Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Inoculações de *Rhizobium tropici* e de *Azospirillum brasilense* relacionadas aos parâmetros de qualidade da semente e da planta do feijoeiro

Bruno Ewerton da Silveira Cardillo

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2019

Bruno Ewerton da Silveira Cardillo
Engenheiro Agrônomo

Inoculações de *Rhizobium tropici* e de *Azospirillum brasilense* relacionadas aos parâmetros de qualidade da semente e da planta do feijoeiro

Orientador:
Profa. Dra. **ANA DIONISIA DA LUZ COELHO NOVEMBRE**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Cardillo, Bruno Ewerton da Silveira

Inoculações de *Rhizobium tropici* e de *Azospirillum brasilense* relacionados aos parâmetros de qualidade da semente e da planta do feijoeiro / Bruno Ewerton da Silveira Cardillo. - - Piracicaba, 2019.

101 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. *Phaseolus vulgaris* L. 2. Fixação biológica de nitrogênio 3. Rendimento de sementes 4. Análise econômica I. Título

Ao meu pai, Marco Antonio Cardillo e em memória da minha mãe Suzimara Leda Silveira Cardillo,

à minha irmã Cristhiane e meu cunhado Eduardo Luis,

aos meus sogros, Ailson e Eliane,

á minha namora e companheira Elisa Cristina,

pelo amor, carinho, compreensão, união e estímulo.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e coragem.

À minha família e, principalmente, à minha namorada e companheira Elisa Cristina que me incentiva e apoia em todos os momentos da vida.

À minha orientadora, Profª. Drª. Ana Dionisia da Luz Coelho Novembre, pelos ensinamentos, conselhos, incentivos, orientações, amizade, paciência e disposição em todos os momentos.

À técnica do Laboratório de Análise de Sementes, Helena PescarinChamma, pela atenção, apoio, dedicação, amizade, paciência, concelhos, ensinamentos e disposição para manter o pleno funcionamento e gerenciamento do laboratório.

Ao técnico Francisco Guilhien Gomes Junior, pelos ensinamentos, pelos conselhos e pela amizade.

Aos funcionários e amigos do Laboratório de Análise de Sementes, Adilson Teixeira (Mussum), João Jabur, David Ulrich e Luis Cláudio (Cacá), pelo apoio nas atividades, pela dedicação e pelos momentos diários de entretenimento, durante os anos de estudo.

Aos funcionários Erreinaldo, Ananias, Adilson (Calango), César (Bisteca), Claudinei (Ticão), Daniel, Antônio (Toninho), Juruna e Rodrigo, pela amizade, apoio nas atividades de campo, ensinamentos e momentos de entretenimento.

À secretaria Luciane Toledo do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, pelo apoio, atenção e auxílio.

Aos amigos e amigas do Laboratório de Análise de Sementes e da Pós-graduação, Lucas Capelaro, Andres Trujillo, Ana Dognini, Marcos Altomani, Maria Beatriz, Plínio Duarte, Gabriela Fargoni, Renan Umburanas, Guilherme Felisberto, Laís Teles e Felipe Sartori, pela convivência, troca de conhecimento, apoio durante o doutorado e pelos momentos de aprendizado.

Aos amigos e amigas, que tive o privilégio de conviver com mais frequência, Evelyn Kock, Gustavo Roberto, Danielle Castan, Carina Oliveira, Mayara Rodrigues e principalmente ao Fábio Diniz que me apiou muito atividades da pesquisa, além dos conselhos, da amizade e da oportunidade de aprender e trocar conhecimentos nas conversas.

Ao doutorando em estatística Welinton Hirai, pela amizade e pela ajuda nas análises dos dados das pesquisas.

À Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, por meio do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de cursar o Doutorado e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa de estudos.

A todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho, o meu muito obrigado.

"O grande segredo da vida é que não há um grande segredo.
Qualquer que seja seu objetivo, você pode conseguir
desde que esteja disposto a trabalhar!"
Oprah Winfrey

SUMÁRIO

RESUMO 7

ABSTRACT 8

1. INTRODUÇÃO 9

REFERÊNCIAS 10

2. OS PARÂMETROS DE QUALIDADE RELACIONADOS À PLANTA DO FEIJOEIRO E ÀS SEMENTES PRODUZIDAS SÃO INFLUENCIADOS PELA INOCULAÇÃO DA SEMENTE OU DO SULCO DA SEMEADURA COM *Rhizobium tropici* E, OU, *Azospirillum brasilense*? 13

RESUMO 13

ABSTRACT 13

2.1. Introdução 14

2.2. Material e Métodos 15

2.3. Resultados e Discussão 22

2.4. Conclusões 39

Referências 39

3. É VIÁVEL INOCULAR *Rhizobium tropici* NA SEMENTE OU NO SULCO DA SEMEADURA E *Azospirillum brasilense* NAS FOLHAS DA PLANTA DO FEIJOEIRO? 49

RESUMO 49

ABSTRACT 49

3.1. Introdução 50

3.2. Material e Métodos 51

3.3. Resultados e discussão 59

3.4. Conclusões 75

Referências 76

4. *Rhizobium tropici* E *Azospirillum brasilense* INTERFEREM NO CUSTO DE PRODUÇÃO E NOS INDICADORES ECONOMICOS DA PRODUÇÃO DO FEIJOEIRO? 83

RESUMO 83

ABSTRACT 83

4.1. Introdução 84

4.2. Material e Métodos 85

4.3. Resultados e Discussão 87

4.4. Conclusões 98

Referências 98

RESUMO

Inoculações de *Rhizobium tropici* e de *Azospirillum brasilense* relacionadas aos parâmetros de qualidade da semente e da planta do feijoeiro

O Brasil é o principal produtor e consumidor mundial do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e 70% da produção é originada da Agricultura Familiar, entretanto, a utilização de sementes de qualidade ainda é um desafio, uma vez que a taxa de utilização de sementes Certificadas é inferior a 20% da área cultivada no território brasileiro. Os principais custos para a produção da planta do feijoeiro estão relacionados aos fertilizantes, especialmente os nitrogenados. Uma alternativa viável, econômica e ambiental, para reduzir a utilização destes fertilizantes é a utilização das bactérias fixadoras de nitrogênio, como as do gênero *Rhizobium*, e as promotoras do desenvolvimento das plantas, como as do gênero *Azospirillum*, que favorecem a simbiose da planta com os rizóbios, o desenvolvimento e o rendimento das plantas, além de possibilitarem a produção de sementes de qualidade e a redução dos custos de produção. Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar as interferências da aplicação de doses restritas de nitrogênio na semeadura, associada aos diferentes métodos de inoculação com *Rhizobium tropici* e, ou, com *Azospirillum brasilense*, para o rendimento, para a qualidade das sementes e para os custos de produção e os indicadores econômicos do cultivo do feijoeiro, do cultivar IAC Milênio, com as plantas cultivadas nas safras “da seca” e “do inverno”, em semeadura convencional ou direta e com irrigação. Desta forma, a pesquisa foi conduzida na área experimental e no Laboratório de Análise de Sementes (LAS), do Departamento de Produção Vegetal, da Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", em Piracicaba, São Paulo. Para os estudos relacionados aos parâmetros de qualidade da planta e das sementes produzidas, foi possível concluir que a inoculação da semente ou do sulco da semeadura, com *Rhizobium tropici* e, ou, com *Azospirillum brasilense*, substitui a aplicação de 60 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura, favorece a nodulação, o rendimento e a qualidade das sementes produzidas pelas plantas do feijoeiro. O cultivo da planta do feijoeiro na safra “da seca” é recomendado, pois, favorece os parâmetros fisiológicos das sementes produzidas. O desenvolvimento e o rendimento das plantas do feijoeiro são beneficiados pelo cultivo em semeadura convencional. Já, para os estudos referentes aos outros métodos de inoculação dos microrganismos os resultados possibilitaram concluir que o cultivo da planta do feijoeiro na safra “do inverno” favorece o rendimento de sementes, no entanto, a planta cultivada na safra “da seca” origina sementes com qualidade superior. O revolvimento do solo, para a semeadura convencional, favorece o desenvolvimento e o rendimento de sementes das plantas do feijoeiro. A aplicação de 20 kg ha^{-1} de nitrogênio na semeadura e a inoculação da semente ou do sulco da semeadura, com *Rhizobium tropici*, e, ou, a inoculação com *Azospirillum brasilense* nas folhas da planta, no estádio V3, ou V4, ou R5, são técnicas viáveis, pois, favorecem a nodulação, o desenvolvimento e o rendimento das plantas, o parâmetro fisiológico das sementes produzidas e reduzem a utilização do fertilizante nitrogenado no cultivo do feijoeiro. Quanto à análise econômica do cultivo, conclui que a planta do feijoeiro cultivada na safra “do inverno” beneficia o rendimento das sementes e o lucro do cultivo. O cultivo das plantas do feijoeiro nas semeaduras convencional ou direta, são viáveis economicamente, mas em termos técnicos, o cultivo em semeadura direta reduz as operações de arar e, ou, gradear o solo e, consequentemente, o custo de produção. A aplicação de 20 kg ha^{-1} de nitrogênio na semeadura associada à inoculação com *Rhizobium tropici* e, ou, com *Azospirillum brasilense*, independentemente do modo de aplicação, favorece o rendimento e o lucro do cultivo da planta do feijoeiro. As inoculações com *Rhizobium tropici* e, ou, com *Azospirillum brasilense* são alternativas para substituição da aplicação em cobertura de 60 kg ha^{-1} de nitrogênio, a qual onera o custo de produção do feijoeiro.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., Fixação biológica de nitrogênio, Rendimento de sementes, Análise econômica

ABSTRACT

Rhizobium tropici and *Azospirillum brasilense* inoculations related to seed and bean plant quality parameters

Brazil is the world's leading producer and consumer of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and 70% of production comes from family farming. However, the use of quality seeds is still a challenge, since the rate of use of certified seeds is less than 20% of the area cultivated in Brazil. The main costs for the production of the bean plant are related to fertilizers, especially nitrogen. A viable, economic and environmental alternative to reduce the use of these fertilizers is the use of nitrogen fixing bacteria, such as those of the genus *Rhizobium*, and the promoters of plant development, such as those of the genus *Azospirillum*, which favor the symbiosis of the plant with the rhizobia, the development and yield of the plants, and enable the production of quality seeds and the reduction of production costs. Thus, the objective of this research was to evaluate the interference of the application of restricted doses of nitrogen in sowing, associated with the different methods of inoculation with *Rhizobium tropici* and, or, with *Azospirillum brasilense*, for the yield, for the quality of the seeds and for the production costs and the economic indicators of the cultivation of beans, the IAC Milênio cultivar, with the plants cultivated in the "dry" and "winter" crops, in conventional or direct sowing and with irrigation. Thus, the research was conducted in the experimental area and in the Seed Analysis Laboratory (LAS) of the Plant Production Department of the University of São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", in Piracicaba, São Paulo. For the studies related to the quality parameters of the plant and of the seeds produced, it was possible to conclude that the inoculation of the seed or of the furrow of the sowing, with *Rhizobium tropici* and, or, with *Azospirillum brasilense*, replaces the application of 60 kg ha^{-1} of nitrogen in cover, favors the nodulation, the yield and the quality of the seeds produced by the plants of the bean plant. The cultivation of the bean plant in the "dry" harvest is recommended, because it favors the physiological parameters of the seeds produced. The development and yield of the bean plants benefit from cultivation in conventional sowing. For the studies regarding other methods of inoculation of microorganisms, the results made it possible to conclude that the cultivation of the bean plant in the "winter" harvest favors the yield of seeds, however, the plant cultivated in the "dry" harvest produces seeds with superior quality. Soil development for conventional sowing favours the development and yield of bean plants. The application of 20 kg ha^{-1} of nitrogen in the sowing and the inoculation of the seed or the furrow of the sowing, with *Rhizobium tropici*, and, or, the inoculation with *Azospirillum brasilense* in the leaves of the plant, in stage V3, or V4, or R5, are viable techniques, because they favor the nodulation, the development and the yield of the plants, the physiological parameter of the seeds produced and reduce the use of nitrogen fertilizer in the cultivation of the bean plant. Regarding the economic analysis of the crop, it concludes that the bean plant cultivated in the "winter" harvest benefits the yield of the seeds and the profit of the crop. The cultivation of bean plants in conventional or direct sowing is economically viable, but in technical terms, cultivation in direct sowing reduces plowing operations and, or, grid the soil and, consequently, the cost of production. The application of 20 kg ha^{-1} of nitrogen in sowing associated with inoculation with *Rhizobium tropici* and, or, with *Azospirillum brasilense*, regardless of the mode of application, favors the yield and profit of growing the bean plant. Inoculations with *Rhizobium tropici* and, or, with *Azospirillum brasilense* are alternatives to replace the application in 60 kg ha^{-1} nitrogen coating, which increases the production cost of the bean plant.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., Biological nitrogen fixation, Seed yield, Economic analysis

