos estádios V4 e R6, proporcionados pelos controles com fertilizante nitrogenado. Ao encontrar uma fração de solo rica em nutrientes (particularmente N ou P), as raízes de muitas espécies de plantas respondem com aumento na taxa de crescimento e ramificação radicular (FAGAN, 2011).

Tabela 32 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para volume radicular (VR) e diâmetro médio de raízes (DMR) do feijoeiro, no estágio fenológico R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens), conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho de 2019 (exp. 1), em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	VR (cm ³ planta ⁻¹)			DMR (mm)		
Sem Azo	3,230aA**	3,193aA	3,143aA	0,490abA	0,500abA	0,512aA
Azo semente	2,706aA ³	2,634aA ³	3,074abA	0,461bA ¹	0,520abA	0,475aA
Azo sulco	2,575aB ³	3,300aA	2,442bB ³	0,488abAB	0,556aA	0,477aB
Azo foliar	2,738aB ³	3,072aAB	3,484aA	0,549aA	0,448bB ¹	0,470aB ¹
d.m.s.***		0,74			0,10	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		-			0,573	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		-			0,515	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		3,499			0,528	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Esta resposta permite que a planta otimize a alocação de recursos, concentrando o crescimento radicular na região do solo que resultará em maior benefício em termos de captura de nutrientes (HODGE et al., 1999; ROBINSON et al., 1999). A otimização do crescimento radicular com a disponibilidade de nutrientes no solo é consistente com o conceito de um equilíbrio funcional entre raízes e parte aérea (BROUWER, 1967; BROUWER; DE WIT, 1969; BLOOM, JACKSON; SMART, 1993). Esse conceito propõe que devido às distâncias entre fontes e locais de consumo, as raízes satisfazem mais rapidamente sua exigência por nutrientes que por carboidratos, enquanto a parte aérea satisfaz mais rapidamente sua exigência por carboidratos que por nutrientes. Quando os nutrientes são insuficientes, o crescimento de raízes e parte aérea é limitado por estes e o suprimento de carboidratos na parte aérea é relativamente alto, de modo que a translocação de carboidratos para as raízes é maior. Ao passo que uma raiz encontra uma porção de solo rica em nutrientes, aqueles absorvidos inicialmente permanecem na raiz e estimulam o seu crescimento e à medida que os níveis de nutrientes naquela raiz alcançam a suficiência, a translocação destes para a parte aérea aumenta. A parte

aérea, agora com nutrientes suficientes, torna-se limitada por carboidratos e passa a translocar poucos carboidratos para a raiz; o crescimento dessa raiz torna-se, então, limitado por carboidratos (DURIEUX et al., 1994).

A arquitetura do sistema radicular (ASR) pode ser modificada de acordo com fatores abióticos. Esta modificação é realizada pela superexpressão do gene Deep Rooting (DR01) (UGA et al., 2013; SOUZA; FERNANDES, 2018). A plasticidade do desenvolvimento radicular desempenha um papel importante nas respostas adaptativas das plantas às grandes mudanças espaciais e temporais na disponibilidade de nutrientes, entre eles NH_4^+ e NO_3^- . Algumas espécies desenvolveram mecanismos que permitem detectar regiões do solo ricas em nutrientes, próximas as suas raízes e potencializam a emissão de pelos radiculares próximos a estas regiões (REMANS et al., 2006). Alguns genes são descritos com funções específicas na sinalização, transporte e metabolismo de N e foram relatados por elucidar as respostas da absorção de N relacionando-se a ASR, por exemplo, NRT1.1 e NRT2.1. A estimulação do alongamento de raízes após sua emissão é realizada por meio de sinalização do gene ANR1, que é regulada pela disponibilidade de N, sendo induzida pelo NO_3^- e reprimida pela alta oferta de N. Deste modo, algumas vezes, quando plantas são expostas a alta disponibilidade de NO_3^- , ocorre a subexpressão do gene ANR1, inibindo o alongamento local de raízes (REMANS et al., 2006). O NH_4^+ pode ser preferencialmente absorvido nos tecidos meristemáticos, disponibilizando carboidratos que atuarão na divisão celular, assimilando NH_4^+ em compostos nitrogenados, gastando menos energia do que assimilação de NO_3^- . Em vista disso, o crescimento do sistema radicular permitirá a busca de novos locais do solo, possibilitando então a absorção de diferentes nutrientes (TAIZ et al., 2017).

O solo das áreas experimentais, classificado como Nitossolo Vermelho distroférico, textura argilosa, para os exps. 1 e 2, e como Argissolo Vermelho distroférico, textura arenosa, para o exp. 3, já estava em cultivo a bastante tempo, possuía teores médios ou altos dos macro e micronutrientes (Tabela 1), além de bom teor de matéria orgânica e palhada significativa de milho (exps. 1 e 2) e milho+braquiária (exp. 3) antes da instalação dos ensaios, o que certamente contribuiu para uma boa atividade microbiológica e, conseqüente, disponibilização de N e outros nutrientes, estimulando assim o crescimento radicular do feijoeiro.

Houve efeito da inoculação/coinoculação de *Rhizobium* e *Azospirillum* nos parâmetros de crescimento radicular, embora não tenha ficado muito claro qual a

forma de inoculação que se sobressaiu, principalmente no exp. 3. Nos exps. 1 e 2, podemos observar resultados bastante pronunciados com as inoculações/coinoculações via sementes e sulco de semeadura, mas não com os microrganismos juntos na mesma via, ou seja, hora Rhizo sementes + Azo sulco se destacou, hora foi o inverso. As bactérias do gênero *Azospirillum* estimulam a densidade e comprimento dos pelos radiculares, a taxa de aparecimento de raízes laterais e área de superfície das raízes, promovendo maior crescimento radicular, o que beneficia as plantas com maior absorção de água e nutrientes (OKON; LABANDERA-GONZALES, 1994; CASSÁN et al., 2008; KHAN; SAIF, 2017). Porém, como já mencionado, a intensidade dos efeitos de *Azospirillum* sobre a morfologia radicular é dependente da espécie de planta e cultivar e, mais importante, da concentração de inóculo. Concentrações elevadas de inóculo podem prejudicar o alongamento de raízes (OKON; KAPULNIK, 1986), bem como o crescimento da planta (BURDMAN et al., 1997), além de reduzir a massa fresca de raízes (VEDDER-WEISS et al., 1999), fato que talvez possa explicar parte dos resultados obtidos nesse trabalho e o porque não foram mais pronunciados. O número de células (ufc) por semente ou planta de *Azospirillum* a ser fornecido nos tratamentos foi definido com base em estudos previamente conduzidos (GILABEL, 2018) e também na literatura (HUNGRIA; NOGUEIRA; ARAUJO, 2013; SOUZA; FERREIRA, 2017) mas, talvez, para as condições dos três experimentos, especialmente do exp. 3, possa ter sido elevada.

4.3 Índice SPAD, diagnose foliar, matéria seca de parte aérea e raízes e nitrogênio na parte aérea

Não houve efeito dos fatores estudados para a variável matéria seca de parte aérea (MSPA) do feijão-comum no estágio V4, no exp. 1, e nenhum dos tratamentos diferiu do controle com N (Tabela 33). No exp. 2, houve efeito apenas da inoculação com *Rhizobium*, na qual o Rhizo sulco proporcionou redução na MSPA em relação ao sem Rhizo. Todos os tratamentos diferiram do controle com aplicação de 40 kg ha⁻¹ de N que possibilitou a maior MSPA, 1,17 g planta⁻¹, no exp. 2. No exp. 3 também houve efeito apenas do fator inoculação com *Rhizobium* para a variável MSPA em V4, na qual o Rhizo semente proporcionou o maior valor, 1,62 g planta⁻¹. Nenhum dos tratamentos diferiu do controle com aplicação de N mineral em termos de MSPA do feijão-comum em V4, no exp. 3.

Tabela 33 – Matéria seca de parte aérea (MSPA) e raízes (MSR) no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Tratamento	MSPA			MSR		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
	g planta ⁻¹			g planta ⁻¹		
Inoculação com <i>Rhizobium</i> (R)*						
Sem Rhizo	1,45	0,83a** ¹	1,39b	0,198a	0,121	0,229
Rhizo semente	1,37	0,76ab ¹	1,62a	0,168b ³	0,126	0,233
Rhizo sulco	1,41	0,73b ¹	1,37b	0,175ab ³	0,111 ¹	0,218
Inoculação com <i>Azospirillum</i> (A)						
Sem Azo	1,35	0,82 ¹	1,48	0,162a ³	0,133	0,232
Azo semente	1,50	0,77 ¹	1,46	0,188a ³	0,115 ¹	0,212
Azo sulco	1,39	0,73 ¹	1,45	0,191a ³	0,111 ¹	0,237
Azo foliar***	-	-	-	-	-	-
Fonte de variação	<i>P > F</i>					
R	0,671	0,033	0,017	0,041	0,318	0,585
A	0,225	0,060	0,936	0,042	0,074	0,222
R x A	0,701	0,138	0,553	0,033	0,886	0,481
CV (%)	15,1	11,8	14,9	16,0	19,8	16,0
d.m.s.****	0,44	0,19	0,45	0,06	0,05	0,07
Controle 40 kg ha ⁻¹ N	-	1,17	1,56	-	0,162	0,226
Controle 80 kg ha ⁻¹ N	-	-	-	-	-	-
Controle 120 kg ha ⁻¹ N	1,72	-	-	0,250	-	-

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** Tratamento ainda não aplicado. **** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Foi observada interação significativa entre os fatores para matéria seca de raízes (MSR) do feijoeiro em V4, no exp. 1 (Tabela 33). Os tratamentos sem Rhizo + Azo semente e sem Rhizo + Azo sulco proporcionaram as maiores MSR, não sendo diferentes do controle com 120 kg ha⁻¹ de N (Tabela 34). Os demais tratamentos reduziram a MSR em relação ao controle com N. No exp. 2, não houve efeito dos fatores estudados sobre a MSR do feijão em V4; no entanto, os tratamentos Rhizo sulco, Azo semente e Azo sulco diferiram do controle com 40 kg ha⁻¹ de N, com redução de 31, 29 e 31% nessa variável (Tabela 33). Não foi observado efeito dos fatores estudados, e nem diferença dos tratamentos com inoculação em relação ao

controle com aplicação de N, para MSR do feijão-comum em V4, no exp. 3 (Tabela 33).

Tabela 34 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, matéria seca de raízes (MSR) do feijoeiro, no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido), conduzido em condições de campo, durante o período de março a julho (exp. 1) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *		
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	MSR (g planta ⁻¹)		
Sem Azo	0,152bA ^{**3}	0,180aA ³	0,154aA ³
Azo semente	0,217aA	0,160aB ³	0,187aAB ³
Azo sulco	0,225aA	0,163aB ³	0,185aAB ³
Azo foliar ^{***}	-	-	-
d.m.s. ^{****}		0,06	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		0,250	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** Tratamento ainda não aplicado. **** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1,2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Houve interação significativa entre os fatores estudados para teor de nitrogênio na parte aérea (NPA) do feijoeiro em V4 no exp. 1 (Tabela 35). Sem Rhizo + Azo semente, Rhizo semente + Azo sulco e Rhizo sulco + sem Azo proporcionaram os maiores teores de NPA; e nenhum tratamento diferiu do controle com aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N (Tabela 36). Não foi observado efeito dos fatores para NPA do feijoeiro nos exps. 2 e 3, e nenhum tratamento foi diferente do controle com N mineral (Tabela 35).

Em relação ao N acumulado na parte aérea (NAPA) do feijão-comum em V4, também não foi observado efeito dos fatores estudados em nenhum dos experimentos (Tabela 35). Porém, no exp. 2, houve diferença dos tratamentos, tanto com inoculação de *Rhizobium*, quanto de *Azospirillum*, em relação ao controle com N; na qual, apenas o tratamento sem Rhizo não ocasionou redução no NAPA (Tabela 35).

Tabela 35 – Teor de nitrogênio na parte aérea (NPA) e nitrogênio acumulado na parte aérea (NAPA) no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Tratamento	NPA			NAPA		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
	g kg ⁻¹			kg ha ⁻¹		
Inoculação com <i>Rhizobium</i> (R)*						
Sem Rhizo	45,42**	43,66	41,11	12,5	10,4	13,6
Rhizo semente	45,10	42,65	40,17	11,6	9,0 ¹	15,2
Rhizo sulco	45,84	44,06	42,52	11,8	8,9 ¹	13,6
Inoculação com <i>Azospirillum</i> (A)						
Sem Azo	44,84	43,49	42,44	11,0	10,0 ¹	14,9
Azo semente	45,73	43,38	40,76	12,6	9,3 ¹	13,7
Azo sulco	45,79	43,51	40,61	12,3	8,9 ¹	13,8
Azo foliar***	-	-	-	-	-	-
Fonte de variação	<i>P > F</i>					
R	0,380	0,130	0,085	0,617	0,123	0,078
A	0,149	0,980	0,153	0,211	0,346	0,267
R x A	0,014	0,638	0,388	0,737	0,400	0,197
CV (%)	2,8	3,9	6,0	19,3	19,6	13,4
d.m.s.****	2,63	3,52	4,94	5,33	3,70	3,78
Controle 40 kg ha ⁻¹ N	-	44,72	44,73	-	14,03	16,25
Controle 80 kg ha ⁻¹ N	-	-	-	-	-	-
Controle 120 kg ha ⁻¹ N	45,28	-	-	13,90	-	-

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** Tratamento ainda não aplicado. **** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Tabela 36 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para teor de nitrogênio na parte aérea (NPA) do feijoeiro, no estágio fenológico V4 (terceiro trifólio completamente expandido), conduzido em condições de campo, durante o período de março a julho (exp. 1) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *		
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	NPA (g kg ⁻¹)		
Sem Azo	44,01bB**	44,11bB	46,42aA
Azo semente	46,87aA	44,63abA	45,70aA
Azo sulco	45,37abA	46,58aA	45,41aA
Azo foliar***	-	-	-
d.m.s.****		2,63	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		-	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		-	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		45,28	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** Tratamento ainda não aplicado. **** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Houve interação significativa entre os fatores para MSPA do feijoeiro-comum no estágio fenológico R6, no exp. 1 (Tabela 37). O Rhizo sulco + Azo semente proporcionou a menor MSPA dentre todos os tratamentos (Tabela 38). Os tratamentos sem Rhizo + Azo semente, sem Rhizo + Azo sulco, Rhizo semente + Azo semente, Rhizo sulco + Azo semente e Rhizo sulco + Azo foliar tiveram menor produção de MSPA que o controle com 120 kg ha⁻¹ de N (Tabela 38). No exp. 2 não foi observado efeito dos fatores na MSPA, porém, todos os tratamentos foram diferentes de forma negativa, ou seja, com menor MSPA, de dois (40 e 120 kg ha⁻¹ de N) ou três dos controles com N (Tabela 37). Houve efeito dos fatores isolados para MSPA do feijoeiro em R6, na qual o Rhizo semente e Azo sulco se destacaram positivamente com 9,96 e 9,58 g planta⁻¹, respectivamente. Os tratamentos sem Rhizo, Rhizo sulco e Azo foliar diferiram negativamente dos controles com 80 e 120 kg ha⁻¹ de N. Os demais tratamentos obtiveram menor produção de MSPA em relação apenas ao controle com 120 kg ha⁻¹ de N (Tabela 37).

Tabela 37 – Matéria seca de parte aérea (MSPA) e de raízes (MSR) no estágio fenológico R6 (florescimento pleno) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Tratamento	MSPA			MSR		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
	g planta ⁻¹					
Inoculação com <i>Rhizobium</i> (R)*						
Sem Rhizo	9,66a**	6,67 ^{1 2 3}	8,05b ^{2 3}	0,884ab**	0,838 ^{1 2}	0,935b ¹
Rhizo semente	9,83a	7,14 ^{1 3}	9,96a ³	0,965a	0,904 ¹	1,234a
Rhizo sulco	8,24b ³	6,79 ^{1 2 3}	8,12b ^{2 3}	0,800b	0,900 ¹	0,957b ¹
Inoculação com <i>Azospirillum</i> (A)						
Sem Azo	10,04a	6,84 ^{1 3}	8,73ab ³	0,873	0,842 ^{1 2}	1,089 ¹
Azo semente	7,74b ³	6,67 ^{1 2 3}	8,46ab ³	0,781	0,849 ^{1 2}	1,054 ¹
Azo sulco	9,20ab	7,07 ^{1 3}	9,58a ³	0,924	0,937 ¹	1,053 ¹
Azo foliar	9,99a	6,86 ^{1 3}	8,06b ^{2 3}	0,954	0,894 ¹	0,973 ¹
Fonte de variação	<i>P > F</i>					
R	0,003	0,514	<0,001	0,026	0,394	<0,001
A	<0,001	0,875	0,030	0,069	0,393	0,264
R x A	0,035	0,945	0,182	0,117	0,761	<0,001
CV (%)	14,4	17,2	13,9	18,5	17,1	13,9
d.m.s.***	2,84	2,29	2,66	0,35	0,31	0,33
Controle 40 kg ha ⁻¹ N	-	10,15	9,61	-	1,266	1,502
Controle 80 kg ha ⁻¹ N	-	9,11	10,93	-	1,166	1,202
Controle 120 kg ha ⁻¹ N	11,75	9,47	13,09	0,994	0,845	1,176

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1,2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett (*P* ≤ 0,05).

Já para matéria seca de raízes (MSR) do feijão-comum, no exp. 1, houve efeito da inoculação com *Rhizobium*, na qual o Rhizo semente proporcionou 0,965 g planta⁻¹, maior valor observado (Tabela 37). No exp. 2, houve apenas diferença entre os tratamentos com inoculação e os controles com N, sendo que os tratamentos sem Rhizo, sem Azo e Azo semente resultaram em menor MSR que os controles com aplicação de 40 e 80 kg ha⁻¹ de N e os demais tratamentos foram diferentes apenas do controle com 40 kg ha⁻¹. Na Tabela 37, pode-se observar que houve interação significativa entre os fatores em questão para MSR do feijoeiro em R6, no exp 3. A combinação Rhizo semente + Azo semente proporcionou o maior valor de MSR, 1,541

g planta⁻¹, sendo o único tratamento a incrementar essa variável em relação aos controles com aplicação de 80 e 120 kg ha⁻¹ de N (Tabela 38).

Tabela 38 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para matéria seca de parte aérea (MSPA) e de raízes (MSR) do feijoeiro, no estágio fenológico R6 (florescimento pleno), conduzido em condições de campo, durante o período de março a julho (exp. 1) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	MSPA (g planta ⁻¹)			MSR (g planta ⁻¹)		
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
Sem Azo	11,15aA**	9,84abA	9,13aA	0,889aB ¹	1,064bAB ¹	1,313aA
Azo semente	8,86abA ³	8,01bAB ³	6,36bB ³	0,859aB ^{1 2}	1,541aA ^{2 3}	0,763bB ^{1 2 3}
Azo sulco	8,12bA ³	10,12abA	9,36aA	0,981aAB ¹	1,221bA	0,956bB ¹
Azo foliar	10,53abA	11,36aA	8,10abB ³	1,010aAB ¹	1,112bA ¹	0,797bB ^{1 2 3}
d.m.s.***		2,84			0,33	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		-			1,502	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		-			1,202	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		11,75			1,176	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1,2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Foi observada interação significativa entre os fatores estudados para NPA do feijoeiro em R6 nos exps. 1 e 2 (Tabela 39). No exp. 1, Rhizo sulco + Azo sulco proporcionou o menor NPA, 25,87 g kg⁻¹ de N, e apenas o tratamento Rhizo sulco + Azo semente não foi diferente do controle com aplicação de fertilizantes nitrogenado, os demais tratamentos provocaram redução na variável em questão (Tabela 40). Já no exp. 2, Rhizo semente + Azo foliar e Rhizo sulco + sem Azo se destacaram positivamente, com 26,76 e 27,83 g kg⁻¹ de N, sendo os únicos tratamentos a não se diferenciarem dos controles com aplicação de N (Tabela 40). Não foi observado efeito dos fatores para NPA do feijoeiro no exp. 3, mas todos os tratamentos proporcionaram redução nessa variável quando comparados ao controle com aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N (Tabela 39).

Tabela 39 – Teor de nitrogênio na parte aérea (NPA) e nitrogênio acumulado na parte aérea (NAPA) no estágio fenológico R6 (florescimento pleno) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Tratamento	NPA			NAPA		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
	g kg ⁻¹			kg ha ⁻¹		
Inoculação com <i>Rhizobium</i> (R)*						
Sem Rhizo	27,62 ³	24,49b ^{**3}	40,14 ³	50,7a	46,4 ^{1 2 3}	77,2b ^{2 3}
Rhizo semente	26,83 ³	25,85a ³	39,66 ³	49,8a	52,3 ³	91,6a ³
Rhizo sulco	27,18 ³	25,41a ³	40,33 ³	42,1a ³	48,1 ³	76,7b ^{2 3}
Inoculação com <i>Azospirillum</i> (A)						
Sem Azo	26,98 ³	26,01 ³	39,01 ³	50,0ab	50,4 ³	80,5 ^{2 3}
Azo semente	27,69 ³	24,94 ³	40,84 ³	40,5b ³	45,8 ^{1 2 3}	80,1 ^{2 3}
Azo sulco	26,92 ³	25,03 ³	40,11 ³	47,5ab	50,3 ³	90,2 ³
Azo foliar	27,28 ³	25,01 ³	40,20 ³	52,2a	49,3 ³	76,5 ^{2 3}
Fonte de variação	<i>P</i> > <i>F</i>					
R	0,232	0,003	0,616	0,038	0,343	0,002
A	0,450	0,059	0,163	0,039	0,741	0,062
R x A	0,025	0,002	0,515	0,265	0,998	0,084
CV (%)	4,7	4,2	4,9	21,0	23,8	15,2
d.m.s. ^{***}	2,83	2,45	4,03	22,77	22,54	26,33
Controle 40 kg ha ⁻¹ N	-	25,52	40,78	-	69,1	91,2
Controle 80 kg ha ⁻¹ N	-	26,34	42,67	-	69,0	108,6
Controle 120 kg ha ⁻¹ N	31,18	28,84	46,56	65,2	74,9	146,3

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1,2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett (*P* ≤ 0,05).

Em relação ao NAPA do feijão-comum em R6, houve efeito dos fatores separadamente, no exp. 1 (Tabela 39). Embora o teste F tenha acusado significância, o teste de Tukey a 5% de probabilidade não mostrou diferença estatística entre as formas de inoculação com *Rhizobium*, no entanto, o Rhizo sulco proporcionou o menor valor de NAPA, 42,1 kg ha⁻¹, sendo inclusive diferente do controle com 120 kg ha⁻¹ de N mineral que proporcionou 65,2 kg ha⁻¹. A aplicação de Azo foliar incrementou em, aproximadamente, 29% o NAPA em relação ao Azo semente, tratamento esse que também foi diferente do controle nitrogenado. No exp. 2 não foi observado efeito dos fatores estudados para NAPA; porém, os tratamentos sem Rhizo e Azo semente

possibilitaram menor NAPA que os três controles com aplicação de N e os demais tratamentos diferiram do controle com 120 kg ha⁻¹ de N (Tabela 39). No exp. 3, houve efeito do fator inoculação com *Rhizobium* para NAPA do feijoeiro em R6, na qual Rhizo semente se destacou positivamente com 91,6 kg ha⁻¹ (Tabela 39). Os tratamentos Rhizo semente e Azo sulco diferiram apenas do controle com 120 kg ha⁻¹ de N no que diz respeito a NAPA em R6, e os demais tratamentos foram diferentes tanto do controle com 80 kg ha⁻¹, como daquele com 120 kg ha⁻¹.

Tabela 40 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para teor de nitrogênio na parte aérea (NPA) do feijoeiro, no estágio fenológico R6 (florescimento pleno), conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	NPA (g kg ⁻¹)			NPA (g kg ⁻¹)		
Sem Azo	27,86aA ^{***}	26,91aA ³	26,17abA ³	24,35aB ³	25,85aB ³	27,83aA
Azo semente	28,08aAB ³	26,37aB ³	28,61aA	24,74aA ³	25,20aA ³	24,90bA ³
Azo sulco	28,12aA ³	26,76aAB ³	25,87bB ³	24,64aA ³	25,59aA ³	24,87bA ³
Azo foliar	26,43aA ³	27,31aA ³	28,09abA ³	24,22aB ³	26,76aA	24,05bB ³
d.m.s.***		2,83			2,45	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		-			25,52	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		-			26,34	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		31,18			28,84	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Quanto ao índice Spad, avaliado no estágio fenológico R6 do feijoeiro-comum, não houve efeito dos fatores em questão e nem diferença em relação aos controles nitrogenados nos exps. 1 e 2 (Tabela 41). No exp. 3, foi observada interação significativa entre os fatores para o índice Spad, na qual as combinações sem Rhizo + Azo sulco, Rhizo semente + Azo sulco e Rhizo sulco + sem Azo proporcionaram os menores valores, 36,1, 36,9 e 36,8, respectivamente (Tabelas 41 e 42). Apenas os tratamentos Rhizo semente + Azo sulco, Rhizo sulco + sem Azo e Rhizo sulco + Azo sulco não diferiram de nenhum dos controles com N mineral (Tabela 42).

Tabela 41 – Índice Spad no estágio fenológico R6 (florescimento pleno) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Tratamento	SPAD		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
Inoculação com <i>Rhizobium</i> (R)*			
Sem Rhizo	31,4	40,2	38,5a***
Rhizo semente	31,8	40,1	37,8b
Rhizo sulco	32,3	40,4	37,7b
Inoculação com <i>Azospirillum</i> (A)			
Sem Azo	31,9	40,0	38,0a ¹
Azo semente	31,6	39,9	38,5a ¹
Azo sulco	31,9	40,4	36,7b
Azo foliar	32,0	40,6	38,6a ¹
Fonte de variação	<i>P > F</i>		
R	0,197	0,810	0,004
A	0,915	0,463	<0,001
R x A	0,637	0,603	<0,001
CV (%)	4,4	3,1	1,7
d.m.s.***	3,01	2,64	1,54
Controle 40 kg ha ⁻¹ N	-	38,8	36,4
Controle 80 kg ha ⁻¹ N	-	39,7	37,5
Controle 120 kg ha ⁻¹ N	33,5	39,6	38,0

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* $2,5 \times 10^6$ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* $5,0 \times 10^6$ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* $2,5 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Para teor de N na folha diagnóstica do feijoeiro, foi observada interação significativa entre os fatores no exp. 2; na qual Rhizo semente + Azo semente proporcionou o maior valor, 27,15 g kg⁻¹; no entanto, mesmo esse tratamento diferiu negativamente do controle com 120 kg ha⁻¹ de N (Tabelas 43 e 44). No exp. 2, todos os tratamentos proporcionaram redução no teor de N na folha diagnóstica do feijão-comum, quando comparados ao controle com N mineral; já no exp. 3, apenas o Azo semente foi diferente estatisticamente dos controles com aplicação de 40 e 80 kg ha⁻¹ de N (Tabela 43).

Tabela 42 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para índice Spad do feijoeiro, no estágio fenológico R6 (florescimento pleno), conduzido em condições de campo, durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *		
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	SPAD		
Sem Azo	39,5aA** ^{1 2 3}	37,9abB ¹	36,8cB
Azo semente	39,4aA ^{1 2}	38,1abB ¹	38,2abB ¹
Azo sulco	36,1bB ³	36,9bAB	37,2bcA
Azo foliar	39,0aA ^{1 2}	38,2aA ¹	38,7aA ¹
d.m.s.***		1,54	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		36,4	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		37,5	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		38,0	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* $2,5 \times 10^6$ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* $5,0 \times 10^6$ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* $2,5 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Quanto ao teor foliar de P, foi observado efeito isolado dos fatores estudados nos exps. 1 e 3 (Tabela 43). No exp. 1, Rhizo sulco reduziu o teor de P na folha diagnóstica e no exp. 3 Azo sulco proporcionou o maior teor, 3,97 g kg⁻¹ de P. Apenas a aplicação de Azo semente, no exp. 3, ocasionou redução no teor foliar de P quando comparado a um dos controles com fertilizante nitrogenado (80 kg ha⁻¹).

Em relação ao K na folha diagnóstica do feijoeiro-comum, nos três experimentos houve diferença dos tratamentos em relação a um ou mais controles com aplicação de N mineral (Tabela 43). Além disso, no exp. 3 foi observada interação significativa entre os fatores para essa variável, na qual o Rhizo sulco + Azo semente se destacou positivamente, com 50,04 g kg⁻¹ de K; sendo um dos poucos tratamentos a não se diferenciar dos controles com fertilizante nitrogenado (Tabela 44).

Tabela 43 – Teor de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na folha diagnóstica, coletada em R6 (florescimento pleno), do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Tratamento	N			P			K		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
	g kg ⁻¹			g kg ⁻¹			g kg ⁻¹		
Inoculação com <i>Rhizobium</i> (R)*									
Sem Rhizo	41,66a**	25,14 ³	47,32	3,45a	1,98	3,75	21,19	19,27 ³	46,11 ²
Rhizo semente	39,26b ³	25,84 ³	48,45	3,38a	2,10	3,75	21,33	19,39 ³	45,16 ^{2 3}
Rhizo sulco	40,06ab ³	25,58 ³	49,65	3,17b	2,03	3,98	21,27	19,58 ³	46,98 ²
Inoculação com <i>Azospirillum</i> (A)									
Sem Azo	40,57 ³	25,76 ³	47,59ab	3,35	2,01	3,84ab	20,89 ³	19,25 ³	45,94ab ^{2 3}
Azo semente	39,92 ³	25,82 ³	46,14b ^{1 2}	3,32	2,06	3,59b ²	22,02	19,82 ³	48,09a
Azo sulco	40,83 ³	25,26 ³	49,79a	3,37	2,01	3,97a	20,93 ³	19,35 ³	45,34b ^{2 3}
Azo foliar	39,99 ³	25,24 ³	50,39a	3,28	2,06	3,90ab	21,20	19,23 ³	44,95b ^{2 3}
Fonte de variação	<i>P > F</i>								
R	0,039	0,215	0,083	0,002	0,070	0,051	0,955	0,773	0,055
A	0,785	0,415	0,003	0,752	0,688	0,018	0,132	0,609	0,003
R x A	0,751	0,038	0,426	0,245	0,287	0,466	0,255	0,097	<0,001
CV (%)	6,4	4,3	5,9	6,3	7,4	7,6	6,0	6,3	4,5
d.m.s.***	5,35	2,43	5,58	0,44	0,32	0,68	2,85	2,67	4,26
Controle 40 kg ha ⁻¹ N	-	24,90	52,08	-	1,82	4,26	-	20,15	48,20
Controle 80 kg ha ⁻¹ N	-	26,40	52,38	-	1,95	4,28	-	20,84	51,65
Controle 120 kg ha ⁻¹ N	46,68	31,31	50,23	3,47	2,23	4,05	24,02	22,58	50,27

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett (*P* ≤ 0,05).