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o principal consumidor e produtor mundial do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), com produção anual superior a 2 milhões e 300 mil toneladas, colhidas em 1 milhão e 600 mil hectares e rendimento médio de 1.431 kg ha^{-1}, referente à safra 2017/2018 (CONAB, 2019), e 70% dessa produção é proveniente da Agricultura Familiar (BRASIL, 2019). O preço dos insumos agrícolas e a taxa de utilização de sementes, apenas 20% da área cultivada no Brasil, contribuem para a redução do rendimento médio das plantas (ABRASEM, 2019; CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Para a agricultura tropical brasileira o nitrogênio (N) é um dos principais fatores limitantes do desenvolvimento e do rendimento da planta do feijoeiro, além de interferir na qualidade das sementes (FARINELLI et al. 2006; BARBOSA et al., 2011, GOMES JUNIOR; SÁ, 2010), por ser constituinte das proteínas e enzimas essenciais para o metabolismo das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2017). Todavia, a utilização dos fertilizantes nitrogenados onera o custo da produção e causa a contaminação dos rios, lagos e lençóis freáticos (CANTARELLA, 2007; BINOTTI et al., 2010; BINOTTI et al., 2014; SABUNDJIAN et al., 2014), além da emissão de dióxido de carbono (CO2), óxido nitroso (N2O), entre outros gases geradores do efeito estufa (SIQUEIRA NETO et al., 2011; HUNGRIA et al., 2013; GARCIA et al., 2013; ALMEIDA et al., 2015; SOUZA; FERREIRA, 2017)

A estratégia para reduzir a aplicação dos fertilizantes nitrogenados no cultivo das plantas do feijoeiro é a utilização das bactérias fixadoras do nitrogênio, como as do gênero *Rhizobium*, que fornecem parte do nitrogênio requerido pelas plantas, a partir da fixação biológica do nitrogênio (FBN), e a associação com as bactérias promotoras do desenvolvimento das plantas, como as do gênero *Azospirillum*, que favorecem a simbiose da planta com *Rhizobium* sp., devido à produção de fitohormônios como as auxinas, citocininas e giberelinas, à indução sistêmica de respostas de defesa aos patógenos e estresses, à solubilização do fosfato inorgânico do solo e à melhoria da absorção dos nutrientes no solo, além disso, esta bactérias também fixam nitrogênio para as plantas, de forma exógena às raízes, favorecendo o desenvolvimento e o rendimento da planta (CASSÁN et al., 2014; PÉREZ-MONTAÑO et al., 2014; OLIVEIRA-LONGATH; MARRA; MOREIRA, 2014; HUNGRIA et al. 2013, PERES et al. 2016; SOUZA; FERREIRA, 2017; STEINER et al. 2019).

Todavia, a eficiência da simbiose da planta do feijoeiro, com as bactérias fixadoras de nitrogênio e as promotoras do desenvolvimento das plantas, também, está relacionada aos fatores edafoclimáticos e genéticos (RAPOSEIRAS et al., 2002; RUFINI et al., 2011; SOUZA et al., 2011; FONSECA et al. 2013; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; MORAES et al., 2010), e à produção das plantas, como a utilização restrita dos fertilizantes nitrogenados na semeadura (BARROS et al., 2013; SOARES et al., 2016) e dos métodos para a inoculação (SOUZA; FERREIRA, 2017; OLIVEIRA et al., 2018; CARDILLO et al., 2019).

Pesquisas demonstraram que a utilização conjunta de *Rhizobium tropici* e de *Azospirillum brasilense*, no feijoeiro, favorece a nodulação, o desenvolvimento e, consequentemente, o rendimento das plantas (HUNGRIA et al., 2013; SOUZA; FERREIRA, 2017; STEINER et al. 2019). Porém, não há consenso, ainda, sobre os métodos de inoculação e há, também, restrição de pesquisas que avaliaram a qualidade das sementes do feijoeiro, produzidas a partir das plantas resultantes da inoculação destes microrganismos (BASSAN et al., 2001; PERES et al., 2018).

Portanto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar as interferências da aplicação de doses restritas de nitrogênio na semeadura, associada aos diferentes métodos de inoculação com *Rhizobium tropici* e, ou, com *Azospirillum brasilense*, para o rendimento da planta, para a qualidade das sementes e para os custos de produção e os indicadores econômicos do cultivo do feijoeiro, do cultivar IAC Milênio, com as plantas cultivadas nas safras "da seca" e "do inverno", em semeadura convencional ou direta e com irrigação.

REFERÊNCIAS

ABRASEM – Associação Brasileira de Sementes e Mudas. **Estatísticas**, 2019. Disponível em: http://www.abrasem.com.br/estatisticas/#. Acesso em: 20 mai. 2019.

ALMEIDA, R.F.; NAVES, E.R.; SILVEIRA, C.H. E WENDLING, B. Emissão de óxido nitroso em solos com diferentes usos e manejos: Uma revisão. **Revista Agronegócio e Meio Ambiente**, v.8, n.2, p.441-461, 2015.

BARBOSA, R.M.; COSTA, D.S.; HOMEM, B.F.M.; SÁ, M.E. Nitrogen on bean seeds yield and quality. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v.41, n.3, p. 470-474, 2011.

BARROS, R.L.N. OLIVEIRA, L.B.; MAGALHÃES, W.B.; MÉDICI, L.O.; PIMENTEL, C. Interaction between rizobial inoculation and sowing nitrogen fertilization on yield of common bean crop at dry and rainy seasons. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina-PR, v.34, n.4, p.1443-1450, 2013. DOI: 10.5433/1679-0359.2013v34n4p1443.

BASSAN, D.A.Z.; ARF, O.; BUZETTI, S.; CARVALHO, M.A.C.; SANTOS, N.C.B.; SÁ, M.E. Seed inoculation, nitrogen and molybdenum applicationon a winter bean crop: production and physiological seed quality. **Revista Brasileira de Sementes**. v.23, n.1, p.76-83, 2001. DOI: 10.17801/0101-3122/rbs.v23n1p76-83.

BINOTTI, F.F.S. ARF, O.; CARDOSO, E.D.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S. Sidedressing nitrogen fertilizer management of winter common bean in no tillage. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v.1, n.1, p.58-64, 2014. DOI: 10.32404/rean.v1i1.226.

BINOTTI, F.F.S.; ARF, O.; CARDOSO, E.D.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S.; NASCIMENTO, V. Sources and doses of sidedressing nitrogen on irrigated common bean cropped in winter in no tillage system. **Bioscience Journal** (UFU. Impresso), v.26, p.770-778, 2010.

BRASIL - Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), **O que é agricultura familiar?** Disponível em: http://www.mda.gov.br/sitemda/noticias/o-que-%C3%A9-agricultura-familiar. Acesso em: 10 mai. 2019.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: UFV, 2007. 1017 p.

CARDILLO, B.E.S.; OLIVEIRA, D.P; SOARES, B.L.; MARTINS, F.A.D.; RUFINI, M.; SILVA, J.S.; FERREIRA NETO, G.G.; ANDRADE, M.J.B.; MOREIRA, F.M.S. Nodulation and yields of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) are not affected either by fungicides or by the method of inoculation. **Agronomy Journal**. v.111, n.2, p.694-701, 2019. DOI: 10.2134/agronj2018.06.0389.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: Funep, 2012. 590 p.

CASSÁN, F.; VANDERLEYDEN, J.; SPAEPEN, S. Physiological and agronomical aspects of phytohormone production by model plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) belonging to the Genus *Azospirillum*. **Journal Plant Growth Regulation**, v.33, p. 440–459, 2014.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos - safra 2018/19 - quarto levantamento**. v.6, n.4, 2019.

FARINELLI, R.; LEMOS, L.B.; CAVARIANI, C.; NAKAGAWA, J. Productivity and physiological quality of common bean seeds in function of soil tillage systems and nitrogen fertilization. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v.41, n.2, p.307-312, 2006.

FONSECA, G.G.; OLIVEIRA, D.P.; SOARES, B.L.; FERREIRA, P.A.A.; TEIXEIRA, C.M.; MARTINS, F.A.D., MOREIRA, F.M.S. E ANDRADE, M.J.B. Common bean cultivars response to seed inoculation with two *Rhizobium* strains. **Bioscience Journal**. v.29, n.6, p.1778-1787, 2013.

GARCIA, G.; CARDOSO, A.A. E SANTOS, O.A.M. From shortage to stress on earth: a century of changes in the nitrogen cycle. **Química Nova**. v.36, n.9, p.1468-1476, 2013. DOI: 10.1590/S0100-40422013000900032

GOMES-JÚNIOR, F.G.; SÁ, M.E. Protein content and common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seed quality in relationship to nitrogen fertilization in a no-tillage system. **Revista Brasileira de Sementes**. v.32, n.1, p.34-44, 2010. DOI: 10.1590/S0101-31222010000100004.

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**. v.49, p.791-801, 2013. DOI 10.1007/s00374-012-0771-5.

MORAES, W. B.; MARTINS FILHO, S.; GARCIA, G.O.; CAETANO, S.P.; MORAES, W.B.; COSMI, C.F. Evaluation of biological fixation of nitrogen in *Rhizobium* under water deficit. **Idesia** (Chile), v.28, n.1, p.61-68, 2010. DOI: 10.4067/S0718-34292010000100009.

MOREIRA, F.M.S; SIQUEIRA, J.O. **Microbiology and soil biochemistry**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729p.

OLIVEIRA, D.P.; SOARES, B.L.; MARTINS, F.A.D., FRANCESCHINI, L.A.; CARDILLO, B.E.S.; RUFINI, M.; MORAIS, A.R.; MOREIRA, F.M.S.; ANDRADE, M.J.B. Viability of liquid médium-inoculation of *Rhizobium etli* in planting furrows with common bean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.53, n.3, p.394-398, 2018. DOI: 10.1590/s0100-204x2018000300015.

OLIVEIRA-LONGATTI, S.M., MARRA, L.M., SOARES, B. L.; BOMFETI, C.A.; SILVA, K.; FERREIRA, P.A.A.; MOREIRA, F.M.S. Bacteria isolated from soils of the western Amazon and from rehabilitated bauxite-mining areas have potential as plant growth promoters. **World Journal Microbiology Biotechnology**. v.30, n.4, p.1239-1250, 2014. DOI: 10.1007/s11274-013-1547-2

PERES, A.R.; PORTUGAL, J.R.; RODRIGUES, R.A.F.; SÁ, M.E.; ARF, O.; FRANCO, A.A.; GARÉ, L.M. Effect of common bean cultivation with co-inoculation (*Rhizobium tropici* and *Azospirillum brasilense*) and irrigation depths on the physiological quality of the seeds produced. **Investigación Agraria**. v. 20, n.1, p. 11-21, 2018. DOI:10.18004/investig.agrar.2018.junio.11-21.

PERES, A.R.; RODRIGUES, R.A.F.; ARF, O.; PORTUGAL, J.R.; CORSINI, D.C.D. C. Co-inoculation of *Rhizobium tropici* and *Azospirillum brasilense* in common beans grown under two irrigation depths. **Revista Ceres**, Viçosa. v.63, n.2, p.198-207, 2016. DOI: 10.1590/0034-737X201663020011.

PÉREZ-MONTAÑO, F.; ALÍAS-VILLEGAS, C.; BELLOGÍN, R. A.; DEL CERRO, P.; ESPUNY, M. R.; JIMÉNEZ-GUERRERO, I.; LÓPEZ-BAENA, F.J.; OLLERO, F.J.; CUBO, T. Plant growth promotion in cereal and leguminous agricultural important plants: from microorganism capacities to crop production. **Microbiological Research**. v.169, p.325–336, 2014. DOI: 10.1016/j.micres.2013.09.011

RAPOSEIRAS, R.; PINTO, P.R.; PASSOS, R.V.M.; SELDIN, L.; PAIVA, E.; SCOTTI, M.R.; SÁ, N.M.H. Variability of isolated colonies in bean nodulating *Rhizobium* strains before and after exposure to hight temperature. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo. v.33; p.149-154, 2002. DOI: 10.1590/S1517-83822002000200010.

RUFINI, M.; FERREIRA, P.A.A.; SOARES, B.L.; OLIVEIRA, D.P.; ANDRADE, M.J.B.; MOREIRA, F.M.S. Symbiosis of nitrogen fixing bacteria with common bean in different pH values. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.1, p.81-88, 2011. DOI: 10.1590/S0100-204X2011000100011

SABUNDJIAN, M.T.; ARF, O.; KANEKO, F.H.; NASCIMENTO, V. Sources nitrogen in bean winter in succession to grass with and without inoculation of *Azospirillum brasilense*: economic analysis. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**. v.8, n.2, p.139-145, 2014. DOI: 10.18011/bioeng2014v8n2p139-145.

SIQUEIRA NETO, M., PICCOLI, M.C., COSTA JUNIOR, C., CERRI, C.C., BERNOUX, M. Greenhouse gas emission caused by different land-uses in brazilian Savannah. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.35, p.63–76, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000100006.

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.S. Agronomic and economic efficiency of common-bean inoculation with rhizobia and mineral nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.40, n.15, 2016. DOI: 10.1590/18069657rbcs20150235

SOUZA, E. F. C.; SORATTO, R. P.; PAGANI, F. A. Nitrogen fertilization and *Rhizobium* inoculation in common bean cultivated after corn intercropped with palisade grass. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.4, p.370-377, 2011. DOI: 10.1590/S0100-204X2011000400005.

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. DOI: 10.1016/j.agee.2016.12.040.

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**, Londrina. v.40, n.1, p.81-98, 2019. DOI: 10.5433/1679-0359.2019v40n1p81

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Porto Alegre, Artmed. 6. ed. 2017, 858 p.

2. OS PARÂMETROS DE QUALIDADE RELACIONADOS À PLANTA DO FEIJOEIRO E ÀS SEMENTES PRODUZIDAS SÃO INFLUENCIADOS PELA INOCULAÇÃO DA SEMENTE OU DO SULCO DA SEMEADURA COM *Rhizobium tropici* E, OU, *Azospirillum brasilense*?