Tabela 44 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para teor de nitrogênio (N) e potássio (K) na folha diagnóstica, coletada em R6 (florescimento pleno), do feijoeiro, conduzido em condições de campo, durante os períodos de agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	N (g kg ⁻¹)			K (g kg ⁻¹)		
Sem Azo	25,32aA ^{***}	26,50abA ³	25,45aA ³	48,60aA	45,65aAB ^{2 3}	43,57bB ^{1 2 3}
Azo semente	25,23aB ³	27,15aA ³	25,10aB ³	48,47aAB	45,77aB ^{2 3}	50,04aA
Azo sulco	24,48aA ³	25,03bA ³	26,27aA ³	42,69bB ^{1 2 3}	46,42aA ²	46,92abA ²
Azo foliar	25,55aA ³	24,67bA ³	25,49aA ³	44,68abAB ^{2 3}	42,78aB ^{1 2 3}	47,39abA ²
d.m.s.***		2,43			4,26	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		24,90			48,20	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		26,40			51,65	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		31,31			50,27	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett (P≤0,05).

Para teor de Ca na folha diagnóstica do feijoeiro, foi observada interação significativa entre os fatores nos exps. 2 e 3 (Tabela 45). No exp. 2, os tratamentos sem Rhizo + sem Azo, Rhizo semente + sem Azo e Rhizo semente + Azo semente se destacaram positivamente; porém, apenas o Rhizo semente + Azo semente foi diferente estatisticamente de um dos controles com N mineral (80 kg ha⁻¹). Já no exp. 3, o sem Rhizo + sem Azo proporcionou o maior teor foliar de Ca, 10,87 g kg⁻¹, maior que o do controle com aplicação de 40 kg ha⁻¹ de N (Tabela 46). No que diz respeito aos teores foliares de Ca no exp. 1, Mg nos três experimentos e S nos exps. 2 e 3 não foi observado efeito dos fatores em questão e nem diferença em relação aos controles com fertilizante nitrogenado (Tabela 45). Quanto ao teor de S na folha diagnóstica do feijão-comum no exp. 1, houve efeito do fator inoculação com *Rhizobium*, na qual o Rhizo sulco se destacou negativamente.

Tabela 45 – Teor de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na folha diagnóstica, coletada em R6 (florescimento pleno), do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Tratamento	Ca			Mg			S		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
	g kg ⁻¹			g kg ⁻¹			g kg ⁻¹		
Inoculação com <i>Rhizobium</i> (R)*									
Sem Rhizo	12,85**	13,36	9,91a	2,56	1,95	3,45	2,04a	1,61	1,67
Rhizo semente	12,74	13,83	8,75b	2,52	2,01	3,41	1,91ab	1,55	1,80
Rhizo sulco	12,18	12,91	8,55b	2,43	1,99	3,50	1,88b	1,50	1,74
Inoculação com <i>Azospirillum</i> (A)									
Sem Azo	12,15	13,55	9,24	2,58	2,06	3,59	1,91	1,56	1,68
Azo semente	12,72	13,54	9,16	2,49	2,05	3,55	1,87	1,58	1,76
Azo sulco	13,21	13,15	9,07	2,43	1,93	3,27	2,02	1,56	1,75
Azo foliar	12,29	13,23	8,83	2,51	1,89	3,41	1,97	1,51	1,75
Fonte de variação	<i>P</i> > <i>F</i>								
R	0,218	0,055	<0,001	0,566	0,874	0,699	0,029	0,519	0,179
A	0,115	0,695	0,756	0,814	0,567	0,068	0,177	0,910	0,701
R x A	0,066	0,043	0,033	0,324	0,476	0,456	0,918	0,800	0,080
CV (%)	9,0	7,7	10,8	14,6	17,9	9,1	8,6	16,7	10,9
d.m.s.***	2,40	2,17	2,23	0,76	0,68	0,72	0,35	0,60	0,40
Controle 40 kg ha ⁻¹ N	-	13,23	8,18	-	1,60	3,07	-	1,65	1,96
Controle 80 kg ha ⁻¹ N	-	12,12	8,89	-	1,85	3,20	-	2,01	1,75
Controle 120 kg ha ⁻¹ N	12,85	13,15	9,75	3,12	2,54	3,40	2,17	1,56	1,70

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* $2,5 \times 10^6$ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* $5,0 \times 10^6$ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* $2,5 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Tabela 46 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para teor de cálcio (Ca) na folha diagnóstica, coletada em R6 (florescimento pleno), do feijoeiro, conduzido em condições de campo, durante os períodos de agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	Ca (g kg ⁻¹)			Ca (g kg ⁻¹)		
Sem Azo	14,18aA**	14,18abA	12,29aB	10,87aA ¹	8,99aB	7,85aB
Azo semente	12,53aB	14,87aA ²	13,23aAB	9,84abA	8,40aA	9,23aA
Azo sulco	13,15aA	13,41abA	12,89aA	8,93bA	9,01aA	9,27aA
Azo foliar	13,60aA	12,87bA	13,23aA	9,99abA	8,63aAB	7,86aB
d.m.s.***		2,17			2,23	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		13,23			8,18	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		12,12			8,89	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		13,15			9,75	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* $2,5 \times 10^6$ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* $5,0 \times 10^6$ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* $2,5 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1,2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Foi observada interação significativa entre os fatores para os teores foliares de Cu e Zn nos exps. 1 e 2 (Tabela 47). No exp. 1, os tratamentos sem Rhizo + Azo sulco e sem Rhizo + Azo semente proporcionaram os maiores teores de Cu e Zn, 8,72 e 33,46 mg kg⁻¹, respectivamente (Tabela 48). Já no exp. 2, o sem Rhizo + Azo sulco também proporcionou o maior teor de Cu na folha; no entanto, o Rhizo sulco + Azo sulco se destacou quanto ao teor foliar de Zn do feijoeiro (Tabela 49). No exp. 3, foi observado efeito do fator inoculação com *Azospirillum*, onde a aplicação do microrganismo na semente prejudicou o teor de Cu na folha diagnóstica (Tabela 47). Tanto para o teor foliar de Cu, quanto de Zn, no exp. 3, a aplicação de N mineral resultou em incrementos (Tabela 47).

Tabela 47 – Teor de cobre (Cu) e zinco (Zn) na folha diagnóstica, coletada em R6 (florescimento pleno), do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Tratamento	Cu			Zn		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
	mg kg ⁻¹			mg kg ⁻¹		
Inoculação com <i>Rhizobium</i> (R)*						
Sem Rhizo	6,77a**	9,38a	9,04 ¹	30,78a	22,46b ¹²	36,89 ^{1 2 3}
Rhizo semente	5,58b	7,47b	8,63 ^{1 2}	28,44b	23,51b	38,53 ^{1 2 3}
Rhizo sulco	6,88a	8,35ab	8,66 ^{1 2}	28,11b	26,67a	37,93 ^{1 2 3}
Inoculação com <i>Azospirillum</i> (A)						
Sem Azo	5,79b	7,01b	9,35a	27,68	22,23b ¹²	38,83 ^{1 2 3}
Azo semente	6,35b	7,88ab	8,35b ^{1 2}	29,89	24,77ab	36,69 ^{1 2 3}
Azo sulco	7,56a ³	9,59a	8,95ab ¹	29,47	24,05ab	38,58 ^{1 2 3}
Azo foliar	5,93b	9,11a	8,46ab ^{1 2}	29,41	25,79a	37,04 ^{1 2 3}
Fonte de variação	<i>P > F</i>					
R	<0,001	0,012	0,381	0,003	<0,001	0,167
A	<0,001	0,003	0,038	0,082	0,006	0,087
R x A	0,002	0,002	0,195	0,006	<0,001	0,529
CV (%)	13,3	20,2	10,3	7,5	9,7	6,4
d.m.s.***	1,78	3,43	2,21	4,73	5,72	4,96
Controle 40 kg ha ⁻¹ N	-	6,21	11,40	-	28,43	48,90
Controle 80 kg ha ⁻¹ N	-	6,63	11,10	-	28,86	48,49
Controle 120 kg ha ⁻¹ N	5,37	8,72	9,75	31,10	27,14	44,85

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Tabela 48 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para teor de cobre (Cu) e zinco (Zn) na folha diagnóstica, coletada em R6 (florescimento pleno), do feijoeiro, conduzido em condições de campo, durante o período de março a julho (exp. 1) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	Cu (mg kg ⁻¹)			Zn (mg kg ⁻¹)		
Sem Azo	5,37bA**	6,21abA	5,79aA	29,47aA	28,15aAB	25,41bB ³
Azo semente	6,77bA	4,95bcB	7,32aA ³	33,46aA	29,37aB	26,83bB
Azo sulco	8,72aA ³	6,63aB	7,34aAB ³	29,37aAB	27,37aB	31,66aA
Azo foliar	6,21bA	4,53cB	7,05aA	30,79aA	28,86aA	28,56abA
d.m.s.***		1,78			4,73	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		-			-	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		-			-	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		5,37			31,10	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Tabela 49 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para teor de cobre (Cu) e zinco (Zn) na folha diagnóstica, coletada em R6 (florescimento pleno), do feijoeiro, conduzido em condições de campo, durante o período de agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	Cu (mg kg ⁻¹)			Zn (mg kg ⁻¹)		
Sem Azo	8,72abA**	4,43cB	7,88aA	20,94bA ^{1 2 3}	23,30aA	22,46bA ^{1 2}
Azo semente	7,88bA	6,77bcA	9,00aA	23,61abA	24,14aA	26,58bA
Azo sulco	11,76aA ^{1 2}	7,88abB	9,14aAB	19,21bB ^{1 2 3}	21,55aB ^{1 2}	31,40aA
Azo foliar	9,14abAB	10,82aA ^{1 2}	7,36aB	26,07aA	25,05aA	26,26bA
d.m.s.***		3,43			5,72	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		6,21			28,43	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		6,63			28,86	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		8,72			27,14	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Quanto ao teor foliar de Mn, houve efeito do fator inoculação com *Rhizobium* no exp. 1, na qual a aplicação da bactéria simbiótica no sulco de semeadura prejudicou a variável (Tabela 50). Já nos exps. 2 e 3, foi observada interação significativa entre os fatores para o teor de Mn na folha diagnóstica, na qual os tratamentos Rhizo sulco + Azo sulco e sem Rhizo + Azo semente proporcionaram os maiores valores, 79,20 e 98,68 mg kg⁻¹, nos exps. 2 e 3, respectivamente (Tabelas 51 e 52).

Tabela 50 – Teor de manganês (Mn) e ferro (Fe) na folha diagnóstica, coletada em R6 (florescimento pleno), do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Tratamento	Mn			Fe		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
	mg kg ⁻¹			mg kg ⁻¹		
Inoculação com <i>Rhizobium</i> (R)*						
Sem Rhizo	78,0a**	57,18b	79,43	200,12b	243,06b	83,90
Rhizo semente	71,75ab	65,07ab	77,73	208,36b	283,32ab	85,78
Rhizo sulco	68,69b	69,41a ¹	80,28	229,13a	294,57a	82,80
Inoculação com <i>Azospirillum</i> (A)						
Sem Azo	69,28	66,12	84,19a	215,41	257,53	88,36
Azo semente	73,31	64,92	85,47a	210,24	282,42	84,88
Azo sulco	77,80	65,17	70,14b	215,41	274,40	83,91
Azo foliar	70,86	59,34	76,79ab	209,08	280,24	79,50
Fonte de variação	<i>P > F</i>					
R	0,040	0,006	0,655	<0,001	0,009	0,634
A	0,199	0,366	<0,001	0,724	0,557	0,129
R x A	0,056	0,006	<0,001	0,125	0,002	0,079
CV (%)	13,8	15,9	10,0	8,2	17,0	10,5
d.m.s.**	21,27	20,64	18,90	35,49	90,80	19,49
Controle 40 kg ha ⁻¹ N	-	46,75	71,16	-	242,11	84,92
Controle 80 kg ha ⁻¹ N	-	63,96	87,92	-	243,50	90,83
Controle 120 kg ha ⁻¹ N	69,48	63,96	87,63	194,66	325,11	91,65

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1,2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett (*P* ≤ 0,05).

No exp. 2, os tratamentos Rhizo semente + sem Azo, Rhizo semente + Azo foliar, Rhizo sulco + sem Azo, Rhizo sulco + Azo semente e Rhizo sulco + Azo sulco se destacaram positivamente em relação ao controle com 40 kg ha⁻¹ de N (Tabela 51). Já no exp. 3, o sem Rhizo + Azo semente e Rhizo sulco + Azo foliar foram os

tratamentos que incrementaram o teor foliar de Mn em relação ao controle com menor dose de N (Tabela 52).

A aplicação de *Rhizobium* no sulco de semeadura, no exp. 1, proporcionou incremento no teor foliar de Fe (Tabela 50). Houve interação significativa entre os fatores para essa variável no exp. 2, na qual, a combinação sem Rhizo + Azo foliar reduziu drasticamente o teor de Fe na folha diagnóstica (Tabela 51). O Rhizo semente + Azo foliar proporcionou incremento no teor de Fe na folha diagnóstica do feijoeiro quando comparado aos controles com 40 e 80 kg ha⁻¹ de N. Não foi observado efeito nem dos tratamentos com microrganismos e nem da aplicação de N mineral para o teor foliar de Fe no exp. 3 (Tabela 50).

Tabela 51 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para teor de manganês (Mn) e ferro (Fe) na folha diagnóstica, coletada em R6 (florescimento pleno), do feijoeiro, conduzido em condições de campo, durante o período de agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	Mn (mg kg ⁻¹)			Fe (mg kg ⁻¹)		
Sem Azo	50,50aB**	70,81aA ¹	77,04aA ¹	273,29aA	216,70bA ³	282,62aA
Azo semente	64,41aA	60,65aA	69,70abA ¹	241,72abB	323,92aA	281,63aAB
Azo sulco	56,75aB	59,55aB	79,20aA ¹	273,88aA	253,23abA	296,07aA
Azo foliar	57,05aA	69,26aA ¹	51,71bA	183,34bB ³	339,41aA ^{1 2}	317,97aA
d.m.s.***		20,64			90,80	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		46,75			242,11	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		63,96			243,50	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		63,96			325,11	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

De maneira geral, os teores foliares de macro e micronutrientes do feijão-comum, observados nos três experimentos, estão de acordo com aqueles descritos por Ambrosano et al. (1997) como dentro das faixas adequadas para a cultura (Tabelas 43 a 52). Para alguns nutrientes, especialmente no exp. 2, pode-se verificar que alguns dos teores foram um pouco mais baixos do que os valores de referência, mas é válido ressaltar que em condições de campo nenhuma deficiência foi visualizada e, talvez,

isso possa ser uma questão de “diluição” dos teores devido ao crescimento e desenvolvimento pronunciados das plantas, fato que pode ser comprovado pelos altos valores de MSPA e MSR (Tabelas 37, 38, 53, 54 e 55) , e que foi refletido lá na frente em termos de produtividade de grãos nos três experimentos (Tabelas 67 e 68).

Tabela 52 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para teor de manganês (Mn) na folha diagnóstica, coletada em R6 (florescimento pleno), do feijoeiro, conduzido em condições de campo, durante o período de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *		
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	Mn (mg kg ⁻¹)		
Sem Azo	85,31aA**	84,26aA	82,99aA
Azo semente	98,68aA ¹	76,57aB	81,16abB
Azo sulco	70,12bA	73,68aA	66,62bA ^{2 3}
Azo foliar	63,61bB ^{2 3}	76,42aB	90,34aA ¹
d.m.s.**		18,90	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		71,16	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		87,92	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		87,63	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Não houve efeito dos fatores estudados e nem diferença em relação ao controle com aplicação de N para MSPA do feijão-comum no estágio fenológico R8, no exp. 1 (Tabela 53). Houve interação significativa entre os fatores para MSPA em R8 nos exps. 2 e 3 (Tabela 53). O tratamento sem Rhizo + sem Azo resultou em menor MSPA no exp.2, 15,88 g planta⁻¹, valor menor também que aqueles observados nos controles com aplicação de N mineral (Tabela 54). No exp. 3, o Rhizo sulco + Azo semente proporcionou o maior resultado em termos de MSPA do feijão em R8, 25,45 g planta⁻¹, e foi o único tratamento a não se diferenciar de nenhum dos controles com N (Tabela 54).

Houve interação significativa entre os fatores para MSR em R8 nos exps. 1 e 3 (Tabela 53). No exp.1, o tratamento que se destacou negativamente foi sem Rhizo + Azo sulco; porém, nenhum dos tratamentos foi diferente do controle nitrogenado (Tabela 55).

Tabela 53 – Matéria seca de parte aérea (MSPA) e raízes (MSR) no estádio fenológico R8 (formação de grãos e enchimento de vagens) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Tratamento	MSPA			MSR		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
	g planta ⁻¹			g planta ⁻¹		
Inoculação com <i>Rhizobium</i> (R)*						
Sem Rhizo	24,87	20,80 ³	20,03 ^{1 2 3}	1,090b	1,282 ^{1 3}	1,343ab
Rhizo semente	27,71	20,94 ³	20,67 ^{1 2 3}	1,283a	1,346 ¹	1,383a
Rhizo sulco	25,72	21,78 ³	20,63 ^{1 2 3}	1,232ab	1,453	1,232b ²
Inoculação com <i>Azospirillum</i> (A)						
Sem Azo	26,23	20,66 ³	19,78b ^{**1 2} ₃	1,205	1,325 ^{1 3}	1,429a
Azo semente	25,54	22,75 ³	22,16a ^{2 3}	1,167	1,453	1,373a
Azo sulco	27,50	21,82 ³	20,29ab ^{1 2 3}	1,176	1,410	1,131b ^{1 2}
Azo foliar	25,15	19,45 ³	19,53b ^{1 2 3}	1,259	1,253 ^{1 2 3}	1,344a
Fonte de variação	<i>P > F</i>					
R	0,114	0,758	0,596	0,018	0,084	0,021
A	0,465	0,226	0,010	0,622	0,114	<0,001
R x A	0,105	0,017	<0,001	0,019	0,066	<0,001
CV (%)	14,7	19,0	9,6	15,6	15,6	11,4
d.m.s.***	8,81	8,22	4,35	0,41	0,49	0,32
Controle 40 kg ha ⁻¹ N	-	25,11	26,33	-	1,872	1,508
Controle 80 kg ha ⁻¹ N	-	26,96	27,46	-	1,751	1,574
Controle 120 kg ha ⁻¹ N	26,03	31,35	29,78	1,191	1,819	1,203

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1,2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett (*P* ≤ 0,05).

No exp. 3, o sem Rhizo + Azo sulco também resultou na menor MSR observada, 0,851 g planta⁻¹, sendo o único tratamento a se diferenciar negativamente dos três controles com aplicação de N mineral (Tabela 55). No exp. 2 não houve efeito dos fatores estudados para MSR do feijão-comum em R8, mas alguns tratamentos ocasionaram redução nessa variável em relação aos controles com N, Rhizo semente em relação ao controle com 40 kg ha⁻¹ de N, sem Rhizo e sem Azo em comparação com os controles com 40 e 120 kg ha⁻¹ de N e Azo foliar foi menor que os três controles nitrogenados (Tabela 53).

Tabela 54 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para matéria seca de parte aérea (MSPA) do feijoeiro, no estágio fenológico R8 (formação de grãos e enchimento de vagens), conduzido em condições de campo, durante os períodos de agosto a dezembro de 2019 (exp. 2), em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	MSPA (g planta ⁻¹)			MSPA (g planta ⁻¹)		
Sem Azo	15,88bB** ^{1 2 3}	22,76aAB ³	23,35abA	21,34aA ^{1 2 3}	20,72aA ^{1 2 3}	17,29bB ^{1 2 3}
Azo semente	23,49abAB	18,87aB ³	25,89aA	20,06aB ^{1 2 3}	20,98aB ^{1 2 3}	25,45aA
Azo sulco	24,13aA	20,72aA ³	20,63abA ³	18,27aB ^{1 2 3}	22,22aA ^{2 3}	20,38bAB ^{1 2 3}
Azo foliar	19,70abA ³	21,39aA ³	17,25bA ^{2 3}	20,47aA ^{1 2 3}	18,75aA ^{1 2 3}	19,38bA ^{1 2 3}
d.m.s.**		8,22			4,35	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		25,11			26,33	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		26,96			27,46	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		31,35			29,78	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Tabela 55 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para matéria seca de raízes (MSR) do feijoeiro, no estágio fenológico R8 (formação de grãos e enchimento de vagens), conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho de 2019 (exp. 1), em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	MSR (g planta ⁻¹)			MSR (g planta ⁻¹)		
Sem Azo	1,213aA**	1,224aA	1,178aA	1,660aA ³	1,359abB	1,269aB
Azo semente	1,205aA	1,200aA	1,095aA	1,353bAB	1,589aA ³	1,176aB ^{1 2}
Azo sulco	0,819bB	1,413aA	1,295aA	0,851cB ^{1 2 3}	1,389abA	1,153aA ^{1 2}
Azo foliar	1,122abA	1,294aA	1,361aA	1,509abA	1,194bB ²	1,330aAB
d.m.s.**		0,41			0,32	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		-			1,508	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		-			1,574	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		1,191			1,203	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Houve interação significativa entre os fatores estudados para NPA, nos exp. 1 e 2, e para NAPA, nos exps. 2 e 3, no estágio fenológico R8 (Tabela 56). No exp.1, os tratamentos Rhizo semente + Azo sulco e Rhizo sulco + Azo semente resultaram em redução do NPA (Tabela 57). No exp. 2, Rhizo semente + Azo sulco proporcionou o maior NPA, 20,18 g kg⁻¹; já em relação ao NAPA, o sem Rhizo + sem Azo se destacou negativamente (Tabelas 57 e 58). Os tratamentos Rhizo semente + Azo semente e Rhizo sulco + Azo semente proporcionaram os maiores valores de NAPA do feijoeiro no exp. 3 (Tabela 58). Não foi observado efeito dos fatores em questão para NPA, no exp. 3, e nem para NAPA, no exp. 1 (Tabela 56).

Tabela 56 – Teor de nitrogênio na parte aérea (NPA) e nitrogênio acumulado na parte aérea (NAPA) no estágio fenológico R8 (formação de grãos e enchimento de vagens) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Tratamento	NPA			NAPA		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
	g kg ⁻¹			kg ha ⁻¹		
Inoculação com <i>Rhizobium</i> (R)*						
Sem Rhizo	19,60 ³	19,09	24,51	93,6	114,0 ³	117,5 ^{2 3}
Rhizo semente	19,99	19,13	24,65	103,6	114,6 ³	118,6 ^{2 3}
Rhizo sulco	19,72 ³	18,64	23,83	99,5	112,8 ³	114,3 ^{1 2 3}
Inoculação com <i>Azospirillum</i> (A)						
Sem Azo	19,64 ³	19,19	25,50	94,6	112,8 ³	119,7ab ^{2 3}
Azo semente	19,53 ³	18,97	24,64	99,3	120,8 ³	126,0a ^{2 3}
Azo sulco	19,70 ³	18,99	23,39 ³	103,5	118,2 ³	111,5ab ^{1 2 3}
Azo foliar	20,20	18,67	23,79	98,1	103,4 ^{2 3}	110,1b ^{1 2 3}
Fonte de variação	P > F					
R	0,574	0,366	0,472	0,375	0,968	0,657
A	0,416	0,694	0,064	0,751	0,197	0,025
R x A	0,018	0,041	0,173	0,555	0,004	0,003
CV (%)	5,3	5,6	8,2	20,1	18,3	11,8
d.m.s.***	2,21	2,64	4,38	42,22	42,00	36,88
Controle 40 kg ha ⁻¹ N	-	17,48	25,00	-	117,23	152,68
Controle 80 kg ha ⁻¹ N	-	19,34	26,66	-	151,99	171,03
Controle 120 kg ha ⁻¹ N	22,20	19,76	27,87	99,42	168,84	199,77

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett (P ≤ 0,05).

Tabela 57 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para teor de nitrogênio na parte aérea (NPA) do feijoeiro, no estágio fenológico R8 (formação de grãos e enchimento de vagens), conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	NPA (g kg ⁻¹)			NPA (g kg ⁻¹)		
Sem Azo	19,30aA** ³	20,47abA	19,14aA ³	19,73aA	19,37aA	18,49aA
Azo semente	19,27aAB ³	20,57aA	18,75aB ³	19,53aA	18,72aA	18,65aA
Azo sulco	20,15aAB	18,55bB ³	20,41aA	18,85aAB	20,18aA ¹	17,94aB
Azo foliar	19,69aA ³	20,34abA	20,57aA	18,26aA	18,26aA	19,50aA
d.m.s.**		2,21			2,64	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		-			17,48	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		-			19,34	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		22,20			19,76	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Tabela 58 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para nitrogênio acumulado na parte aérea (NAPA) do feijoeiro, no estágio fenológico R8 (formação de grãos e enchimento de vagens), conduzido em condições de campo, durante os períodos de agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	NAPA (g kg ⁻¹)			NAPA (g kg ⁻¹)		
Sem Azo	91,2bB ^{2 3}	129,6aA	117,5aAB ³	130,7aA ^{2 3}	120,3abA ^{2 3}	108,0abA ^{1 2 3}
Azo semente	133,2aA	93,1aB ^{2 3}	136,1aA	110,8abA ^{1 2 3}	133,3aA ^{2 3}	133,9aA ^{2 3}
Azo sulco	131,4aA	123,5aA ³	99,8aA ^{2 3}	102,8bA ^{1 2 3}	122,6abA ^{2 3}	108,9abA ^{1 2 3}
Azo foliar	100,3abA ^{2 3}	112,2aA ³	97,6aA ^{2 3}	125,6abA ^{2 3}	98,2bB ^{1 2 3}	106,3bAB ^{1 2 3}
d.m.s.**		42,00			36,88	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		117,23			152,68	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		151,99			171,03	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		168,84			199,77	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

A aplicação de fertilizante nitrogenado proporcionou incrementos em termos de MSPA, MSR, NPA e NAPA, isso porque o elemento está diretamente relacionado ao crescimento e desenvolvimento vegetal. Como já mencionado, o N é o elemento requerido em maior quantidade pelas plantas e, geralmente, o nutriente mais limitante para a produtividade das culturas (HOLLAND et al., 2018), uma vez que desempenha diversas funções na planta. O N faz parte do triptofano, aminoácido aromático precursor das auxinas, e também é requerido para a síntese e transporte de citocininas, que são responsáveis, juntamente com a giberelina, pela multiplicação, diferenciação e alongamento celular. O nutriente ainda participa dos processos de absorção iônica, fotossíntese e respiração e estimula o crescimento de raízes, dentre outras funções (FAGAN, 2011; TAIZ et al., 2017), demonstrando assim que a deficiência de N pode causar sérios prejuízos.

O crescimento radicular foi estimulado pelo N nos três experimentos, conforme os dados apresentados e já discutidos no subitem 4.2; o que está diretamente relacionado com a maior MSR observada nos controles com N, principalmente nos estádios fenológicos R6 e R8. Com o maior desenvolvimento radicular, conseqüentemente, há possibilidade de maior absorção de água e nutrientes, incluindo o N, por isso o maior NPA observado; o que refletirá em maior desenvolvimento da parte aérea, resultando nos incrementos em termos de MSPA obtidos. O NAPA é calculado com base nos parâmetros NPA, MSPA e população final de plantas (PF). Não foram observadas diferenças significativas quanto a PF entre os tratamentos, mas os resultados obtidos para NPA e MSPA refletiram diretamente no NAPA.

O N é nutriente chave para aumentar o índice de área foliar e, conseqüentemente, as taxas de fotossíntese, promovendo assim maior acúmulo de matéria seca pelas plantas (MARSCHNER, 2012). Soratto, Carvalho e Arf (2006), Crusciol et al. (2007) e Soratto et al. (2017) relataram aumento linear na biomassa de matéria seca do feijoeiro com aumento nas doses de N. A adubação nitrogenada aumenta a disponibilidade do nutriente no solo e, assim, a absorção deste pelo sistema radicular é maior, resultando em incrementos no teor de N na parte aérea do feijoeiro comum. Souza, Soratto e Pagani (2011) observaram que com o acréscimo das doses de N em cobertura houve aumento na MSPA, NPA e NAPA do feijoeiro.

4.4 Abundância relativa de ureídos na parte aérea

Houve interação significativa entre os fatores para abundância relativa de ureídos (ARU) na parte aérea do feijão-comum em todos os estádios fenológicos avaliados (V4, R6 e R8), nos três experimentos conduzidos (Tabela 59). No exp. 1, no estádio V4, o Rhizo semente + Azo sulco se destacou com a maior porcentagem de ARU, 28,3% (Tabela 60). Já em R6 e R8, Rhizo semente + Sem Azo proporcionou os maiores valores, 29,6 e 32,8%, respectivamente (Tabela 60). No estádio R6, o tratamento Sem Rhizo + Azo foliar também se destacou com 29,8%, quanto a ARU. Em relação ao controle com N, alguns tratamentos foram distintos e outros não, mas sem um padrão que ficasse muito claro. Em V4, isso pode ter ocorrido devido ao fato de que na época da avaliação havia sido aplicado apenas 40 kg ha⁻¹; o restante, 80 kg ha⁻¹, foi aplicado em cobertura após essa coleta (Tabela 60). No entanto, em R6 e R8, era esperado que praticamente todos os tratamentos fossem diferentes do controle com N, o que não ocorreu, talvez em decorrência da planticidade e prosmicuidade do feijoeiro-comum.

Já no exp. 2, no estádio V4, o Rhizo sulco + Sem Azo proporcionou um valor um pouco maior, em termos de ARU, em relação aos demais tratamentos; no entanto, é possível verificar que a FBN ainda estava começando, uma vez que os valores de ARU foram bem baixos (Tabela 61). Com relação ao tratamento com aplicação de N mineral, apenas Sem Rhizo + Azo sulco e Rhizo sulco + Azo sulco não foram diferentes estatisticamente. No estádio fenológico R6, Sem Rhizo + Azo foliar se destacou quanto a ARU, com 31,0% (Tabela 61). Em R8, as duas modalidades de inoculação de *Rhizobium* (Rhizo semente e Rhizo sulco), sem a adição de *Azospirillum*, proporcionaram os maiores valores de ARU, 26,3 e 26,5%, respectivamente (Tabela 61). Todos os tratamentos diferiram de pelo menos um dos controles com N, mas na grande maioria foram diferentes de dois ou mais dos controles com N mineral, demonstrando mais uma vez, o quanto a aplicação de N acaba por prejudicar a nodulação e, conseqüentemente, a FBN.

No exp. 3, o Rhizo sulco + Sem Azo e Rhizo Sulco + Azo semente proporcionaram os maiores valores em termos de ARU, quando comparados aos demais tratamentos, e sendo muito próximos entre eles, no estádio fenológico V4 (Tabela 62).