Resumo

O nitrogênio é essencial para planta e para a produção das sementes do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L). Geralmente este elemento é disponibilizado por meio da adubação química, entretanto, as plantas do feijoeiro podem estabelecer simbiose com as bactérias do gênero *Rhizobium* que fornecem parte do nitrogênio requerido pela planta, a partir da fixação biológica do nitrogênio atmosférico – FBN, além disso, a inoculação conjunta com as bactérias do gênero *Azospirillum* pode favorecer esta simbiose, o desenvolvimento e o rendimento das plantas e a qualidade das sementes produzidas. Entretanto, não há consenso quanto aos métodos de inoculação em relação ao rendimento das plantas e à qualidade das sementes. Deste modo, é necessário o aprimoramento dos métodos de inoculação para garantir o rendimento das plantas e a qualidade das sementes do feijoeiro produzidas pelos agricultores brasileiros. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar os parâmetros relacionados à qualidade da planta e das sementes produzidas em função da inoculação, da semente ou do sulco da semeadura, com *Rhizobium tropici* e, ou, com *Azospirillum brasilense*, cultivadas nas safras “da seca” e “do inverno” e em semeadura convencional ou direta. Assim, a inoculação da semente ou do sulco da semeadura, com *Rhizobium tropici* e, ou, com *Azospirillum brasilense*, substitui a aplicação de 60 kg ha-1 de nitrogênio em cobertura, favorece a nodulação, o rendimento e a qualidade das sementes produzidas pelas plantas do feijoeiro. O cultivo da planta do feijoeiro na safra “da seca” é recomendado, pois, favorece o parâmetro fisiológico das sementes produzidas. O desenvolvimento e o rendimento das plantas do feijoeiro são beneficiados pelo cultivo em semeadura convencional.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., Métodos de inoculação, Rendimento

Abstract

Nitrogen is essential for the plant and for the production of bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L). Generally this element is made available through chemical fertilization, however, the bean plants can establish symbiosis with the *Rhizobium* bacteria that provide part of the nitrogen required by the plant, from the biological fixation of atmospheric nitrogen - FBN, in addition, the joint inoculation with the *Azospirillum* bacteria can favor this symbiosis, the development and yield of the plants and the quality of the seeds produced. However, there is no consensus on the methods of inoculation in relation to the yield of plants and the quality of seeds. This way, it is necessary the improvement of the inoculation methods to guarantee the yield of the plants and the quality of the feijoeiro seeds produced by the Brazilian farmers. Therefore, the objective of this research was to evaluate the parameters related to the quality of the plant and of the seeds produced in function of the inoculation, of the seed or of the furrow of the sowing, with Rhizobium tropici and, or, with Azospirillum brasilense, cultivated in the harvests "of the drought" and "of the winter" and in conventional or direct sowing. Thus, the inoculation of the seed or of the sowing furrow, with *Rhizobium tropici* and, or, with *Azospirillum brasilense*, replaces the application of 60 kg ha^{-1} of nitrogen in cover, favors the nodulation, the yield and the quality of the seeds produced by the bean plants. The cultivation of the bean plant in the "dry" harvest is recommended, because it favors the physiological parameter of the seeds produced. The development and yield of the bean plants benefit from cultivation in conventional sowing.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., Inoculation methods, Yield

2.1. Introdução

O nitrogênio é essencial para a formação da planta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e para a produção das sementes (GOMES JUNIOR; SÁ, 2010; BARBOSA; GONZAGA, 2012), por ser constituinte das proteínas e das enzimas que atuam no metabolismo da planta (TAIZ; ZEIGER, 2017). Geralmente o nitrogênio é disponibilizado por meio da adubação química, porém, devido às perdas por lixiviação, volatilização, imobilização pela biomassa microbiana e escoamento superficial, os fertilizantes nitrogenados apresentam, no máximo, 50% de eficiência nos solos tropicais, além de causarem a contaminação de aquíferos, rios e lagos (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2007; CANTARELLA, 2007; BINOTTI et al., 2010; BINOTTI et al., 2014; SABUNDJIAN et al., 2014) e contribuírem para emissão de dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O), entre outros gases geradores do efeito estufa (SIQUEIRA NETO et al., 2011; GARCIA et al., 2013; ALMEIDA et al., 2015).

Assim, a fixação biológica do nitrogênio (FBN), obtida por meio da simbiose mutualística entre a planta e as bactérias do gênero *Rhizobium* (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), constitui o meio econômico e ecológico para a disponibilização deste elemento, inclusive com a possibilidade de redução dos custos e eliminação de riscos para o ambiente, durante o cultivo do feijoeiro (HUNGRIA et al., 2013; SOUZA; FERREIRA, 2017). Estratégia para garantir a interação da planta do feijoeiro com os microrganismos e, consequentemente, contribuir para eficiência da fixação biológica do nitrogênio é a combinação de técnicas de inoculação, a restrição do fertilizante nitrogenado aplicado na semeadura (PELEGRIN et al., 2009; SOARES et al., 2016, BARROS et al. 2013; CARDILLO et al., 2019) e a associação das bactérias do gênero *Rhizobium* com as promotoras do crescimento do gênero *Azospirillum* (HUNGRIA et al. 2013, PERES et al. 2016; SOUZA; FERREIRA, 2017; STEINER et al. 2019).

As bactérias do gênero *Azospirillum*, a partir da produção de fitormônios, especialmente, as auxinas, giberelinas e citocininas, induzem o desenvolvimento das raízes e a formação de pelos radiculares, aumentando a secreção de flavonoides indutores dos genes *nod*, favorecendo as condições para a infecção do *Rhizobium* sp. e a nodulação, além de reduzirem o estresse hídrico, a virulência e agressividade dos patógenos por meio da competitividade, e aumentarem o rendimento das plantas (BURDMAN; KIGEL; OKON, 1997; CASSÁN; VANDERLEYDEN; SPAEPEN, 2014; COMPANT; CLÉMENT; SESSITSCH, 2010; BOIERO et al. 2007; BOIVIN et al., 2016; GITTI et al., 2012).

Resultados de pesquisas demonstraram os benefícios da inoculação com *Rhizobium* sp. e com *Azospirillum* sp. para a nodulação, o desenvolvimento e o rendimento das plantas do feijoeiro em ambientes tropicais (DARDANELLI et al., 2008; YADEGARI et al, 2010; HUNGRIA et al., 2013; SOUZA;

FERREIRA, 2017; STEINER et al. 2019). Souza e Ferreira (2017) obtiveram aumento de 15% no rendimento das plantas do feijoeiro com a inoculação de *Rhizobium tropici* e de *Azospirillum brasilense* em comparação com a inoculação isolada do *Rhizobium tropici*. Steiner et al. (2019) afirmaram que a inoculação da semente do feijoeiro, apenas com *Rhizobium tropici* ou combinado com *Azospirillum brasilense*, aumentou a nodulação e o rendimento das plantas cultivadas durante o período seco no Cerrado brasileiro e sugeriram que a resposta positiva da inoculação com estes microrganismos depende das condições ambientais durante o desenvolvimento da planta.

Entretanto, não há, ainda, consenso em relação aos métodos de inoculação destes microrganismos e há restrição de resultados quanto à avaliação da inoculação com *Rhizobium* sp. e, ou, com *Azospirillum* sp. em relação à qualidade das sementes do feijoeiro produzidas (BASSAN et al., 2001; PERES et al., 2018). Para Peres et al. (2018), as plantas de feijoeiro, cujas sementes foram inoculadas com *Rhizobium tropici* e, ou, com *Azospirillum brasilense*, produziram sementes com qualidade equivalente a das plantas adubadas com até 80 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura.

Deste modo, é necessário o aprimoramento dos métodos de inoculação para garantir o rendimento das plantas e a qualidade das sementes do feijoeiro produzidas pelos agricultores brasileiros. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar os parâmetros relacionados à qualidade da planta e das sementes produzidas em função da inoculação da semente ou do sulco da semeadura, com *Rhizobium tropici* (estirpe SEMEA 4088) e, ou, com *Azospirillum brasilense* (estirpes AbV5 e AbV6), com as plantas do feijoeiro, do cultivar IAC Milênio, cultivadas nas safras “da seca” e “do inverno” e em semeadura convencional ou direta.

2.2. Material e Métodos

Para o cultivo das plantas do feijoeiro foi utilizada a área experimental do Departamento de Produção Vegetal, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", município de Piracicaba – SP (47°38’ W; 20°42’ S e 532 metros de altitude). O solo da área é um Nitossolo Vermelho eutrófico latossólico (EMBRAPA, 2006) e o clima, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, subtropical úmido, verão quente e chuvoso e inverno seco, temperatura média anual de 21,4°C e precipitação média anual de 1.257 mm.

Na Tabela 1, são apresentados os resultados das análises, química e física, obtidas das amostras do solo retiradas da camada de 0 a 20 cm de profundidade das áreas de cultivo. As informações referentes à radiação luminosa, à temperatura, à precipitação pluvial e à umidade relativa do ar nos períodos de condução das pesquisas são apresentadas na Figura 1.

A semeadura do feijoeiro foi em dois momentos, correspondentes às safras “da seca”, entre março e junho, e a “do inverno”, entre julho e novembro do ano 2017. As plantas foram cultivadas em dois sistemas, um com revolvimento do solo, realizado por meio de uma gradagem, utilizando uma grade aradora com discos de 32 polegadas, e outras duas gradagens, utilizando uma grade niveladora com discos de 20 polegadas, considerado como semeadura convencional (SC) e outro sem revolvimento do solo, considerado como semeadura direta (SD), ambos com irrigação por aspersão. Os tratamentos experimentais utilizados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 1. Resultado das análises, química e física, de amostras de solo retiradas. da camada de 0 a 20 cm de profundidade, dos locais do cultivo das plantas do feijoeiro, Piracicaba-SP.

Características	Unidade	Safra “da seca”		Safra “do inverno”	
		SC	SD	SC	SD
pH CaCl	-	5,30	5,10	5,40	5,40
P (Resina)	mg dm^{-3}	37,00	40,00	29,00	24,00
K	$mmol_c$ dm^{-3}	6,40	4,40	5,60	5,60
Ca	$mmol_c$ dm^{-3}	29,00	20,00	46,00	28,00
Mg	$mmol_c$ dm^{-3}	14,00	11,00	17,00	15,00
Al	$mmol_c$ dm^{-3}	0,00	3,00	0,00	0,00
H + Al	$mmol_c$ dm^{-3}	31,00	34,00	28,00	25,00
SB	$mmol_c$ dm^{-3}	49,00	35,40	69,00	49,00
t	$mmol_c$ dm^{-3}	49,00	38,40	69,00	49,00
T	$mmol_c$ dm^{-3}	80,00	69,00	97,00	74,00
V	%	61,00	51,00	71,00	66,00
m	%	0,00	8,00	0,00	0,00
M.O.	g dm^{-3}	23,00	18,00	21,00	21,00
Zn	mg dm^{-3}	1,80	2,20	2,20	1,30
Fe	mg dm^{-3}	10,00	15,00	24,00	10,00
Mn	mg dm^{-3}	28,00	26,00	22,40	8,40
Cu	mg dm^{-3}	2,00	4,00	5,20	3,20
B	mg dm^{-3}	0,45	0,17	0,12	0,13
S	mg dm^{-3}	14,00	7,00	7,00	11,00
Argila	g kg^{-1}	481,00	481,00	483,00	492,00
Silte	g kg^{-1}	189,00	179,00	227,00	208,00
Areia total	g kg^{-1}	330,00	340,00	290,00	300,00
Classe textural	-	Argiloso	Argiloso	Argiloso	Argiloso

Análise realizada pelo Laboratório Pirasolo, Piracicaba-SP. SC= Semeadura convencional; SD= Semeadura direta; SB= Soma de bases; T= Capacidade de troca de cátions a pH 7,0; t= Capacidade efetiva de troca de cátions, m= Saturação por alumínio, V= Saturação por bases, M.O.= Matéria orgânica.

Na safra “da seca” as sementes do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) utilizadas foram adquiridas do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), enquanto, para a safra “do inverno”, foram utilizadas as sementes produzidas na safra “da seca”. O cultivar utilizado foi IAC Milênio, cujas plantas possuem arquitetura semiereta, resistência à antracnose e à murcha de *Fusarium* sp., hábito de crescimento indeterminado, tipo III, ciclo em torno de 90 a 95 dias e potencial produtivo de 4.625 kg ha^{-1}. As sementes são do tipo Carioca e a massa média de mil sementes de 290g (CARBONELL et al. 2014).

Os microrganismos utilizados foram da estirpe SEMIA 4088 (=H 12) de *Rhizobium tropici* indicada para o feijoeiro e das estirpes AbV5 e AbV6 de *Azospirillum brasilense* indicada para o milho, ambas aprovadas pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) para produção de inoculantes no Brasil (BRASIL, 2011). A inoculação foi realizada utilizando o inoculante comercial líquido Starfix Feijão®, com *Rhizobium tropici*, avaliando a dose de $1,6x10^6$ células semente^{-1} ou $1,4x10^8$ células metro^{-1} no sulco da semeadura, a concentração do inoculante era de $1,0x10^9$ células mL^{-1}. Para a inoculação com *Azospirillum brasilense* o inoculante comercial líquido foi o AzoMax®, avaliando a aplicação da dose de $3,2x10^6$ células semente^{-1} ou $4,5x10^7$ células metro^{-1} no sulco da semeadura, a concentração do inoculante era de $2,0x10^9$ células mL^{-1}.