Tabela 59 – Abundância relativa de ureídos (ARU) nos estádios fenológicos V4 (terceiro trifólio completamente expandido), R6 (florescimento pleno) e R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Tratamento	V4			R6			R8		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
	%			%			%		
Inoculação com <i>Rhizobium</i> (R)*									
Sem Rhizo	24,4b	6,2b ³	15,8c	26,1	24,4b ²³	44,1b ¹²³	24,8b	22,5	33,6a
Rhizo semente	27,0a ³	6,6ab ³	20,9b	26,5	26,9a ²³	49,6a ¹²³	28,7a ³	21,5	35,7a ³
Rhizo sulco	24,5b	7,2a ³	25,5a ³	25,1	25,5ab ²³	48,5a ¹²³	24,1b	22,3	30,2b
Inoculação com <i>Azospirillum</i> (A)									
Sem Azo	24,8 ³	7,4a ³	19,7	26,9a ³	23,9b ²³	42,5c ¹²³	26,8	25,5a ³	36,7a ²³
Azo semente	25,5 ³	6,8a ³	21,1	24,1b	25,4b ²³	46,3b ¹²³	24,0	21,4b	35,0a ³
Azo sulco	25,5 ³	5,9b	21,3	26,3ab	25,0b ²³	52,6a ¹²³	26,4	21,4b	30,6b
Azo foliar***	-	-	-	26,2ab	28,2a ²³	48,1b ¹²³	26,4	20,0b	30,4b
Fonte de variação	<i>P > F</i>								
R	<0,001	0,019	<0,001	0,210	0,012	<0,001	<0,001	0,542	<0,001
A	0,286	<0,001	0,216	0,021	<0,001	<0,001	0,051	<0,001	<0,001
R x A	<0,001	0,026	0,038	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,034
CV (%)	5,2	12,0	11,3	8,4	8,8	5,6	10,0	12,4	9,1
d.m.s.****	2,97	1,60	4,69	4,82	5,07	5,38	5,29	5,91	6,17
Controle 40 kg ha ⁻¹ N	-	-	-	-	23,7	23,3	-	22,8	32,3
Controle 80 kg ha ⁻¹ N	-	-	-	-	18,2	23,9	-	21,0	30,2
Controle 120 kg ha ⁻¹ N	21,7	4,5	20,2	22,00	14,5	18,8	22,6	17,7	27,5

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** Tratamento ainda não aplicado. **** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett (*P* ≤ 0,05).

Tabela 60 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para abundância relativa de ureídeos (ARU) do feijoeiro, nos estádios fenológicos V4 (terceiro trifólio completamente expandido), R6 (florescimento pleno) e R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens), conduzido em condições de campo, durante o período de março a julho de 2019 (exp. 1), em Botucatu, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *								
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	ARU (%) - V4			ARU (%) - R6			ARU (%) - R8		
Sem Azo	21,2bB	27,4abA ³	25,8aA ³	25,1bB	29,6aA ³	25,9aAB	23,3bB	32,8aA ³	24,2abB
Azo semente	25,7aA ³	25,3bA ³	25,6aA ³	20,8cB	26,1abA	25,5aA	23,6bAB	26,8bA	21,6bB
Azo sulco	26,3aA ³	28,3aA ³	22,1bB	28,6abA ³	25,5abA	24,9aA	28,7aA ³	27,7bA	22,8bB
Azo foliar***	-	-	-	29,8aA ³	24,7bB	24,3aB	23,8abA	27,4bA	27,9aA ³
d.m.s.****		2,97			4,82			5,29	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		-			-			-	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		-			-			-	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		21,7			22,00			22,6	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* $2,5 \times 10^6$ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* $5,0 \times 10^6$ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* $2,5 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** Tratamento ainda não aplicado. **** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Em R6, Rhizo semente + Azo sulco se destacou, com 57,4% (Tabela 62). Pode-se observar também, o quando a ARU foi maior nesse estágio em comparação aos outros experimentos, o que talvez possa ser explicado pelas condições distintas (tipo de solo, textura, temperatura média, histórico de cultivos da área, dentre outras) em que o exp. 3 foi instalado e conduzido. No estágio fenológico R8, o fornecimento dos dois gêneros de microrganismos (*Rhizobium* e *Azospirillum*) via sementes proporcionou o resultado mais pronunciado de ARU, 39,8% (Tabela 62). Todos os tratamentos diferiram de pelo menos um dos controles com N, mas quase todos foram diferentes de dois ou mais dos controles com N mineral.

Ao que tudo indica, a inoculação, especialmente com *Rhizobium*, proporcionou uma tendência de aumento da ARU em comparação aos tratamentos sem inoculação. Contudo, a aplicação de *Azospirillum* via sulco e via foliar, com ou sem *Rhizobium*, também proporcionou resultados interessantes. Como o feijoeiro-comum é uma espécie nativa das Américas, várias espécies de bactérias capazes de estabelecer simbiose e nodular as plantas do feijão também estão presentes em nossos solos, como: *R. leguminosarum* bv. *phaseoli* (JORDAN, 1984); *R. tropici* (MARTÍNEZ-ROMERO et al., 1991); *R. etli* bv. *phaseoli* (SEGOVIA; YOUNG; MARTÍNEZ-ROMERO, 1993); *R. gallicum* (bv. *gallicum* e bv. *phaseoli*); *R. giardinii* (bv. *giardinii* e bv. *phaseoli*) (AMARGER; MACHERET; LAGUERRE, 1997) e *R. leucaenae* (RIBEIRO et al., 2012). Porém, problemas relacionados à instabilidade genética de muitas espécies/estirpes de rizóbio podem causar perdas na eficiência ou na capacidade de nodulação (PEREIRA et al., 1984; PELEGRIN et al., 2009), o que refletiria diretamente em redução na concentração dos compostos provenientes da FBN, principalmente os ureídeos. O que acontece é que essas espécies competem por sítios de infecção com a(s) espécie(s) mais eficientes, mas acabam por “ocupar o lugar” e não serem eficientes em fixar o N₂ e disponibilizá-lo ao feijoeiro, ou seja, não conseguem fazer com que a demanda por N da cultura seja atendida. Uma série de estudos já realizados, demonstraram que estirpes de *R. tropici* são consideradas mais tolerantes a estresses e simbioticamente mais estáveis (MARTÍNEZ-ROMERO et al., 1991). Por isso, essa espécie é recomendada para produção de inoculantes comerciais para a cultura do feijão no Brasil (STRALIOTTO, 2002; BRITO; MURAOKA; SILVA, 2011), e por esse motivo, podemos verificar que quando houve inoculação do feijoeiro-comum com essa espécie de bactéria, houve também uma tendência no aumento da ARU, demonstrando sua maior eficiência.

Tabela 61 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para abundância relativa de ureídeos (ARU) do feijoeiro, nos estádios fenológicos V4 (terceiro trifólio completamente expandido), R6 (florescimento pleno) e R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens), conduzido em condições de campo, durante o período de agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil.

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *								
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	ARU (%) - V4			ARU (%) - R6			ARU (%) - R8		
Sem Azo	6,5aB ³	7,2aAB ³	8,5aA ³	21,6bB ³	26,5aA ^{2 3}	23,5bAB ^{2 3}	23,7aA ³	26,3aA ³	26,5aA ³
Azo semente	6,6aA ³	6,2aA ³	7,6aA ³	23,3bB ^{2 3}	27,9aA ^{2 3}	25,1abAB ^{2 3}	23,9aA ³	20,4bcA	19,8bcA
Azo sulco	5,6aA	6,5aA ³	5,6bA	21,8bB ³	27,6aA ^{2 3}	25,5abAB ^{2 3}	22,3aA	23,3abA	18,7cA
Azo foliar***	-	-	-	31,0aA ^{1 2 3}	25,6aB ^{2 3}	27,9aAB ^{2 3}	20,1aAB	15,8cB ¹	24,0abA ³
d.m.s. ****		1,60			5,07			5,91	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		-			23,7			22,8	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		-			18,2			21,0	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		4,5			14,5			17,7	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* $2,5 \times 10^6$ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* $5,0 \times 10^6$ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* $2,5 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** Tratamento ainda não aplicado. **** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Tabela 62 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para abundância relativa de ureídos (ARU) do feijoeiro, nos estádios fenológicos V4 (terceiro trifólio completamente expandido), R6 (florescimento pleno) e R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens), conduzido em condições de campo, durante o período de de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *								
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	ARU (%) - V4			ARU (%) - R6			ARU (%) - R8		
Sem Azo	14,0bC ³	18,7aB	26,6aA ³	36,1cB ^{1 2 3}	39,7cB ^{1 2 3}	51,9aA ^{1 2 3}	35,0aA ³	38,1abA ^{2 3}	37,0aA ^{2 3}
Azo semente	15,1abB ³	22,3aA	26,0aA ³	44,5bB ^{1 2 3}	49,7bA ^{1 2 3}	44,9cB ^{1 2 3}	35,6aA ³	39,8aA ^{1 2 3}	29,7bB
Azo sulco	18,2aB	21,9aAB	23,9aA	54,0aA ^{1 2 3}	57,4aA ^{1 2 3}	46,5bcB ^{1 2 3}	31,8aA	33,9bcA ³	26,0bB ¹
Azo foliar***	-	-	-	42,1bB ^{1 2 3}	51,6bA ^{1 2 3}	50,7abA ^{1 2 3}	32,1aA	31,2cA	27,9bA
d.m.s. ****		4,69			5,38			6,17	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		-			23,3			32,3	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		-			23,9			30,2	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		20,2			18,8			27,5	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* $2,5 \times 10^6$ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* $5,0 \times 10^6$ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* $2,5 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** Tratamento ainda não aplicado. **** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

4.5 Componentes da produção e produtividade de grãos

Houve interação significativa entre os fatores estudados para número de vagens por planta (NV) do feijoeiro nos exps. 1 e 3 (Tabela 63). No exp. 1, os tratamentos Rhizo semente + Azo semente e Rhizo sulco + sem Azo proporcionaram 14,6 e 14,4 vagens planta⁻¹, respectivamente, e não diferiram do controle com aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N (Tabela 64). O sem Rhizo + Azo sulco, sem Rhizo + Azo foliar, Rhizo semente + sem Azo e Rhizo sulco + Azo semente diferiram negativamente do controle com N.

Tabela 63 – Número de vagens por planta (NV) e número de grãos por vagem (NG) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Tratamento	NV			NG		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
	nº planta ⁻¹			nº vagem ⁻¹		
Inoculação com <i>Rhizobium</i> (R)*						
Sem Rhizo	11,6b** ³	11,7 ¹	9,6 ^{2 3}	5,1	3,9	4,7
Rhizo semente	12,6ab	11,2 ¹	9,7 ^{2 3}	5,1	4,0	4,6
Rhizo sulco	13,1a	11,4 ¹	9,4 ^{2 3}	5,0	4,0	4,5
Inoculação com <i>Azospirillum</i> (A)						
Sem Azo	12,0	11,0 ¹	9,4 ^{2 3}	5,1	4,0	4,7
Azo semente	12,9	11,6 ¹	9,7 ^{2 3}	5,1	4,0	4,7
Azo sulco	12,2	11,6 ¹	9,0 ^{1 2 3}	5,0	3,9	4,5
Azo foliar	12,5	11,5 ¹	10,1 ^{2 3}	4,9	3,9	4,4 ³
Fonte de variação	<i>P > F</i>					
R	0,040	0,726	0,645	0,798	0,449	0,143
A	0,554	0,753	0,061	0,579	0,802	0,060
R x A	<0,001	0,751	0,023	0,810	0,592	0,881
CV (%)	12,9	14,3	9,8	6,8	9,7	6,6
d.m.s.** ³	3,34	3,30	2,19	0,77	0,79	0,63
Controle 40 kg ha ⁻¹ N	-	15,1	11,3	-	3,7	4,9
Controle 80 kg ha ⁻¹ N	-	12,1	12,7	-	3,9	4,6
Controle 120 kg ha ⁻¹ N	15,0	11,4	12,7	4,8	4,0	5,1

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1,2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett (*P* ≤ 0,05).

No exp. 3, a combinação sem Rhizo + sem Azo resultou no menor NV observado, 8,2 vagens planta⁻¹ (Tabela 64). O tratamento Rhizo semente + Azo foliar foi o único a não se diferenciar de nenhum dos controles com aplicação de N. No exp. 2, foi observada redução no NV em todos os tratamentos quando comparados ao controle com fertilizante nitrogenado (Tabela 63).

Não houve diferença entre os fatores e nem em relação aos controles com N mineral para número de grãos por vagem (NG) do feijão-comum nos exps. 1 e 2 (Tabela 63). No exp. 3, também não houve efeito dos fatores estudados para essa variável; no entanto, a aplicação de Azo foliar reduziu o NG quando comparado ao controle com 120 kg ha⁻¹ de N.

Tabela 64 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para número de vagens por planta (NV) do feijoeiro, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho de 2019 (exp. 1), em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *					
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	NV (nº planta ⁻¹)			NV (nº planta ⁻¹)		
Sem Azo	12,5aA**	9,0bB ³	14,4aA	8,2bB ^{1 2 3}	10,0aA ^{2 3}	10,0aA ^{2 3}
Azo semente	12,6aAB	14,6aA	11,4aB ³	10,3aA ^{2 3}	9,2aA ^{2 3}	9,4aA ^{2 3}
Azo sulco	10,4aA ³	13,1aA	13,2aA	9,6abA ^{2 3}	8,9aA ^{1 2 3}	8,6aA ^{1 2 3}
Azo foliar	10,8aB ³	13,6aA	13,2aAB	10,1aA ^{2 3}	10,6aA	9,5aA ^{2 3}
d.m.s.***		3,34			2,19	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		-			11,3	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		-			12,7	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		15,0			12,7	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Não houve diferença entre os fatores e nem em relação aos controles com aplicação de N mineral para massa de 100 grãos (M100G) do feijão-comum nos exps. 1 e 3 (Tabela 65). Já para M100G no exp. 2 foi observada interação significativa entre os fatores, na qual Rhizo semente + Azo semente proporcionou o maior valor, 26 g, superior as M100G obtidas com os controles nitrogenados, apesar de não ter sido diferente estatisticamente (Tabelas 65 e 66).

Tabela 65 – Massa de 100 grãos (M100G) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Tratamento	Exp. 1	M100G	
		Exp. 2	Exp. 3
		g	
Inoculação com <i>Rhizobium</i> (R)*			
Sem Rhizo	23,84	23,73b**	29,11
Rhizo semente	23,83	25,03a	29,47
Rhizo sulco	23,32	23,83b	29,54
Inoculação com <i>Azospirillum</i> (A)			
Sem Azo	23,75	23,98	28,73
Azo semente	23,52	24,15	29,25
Azo sulco	23,63	24,29	29,82
Azo foliar	23,74	24,37	29,69
Fonte de variação		<i>P > F</i>	
R	0,390	0,003	0,608
A	0,964	0,834	0,187
R x A	0,964	0,032	0,738
CV (%)	5,1	4,6	4,5
d.m.s.***	2,77	2,40	2,73
Controle 40 kg ha ⁻¹ N	-	24,16	28,30
Controle 80 kg ha ⁻¹ N	-	24,37	27,84
Controle 120 kg ha ⁻¹ N	22,78	25,62	28,86

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett (*P* ≤ 0,05).

Tabela 66 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para massa de 100 grãos (M100G) do feijoeiro, conduzido em condições de campo, durante o período de agosto a dezembro de 2019 (exp. 2), em Botucatu, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *		
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
		M100G (g)	
Sem Azo	23,75abA**	24,15aA	24,04aA
Azo semente	22,30bB ³	26,00aA	24,14aAB
Azo sulco	24,57aA	24,86aA	23,44aA
Azo foliar	24,30abA	25,12aA	23,70aA
d.m.s.***		2,40	
Controle 40 kg ha ⁻¹ N		24,16	
Controle 80 kg ha ⁻¹ N		24,37	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		25,62	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* $2,5 \times 10^6$ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* $5,0 \times 10^6$ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* $2,5 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1,2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Não houve efeito dos fatores estudados e nem diferença quanto aos controles com aplicação de N em termos de população final de plantas (PF) em nenhum dos experimentos e nem para produtividade de grãos (PG) do feijoeiro nos exps. 2 e 3 (Tabela 67).

Foi observada interação significativa entre os fatores para PG do feijão no exp. 1, na qual Rhizo sulco + Azo foliar resultou na maior produtividade, 3.176 kg ha⁻¹; 341 kg ha⁻¹ a mais do que o controle com N. Vale a pena ressaltar que nenhum dos tratamentos foi diferente do controle com 120 kg ha⁻¹ de N (Tabela 68).

No exp. 2, embora não tenha sido observado efeito dos fatores estudados para PG de feijão, gostaríamos de destacar que o tratamento Rhizo semente produziu somente 1 saca de grãos (60 kg) a menos por hectare quando comparado ao controle com 120 kg ha⁻¹ de N; diferença muito pequena e, com certeza bastante válida, quando consideramos o custo de produção de cada um desses tratamentos. Quanto ao exp. 3, apesar de também não ter sido observado efeito dos fatores estudados para PG, as inoculações com Rhizo semente e Azo foliar produziram na casa de 3.000 kg ha⁻¹ de grãos, assim como os controles com fertilizante nitrogenado (Tabela 67). Vale a pena chamar a atenção para o fato de que os tratamentos estudados diferiram apenas do controle com aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N; exceto, Rhizo sulco, que foi diferente dos controles com 80 e 120 kg ha⁻¹ de N.

Tabela 67 – População final de plantas (PF) e produtividade de grãos (PG) do feijão-comum submetido a diferentes formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, conduzido em condições de campo, durante os períodos de março a julho (exp. 1) e agosto a dezembro (exp. 2) de 2019, em Botucatu, São Paulo, Brasil, e de abril a agosto de 2020 (exp. 3), em Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil

Tratamento	PF			PG		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
	planta ha ⁻¹			kg ha ⁻¹		
Inoculação com <i>Rhizobium</i> (R)*						
Sem Rhizo	192.361**	282.346	238.835	2.760	2.956	2.964 ³
Rhizo semente	187.847	282.408	232.541	2.804	3.152	3.024 ³
Rhizo sulco	188.657	278.241	234.855	2.890	3.044	2.850 ^{2 3}
Inoculação com <i>Azospirillum</i> (A)						
Sem Azo	183.025	281.482	238.045	2.609	2.992	2.939 ³
Azo semente	189.815	277.778	231.482	2.963	3.071	2.924 ³
Azo sulco	192.593	280.165	235.648	2.820	3.056	2.853 ³
Azo foliar	193.056	284.568	236.466	2.881	3.083	3.069 ³
Fonte de variação	<i>P > F</i>					
R	0,887	0,944	0,370	0,706	0,444	0,148
A	0,802	0,980	0,622	0,265	0,955	0,216
R x A	0,868	0,937	0,163	0,013	0,065	0,296
CV (%)	14,7	14,1	5,3	15,8	14,1	8,5
d.m.s.***	58.311	76.783	26.518	943,49	876,85	596,35
Controle 40 kg ha ⁻¹ N	-	268.518	231.482	-	3.536	3.218
Controle 80 kg ha ⁻¹ N	-	287.037	233.334	-	3.362	3.448
Controle 120 kg ha ⁻¹ N	176.389	273.827	240.278	2.835	3.212	3.926

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* 2,5 x 10⁶ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* 5,0 x 10⁶ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* 2,5 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* 5,0 x 10⁵ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada fator, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1,2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett (*P* ≤ 0,05).

Como já discutido anteriormente, o solo das áreas experimentais, tanto para os exps. 1 e 2, quanto para o exp. 3, possuía teores médios ou altos dos macro e micronutrientes (Tabela 1) o que pode ter contribuído, mais uma vez, para que não houvesse diferenças pronunciadas, desta vez em termos de PG de feijão, sequer dos tratamentos sem Rhizo e sem Azo, em relação a um ou mais dos controles com aplicação de N mineral, principalmente em solo argiloso (exps. 1 e 2). No exp. 3, realizado em solo arenoso, pode-se notar uma maior resposta do feijoeiro-comum à aplicação de doses de N e diferenças de produtividade em relação aos tratamentos com inoculação, especialmente o controle com aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N. Mas, podemos observar, em todos os experimentos, resultados bastante interessantes em termos de quão próximos os tratamentos com inoculação/coinoculação ficaram dos

controles com N em termos de PG; não sendo diferente destes, na maioria das vezes, ou, no caso do exp. 3, diferindo apenas do controle com a maior dose de N.

Tabela 68 – Desdobramento da interação significativa entre formas de inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*, isolados ou coinoculados, para produtividade de grãos (PG) do feijoeiro, conduzido em condições de campo, durante o período de março a julho de 2019 (exp. 1), em Botucatu, São Paulo, Brasil

Inoculação com <i>Azospirillum</i>	Inoculação com <i>Rhizobium</i> *		
	Sem Rhizo	Rhizo semente	Rhizo sulco
	PG (kg ha ⁻¹)		
Sem Azo	2.956aA**	2.035bB	2.835aA
Azo semente	3.049aA	3.130aA	2.711aA
Azo sulco	2.487aA	3.133aA	2.839aA
Azo foliar	2.547aA	2.919aA	3.176aA
d.m.s.***		943,49	
Controle 120 kg ha ⁻¹ N		2.835	

* Sem Rhizo: sem inoculação com *R. tropici*; Rhizo semente: inoculação via sementes com *R. tropici* $2,5 \times 10^6$ células semente⁻¹; Rhizo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *R. tropici* $5,0 \times 10^6$ células semente⁻¹; Sem Azo: sem inoculação com *A. brasilense*; Azo semente: inoculação via sementes com *A. brasilense* $2,5 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo sulco: inoculação via sulco de semeadura com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹; Azo foliar: inoculação via foliar com *A. brasilense* $5,0 \times 10^5$ células semente⁻¹. ** Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *** d.m.s.: diferença mínima significativa de Dunnett. ^{1, 2 e 3} Diferença entre o valor médio e os controles com aplicação de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, significativo pelo teste de Dunnett ($P \leq 0,05$).

Além disso, outro fator que pode ajudar a explicar os resultados, é que os experimentos foram irrigados (sistema de irrigação convencional por aspersão) o que, associado à temperatura (Figura 1), acelerou a decomposição do material vegetal presente nas áreas, palhada de milho nos exps. 1 e 2 e de milho+braquiária no exp. 3, disponibilizando os nutrientes para o feijoeiro, possibilitando assim um bom crescimento e desenvolvimento das plantas, resultando em alta PG em todos os tratamentos/experimentos; resultados estes bastante superiores à média nacional de produtividade de feijão.

Associado ainda a tudo o que foi discutido, também é preciso mencionar novamente a alta população de rizóbios nativos do solo em ambas as áreas experimentais, o que pode ter contribuído para a ausência de resultados mais significativos quando da aplicação de *R. tropici* e, também, de *A. brasilense*, uma vez que podem interagir de maneira diferente com estes, independentemente da forma de inoculação.

5 CONCLUSÕES

Nos exps. 1 e 2, conduzidos em solo com textura argilosa, maior teor de matéria orgânica, fertilidade natural mais elevada e histórico de cultivo de feijão, a aplicação de *R. tropici* via sulco de semeadura e *A. brasilense* via sulco ou via foliar, proporcionaram os resultados mais promissores em termos de NN e MSN. Já para as condições do exp. 3 (solo arenoso, menor teor de matéria orgânica e fertilidade natural mais baixa), houve melhores respostas, em termos de nodulação, com a aplicação tanto de Rhizo, quanto de Azo, nas modalidades via sementes e sulco de semeadura, mas, não com as duas espécies juntas na mesma forma de inoculação. Foi observada redução tanto do NN, quanto da MSN, com o fornecimento de N mineral em todos os estádios fenológicos/experimentos.

Houve resposta à adubação nitrogenada mineral para as variáveis relacionadas ao crescimento radicular (SR, CR e VR), MSR, MSPA, NPA e NAPA. Apesar disso, a aplicação de *Rhizobium* e *Azospirillum* também proporcionou efeito no crescimento radicular do feijão, com os resultados mais interessantes com as inoculações/coinoculações via sementes e sulco de semeadura, mas não com os microrganismos juntos na mesma via, principalmente nos exps. 1 e 2. A inoculação com *Rhizobium* via sementes incrementou a MSPA do feijoeiro, em V4 e R6, nas condições do exp. 3.

Em relação aos teores foliares dos macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Cu, Zn, Mn e Fe) do feijoeiro-comum, não houve efeito claro da inoculação/coinoculação de *Rhizobium* e *Azospirillum*. Quanto ao fornecimento de N mineral, houve algum efeito sobre os teores de N, K, Cu e Zn na folha diagnóstica do feijoeiro-comum.

A inoculação, especialmente com *Rhizobium*, proporcionou incremento na ARU em comparação aos tratamentos sem inoculação. Contudo, a aplicação de *Azospirillum* via sulco e foliar, sem *Rhizobium*, também proporcionou resultados interessantes nessa variável. Houve redução ARU com a aplicação de N em todos os estádios fenológicos/experimentos.

O fornecimento de N mineral incrementou o número de vagens por planta, especialmente, nos exps. 2 e 3.

Quanto a PG, foi possível observar, em todos os experimentos, resultados muito próximos entre a inoculação/coinoculação de *Rhizobium* e *Azospirillum* e a aplicação de N mineral, seja de dose mais baixa (40 kg ha⁻¹) ou mais elevada (120 kg ha⁻¹). Apenas

em solo mais arenoso (exp. 3), obtivemos respostas mais pronunciadas, em termos de PG, quando do fornecimento de N para a cultura do feijão-comum.

Em relação as formas de inoculação, apesar dos resultados variados em alguns parâmetros, a aplicação de *R. tropici* e *A. brasilense* nas modalidades via sementes e sulco de semeadura, mas, não com as duas espécies juntas na mesma forma de inoculação, proporcionaram os resultados mais promissores.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Â. F. B. Introdução e Importância Econômica. In: EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Cultivo do feijão da primeira e segunda safras na Região Sul de Minas Gerais**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoPrimSegSulSulMG/index.htm>>. Acesso em: 10 nov. 2018.
- ADHIKARI, D.; ITOH, K.; SUYAMA, K. Genetic diversity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) nodulating rhizobia in Nepal. **Plant and Soil**, v. 368, p. 341-353, 2013.
- ALCÂNTARA, R. M. C. M.; ROCHA, M. M.; XAVIER, G. R.; RUMJANEK, N. G. **Estado atual da arte quanto à seleção e o melhoramento de genótipos para a otimização da FBN**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009. 34 p. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 196).
- AMARGER, N.; MACHERET, V.; LAGUERRE, G. *Rhizobium gallicum* sp. nov. and *Rhizobium giardinii* sp. nov., from *Phaseolus vulgaris* nodules. **International Journal of Systematic Bacteriology**, London, v. 47, p. 996-1006, 1997.
- AMBROSANO, E. J.; TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, A. A.; RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1997. p. 189-203 (Boletim Técnico 100).
- ANDRADE, M. J. B.; CARVALHO, A. J.; VIEIRA, N. M. B. Exigências edafoclimáticas. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (eds.). **Feijão**. 2.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. p.67-86.
- ANDRAUS, M. P.; CARDOSO, A. A.; FERREIRA, E. P. B. Differences in nodulation and grain yield on common bean cultivars with different growth cycles. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n. 9, p. 1148–1161, 2016.
- AUSTIN, A. T.; BUSTAMANTE, M. C.; NARDOTO, G. B.; MITRE, S. K.; PEREZ, T.; OMETTO, J. P. J. B.; ASCARRUNZ, N. L.; FORTI, M. S.; LONGO, K.; GAVITO, M. E.; ENRICH-PRAST, A.; MARTINELLI, L. A. Latin Americas's nitrogen challenge. **Science**, v. 340, p. 149, 2013.
- BÁRBARO, I. M.; BRANCALIÃO, S. R.; TICELLI, M.; MIGUEL, F. B.; SILVA, J. A. A. **Técnica alternativa**: co-inoculação de soja com *Azospirillum* e *Bradyrhizobium* visando incremento e produtividade. [S. l.: s.n.] 2008. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2008_4/coinoculacao/index.htm>. Acesso em: 04 abr. 2021.
- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F. Fontes, doses e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura para feijoeiro comum irrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, p. 69-76, 2005.
- BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. O. (Eds.). **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira**: 2012-2014. Santo Antônio de

Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2012. 247 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 272).

BASHAN, Y.; BASHAN, L. E. Bacteria/Plant Growth-Promoting. In: HILLEL, D. (Ed.). **Encyclopedia of soils in the environment**. Oxford: Elsevier, v. 1, 2005. p. 103-115.

BASHAN, Y.; HOLGUIN, G. *Azospirillum* - plant relationships: environmental and physiological advances (1990-1996). **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 43, n. 2, p. 103-121, 1997.

BETTIOL, J. V. T. **Produção sustentável do feijão comum: inoculação, coinoculação e adubação mineral em cultivares de ciclo precoce**. 2019. 51 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2019.

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, 2015. p. 29-38.

BLOOM, A. J.; JACKSON, L. E.; SMART, D. R. Root growth as a function of ammonium and nitrate in the root. **Plant, Cell and Environment**, Chichester, v. 16, p. 199-206, 1993.

BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. A cultura. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Eds.). **Feijão**. Viçosa: UFV, 2006. p. 13-18.

BOTTINI, R.; FULCHIERI, M.; PEARCE, D.; PHARIS, R. Identification of gibberelins A1, A3, and ISO-A3 in cultures of *A. lipoferum*. **Plant Physiology**, Rockville, v.90, p.45-47, 1989.

BRACCINI, A. L.; MARIUCCI, G.E.G.; SUZUKAWA, A.K.; LIMA, L.H.S.; PICCININ, G.G. Co-inoculação e modos de inoculação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada na nodulação das plantas e rendimento da cultura da soja. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v.15, n.1, p. 27-35, 2016.

BRITO, L. F.; PACHECO, R. S.; SOUZA FILHO, B. F.; FERREIRA, E. P. B.; STRALIOTTO, R.; ARAÚJO, A. P. Resposta do feijoeiro comum à inoculação com rizóbio e suplementação com nitrogênio mineral em dois biomas brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 981-992, 2015.

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, p. 206-215, 2011.

BROUWER, R. Beziehungen zwischen Spross-und Wurzelwachstum. **Angewandte Botanik**, Hamburg, v. 41, p. 244-250, 1967.

BROUWER, R.; DE WIT, C. T. A simulation model of plant growth with special attention to root growth and its consequences. In: WHITTINGTON, W. J. (Ed.). **Root Growth**. London: Butterworths. 1969. p. 224-244.

BURDMAN, S.; HAMAOU, B.; OKON, Y. **Improvement of legume crop yields by co-inoculation with *Azospirillum* and *Rhizobium***. The Otto Warburg Center for Agricultural Biotechnology. Israel: The Hebrew University of Jerusalem, 2000.