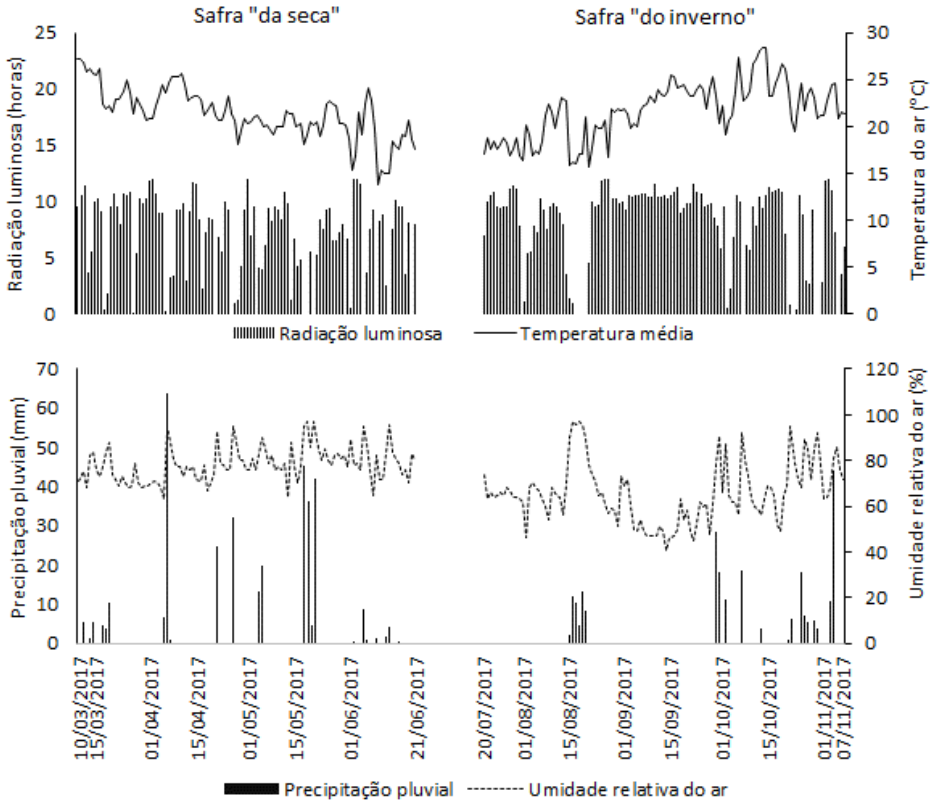

Figura 1. Dados diários da radiação luminosa (horas), temperatura média do ar (°C), precipitação pluvial (mm) e umidade relativa do ar (%) durante o período do cultivo do feijoeiro, entre março e novembro de 2017.

Fonte: Série de Dados Climatológicos do Campus Luiz de Queiroz de Piracicaba, SP, Departamento de Engenharia de Biossistemas, USP, ESALQ.

Tabela 2. Descrição dos tratamentos utilizados para os experimentos de campo, Piracicaba-SP.

SI - Sem inoculação
ASE - Inoculação da semente com o *Azospirillum brasilense*
ASU - Inoculação do sulco de semeadura com o *Azospirillum brasilense*
RSE - Inoculação da semente com o *Rhizobium tropici*
RSU - Inoculação do sulco de semeadura com o *Rhizobium tropici*
RSE+ASE - Inoculação da semente com o *Rhizobium tropici* e o *Azospirillum brasilense*
RSU+ASU - Inoculação do sulco de semeadura com o *Rhizobium tropici* e o *Azospirillum brasilense*
SI+60N - Sem inoculação e adubação com 60 kg de N ha^{-1} em cobertura

Para a composição da unidade experimental foram semeadas 6 linhas de 4 m de comprimento com 0,45 m entre as linhas (10,8 m^2) e distribuídas, em média, 12,5 e 14,0 sementes por metro para o cultivo na safra "da seca" e "do inverno", respectivamente, com 3 a 4 cm de profundidade. As linhas externas, 1 e 6, foram consideradas bordaduras e as demais constituíram a unidade útil. Para evitar a contaminação por escoamento superficial contendo bactérias e, ou, fertilizantes, as unidades experimentais foram separadas por 1,0 m, em cada lado, metodologia similar à utilizada por Souza e Ferreira (2017).

A semeadura foi realizada manualmente em 10 e 14 de março de 2017 e em 20 e 21 de julho de 2017, as plantas antecessoras foram as de trigo na safra "da seca" e do milheto na safra "do inverno". A adubação, no momento da semeadura, correspondeu à aplicação de 70 kg P_2O_5 ha^{-1}, 20 kg K_2O ha^{-1} e 20 kg N ha^{-1}, como fontes o superfosfato simples, o cloreto de potássio e o sulfato de amônio, respectivamente. A inoculação das sementes foi realizada no momento da semeadura e a do sulco logo após a semeadura, aplicando 260 L ha^{-1} da mistura de água mais inoculante. Aos 20 dias após a emergência das plantas (DAE) na safra "da seca" e aos 24 DAE na safra "do inverno", no estádio V4 do ciclo da planta do feijoeiro (FERNÁNDEZ et al., 1986) foram aplicados 60 kg de N ha^{-1} (fonte sulfato de amônio) em cobertura nas plantas das unidades experimentais correspondentes ao tratamento SI+60N.

Para o controle das plantas infestantes em pré semeadura, na semeadura direta, em ambas safras, foi aplicado o herbicida não seletivo glifosato na dose de 1,9 kg i.a. ha^{-1} (5 L ha^{-1}de Roundup®). Aos 10 DAE na safra "da seca" e 12 DAE na safra "do inverno", foram aplicados os herbicidas pós-emergentes seletivo para a planta do feijoeiro, fomesafen e fluazifop-p-butil (1L ha^{-1} de Flex® + 0,5 Fusilade®) nas doses de 250 e 125 g i.a. ha^{-1}, respectivamente, para o controle das plantas infestantes. Na maturidade fisiológica das sementes - estádio R9 do ciclo da planta do feijoeiro (FERNÁNDEZ et al., 1986), na safra "do inverno" e para a semeadura convencional, as plantas foram dessecadas com 500 g i.a. ha^{-1} de paraquat (2,5 L ha^{-1} de Gramoxone®).

Para o controle das pragas, aos 7 DAE na safra "da seca" e aos 9 DAE na safra "do inverno", foram aplicados os inseticidas acetamiprido + bifentrina (180 g ha^{-1}de Sperto®), ambos com 45 g i.a. ha^{-1}, e 25 g ha^{-1} de i.a. do inseticida piriproxifem (0,25 L ha^{-1}de Tiger 100 EC®) para controle de *Bemisia*

tabaci; aos 12 DAE na safra “da seca”, os inseticidas acetamiprido + bifentrina (180 g ha^{-1}de Sperto®) foram aplicados novamente, ambos com 45 g i.a. ha^{-1}. Aos 20 DAE na safra “do inverno” e para o sistema de semeadura direta, foram colocadas isca com o inseticida fipronil (Blitz®) para o controle de *Atta* sp. Aos 27 DAE na safra “da seca” e aos 31 DAE na safra “do inverno”, foram aplicados 18 g i.a. ha^{-1} do inseticida e do acaricida abamectina (0,5 L ha^{-1}de Kraft 36 EC®), para controle de *Lyriomyza huidobrensis*; aos 59 DAE na safra “do inverno” foram aplicados 17,63 g i.a. ha^{-1} e 13,25 g i.a. ha^{-1} dos inseticidas tiametoxam + lambda-cialotrina, respectivamente (0,125 L ha^{-1}de Engeo pleno®), para o controle de *Diabrotica speciosa*.

Para o controle de patógenos, aos 27 DAE na safra “da seca” e aos 31 DAE na safra “do inverno”, foram aplicados 60 g i.a. ha^{-1} do fungicida azoxistrobina (120 g ha^{-1} de Amistar WG®) para o controle e a prevenção de *Colletotrichum lindemuthianum*, *Phaeoisariopsis griseola* e *Uromyces appendiculatus* e aos 50 DAE na safra “da seca” foram aplicados 320 g i.a. ha^{-1} do fungicida hidróxido de fentina (0,8 L ha^{-1} de Mertin®), para a prevenção e o controle de *Colletotrichum lindemuthianum*, *Phaeoisariopsis griseola*, *Uromyces appendiculatus* e *Alternaria* spp.. Na safra “do inverno” aos 72 DAE foram aplicados, respectivamente, 300 g i.a. ha^{-1} e 750 g i.a. ha^{-1} de tiofanato-metílico + clorotalonil (1,5 kg ha^{-1} de Cerconil WP®) para o controle e a prevenção de *Colletotrichum lindemuthianum*, *Cercospora* sp., *Uromyces appendiculatus*, *Phaeoisariopsis griseola*, *Alternaria* sp., *Peronospora manshurica*, *Phytophthora phaseoli*, *Erysiphe polygoni* e *Sclerotinia sclerotiorum*. Para todas as aplicações foram pulverizados 300 L ha^{-1} de água mais o produto, com o bico do tipo leque para os herbicidas, inseticidas e acaricidas e o tipo cone para os fungicidas, conforme indicações da bula dos produtos.

Para as avaliações foram utilizadas as 4 linhas centrais da unidade experimental, sendo que, as linhas 2 e 3 foram utilizadas para as avaliações no estádio R6 e as linhas 4 e 5 para as avaliações nos estádios V2 e R9 do ciclo da planta do feijoeiro (FERNÁNDEZ et al., 1986).

Com as plantas do feijoeiro no estádio V2 do ciclo foram determinadas a população (PI) e a emergência inicial das plantas (EI). Posteriormente, na floração, estádio R6 do ciclo da planta do feijoeiro, foram determinados o índice relativo de clorofila (IRC), o teor de clorofila das folhas (TC), o índice de suficiência de nitrogênio (ISN), a massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA), o número de nódulos (NN) e a massa da matéria seca dos nódulos (MMSN). No momento da colheita, estádio R9 do ciclo da planta do feijoeiro, foram determinadas a população final de plantas (PF), os componentes primários do rendimento das plantas, tais como o número de vagens por planta (NVP), o número de sementes por vagem (NSV) e o peso de mil sementes (PMS), e o rendimento de sementes das plantas do feijoeiro (RS).

Para as determinações da população inicial e da emergência inicial de plantas foram contadas as plantas do feijoeiro das linhas 4 e 5, de cada unidade experimental. A partir destes dados, foi calculada a população em plantas ha^{-1} e a emergência das plantas em percentagem.

O índice relativo de clorofila (IRC) foi determinado por meio do clorofilômetro Minolta® SPAD e calculado a partir da média de 30 leituras em cada unidade experimental, obtidas em 10 folhas completamente desenvolvidas e expandidas, sendo, uma folha por planta e uma leitura por folíolo. Com os dados do índice relativo de clorofila foram calculados o teor de clorofila das folhas (TC), em mg dm^{-2}, por meio da equação y = -0,152 + 0,0996x de Barnes et al. (1992) e o índice de suficiência de nitrogênio (ISN) da planta do feijoeiro, em porcentagem, utilizando as leituras obtidas nas folhas das plantas do tratamento SI+60N como referência – 100% (MAIA et al., 2017; CARVALHO et al., 2012; SILVEIRA; FEREIRA, 2016).

Para as determinações da massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA), em gramas por planta, do número de nódulos (NN), em unidade por planta, e da massa da matéria seca dos nódulos (MMSN), em miligramas por planta, foram coletadas 10 plantas, de forma aleatória, das linhas 2 e 3 de cada unidade experimental. As partes aéreas das plantas foram coletadas por meio do corte da planta rente ao solo, colocadas em sacas de papel tipo *Kraft*, previamente identificados em relação aos tratamentos para serem posteriormente avaliadas; em seguida, as raízes foram coletadas do solo, com uma pá reta, colocadas em sacos plásticos, previamente identificados, e armazenadas em câmara a 10±2°C, até a contagem dos nódulos. No laboratório, os nódulos foram destacados das raízes, contados manualmente e depositados em recipientes; após este procedimento, os nódulos e as partes aéreas das plantas foram secos em estufa, com circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas e pesados em balança digital, com precisão de 0,001 e 0,01g, respectivamente. A partir dos dados da massa da matéria seca da parte aérea, foi calculada a eficiência relativa do desenvolvimento das plantas, correspondente a cada tratamento, por meio da expressão ER = (MMSPA das plantas resultantes dos tratamentos sem a inoculação ou com a inoculação de *Rhizobium tropici* e, ou, de *Azospirillum brasilense* / MMSPA das plantas obtidas sem a inoculação e adubadas com nitrogênio) x 100, utilizando como referência (ER=100%) a massa da matéria seca da parte aérea das plantas das unidades experimentais do tratamento SI+60N.

Para a determinação da população final de plantas (PF) as plantas do feijoeiro das linhas 4 e 5 foram coletadas e contadas e o resultado foi expresso em plantas ha^{-1}; em seguida, foram separadas dez plantas de cada unidade experimental, de forma aleatória, que foram utilizadas para as determinações, do número de vagens por planta (NVP) e do número de sementes por vagem (NSV), por meio de contagem; em seguida, foram divididas oito repetições de 100 sementes, duas de cada unidade experimental, para determinar o peso de mil sementes (PMS) e o resultado foi expresso em gramas (BRASIL, 2009). Após estes procedimentos foi determinado o rendimento de sementes das plantas do feijoeiro (RS), em kg ha^{-1}, sendo que, as plantas coletadas das linhas 4 e 5, de cada unidade experimental, foram trilhadas e as sementes pesadas em conjunto às sementes das 10 plantas utilizadas para as determinações dos componentes primários do rendimento. Em seguida, foi determinado o teor de água

das sementes, por meio de estufa a 105±3°C por 24 horas (BRASIL, 2009), corrigindo os valores do peso de mil sementes e do rendimento de sementes para 13% (130 g kg^{-1}) de água, em seguida, as sementes foram armazenadas a 10±2°C e umidade relativa do ar de 35±5%.

Para avaliar a classificação das sementes, após sete dias de armazenamento, foi utilizada uma balança digital (0,01g), para pesar uma amostra de 100±1 g de sementes de cada unidade experimental, classificadas por meio de peneiras com crivos oblongos nas medidas de 10/64 x ¾", 12/64 x ¾" e 14/64 x ¾" (P10, P12 e P14, respectivamente). A partir dos dados foram calculadas as porcentagens de sementes retidas em cada peneira (BRASIL, 2009; CARBONELL et al., 2010).

Para determinar o teor de água inicial e após o teste de envelhecimento acelerado foram utilizadas 10 sementes de cada unidade experimental, mantidas em estufa a 105ºC ± 3°C por 24 horas (BRASIL, 2009). O resultado foi expresso em porcentagem, base úmida.

Nas avaliações da germinação (G) e da primeira contagem da germinação (PCG) foram semeadas 50 sementes de cada unidade experimental em rolos compostos por 4 folhas de papel, da marca *Germitest*, umedecidas em 2,5 vezes o seu peso seco com água destilada; a seguir, foram mantidas em germinador a 25°C. As avaliações foram no 5º dia após a semeadura, para a primeira contagem da germinação, e no 7º dia para a germinação. Os resultados foram expressos em porcentagem e relacionados à quantidade de plântulas normais (BRASIL, 2009).

Para as avaliações do comprimento do hipocótilo (CH), da raiz primária (CR) e da plântula (CP) foram utilizadas 10 sementes de cada unidade experimental, distribuídas em papel, da marca *Germitest*, umedecido com água destilada, em quantidade relativa a 2,5 vezes o peso seco; a seguir foram mantidas a 25 °C, por cinco dias. Os comprimentos do hipocótilo e da raiz foram determinados manualmente, utilizando uma régua graduada em centímetros, e o comprimento da plântula representa o valor da soma destas determinações, os resultados foram expressos em centímetros. Em seguida, foi determinada a massa da matéria seca das plântulas normais (MMSP); após retirar os cotilédones das plântulas o restante foi colocado em sacas de papel tipo *Kraft* e secas em estufa a 80ºC por 24 horas, após este período as plântulas foram pesadas e o resultado expresso em miligramas por plântula (NAKAGAWA, 1999).

Para o teste de envelhecimento acelerado (EA) as sementes foram colocadas em caixas plásticas, contendo 40 mL de água destilada, distribuídas sobre tela de aço inoxidável, e, a seguir, mantidas em BOD, a 41ºC, por 48 horas (MARCOS FILHO et al., 2001). Após este período, as sementes foram colocadas para germinar conforme já descrito, com avaliação no 5º dia. O resultado foi relacionado à quantidade de plântulas normais e expresso em porcentagem.

A determinação da emergência das plântulas em campo (EPC) foi avaliada a partir da semeadura de 50 sementes de cada unidade experimental em campo, em um solo de textura argilosa, com a irrigação por aspersão, 7 litros de água por metro quadrado por dia, controlada por meio de

pluvimetro. A avaliação foi realizada no 14º dia após a semeadura, contabilizando o total de plântulas normais emersas e o resultado foi expresso em porcentagem.

O delineamento experimental utilizado, em cada experimento de campo e em laboratório, foi em blocos casualizados com quatro repetições e 8 tratamentos (Tabela 2). Os dados foram avaliados individualmente e após verificada a homogeneidade dos quadrados médios residuais foi realizada a análise conjunta (GOMES, 1990). Para a análise conjunta dos dados, o delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições e esquema fatorial 2x8, representados pelos dois sistemas de cultivo (semeadura convencional e direta) e pelos oito tratamentos (Tabela 2). Para todas variáveis a normalidade e a homogeneidade das variâncias dos resíduos foram calculadas pelos testes de *Shapiro-Wilk* e *Kolmogorv-Smirnov*, respectivamente, e quando necessário os dados foram transformados pela equação de Box-Cox e posteriormente analisados quanto à variância (ANOVA), para as variações significativas ($p \leq 0,05$) foi utilizado o teste para comparação das médias de *Tukey* ($p \leq 0,05$). As análises foram realizadas utilizando o *software* R®.

2.3. Resultados e Discussão

2.3.1. Características avaliadas nos estádios V2 e R6 do ciclo da planta do feijoeiro

Os resultados da análise de variância conjunta indicaram efeito significativo dos sistemas de cultivo para o número de nódulos e as massas secas de nódulos e da parte aérea e dos tratamentos para o número e a massa da matéria seca dos nódulos, na safra “da seca”. Para safra “do inverno” houve efeito significativo dos sistemas de cultivo para a massa da matéria seca da parte aérea e dos tratamentos para o número e a massa da matéria seca dos nódulos (Tabela 3).

2.3.1.1. Estabelecimento e nodulação das plantas do feijoeiro

A população inicial e a emergência inicial das plantas do feijoeiro não tiveram influência significativa dos sistemas de cultivo, para as duas safras (Tabela 3). Segundo Kaneko et al. (2010), a população inicial de plantas do feijoeiro depende, principalmente, das reservas da semente, da barreira formada pela camada de solo, da umidade do solo e da ausência de patógenos e de outras pragas de solo nas primeiras fases do desenvolvimento da planta. Deste modo, tanto a semeadura convencional como a semeadura direta geraram condições favoráveis para a germinação das sementes, para o desenvolvimento das plântulas e para o estabelecimento inicial das plantas no campo.

Para os resultados referentes à inoculação da semente ou do sulco da semeadura, com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, ou sem a inoculação, a população inicial de plantas e a emergência inicial

das plantas foram estatisticamente semelhantes, para ambas safras (Tabela 3). Em contrapartida, resultados da literatura mostraram que a inoculação do feijoeiro com *Rhizobium* sp. e, ou, com *Azospirillum* sp. favorece a germinação das sementes e a emergência das plântulas, devido, especialmente, à produção de ácido indol-acético que beneficia o crescimento das raízes (KANEKO et al., 2010; VENEGAS; SCUDELER, 2011; PÉREZ-MONTAÑO et al., 2014; CASSÁN et al., 2014), além disso, essas bactérias apresentam características antifúngicas e capacidade de solubilizar o fosfato de baixa solubilidade no solo (MARRA et al., 2011; OLIVEIRA-LONGATH; MARRA; MOREIRA, 2014; CASSÁN et al., 2008), favorecendo o estabelecimento da plântula no campo.

A redução da população de plantas na safra "da seca" foi planejada para reduzir a competição das plantas do feijoeiro pela luz, pois no ano de 2017 a radiação luminosa acumulada no período da safra "do inverno" foi 166 horas superior a do período da safra "da seca" (Figura 1). Segundo Taiz e Zeiger (2017), a radiação luminosa é primordial para os processos fotossintéticos, consequentemente, para a formação de compostos carbonados responsáveis pelo desenvolvimento e rendimento da planta. Por outro lado, Souza et al. (2002, 2004, 2008) afirmaram que devido à plasticidade ou capacidade de compensação do componente primários do feijoeiro de hábito de crescimento indeterminado, tipo II ou III, a população inicial de plantas entre 100.000 e 400.000 plantas ha^{-1} pode gerar rendimento equivalente de sementes, no entanto, isto dependerá das condições do cultivo relacionados à nutrição das plantas, ao suprimento hídrico, à ocorrência de pragas e patógenos, entre outros fatores.

Os resultados do número e da massa da matéria seca dos nódulos das plantas do feijoeiro cultivadas em semeadura direta na safra "da seca" foram estatisticamente superiores aos das plantas cultivadas em semeadura convencional, no entanto, na safra "do inverno" houve similaridade estatística entre os resultados destes sistemas de cultivo, para o número e para a massa da matéria seca dos nódulos (Tabela 3), embora, tenha ocorrido variações entre as safra de cultivo para a nodulação do feijoeiro. Arf et al. (2011), Andrade et al. (2010, 2012) e Denardin et al. (2014) afirmaram que os sistemas conservacionistas do solo, como a semeadura direta, aumentam a retenção de água, a matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes no solo, podendo favorecer a simbiose da planta com *Rhizobium* sp. devido ao aumento da colonização dos microrganismos, além disso, evita problemas com erosão e perdas eólicas, resultantes das atividades de arar e, ou, gradear o solo.

As plantas do feijoeiro obtidas da inoculação da semente com *R. tropici* e com *A. brasilense* apresentaram número e massa da matéria seca dos nódulos estatisticamente superiores aos das plantas resultantes dos tratamentos sem a inoculação ou sem a inoculação e adubadas com 60 kg de N ha^{-1} em cobertura, para as duas safras de cultivo (Tabela 3). Do mesmo modo, Hungria et al. (2013) em pesquisas envolvendo dois locais e três safras de cultivo, evidenciaram o aumento da nodulação das plantas dos feijoeiros, dos cultivares IPR Colibri e IAPAR 81, com a inoculação de *R. tropici* na semente e de *A. brasilense* na semente ou no sulco da semeadura em comparação às plantas obtidas sem a inoculação

dos microrganismos e adubadas com 60 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura. Steiner et al. (2019) também constataram aumento do número e da massa da matéria seca dos nódulos das plantas do feijoeiro, do cultivar Pérola, cujas sementes foram inoculadas, com *R. tropici* e com *A. brasilense*, em comparação às plantas obtidas sem a inoculação.

Para Peres et al. (2016) o aumento do número e da massa da matéria seca dos nódulos das plantas do feijoeiro, do cultivar Pérola, dependeu do ano de cultivo, sendo que, em um ano as plantas resultantes da inoculação das sementes, com *R. tropici* e com *A. brasilense*, proporcionaram resultados superiores aos das plantas originadas sem a inoculação dos microrganismos, enquanto, no outro ano os resultados entre os tratamentos foram estatisticamente similares. As variações nos resultados da nodulação do feijoeiro entre safras e locais de cultivos são inerentes aos fatores como: a alta temperatura (PINTO et al., 1998; RAPOSEIRAS et al., 2002), a acidez do solo (RODRIGUES; LARANJO; OLIVEIRA, 2006; ALI et al., 2009; RUFINI et al., 2011), a fertilidade do solo como, por exemplo, as deficiências de molibdênio, cálcio, magnésio e fósforo, além da toxidez por alumínio, manganês (TSAI, 1993) e por excesso de nitrogênio (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; KANEKO et al., 2010; ALBUQUERQUE et al., 2012) e a competição entre as bactérias de *Rhizobium* introduzidas e as nativas do solo pelo mesmo sítio de infecção no pelo radicular da planta (RUFINI et al., 2011; CASSINI; FRANCO, 2006; ARAÚJO et al., 2007; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

2.3.1.2. Desenvolvimento e nutrição nitrogenada das plantas do feijoeiro

As plantas do feijoeiro cultivadas em semeadura convencional apresentaram massa da matéria seca da parte aérea estatisticamente superior ao das plantas cultivadas em semeadura direta, nas duas safras de cultivo (Tabela 3). O desenvolvimento superior das plantas do feijoeiro cultivadas por meio da semeadura convencional está relacionado à atividade de gradear o solo que aumenta a porosidade e a aeração, além da incorporação dos resíduos vegetais, favorecendo a mineralização da matéria orgânica e a disponibilidade dos nutrientes que contribuem para o desenvolvimento das raízes e da parte aérea das plantas (KEILUWEIT et al., 2016; YE et al.,2019). Em contrapartida, a utilização contínua da semeadura direta favorece a estruturação, a qualidade química e microbiológica do solo, devido à deposição de resíduos vegetais sobre o solo que contribuem para o aumento da quantidade da matéria orgânica, da retenção de água e da estabilização dos agregados do solo, além da redução dos custos com combustíveis fósseis para arar e, ou, gradear o solo (FARINELLI et al. 2006; SILVEIRA et al., 2008; PITTELKOW et al., 2015). Bottega et al. (2011) afirmaram que as interações dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, influenciam diretamente no desenvolvimento das plantas.

Os resultados relacionados à massa da matéria seca da parte aérea das plantas e da eficiência relativa foram estatisticamente semelhantes entre os tratamentos, para as duas safras de cultivo (Tabela 3), confirmando que as plantas do feijoeiro resultantes da inoculação da semente ou do sulco da semeadura, com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, promovem desenvolvimento similar ou até mesmo superior ao das plantas obtidas sem a inoculação, mas em simbiose com as bactérias nativas do solo e adubadas com 60 kg de N ha^{-1} em cobertura (Tabela 3). Resultados semelhantes foram observados por Hungria et al. (2013) e Peres et al. (2016) para as plantas dos feijoeiros, dos cultivares IPR Colibri, IAPAR 81 e Pérola.