BURDMAN, S.; SARIG, S.; KIGEL, J.; OKON, Y. Field inoculation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and chick pea (*Cicer arietinum* L.) with *Azospirillum brasilense* strain Cd. **Symbiosis**, Dordrecht, v. 21, p. 41-48, 1997.

BURDMAN, S.; VOLPIN, H.; KIGEL, J.; KAPULNIK, Y.; OKON, Y. Promotion of nod Gene Inducers and Nodulation in Common Bean (*Phaseolus vulgaris*) Roots inoculated with *Azospirillum brasilense* Cd. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 62, n. 8-18, p. 3030-3033, 1996.

BUZO, F. S.; GARÉ, L. M.; ARF, O.; PORTUGAL, J. R.; MEIRELLES, F. C.; GARCIA, N. F. S. Interaction between thidiazuron and *Azospirillum brasilense* on yield characteristics and productivity of rice. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, p. 244- 249, 2019.

CÂMARA, G. M. S. Fixação biológica de nitrogênio em soja. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 147, p. 1-9, 2014.

CASSÁN, F.; CONIGLIO, A.; LÓPEZ, G.; MOLINA, R.; NIEVAS, S.; CARLAN, C. L. N.; DONADIO, F.; TORRES, D.; ROSAS, S.; PEDROSA, F. O.; SOUZA, E.; ZORITA, M. D.; BASHAN, L.; MORA, V. Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 56, p. 461-479, 2020.

CASSÁN, F. D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Eds.). ***Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina**. Argentina: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. 268 p.

CASSÁN, F.; SGROY, V.; PERRIG, D.; MASCIARELLI, O.; LUNA, V. Producción de fitohormonas por *Azospirillum* sp.: aspectos fisiológicos y tecnológicos de la promoción del crecimiento vegetal. In: CASSÁN, F. D.; SALAMONE, I. G. de (Eds.). ***Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina**. Argentina: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p. 61-86.

CASSINI, S. T. A.; FRANCO, M. C. Fixação biológica de nitrogênio: microbiologia, fatores ambientais e genéticos. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, J.; BORÉM, A. (Eds.). **Feijão**. Viçosa: UFV, 2006. p. 143-170.

CATALDO, D. A.; MAROON, M.; SCHRADER, L. E.; YOUNGS, V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 6, n. 1, p. 71-80, 1975.

CHAVARRIA, G.; MELLO, N. Bactérias do gênero *Azospirillum* e sua relação com gramíneas. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 125, 2011.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries históricas de área plantada, produtividade e produção**. 2021. Disponível em:

<<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20>>. Acesso em: 11 dez. 2021.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. 2018. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 11 fev. 2020.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Insumos agropecuários**. 2021. Disponível em: <<https://consultaweb.conab.gov.br/consultas/consultaInsumo.do?d=6983528-p=3&uf=MT&anoFinal=2021&ano=2020&method=acaoListarConsulta&idSubGrupo=71&btnConsultar=Consultar&jcaptcha=qqwqv&idGrupo=27>>. Acesso em: 08 jan. 2022.

CORREA, O. S.; ROMERO, A. M.; SORIA, M. A.; DE ESTRADA, M. *Azospirillum brasilense*-plant genotype interactions modify tomato response to bacterial diseases, and root and foliar microbial communities. In: CASSÁN, F. D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Eds.). **Azospirillum sp.**: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Argentina: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p. 87-95.

CORREIA, T. P. S. **Eficiência operacional, econômica e agrônômica da inoculação de soja via sulco de semeadura**. 2015. 95 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; SILVA, L. M.; LEMOS, L. B. Fontes e doses de nitrogênio para o feijoeiro em sucessão a gramíneas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1545-1552, 2007.

CTSBF - COMISSÃO TÉCNICA SUL-BRASILEIRA DE FEIJÃO. **Informações técnicas para o cultivo de feijão na Região Sul brasileira**. 2. ed. Florianópolis: Epagri, 2012. 157 p.

CUNHA, P. C. R. D.; SILVEIRA, P. M. D.; XIMENES, P. A.; SOUZA, R. D. F.; ALVES JÚNIOR, J.; NASCIMENTO, J. L. D. Fontes, formas de aplicação e doses de nitrogênio em feijoeiro irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 80-86, 2011.

DARDANELLI, M. S.; CÓRDOBA, F. J. F.; ESPUNY, M. R.; CARVAJAL, M. A. R.; DÍAZ, M. E. S.; SERRANO, A. M. G.; OKON, Y.; MEGÍAS, M. Effect of *Azospirillum brasilense* coinoculated with *Rhizobium* on *Phaseolus vulgaris* flavonoids and Nod factor production under salt stress. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 40, n. 11, p. 2713-2721, 2008.

DIAS, P. C.; PEREIRA, M. S. F.; KASUYA, M. C. M.; PAIVA, H. N.; OLIVEIRA, L. S.; XAVIER, A. Micorriza arbuscular e rizóbios no enraizamento e nutrição de mudas de angico-vermelho. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1027-1037, 2012.

DODD, I. C.; ZINOVKINA, N. Y.; SAFRONOVA, V. I. Rhizobacterial mediation of plant hormone status. **Annals of Applied Biology**, Chichester, v. 157, p. 361–379, 2010

DROZDOWICZ, A. Bactérias do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Eds.). **Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. p. 17-60.

DURIEUX, R. P.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A.; MOLL, R. H. Root distribution of corn: the effect of nitrogen fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, p. 958-962, 1994.

ELMERICH, C.; NEWTON, W. E. **Associative and endophytic nitrogen-fixing bacteria and cyanobacterial associations**. Dordrecht: Springer, 2007. 321 p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Catálogo de cultivares de feijão comum**: 2014-2015. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2014. 20 p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1011166/catalogo-de-cultivares-de-feijao-comum-2014-2015>>. Acesso em: 30 mar. 2020.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2013. 353 p.

FAGAN, E. B. **Fisiologia e nutrição mineral de plantas**. Patos de Minas, 2011. 151 p.

FAGAN, E. B.; MEDEIROS, S. L. P.; MANFRON, P. A.; CASAROLI, D.; SIMON, J.; DOURADO NETO, D.; VAN LIER, Q. J.; SANTOS, O. S.; MULLER, L. Fisiologia da fixação biológica do nitrogênio em soja – revisão. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia (FZVA)**, v. 14, n. 1, p. 89-106, 2007.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, Newark, v. 88, n. 4, p. 97-185, 2005.

FAGERIA, N. K.; FERREIRA, E. P. B.; MELO, L. C.; KNUPP, A. M. Genotypic Differences in dry bean yield and yield components as influenced by nitrogen fertilization and rhizobia. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, p. 1583-1604, 2014.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B.; CARVALHO, M. C. S. **Nutrição mineral do feijoeiro**. Brasília: Embrapa Arroz e Feijão, 2015. 394 p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de feijão**. 2. ed. Piracicaba: Livrocere, 2007. 386 p.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Crops**, 2021. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Acesso em: 11 dez. 2021.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Food Balances**, 2019. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>>. Acesso em: 08 jan. 2022.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Imputs: fertilizers by nutrient**, 2019. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/RFN/visualize>>. Acesso em: 08 jan. 2022.

FERLINI, H. A. **Co-Inoculación en Soja (*Glycine max*) con *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense***. [S.l.: s.n.], 2006.

FERNANDEZ, F.; GEPTS, P.; LOPES, M. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1986. 34 p.

FIGUEIREDO, M. V. B.; SOBRAL, J. K.; STAMFORD, T. L. M.; ARAÚJO J. M. Bactérias promotoras do crescimento de plantas: estratégia para uma agricultura sustentável. In: FIGUEIREDO, M. V. B.; BURITY, H. A.; OLIVEIRA, J. P.; SANTOS, C. E. R. S.; STAMFORD, N. P. (Eds.). **Biotecnologia aplicada à agricultura: textos de apoio e protocolos experimentais**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010. 761 p.

FUKAMI, J.; NOGUEIRA, M. A.; ARAÚJO, R. S.; HUNGRIA, M. Accessing inoculation methods of maize and wheat *Azospirillum brasilense*. **AMB Express**, v. 6, n. 3, p. 1-13, 2016.

FURTINI, I. V.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; FURTINI NETO, A. E. F. Resposta diferencial de linhagens de feijoeiro ao nitrogênio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, p. 1696-1700, 2006.

GARCIA, N. F. S. Manejo da adubação nitrogenada através do clorofilômetro portátil no feijão de inverno coinoculado com *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*. 2021. 104 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2021.

GILABEL, A. P. **Co-inoculação de *Rhizobium* e *Azospirillum* e adubação nitrogenada na cultura do feijão comum**. 2018. 85 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2018.

GODOY, F. A. **Identificação de bactérias promotoras de crescimento de trigo e seu impacto na comunidade bacteriana da rizosfera**. 2020. 103 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020.

GRAHAM, P. H.; VANCE, C. P. Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extension needs. **Field Crops Research**, Warwick, v. 65, n. 2-3, p. 93-106, 2000.

HARLAN, J. R. Agricultural origins: centers and no centers. **Science**, Washington, v. 174, p. 468-474, 1971.

HARTMANN, A.; BALDAM, J. I. The genus *Azospirillum*. In: DWORKIN, M.; FALKOW, S.; ROSENBERG, E.; SCHLEIFER, K. H.; STACKEBRANDT, E. (Eds.). **The Prokaryotes**. New York: Springer, p. 115-140, 2006.

HARTMANN, A.; ROTHBALLER, M.; SCHMID, M. *Lorenz hiltner*, a pioneer in rhizosphere microbial ecology and soil bacteriology research. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 312, p. 7-14, 2008.

HODGE, A.; ROBINSON, D.; GRIFFITHS, B. S.; FITTER, A. H. Why plants bother: root proliferation results in increased nitrogen capture from an organic patch when two grasses compete. **Plant, Cell and Environment**, Chichester, v. 22, p. 811-820, 1999.

HOFFMAN, B. M.; LUKOYANOV, D.; YANG, Z. Y.; DEAN, D. R.; SEEFELDT, L. C. Mechanism of nitrogen fixation by nitrogenase: the next stage. **Chemical Reviews**, Washington, v. 114, p. 4041-4062, 2014.

HOLLAND, J. E.; BENNETT, A. E.; NEWTON, A. C.; WHITE, P. J.; MCKENZIE, B. M.; GEORGE, T. S.; PAKEMAN, R. J.; BAILEY, J. S.; FORNARA, D. A.; HAYES, R. C. Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: A review. **Science of the Total Environment**, v. 610-611, p. 316-332, 2018.

HUERGO, L. F.; MONTEIRO, R. A.; BONATTO, A. C.; RIGO, L. U.; STEFFENS, M. B. R.; CRUZ, L. M.; CHUBATSU, L. S.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Regulation of nitrogen fixation in *Azospirillum brasilense*. In: CASSÁN, F. D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Eds.). **Azospirillum sp.:** cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Argentina: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p.17-35.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 48 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 35) (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 13).

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C.; GRAHAM, P. H. Contribution of biological nitrogen fixation to the N nutrition of grain crops in the tropics: the success of soybean (*Glycine max* L. Merr.) in South America. In: SINGH, R. P.; SHANKAR, N.; JAIWA, P. K. (Eds.). **Nitrogen nutrition and sustainable plant productivity**. Stadium Press, Houston, 2006a. p. 43-93.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M. S.; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant Soil**, v. 331, p. 413-25. 2010.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; CAMPO, R. J.; CRISPINO, C. C.; MORAES, J. Z.; SIBALDELLI, R. N. R.; MENDES, I. C.; ARIHARA, J. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N₂ fixation and of N fertilizer to grain yield. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 86, p. 927–939, 2006b.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; CAMPO, R. J.; GRAHAM, P. H. The importance of nitrogen fixation to soybean cropping in South America. In: Werner, D.; Newton, W. E. (Eds.). **Nitrogen fixation in agriculture, forestry, ecology and the environment**. Springer, Dordrecht, 2005. p. 25-42.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense***: inovação em rendimento a baixo custo. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 36 p. (Embrapa Soja. Documentos, 325).

HUNGRIA, M.; MENDES, I. C.; MERCANTE, F. M. **Tecnologia de fixação biológica de nitrogênio com feijoeiro**: viabilidade em pequenas propriedades familiares e em propriedades tecnificadas. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 32 p. (Embrapa Soja. Documentos, 338).

HUNGRIA, M. Metabolismo do carbono e do nitrogênio nos nódulos. In: HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S. (Eds.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. p. 249-283.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 49, p. 791–801, 2013.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics with an emphasis on Brazil. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 65, n. 2-3, p. 151-164, 2000.

JORDAN, D. C. *Rhizobiaceae*. In: KRIEG, N. R.; HOLT, J. G. (Eds.). **Bergey's manual of systematic bacteriology**. Baltimore: Williams & Wilkins, v. 1, 1984. p. 235-244.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A., 2008. 431 p.

KINTSCHEV, M. R.; GOULART, A. C. P.; MERCANTE, F. M. Compatibilidade entre a inoculação de rizóbios e fungicidas aplicados em sementes de feijoeiro-comum. **Summa Phytopathologica**, v. 40, n. 4, p. 338-346, 2014.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H.; THUNG, M.; OLIVEIRA, F. R. A. **Manejo antecipado do nitrogênio nas principais culturas anuais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 63 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 188).

LAGO, F. J.; FURTINI NETO, A. E.; FURTINI, I. V.; RAMALHO, M. A. P.; HORTA, I. M. F. Frações nitrogenadas e eficiência nutricional em linhagens de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, p. 440-447, 2009.

LAWN, R. J.; BRUN, W. A. Symbiotic nitrogen fixation in soybeans. I. Effect of photosynthetic source sink manipulations. **Crop Science**, Madison, v. 14, p. 11-16, 1974.

LIMA, P. F.; COLOMBO, C. A.; CHIORATO, A. F.; YAMAGUCHI, L. F.; KATO, M. J.; CARBONELL, S. A. M. Occurrence of isoflavonoids in brazilian common bean germplasm (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, p. 9699-9704, 2014.

LOPES, E. L. Fixação biológica do nitrogênio no sistema solo-planta. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Eds.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, 2007. p. 43-72.

MAIA, S. C. M.; SORATTO, R. P.; NASTARO, B.; FREITAS, L. B. The nitrogen sufficiency index underlying estimates of nitrogen fertilization requirements of common bean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 183-191, 2012.

MALAVOLTA, E. Leguminosas. In: _____ **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1987. p. 112.

MALAVOLTA, E., VITTI, G. C., OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafós, 1997. 308 p.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Vegetal. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal>>. Acesso em: 19 de nov. 2020.

MARTÍNEZ-ROMERO, E.; SEGOVIA, L.; MERCANTE, F. M.; FRANCO, A. A.; GRAHAM, P.; PARDO, M. A. *Rhizobium tropici*, a novel species nodulating *Phaseolus vulgaris* L. beans and *Leucaena* sp. trees. **International Journal of Systematic Bacteriology**, Iowa, v. 41, n. 3, p. 417-426, 1991.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. San Diego: Academic Press, 2012. 672 p.

MEIRELLES, F. C.; CORSINI, D. C. C.; GERLACH, G. A. X.; DA SILVA, J. C.; GITTI, D. C.; DE SOUZA, E.; PORTUGAL, J. R.; ARF, O. Coinoculação de *Azospirillum brasilense* e *Rhizobium Tropici* em feijão em cultivo irrigado. In: **CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO**, 11., 2014, Londrina. Anais [...]. Londrina: [s.n.], 2014.