Tabela 3. Médias referentes aos resultados da população inicial (PI) e da emergência inicial das plantas (EI), do número (NN) e das massasda matéria seca dos nódulos (MMSN)e da parte aérea (MMSPA), da eficiência relativa (ER), do índice relativo de clorofila (IRC), do teor de clorofila (TC) e do índice de suficiência de nitrogênio (ISN) das plantas de feijoeiro IAC Milênio cultivadas nas safras "da seca" e "do inverno" em dois sistemas de cultivo, semeadura convencional e direta, e diferentes tratamentos em Piracicaba-SP.

Sistemas de cultivo	PI	EI	NN	MMSN	MMSPA	ER	IRC	TC	ISN	PI	EI	NN	MMSN	MMSPA	ER	IRC	TC	ISN
	plantas ha^{-1}	%	unid. planta^{-1}	mg planta^{-1}	g plantas^{-1}	%		mg dm^{-2}	%	plantas ha^{-1}	%	unid. planta^{-1}	mg planta^{-1}	g plantas^{-1}	%		mg dm^{2}	%
Semeadura	----------Safra "da seca" ----------									----------Safra "do inverno" ----------								
Convencional	228.730	82	38 b	57,7 b	14,6 a	-	41,3	4,0	-	276.733	89	51	78,2	12,4 a	-	49,3	4,8	-
Direta	232.550	84	47 a	72,1 a	11,7 b	-	42,2	4,1	-	271.438	87	58	89,4	11,0 b	-	49,2	4,8	-
DMS	8.384	3	7	12,6	1,7	-	1,3	0,1	-	8.476	3	8	13,3	0,9	-	0,9	0,1	-
Tratamentos																		
SI	222.914	80	30 b	40,0 cd	13,2	96,5	41,8	4,0	96,8	279.858	90	41 bc	52,9 cd	11,2	91,1	49,6	4,8	98,9
ASE	235.414	85	48 ab	68,2 abcd	13,3	97,4	41,3	4,0	95,6	272.220	88	61 abc	88,1 abc	11,6	94,3	49,4	4,8	98,5
ASU	239.928	86	50 ab	80,9 ab	11,7	86,1	41,6	4,0	96,2	268.053	86	65 ab	104,1 ab	10,5	84,4	48,9	4,7	97,4
RSE	224,.650	81	43 ab	64,4 abcd	14,0	102,9	41,1	3,9	95,1	271.178	87	54 abc	82,5 bcd	12,3	99,9	48,3	4,7	96,4
RSU	232.289	84	50 ab	77,1 abc	13,8	99,4	42,5	4,1	98,2	261.456	84	58 abc	96,9 ab	11,9	96,9	49,4	4,8	98,5
RSE+ASE	224.303	81	55 a	99,6 a	11,8	87,0	41,8	4,0	96,8	279.511	90	74 a	129,2 a	11,7	94,8	49,2	4,7	98,1
RSU+ASU	241.664	87	36 ab	53,3 bcd	13,3	97,7	40,7	3,9	93,8	276.733	89	48 bc	73,7 bcd	11,6	95,0	49,1	4,7	98,0
SI+60N	223.956	81	31 b	35,7 d	14,2	100,0	43,3	4,2	100,0	283.678	91	36 c	43,2 d	12,6	100,0	50,2	4,8	100,0
DMS	26.455	10	22	39,7	3,7	27,9	4,1	0,4	11,1	26.745	9	25	42,0	2,9	27,8	2,7	0,3	5,7
Média	230.640	83	43	64,9	13,1	95,9	41,8	4,0	96,6	274.086	88	55	83,8	11,7	94,6	49,2	4,8	98,2

As médias seguidas da mesma letra na coluna, para os sistemas de cultivo e para os tratamentos, não diferem entre si pelo teste de *Tukey* com a probabilidade de erro de 5%.
DMS= Diferença mínima significativa.

Segundo Silveira e Damasceno (1993) o nitrogênio é essencial para o acúmulo de massa da matéria seca das plantas do feijoeiro, por ser um componente da clorofila que influencia diretamente o processo fotossintético e favorece o desenvolvimento vegetativo. Entretanto, nesta pesquisa (Tabela 3), o desenvolvimento da planta do feijoeiro não foi influenciado pela nutrição nitrogenada das plantas, que apresentou resultados estatisticamente semelhantes do índice relativo de clorofila e do teor de clorofila das folhas, independentemente do sistema de cultivo (Tabela 3). Porém, de acordo com Carvalho et al. (2003), Silveira et al. (2003) e Soratto et al. (2004) os valores obtidos são considerados adequados para a nutrição nitrogenada da planta do feijoeiro no estádio do florescimento.

Para as plantas do feijoeiro originadas da inoculação da semente ou do sulco da semeadura, com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, ou sem a inoculação, os valores do índice relativo de clorofila e dos teores de clorofila da folha da planta foram estatisticamente similares aos das plantas produzidas sem a inoculação e adubadas com 60 kg de N ha^{-1} em cobertura (Tabela 3). Steiner et al. (2019), também verificaram semelhança entre o índice relativo de clorofila das plantas do feijoeiro, do cultivar Pérola, decorrentes da inoculação da semente, com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, ou sem a inoculação; por outro lado, evidenciaram aumento linear do índice relativo de clorofila das plantas sem adubação nitrogenada e até a dose 120 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura, obtiveram também relação direta deste parâmetro com a concentração do nitrogênio das folhas da planta. Oliveira et al. (2016) evidenciaram a equivalência entre os resultados do índice relativo de clorofila e a concentração de nitrogênio nas folhas para as plantas do feijoeiro, do cultivar BRS Madrepérola, resultantes da inoculação da semente com *R. tropici* ou sem a inoculação.

Soratto et al. (2004) obtiveram teores de clorofila das folhas do feijoeiro entre 3,0 e 5,0 mg dm^{-2}, com a aplicação de até 210 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura, resultados similares aos obtidos nesta pesquisa, cujos teores de clorofila variaram entre 3,9 e 4,2 mg dm^{-2}, para as plantas cultivadas na safra “da seca”, e entre 4,7 e 4,8 mg dm^{-2}, para as plantas cultivadas na safra “do inverno” (Tabela 3), comprovando, assim, a eficiência da fixação biológica de nitrogênio pelas bactérias inoculadas e, ou, as nativas do solo, em relação aos resultados obtidos com a utilização do adubo nitrogenado.

Outra variável que confirma a eficiência da inoculação, com as bactérias, ou a ação das nativas do solo para suprir o nitrogênio para a planta do feijoeiro, é o índice de suficiência de nitrogênio, sendo que, as plantas resultantes da inoculação da semente ou do sulco da semeadura, com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, ou sem a inoculação geraram índice de suficiência de nitrogênio estatisticamente semelhantes aos das plantas obtidas sem a inoculação e adubadas com 60 kg de N ha^{-1} em cobertura, nas duas safras de cultivo (Tabela 3). Maia et al. (2017) afirmaram que, quando o valor do índice de suficiência de nitrogênio é superior a 90%, há a adequação da quantidade de nitrogênio para a planta do feijoeiro, não sendo necessário o fornecimento do nitrogênio mineral aplicado no solo em cobertura.

Barbosa Filho et al. (2008 e 2009) e Maia et al. (2013) afirmaram que os índices relativos de clorofila, determinados por meio do clorofilômetro, têm relação positiva com o teor de nitrogênio das folhas, sendo alternativa viável para indicação do nível de nitrogênio na planta. Nascimento et al. (2012) afirmaram que o teor de clorofila das folhas das plantas pode ser utilizado como um indicativo da eficiência da fixação biológica do nitrogênio pelo *Rhizobium* sp. e segundo Silveira e Ferreira (2016) o índice de suficiência de nitrogênio, calculado a partir do índice relativo de clorofila, possibilita determinar se a planta do feijoeiro está suprida de nitrogênio, quer seja proveniente da fixação biológica ou da adubação nitrogenada, observaram, ainda, que a inoculação da semente do feijoeiro com *R. tropici* (SEMIA 4077, SEMIA 4080 e SEMIA 4088) proporciona resultado do índice de suficiência de nitrogênio semelhante ao obtido com a aplicação de até 160 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura.

De modo geral, os resultados desta pesquisa (Tabela 3) indicaram que a inoculação da semente ou do sulco da semeadura, com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, e a população nativa de *Rhizobium* sp. do solo, supriu a demanda da planta por nitrogênio e o desenvolvimento foi estatisticamente equivalente ao das plantas sem a inoculação e adubadas com 60 kg de N ha^{-1} em cobertura. Esses resultados foram similares aos de outras pesquisas que, também, evidenciaram a eficiência das estirpes de *Rhizobium* sp. introduzidas e, ou, da população nativa em fixar nitrogênio para a planta do feijoeiro, em diferentes condições edafoclimáticas (FERREIRA et al., 2000; KANEKO et al., 2010; PELEGRIN et al., 2009; ROMANINI JÚNIOR et al., 2007; SOUZA et al., 2011; CARDILLO et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2016; FIGUEIREDO et al. 2016).

2.3.2. Características avaliadas no estádio R9 do ciclo da planta do feijoeiro

A análise de variância conjunta, para as características avaliadas no estádio R9 do ciclo da planta do feijoeiro, determinou para os resultados da safra “da seca” que os sistemas de cultivo tiveram influência significativa para o número de vagens por planta, o número de sementes por vagem, o peso de mil sementes e para o rendimento de sementes e houve efeito significativo dos tratamentos no rendimento das sementes das plantas. Para a safra “do inverno”, os sistemas de cultivo tiveram influência significativa para a população final de plantas e para o rendimento de sementes e houve efeito significativo dos tratamentos para o rendimento das sementes das plantas. Em ambas as safras as interações não foram significativas, Tabela 4.

2.3.2.1. População final de plantas, componentes do rendimento e rendimento de sementes

A população final de plantas da safra “da seca” não teve influência significativa dos sistemas de cultivo, Tabela 4. Por outro lado, na safra “do inverno” e com a semeadura direta houve 6,3% de redução da população final de plantas em comparação à semeadura convencional, que influenciou o rendimento de sementes (Tabela 4), diferentemente dos resultados obtidos por Souza et al. (2014), que obtiveram equivalência do rendimento das plantas do feijoeiro, do cultivar IPR Tangará, com a população final de plantas variando entre 100 e 255 mil plantas ha^{-1}. Todavia, mesmo com a plasticidade ou capacidade de compensação dos componentes primários das plantas do feijoeiro, o rendimento pode ser alterado, devido à população de plantas, ao genótipo e às condições de cultivo das plantas.

Em relação aos tratamentos, houve semelhança estatística entre os resultados da população final de plantas, nas duas safras de cultivo (Tabela 4), similares aos resultados obtidos por Steiner et al. (2019), que não obtiveram variação significativa da população final de plantas, quando avaliaram a inoculação da semente, com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, e a adubação com até 120 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura.

Com relação aos componentes primários do rendimento da planta, na safra “da seca”, as plantas do feijoeiro cultivadas em semeadura convencional produziram mais vagens por planta e sementes por vagens em comparação às plantas cultivadas em semeadura direta, no entanto, o aumento da quantidade de sementes produzidas pelas plantas cultivadas em semeadura convencional, causou redução de 7,5% do peso de mil sementes (Tabela 4). Segundo Arf et al. (2011) e Taiz e Zeiger (2017) isto ocorre devido à plasticidade ou à capacidade de compensação dos componentes primários do rendimento da planta do feijoeiro que determina a distribuição dos fotoassimilados na planta e, consequentemente, para as sementes. Por outro lado, na safra “do inverno”, os sistemas de cultivo não tiveram influência significativa sobre os componentes primários do rendimento. Todavia, as sementes obtidas das plantas cultivadas na safra “da seca” apresentaram peso de mil sementes médio de 288,2 gramas, similar ao registrado por Carbonell et al. (2014) para a descrição do cultivar IAC Milênio; em contrapartida, na safra “do inverno” o peso de mil sementes foi superior, com 322,8 gramas, em média (Tabela 4), que pode ter contribuído para o aumento do rendimento de sementes.

Para as plantas do feijoeiro decorrentes da inoculação da semente ou do sulco da semeadura, com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, ou sem a inoculação ou sem a inoculação e adubadas com 60 kg de N ha^{-1} em cobertura, não houve diferença significativa para o número de vagens por planta, de sementes por vagem e para o peso de mil sementes, nas duas safras de cultivo (Tabela 4). Assim, os resultados indicaram que os microrganismos introduzidos e os nativos do solo forneceram o nitrogênio requerido pelas plantas do feijoeiro, por meio da fixação biológica, resultando na igualdade dos componentes primários do rendimento, Tabelas 3 e 4. Os resultados de outras pesquisas foram

diferentes, Portes (1996) afirmou que a adubação nitrogenada aumenta o número de vagens por planta porque favorece a formação das flores e a retenção de vagens do feijoeiro e Biscaro et al. (2011) e Albuquerque et al. (2012) observaram que esse incremento é superior na medida em que há o aumento das doses.

Tabela 4. Médias referentes aos resultados da população final de plantas (PF), do número de vagem por planta (NVP) e de sementes por vagem (NSV), do peso de mil sementes (PMS) e do rendimento de sementes (RS) das plantas do feijoeiro, do cultivar IAC Milênio, cultivadas nas safras "da seca" e "do inverno" em dois sistemas de cultivo, semeadura convencional e direta, e diferentes tratamentos em Piracicaba-SP.

Sistemas de cultivo	PF	NVP	NSV	PMS	RS	PF	NVP	NSV	PMS	RS
	plantas ha^{-1}	unid. planta^{-1}	unid. vagem^{-1}	g	kg ha^{-1}	plantas ha^{-1}	unid. planta^{-1}	unid. vagem^{-1}	g	kg ha^{-1}
Semeadura	----------Safra "da seca" ----------					----------Safra "do inverno" ----------				
Convencional	199.911	17,2 a	4,5 a	277,8 b	3.315,8 a	253.991 a	17,1	3,6	320,3	3.851,9 a
Direta	200.606	13,1 b	4,2 b	298,7 a	2.984,3 b	238.887 b	18,4	3,5	325,3	3.419,1 b
DMS	10.307	1,5	0,1	6,9	179,8	8.561	1,6	0,2	13,2	207,1
Tratamentos										
SI	192.706	14,6	4,1	292,1	2.552,6 b	254.164	16,7	3,4	331,2	3.277,6 b
ASE	203.817	15,3	4,4	284,3	3.347,0 a	242.011	17,4	3,7	318,2	3.464,6 ab
ASU	211.456	13,2	4,4	284,8	3.351,2 a	244.442	16,8	3,6	313,5	3.731,2 ab
RSE	204.165	17,2	4,3	293,3	3.200,6 a	244.442	17,2	3,8	319,2	3.915,2 ab
RSU	198.262	15,5	4,3	289,8	3.245,6 a	244.442	18,8	3,7	333,9	3.740,7 ab
RSE+ASE	186.456	15,2	4,5	291,6	2.952,7 ab	248.261	16,5	3,4	315,5	3.437,2 ab
RSU+ASU	207.984	14,2	4,4	289,7	3.166,4 a	243.400	19,1	3,4	324,3	3.497,6 ab
SI+60N	197.220	16,1	4,5	280,3	3.384,5 a	250.345	19,8	3,4	326,6	4.020,0 a
DMS	32.528	4,9	0,4	21,8	567,4	27.014	5,0	0,7	41,6	653,5
Média	200.258	15,2	4,3	288,2	3.150,1	246.439	17,8	3,5	322,8	3.657,3

As médias seguidas da mesma letra na coluna, para os sistemas de cultivo e para os tratamentos, não diferem entre si pelo teste de *Tukey* com a probabilidade de erro de 5%. DMS= Diferença mínima significativa.

Oliveira et al. (2018) obtiveram também resultados similares para o número de vagens e de sementes por vagem entre as plantas do feijoeiro, do cultivar BRS Madrepérola, adubadas com até 80 kg ha^{-1} de nitrogênio e as plantas resultantes da inoculação da semente com *R. etli* (estirpe UFLA 02-100). Por outro lado, Barros et al. (2013) relataram aumento do número de vagens em plantas do feijoeiro, do cultivar Ouro Negro, decorrente da inoculação da semente com *R. tropici* e adubadas com 40 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura, em comparação às plantas resultantes da inoculação da semente com *R. tropici* ou da adubação nitrogenada, no entanto, não houve diferença significativa para o número de sementes por vagem e para o peso das sementes. Steiner et al. (2019) obtiveram aumento do número de vagens em plantas do feijoeiro, do cultivar Pérola, cuja a inoculação da semente foi realizada com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, porém, não houve diferenças significativas do número de sementes por vagem e do peso das sementes entre as plantas inoculadas com os microrganismos e as não inoculadas, mas adubadas com nitrogênio mineral.

Com relação ao rendimento de sementes, as plantas do feijoeiro cultivadas na safra "da seca" e em semeadura convencional produziram 331,5 kg ha^{-1} de sementes a mais se comparado às plantas cultivadas em semeadura direta e este aumento deve-se, principalmente, ao maior número de vagens das plantas cultivadas em semeadura convencional, Tabela 5. Souza et al. (2008) e Viana et al. (2011) afirmaram que o número de vagens por planta é o componente que mais influência o rendimento das plantas do feijoeiro. Por outro lado, na safra "do inverno" o rendimento das sementes foi 432,8 kg ha^{-1} superior para as plantas cultivadas em semeadura convencional, essa variação foi decorrente da população final de plantas, que tinha 15.104 plantas ha^{-1} a mais, já que, os componentes primários do rendimento apresentaram resultados similares e, portanto, não influenciaram o rendimento de sementes das plantas do feijoeiro (Tabela 4).

Para as plantas cultivadas na safra "da seca" e originadas da inoculação da semente ou do sulco da semeadura, com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, o rendimento de sementes foi, em média, 25,8% superior ao das plantas obtidas sem a inoculação e estatisticamente similar ao das plantas sem a inoculação e adubadas com 60 kg de N ha^{-1} em cobertura. Já, para a safra "do inverno", o maior rendimento de semente foi obtido a partir das plantas sem a inoculação e adubadas com 60 kg de N ha^{-1} em cobertura, sendo, em média, 22,7% superior ao resultado obtido pelas plantas do tratamento sem a inoculação e estatisticamente similar ao das plantas resultantes da inoculação da semente ou do sulco da semeadura, com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense* (Tabela 4). Steiner et al. (2019) também constataram aumento significativo do rendimento de sementes das plantas do feijoeiro, do cultivar Pérola, cultivadas na safra "da seca" e cujas sementes foram inoculadas com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, entretanto, na safra "das águas" a inoculação das sementes com os microrganismos proporcionou resultados equivalentes aos obtidos sem a inoculação.

Já, para Peres et al. (2016) as plantas do feijoeiro, do cultivar Pérola, obtidas a partir da inoculação das sementes com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, ou sem a inoculação ou sem a inoculação e adubadas com 80 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura, proporcionaram resultados estatisticamente similares do rendimento de sementes, com os valores variando entre 2.009 a 2.367 kg ha^{-1}. Para Hungria et al. (2013) as plantas do feijoeiro originadas da inoculação da semente com *R. tropici* e da inoculação da semente ou do sulco da semeadura com *A. brasilense* tiveram rendimento de sementes equivalente aos das plantas sem a inoculação e adubadas com 20 kg ha^{-1} de nitrogênio na semeadura e 60 kg ha^{-1} em cobertura.

Assim, os resultados sugerem que a inoculação da semente ou do sulco da semeadura, com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, é alternativa viável para reduzir a utilização de 60 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura para o cultivo do feijoeiro. Além disso, os rendimentos de sementes obtidos foram superiores ao rendimento médio brasileiro que, na safra 2017/2018, foi de 1.379 kg ha^{-1}, superando também o rendimento médio do Estado de São Paulo, que corresponde a 2.419 kg ha^{-1} (CONAB, 2019), assim como em outros resultados de pesquisas (HUNGRIA et al., 2013; PERES et al., 2016; SOUZ; FEREIRA, 2017; STEINER et al., 2019).

2.3.3. Parâmetros físico e fisiológico das sementes do feijoeiro

Os resultados da análise de variância conjunta indicaram que, para as sementes produzidas na safra “da seca”, houve efeito significativo dos sistemas de cultivo na percentagem de sementes retidas nas peneiras P12 e P14, nos comprimentos do hipocótilo, da raiz e da plântula e os tratamentos tiveram influência significativa para os comprimentos da raiz e da plântula. Para a safra “do inverno”, os sistemas de cultivo tiveram influência significativa na percentagem de sementes retidas nas peneiras P12 e P14 e na emergência das plântulas em campo e houve interação significativa entre os sistemas de cultivo e os tratamentos para os comprimentos do hipocótilo, da raiz e da plântula, para a massa da matéria seca da plântula e para o resultado do teste de envelhecimento acelerado, Tabelas 5 e 6.

Com relação à classificação das sementes, nas duas safras de cultivo, as sementes produzidas das plantas cultivadas em semeadura direta ficaram, predominantemente, retidas na peneira P14 em comparação às sementes das plantas cultivadas em semeadura convencional, no entanto, as plantas cultivadas em semeadura convencional produziram mais sementes que ficaram retidas na peneira P12 (Tabela 5). Para os tratamentos, nas duas safras de cultivo, não houve diferença significativa para a classificação das sementes das plantas do feijoeiro obtidas da inoculação da semente ou do sulco da semeadura, com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, ou sem a inoculação ou sem a inoculação e adubadas com 60 kg de N ha^{-1} em cobertura, sendo que, mais de 90% das sementes ficaram retidas nas peneiras

P12 e P14 (Tabela 5). Mondo et al. (2014) observaram que o tamanho das sementes dos feijoeiros, dos cultivares BRS Estilo, BRS Horizonte e BRS Madrepérola, não interfeririam no parâmetro fisiológico e que a classificação das sementes, por meio de peneiras, é importante para uniformização das sementes do lote e para garantir a uniformidade da semeadura.

Lima et al. (2005) avaliaram a influência do tamanho das sementes dos feijoeiros, dos cultivares Iraí, Manteigão, Carioca, Puebla 152, Guapo Brilhante e Rio Tibagi, em relação ao acúmulo de biomassa e ao rendimento das plantas, e concluíram que as plantas do feijoeiro originadas de sementes com tamanho superior produziram sementes maiores devido à quantidade de tecidos de reserva, afirmaram ainda que as sementes maiores do feijoeiro podem garantir o estabelecimento da plântula no campo em condições de estresse hídrico ou frio, em contrapartida, observaram que o tamanho da semente não influencia o rendimento da planta e que utilizar as sementes maiores, nem sempre é viável economicamente.

Os resultados da germinação e da primeira contagem da germinação das sementes do feijoeiro apresentaram valores similares entre os sistemas de cultivo e entre os tratamentos, nas duas safras de cultivo, Tabela 5. Para Peres et al. (2018) as sementes do feijoeiro, do cultivar Pérola, obtidas a partir das plantas originadas da inoculação da semente, com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, ou sem a inoculação e adubadas com 40 ou 80 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura apresentaram resultados da germinação estatisticamente similares em duas safras de cultivo, com valores entre 91 e 95%, no entanto, para a primeira contagem da germinação observaram que na safra do ano de 2012, as sementes originadas das plantas sem a inoculação e adubadas com 40 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura ou cuja inoculação da semente foi realizada com *A. brasilense* ou com *R. tropici* e *A. brasilense* originaram maior porcentagem de plântulas normais, já para a safra do ano de 2013, ocorreu diferença significativa apenas entre as sementes originadas das plantas sem a inoculação e adubadas com 40 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura e as obtidas das plantas cuja a inoculação das sementes foi realizada com *R. tropici* e com *A. brasilense*, cujos valores foram, respectivamente, de 93% e 85% de plântulas normais.

Com relação ao crescimento e ao acúmulo de massa da matéria seca da plântula, as sementes das plantas do feijoeiro cultivadas em semeadura direta, na safra “da seca”, originaram plântulas com comprimentos da raiz e da plântula estatisticamente superiores aos das sementes produzidas em semeadura convencional, entretanto, não houve diferença significativa para a massa da matéria seca da plântula (Tabela 5). As sementes originadas das plantas, cuja semente foi inoculada com *A. brasilense*, proporcionaram plântulas com comprimentos da raiz e da plântula similares aos das plântulas obtidas das sementes das plantas decorrentes da inoculação com *A. brasilense* no sulco da semeadura ou sem a inoculação, e superiores aos resultados dos demais tratamentos. Já, os resultados do comprimento

do hipocótilo e da massa da matéria seca da plântula não tiveram variação estatística significava entre os tratamentos (Tabela 5).

Tabela 5. Médias referentes aos resultados da porcentagem de sementes retidas nas peneiras P10, P12 e P14, da primeira contagem da germinação (PCG), da germinação (G), do comprimento do hipocótilo (CH), da raiz (CR), da plântula (CP), da massa da matéria seca da plântula (MMSP), do envelhecimento acelerado (EA) e da emergência das plântulas em campo (EPC) das sementes do feijoeiro, do cultivar IAC Milênio, obtidas na safra "da seca" e "do inverno" em dois sistemas de cultivo, semeadura convencional e direta, e diferentes tratamentos, em Piracicaba-SP.

Sistemas de cultivo	P10	P12	P14	G	PCG	CH	CR	CP	MMSP	EA	EPC	P10	P12	P14	G	PCG	EPC
	----------%----------					----------cm----------			mg plântula^{-1}	-------%-------		----------%----------					
Semeadura	----------Safra "da seca" ----------											----------Safra "do inverno" ----------					
Convencional	8,2	74,7 a	17,1 b	93	92	4,6 a	8,7 b	13,3 b	37,3	89	97	4,7	63,4 a	31,9 b	87	83	55 b
Direta	8,1	63,7 b	28,2 a	92	91	4,0 b	10,8 a	14,7 a	40,4	87	96	4,8	49,6 b	45,5 a	88	85	65 a
DMS	1,9	4,3	5,3	2	2	0,3	0,5	0,7	3,3	3	1	1,3	5,0	5,7	2	3	6
Tratamentos																	
SI	7,1	69,6	23,4	93	92	4,1	10,3 abc	14,4 abc	38,3	87	97	3,7	55,9	40,4	90	85	59
ASE	8,2	70,3	21,5	93	92	4,6	11,3 a	15,9 a	41,2	89	95	4,9	55,7	39,3	88	85	58
ASU	8,2	69,9	21,9	94	92	4,8	10,9 ab	15,6 ab	42,8	92	98	5,3	60,8	33,9	89	84	61
RSE	8,7	73,7	17,5	92	91	4,4	9,1 c	13,5 bc	41,0	90	97	5,0	56,8	38,3	86	83	63
RSU	7,8	67,9	24,3	92	91	4,2	8,7 c	12,9 c	36,7	89	97	4,7	57,5	37,9	85	80	56
RSE+ASE	6,9	68,0	25,1	92	90	4,0	9,0 c	13,0 c	37,9	88	97	5,3	57,8	36,9	90	87	58
RSU+ASU	8,1	67,9	24,0	93	92	4,0	9,3 bc	13,3 c	35,4	85	97	5,0	53,0	42,0	89	86	56
SI+60N	10,1	66,4	23,5	93	92	4,2	9,3 bc	13,5 bc	37,7	86	96	4,3	54,8	40,8	85	82	67
DMS	6,0	13,7	16,9	7	8	0,9	1,7	2,2	10,6	8	4	4,0	15,9	17,9	7	8	20
Média	8,1	69,2	22,6	93	92	4,3	9,7	14,0	38,9	88	97	4,8	56,5	38,7	88	84	60

As médias seguidas da mesma letra na coluna, para os sistemas de cultivo e para os tratamentos, não diferem entre si pelo teste de *Tukey* com a probabilidade de erro de 5%.DMS= Diferença mínima significativa.