MELO, L. C.; MELO, P. G.; FARIA, L. C.; DIAZ, J. L. C.; DEL PELOSO, M. J.; RAVA, C. A.; COSTA, J. G. C. Interação com ambientes e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum na Região Centro-Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 715-723, 2007.

MERCANTE, F. M.; TEIXERA, M. G.; ABBOUD, A. C. S.; FRANCO, A. A. Avanços biotecnológicos na cultura do feijoeiro sob condições simbióticas. **Revista Universidade Rural: série ciência da vida**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 1/2, p. 127-146, 1999.

MORAIS, T. P.; BRITO, C. H.; BRANDÃO, A. M.; REZENDE, W. S. Inoculation of maize with *Azospirillum brasilense* in the seed furrow. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 2, p. 290-298, 2016.

MOREIRA, F. M. S.; SILVA, K.; NÓBREGA, R. S. A.; CARVALHO, F. Bactérias diazotróficas associativas: diversidade, ecologia e potencial de aplicações. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 1, n. 2, p. 74-99, 2010.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

- MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; BIAVA, M. **Feijão: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 203 p. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).
- MOREIRA, L. P.; OLIVEIRA, A. P. S.; FERREIRA, E. P. B. Nodulation, contribution of biological N₂ fixation, and productivity of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) inoculated with rhizobia isolates. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, p. 644-651, 2017.
- MORETTI, L.G.; CRUSCIOL, C.A.C.; BOSSOLANI, J.W.; MOMESSO, L.; GARCIA, A.; KURAMAE, E.E.; HUNGRIA, M. Bacterial consortium and microbial metabolites increase grain quality and soybean yield. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, p. 1923-1934, 2020.
- NEPAR/SBCS – NÚCLEO ESTADUAL PARANÁ/ SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná. Curitiba: NEPAR/SBCS, 2017. 482 p.
- OKON, Y.; ITZIGSOHN, R. The development of *Azospirillum* as commercial inoculant for improving crop yields. **Biotechnology Advances**, New York, v. 13, n. 3, p. 415-424, 1995.
- OKON, Y.; KAPULNIK, Y. Development and function of *Azospirillum*-inoculated roots. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 90, p. 3-16, 1986.
- OKON, Y.; LABANDERA-GONZALES, C. A. Agronomic applications of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 26, n. 12, p. 1591-1601, 1994.
- OLIVEIRA, I. P.; FAGERIA, N. K. Calagem e Adubação. In: MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; BIAVA, M. (Eds.). **Feijão: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 39-53.
- PARENTE, T. L. **Adubação nitrogenada em genótipos de soja associada a inoculação em semeadura direta no cerrado**. 2014. 49 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2014.
- 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, P. A. A.; ARAÚJO, R. S.; ROCHA, R. E. M.; STEINMETZ, S. Capacidade de genótipos de feijoeiro de fixar N₂ atmosférico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 19, n. 7, p. 811-815, 1984.
- PORTUGAL, J. R.; ARF, O.; PERES, A. R.; GITTI, D. C.; RODRIGUES, R. A. F.; GARCIA, N. F. S.; GARÉ, L. M. *Azospirillum brasilense* promotes increment in corn production. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 19, p. 1688-1698, 2016.

QUADROS, P. D. **Inoculação de *Azospirillum spp.* em sementes de genótipos de milho cultivados no Rio Grande do Sul.** 2009. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

RAAIJMAKERS, J. M.; PAULITZ, T. C.; STEINBERG, C.; ALABOUVETTE, C.; MOËNNE-LOCCOZ, Y. The rhizosphere: a playground and battlefield for soilborne pathogens and beneficial microorganisms. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 321, p. 341-361, 2008.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: IAC, 2001. 284 p.

RAPOSEIRAS, R.; MARRIEL, I. E.; MUZZI, M. R. S.; PAIVA, E.; PEREIRA FILHO, I. A.; CARVALHAIS, L. C.; PASSOS, R. V. M.; PINTO, P. P.; SÁ, N. M. H. *Rhizobium* strains competitiveness on bean nodulation in Cerrado soils. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 439-447, 2006.

REIS JÚNIOR, F. B.; MENDES, I. C.; REIS, V. M.; HUNGRIA, M. Fixação biológica de nitrogênio: uma revolução na agricultura. In: FALEIRO, F. G.; ANDRADE, S. R. M.; REIS JÚNIOR, F. B. (Eds.). **Biotecnologia: estado da arte e aplicações na agropecuária.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2011. p. 247-281.

REIS, V. M. et al. Fixação Biológica de Nitrogênio Simbiótica e Associativa. In: **Nutrição Mineral de Plantas.** Viçosa, MG: SBCS, 2018. p. 279-308.

REMANS, T.; NACRY, P.; PERVENT, M.; FILLEUR, S.; DIATLOFF, E.; MOUNIER, E.; ... & GOJON, A. The Arabidopsis NRT1. 1 transporter participates in the signaling pathway triggering root colonization of nitrate-rich patches. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 50, p. 19206-19211, 2006.

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

RIBEIRO, R. A.; ROGEL, M. A.; LÓPEZ-LÓPEZ, A.; ORMEÑO-ORRILLO, E.; BARCELLOS, F. G.; MATÍNEZ, J.; THOMPSON, F. L.; MARTÍNEZ-ROMERO, E.; HUNGRIA, M. Reclassification of *Rhizobium tropici* type A strains as *Rhizobium leucaenae* sp. nov. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, London, v. 62, n. 5, p. 1179-1184, 2012.

ROBINSON, D.; HODGE, A.; GRIFFITHS, B. S.; FITTER, A. H. Plant root proliferation in nitrogen-rich patches confers competitive advantage. **Proceedings of the Royal Society of London B**, London, v. 26, p. 431-435, 1999.

RODRIGUEZ, H.; GONZALEZ, T.; GOIRE, I.; BASHAN, Y. Gluconic acid production and phosphate solubilization by the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum spp.* **Naturwissenschaften**, Heidelberg, v. 91, p. 552-555, 2004.

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**, v. 46, p. 81-88, 2011.

SANTANA, M. V., DA SILVA FERREIRA, B., DOS SANTOS, T. T. M., DE OLIVEIRA SILVA, J., TAVARES, C. J.; DORNELLES, M. S. Redução da adubação nitrogenada em cobertura de feijoeiro com rhizobium tropici. **Global science and technology**, v. 11, n. 2, 2018.

SANTOS, A. B.; FAGERIA, N. K. Manejo do nitrogênio para eficiência de uso por cultivares de feijoeiro em várzea tropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 1237-1248, 2007.

SANTOS, M. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. **AMB Express**, v. 9, n. 205, 2019.

SEGOVIA, L.; YOUNG, J. P.; MARTÍNEZ-ROMERO, E. Reclassification of American *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli* type I strains as *Rhizobium etli* sp. nov. **International Journal of Systematic Bacteriology**, London, v. 43, p. 374-377, 1993.

SOARES, B. L.; FERREIRA, P. A. A.; RUFINI, M.; MARTINS, F. A. D.; OLIVEIRA, D. P.; REIS, R. P.; ANDRADE, M. J. B.; MOREIRA, F. M. D. S. Agronomic and economic efficiency of common-bean inoculation with rhizobia and mineral nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1–13, 2016.

SORATTO, R. P.; CARVALHO, M. A. C.; ARF, O. Nitrogênio em cobertura no feijoeiro cultivado em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 259-265, 2006.

SORATTO, R. P.; CATUCHI, T. A.; SOUZA, E. F. C.; GARCIA, J. L. N. Plant density and nitrogen fertilization on common bean nutrition and yield. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 3, p. 670-678, 2017.

SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M.; SANTOS, L. A.; JOB, A. L. G. Nutrient extraction and exportation by common bean cultivars under different fertilization levels: I - Macronutrients. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 1027-1042, 2013.

SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M.; SOUZA, E. F. C.; SOUZA-SCHLICK, G. D. Produtividade e qualidade dos grãos de feijão em função da aplicação de nitrogênio em cobertura e via foliar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2019-2028, 2011.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Calagem e adubação para culturas anuais e semiperenes. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 283-315.

SOUZA, E. F. C.; SORATTO, R. P.; PAGANI, F. A. Aplicação de nitrogênio e inoculação com rizóbio em feijoeiro cultivado após milho consorciado com

braquiária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 4, p. 370-377, 2011.

SOUZA, J. E. B.; FERREIRA, E. P. B. Improving sustainability of common bean production systems by co-inoculating rhizobia and azospirilla. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 237, p. 250–257, 2017.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: *Nutrição Mineral de Plantas*. 2. ed. Viçosa, MG: SBCS, 2018. p. 309-376.

SOUZA, W. C. R. Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho pelo uso da inoculação com *Azospirillum brasilense* em consórcio com capim xaraés. 2014. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2014.

STEINER, F.; FERREIRA, H. C. P.; ZUFFO, A. M. Can Co-Inoculation of *Rhizobium Tropici* and *Azospirillum Brasilense* Increase Common Bean Nodulation and Grain Yield? **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 81–98, 2019.

STRALIOTTO, R. **A importância da inoculação com rizóbio na cultura do feijoeiro**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2002. 6 p.

STRZELCZYK, E.; KAMPERT, M.; LI, C. Y. Cytokinin-like substances and ethylene production by *Azospirillum* in media with different carbon sources. **Microbiological Research**, Muenchen, v. 149, p. 55-60, 1994.

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

TENNANT, D. A. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, Chichester, v. 63, p. 995-1001, 1975.

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

TORABIAN, S.; FARHANGI-ABRIZ, S.; DENTON, M. D. Do Tillage Systems Influence Nitrogen Fixation in Legumes? A Review. **Soil and Tillage Research**, v. 185, p. 113-121, 2019.

UGA, Y. et al. Control of root system architecture by DEEPER ROOTING 1 increases rice yield under drought conditions. **Nature genetics**, v. 45, n. 9, 1097, 2013.

UNKOVICH, M.; HERRIDGE, D. F.; PEOPLES, M. B.; CADISCH, G.; BODDEY, R.; GILLER, K.; ALVES, B.; CHALK, P. **Measuring plant-associated nitrogen fixation in agricultural systems**. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, Australia, 2008.

VALADÃO, F. C. A.; JAKELAITIS, A.; CONUS, L. A.; BORCHARTT, L.; OLIVEIRA, A. A.; VALADÃO JUNIOR, D. D. Inoculação das sementes e adubações nitrogenada

e molíbdica do feijoeiro-comum, em Rolim de Moura, RO. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 39, n. 4, p 741-748, 2009.

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

VEDDER-WEISS, D.; JURKEVITCH, E.; BURDMAN, S.; WEISS, D.; OKON, Y. Root growth, respiration and β -glucosidase activity in maize (*Zea mays*) and common bean (*Phaseolus vulgaris*) inoculated with *Azospirillum brasilense*. **Symbiosis**, Dordrecht, v. 26, p. 363–377, 1999.

VERONEZI, S. D. F.; COSTA, M. R.; SILVA, A. T.; MERCANTE, F. M. Coinoculação de rizóbio e *Azospirillum brasilense* em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Cadernos de Agroecologia**, Dourados, v. 7, n. 2, p. 1-5, 2012

VIEIRA, C. Adubação mineral e calagem. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Eds.). **Feijão**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. p. 115-136.

VIEIRA NETO, S. A. et al. Formas de aplicação de inoculante e seus efeitos na cultura da soja. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 2, p. 56-68, 2008.

VINCENT, J. M. **A manual for the practical study of root nodule bacteria**. Oxford: Blackwell, Scientific Publications, 1970. 119 p. (International Biological Programme Handbook, 15).

VLASSAK, K.; VANDERLEYDEN, J.; FRANCO, A. Competition and persistence of *Rhizobium tropici* and *Rhizobium etli* in tropical soil during successive bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultures. **Biology and Fertility of Soils**, v. 21, p. 61-68, 1996.

VOGELS, G. D.; van der DRIFT, C. Differential analysis of glyoxylate derivatives. **Analytical Biochemistry**, v. 33, p. 43-57, 1970.

VOSS, M. Inoculação de rizóbio no sulco de semeadura para soja, em um campo nativo, no norte do Rio Grande do Sul. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2002. 5 p.

WILLIAN, R. D. Fisiologia das plantas eficientes (C4) e ineficientes (C3). In: WARREN, G. F.; WILLIAN, R. D.; FISHER, H. H.; SACCO, J. C.; LAMAS; ALBERT, C. A. **Curso intensivo de controle de ervas daninhas**. Viçosa: UFV, 1973. p. 68-79.

YADEGARI, M.; RAHMANI, H. A.; NOORMOHAMMADI, G.; AYNEBAND, A. Plant growth promoting rhizobacteria increase growth, yield and nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris*. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n. 12, p. 1733-1743, 2010.

ZARGAR, S. M.; MAHAJAN, R.; NAZIR, M.; NAGAR, P.; KIM, S. T.; RAI, V.; ...; RAKWAL, R. Common bean proteomics: present status and future strategies. **Journal of Proteomics**, v. 169, p. 239-248, 2017.

APÊNDICE A – Milheto sendo cultivado na área experimental, como cultura de cobertura, anteriormente a instalação do experimento 1 (a) e manejo da área experimental (dessecação com herbicida glifosato + triturador de palha) para semeadura do feijão-comum no experimento 1 (b)



APÊNDICE B – Manejo da área experimental (dessecação com herbicida glifosato + triturador de palha) para semeadura do feijão-comum no experimento 2 (a). Sulcação da área experimental para inoculação de *Rhizobium tropici* e/ou *Azospirillum brasilense* em sulco de semeadura, conforme tratamentos propostos, em ambos os experimentos (b)



APÊNDICE C – Inoculação de *Rhizobium tropici* e/ou *Azospirillum brasilense* em sulco de semeadura, conforme tratamentos propostos (a). Semeadura do feijão-comum e irrigação do experimento 1 (b)



APÊNDICE D – Feijão-comum no estágio fenológico V1 – emergência (cotilédones acima da superfície do solo), experimento 2 (a). Pulverização tratorizada de defensivos agrícolas no feijoeiro no experimento 1 (b)



APÊNDICE E – Feijão-comum no estágio fenológico V4 (terceira folha trifoliolada completamente expandida), experimento 2 (a). Feijão-comum no estágio fenológico R6 (florescimento pleno), experimento 1 (b)



APÊNDICE F – Feijão-comum no estágio fenológico R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens), experimento 2 (a). Feijão-comum secando para posterior trilhagem mecânica (material vegetal coletado no experimento 1) (b)



**APÊNDICE G – Semeadura do feijão-comum em Presidente Bernardes-SP
(experimento 3) (a). Feijão-comum no estágio fenológico V2 (folhas primárias
expandidas), experimento 3 (b)**



**APÊNDICE H – Feijão-comum no estágio fenológico V4, experimento 3 (a).
Nodulação no feijão-comum no estágio fenológico V4, experimento 3 (b)**



APÊNDICE I – Feijão-comum no estágio fenológico R6, experimento 3

APÊNDICE J – Parcela com a cultura do arroz (testemunha não-fixadora de N), cultivada na mesma área do feijão-comum (fixadora de N) para avaliação da estimativa da FBN pela técnica da abundância natural de ^{15}N , experimento 3



Foto: Amanda Gilabel - 2020

APÊNDICE K – Feijão-comum no estágio fenológico R8 (formação dos grãos e enchimento das vagens), experimento 3



**APÊNDICE L – Colheita do feijão-comum em 04/08/2020 (104 DAE),
experimento 3, em Presidente Bernardes-SP**



Foto: Amanda Gilabel - 2020