Para os resultados das interações entre os sistemas de cultivo e os tratamentos, as sementes obtidas das plantas cultivadas na safra “do inverno”, cujas sementes foram inoculadas com *A. brasilense* e cultivadas em semeadura convencional, geraram plântulas cujos comprimentos do hipocótilo, da raiz e da plântula e a massa da matéria seca da plântula foram estatisticamente superiores aos das plântulas originadas das sementes dos demais tratamentos, Tabela 6. Para as plantas cultivadas em semeadura direta não houve variação significativa entre os tratamentos para os comprimentos do hipocótilo, da raiz e da plântula, porém, as sementes das plantas originadas sem a inoculação e adubadas com 60 kg de N ha^{-1} em cobertura geraram plântulas com mais massa da matéria seca (Tabela 6). Resultados similares foram obtidos por Peres et al. (2018) que constataram variações no comprimento e na massa da matéria seca das plântulas do feijoeiro, do cultivar Pérola, originadas das sementes das plantas inoculadas com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense* ou sem a inoculação e adubadas com 40 ou 80 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura.

De modo geral, para as duas safras de cultivo, as sementes provenientes das plantas, cuja inoculação com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense* foi na semente ou no sulco da semeadura ou sem a inoculação, originaram plântulas com comprimento e acúmulo de massa da matéria seca equivalentes ou até mesmo superiores aos das plântulas originadas das sementes das plantas sem a inoculação dos microrganismos e adubadas com 60 kg de N ha^{-1} em cobertura (Tabelas 5 e 6).

Em relação ao teste de envelhecimento acelerado, o teor médio de água das sementes, antes da instalação do teste, era de 10,4±0,4% e 12,5±0,2%, para as sementes obtidas na safra “da seca” e na “do inverno”, respectivamente, e após o período de exposição das sementes ao teste as sementes tinham, respectivamente, 27,1±1,0% e 27,8±0,9% de água, variações decorrente das condições previstas para o teste de envelhecimento acelerado.

Para a safra “da seca”, os resultados relacionados ao teste de envelhecimento acelerado das sementes mostraram que os sistemas de cultivo e os tratamentos não tiveram influência significativa sobre a percentagem de plântulas normais das sementes produzidas (Tabela 5). Para as sementes produzidas na safra “do inverno”, houve interação significativa entre os sistemas de cultivo e os tratamentos (Tabela 6). Nesta interação, a maior percentagem de plântulas normais foi obtida por meio das sementes das plantas cultivadas em semeadura direta, cuja inoculação foi realizada com *A. brasilense* na semente, por outro lado, as sementes originadas das plantas cultivadas em semeadura direta resultantes da inoculação do sulco da semeadura com *R. tropici* ou sem a inoculação tiveram valores de plântulas normais inferiores, 45 e 52%, respectivamente (Tabela 6). Já, para as sementes das plantas cultivadas em semeadura convencional, os tratamentos não influenciaram nas percentagens de plântulas normais obtidas após o teste de envelhecimento acelerado, Tabela 6.

Tabela 6. Médias referentes aos resultados do comprimento do hipocótilo (CH), do comprimento da raiz (CR), do comprimento total da plântula (CTP), da massa da matéria seca da plântula (MMSP) e do envelhecimento acelerado (EA), resultantes da interação entre os sistemas de cultivo e os tratamentos, obtido na safra "do inverno", Piracicaba-SP.

Tratamentos	CH		CR		CTP		MSP		EA	
	----------cm plântula^{-1}----------						mg plântula^{-1}		---------%--------	
	----------Sistemas de cultivo----------									
	SC	SD	SC	SD	SC	SD	SC	SD	SC	SD
SI	3,9 Ab	4,7 Aa	8,5 Abc	9,0 Aa	12,4 Abc	13,7 Aa	38,7 Aab	48,2 Aab	63 Aa	52 Abc
ASE	5,9 Aa	4,2 Ba	12,1 Aa	8,2 Ba	17,9 Aa	12,4 Ba	51,8 Aa	41,9 Bab	70 Aa	76 Aa
ASU	3,1 Bb	4,9 Aa	6,6 Bc	9,0 Aa	9,7 Bc	13,9 Aa	34,2 Bb	50,6 Aab	67 Ba	83 Aa
RSE	4,3 Aab	5,2 Aa	8,9 Abc	8,8 Aa	13,2 Abc	14,0 Aa	40,4 Aab	46,6 Aab	64 Aa	70 Aab
RSU	4,8 Aab	3,6 Aa	10,6 Aab	7,0 Ba	15,3 Aab	10,5 Ba	47,0 Aab	37,2 Bb	69 Aa	45 Bc
RSE+ASE	4,7 Aab	4,7 Aa	8,8 Abc	8,6 Aa	13,4 Abc	13,2 Aa	41,9 Aab	50,3 Aab	77 Aa	72 Aab
RSU+ASU	4,3 Aab	4,4 Aa	9,6 Aab	7,2 Ba	13,9 Aabc	11,6 Aa	42,3 Aab	47,3 Aab	70 Aa	74 Aa
SI+60N	4,7 Aab	4,6 Aa	7,7 Abc	7,6 Aa	12,5 Abc	12,2 Aa	47,8 Aab	53,3 Aa	77 Aa	72 Aab

As médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula nas colunas, para a mesma variável, não diferem entre si pelo teste de *Tukey* à probabilidade de erro de 5%. SC=Semeadura convencional, SD=Semeadura direta.

Para Peres et al. (2018) as sementes das plantas do feijoeiro, do cultivar Pérola, obtidas em duas safras de cultivo e decorrentes da inoculação da semente, com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense* ou adubadas com 40 ou 80 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura, proporcionaram similaridade dos resultados após o teste de envelhecimento acelerado. Bassan et al. (2001) obtiveram também resultados semelhantes, estatisticamente, em relação às quantidades de plântulas normais das sementes obtidas a partir das plantas resultantes da inoculação da semente com *R. tropici* e as sem a inoculação, após o teste de envelhecimento acelerado, relataram, também, que após o teste de envelhecimento acelerado a germinação superior (81%) foi das sementes oriundas das plantas do feijoeiro, do cultivar Pérola, sem a inoculação e adubadas com 58 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura.

Para os resultados relacionados à emergência das plântulas em campo, as sementes obtidas das plantas cultivadas na safra "da seca" não tiveram influência significativa dos sistemas de cultivo em relação à percentagem de plântulas emersas. Entretanto, as sementes produzidas das plantas cultivadas na safra "do inverno" e em semeadura direta, produziram 9% a mais de plântulas que emergiram em campo, em comparação às sementes das plantas cultivadas em semeadura convencional (Tabela 5). As sementes originadas das plantas cuja inoculação foi realizada na semente ou no sulco da semeadura, com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, ou sem a inoculação ou sem a inoculação e adubadas com 60 kg de N ha^{-1} em cobertura, apresentaram valores da emergência das plântulas em campo estatisticamente similares, para as duas safras de cultivo (Tabela 5). Peres et al. (2018) obtiveram também similaridade da emergência das plântulas em campo das sementes provenientes das plantas do feijoeiro, do cultivar

Pérola, cuja inoculação foi realizada nas sementes, com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, ou sem a inoculação e adubadas com 40 ou 80 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura.

De modo geral, a redução do parâmetro fisiológico das sementes produzidas na safra "do inverno" ocorreu devido ao excesso de precipitação pluvial entre a maturidade fisiológica das sementes e a colheita (Figura 1). Segundo Carvalho e Nakagawa (2012) os efeitos climáticos, especialmente, o excesso de umidade, do ar ou do solo, podem causar danos às sementes, principalmente, após a maturidade fisiológica, podendo reduzir a germinação e o vigor e comprometendo a emergência da plântula no campo.

2.4. Conclusões

A inoculação da semente ou do sulco da semeadura, com *Rhizobium tropici* e, ou, com *Azospirillum brasilense*, substitui a aplicação de 60 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura, favorece a nodulação, o rendimento e a qualidade das sementes produzidas pelas plantas do feijoeiro.

O cultivo da planta do feijoeiro na safra "da seca" é recomendado, pois, favorece o parâmetro fisiológico das sementes produzidas.

O desenvolvimento e o rendimento das plantas do feijoeiro são beneficiados pelo cultivo em semeadura convencional.

Referências

ABRASEM – Associação Brasileira de Sementes e Mudas. **Estatísticas**, 2019. Disponível em: http://www.abrasem.com.br/estatisticas/#. Acesso em: 20 mai. 2019.

ALBUQUERQUE, H.C.; PEGORARO, R.F.; VIEIRA, N.M.B.; AMORIM, I.J.F.; KONDO, M.K. Nodulor capability and agronomic characteristics of common bean plants subjected to fragmented molybdenum and nitrogen fertilization. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 214-221, 2012.

ALI, S.F.; RAWAT, L.S.; MEGHVANSI, M.K.; MAHNA, S.K. Selection of stress-tolerant rhizobial isolates of wild legumes growing in dry regions of Rajasthan, India. **Journal of Agricultural and Biological Science**, v. 4, n. 1, p.13-18, 2009.

ALMEIDA, R.F.; NAVES, E.R.; SILVEIRA, C.H. E WENDLING, B. Emissão de óxido nitroso em solos com diferentes usos e manejos: Uma revisão. **Revista Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 8, n. 2, p. 441-461, 2015.

ANDRADE, A.P.; MAFRA, A.L.; BALDO, G.R.; PICOLLA, C.D.; BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A. Physical properties of a Humic Cambisol under tillage and cropping systems after twelve years. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.1, p.219-226, 2010. DOI:10.1590/S0100-06832010000100022.

ANDRADE, A.P.; MAFRA, A.L.; PICOLLA, C.D.; ALBUQUERQUE, J.A.; BERTOL, I. Atributos químicos de um Cambissolo Húmico após 12 anos sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas. **Ciência Rural**, v.42, n.5, p.814-821, 2012. DOI: 10.1590/S0103-84782012005000013.

ARAÚJO, F. F.; CARMONA, F. G.; TIRITAN, C. S.; CRESTE, J. E. Biological fixation of N2 in bean plantation at doses of inoculants and chemical treatment to the seed compared with nitrogenous fertilization. **Acta Scientiarum Agronomy, Maringá**, v. 29, n.4, p. 535-540, 2007. DOI: 10.4025/actasciagron.v29i4.416.

ARAÚJO, P.R.A.; ARAÚJO, G.A.A.; ROCHA, P.R.R.; CARNEIRO, J.E.S. Combinations of molybdenum and nitrogen doses on common bean fertilization. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 227-234, 2009. DOI: 10.4025/actasciagron.v31i2.7033.

ARF, M.V.; BUZETTI, S.; ARF, O.; KAPPES, C.; FERREIRA, J.P.; GITTI, D.C.; YAMAMOTO, C.J. Nitrogen sources and application times on winter common bean under no-till system. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 430-438, 2011.

BARBOSA FILHO, M.P.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N.K.; MENDES, P.N. Topdressing nitrogen fertilizer requirements determination for irrigated common bean, by leaf portable chlorophyll meter. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 1843-1848, 2008.

BARBOSA FILHO, M.P.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N.K.; MENDES, P.N. Timing of nitrogen application on irrigated common bean measured by portable sensor. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 425-431, 2009.

BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. O. **Technical Information for the cultivation of the common bean plant in the Central-Brazilian region**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA-CNPAF, 2012, 247p. (Documentos, 272).

BARBOSA, R.M.; COSTA, D.S.; HOMEM, B.F.M.; SÁ, M.E. Nitrogen on bean seeds yield and quality. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v.41, n.3, p. 470-474, 2011.

BARNES, J.D.; BALAGUER, L.; MANRIQUE, E.; ELVIRA, S.; DAVISON, A.W. A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophylls a and b in lichens and higher plants. **Environmental and Experimental Botany**, v.32, n. 2, p.85-100, 1992. DOI:10.1016/0098-8472(92)90034-Y

BARROS, R.L.N. OLIVEIRA, L.B.; MAGALHÃES, W.B.; MÉDICI, L.O.; PIMENTEL, C. Interaction between rizobial inoculation and sowing nitrogen fertilization on yield of common bean crop at dry and rainy seasons. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina-PR, v. 34, n. 4, p. 1443-1450, 2013. DOI: 10.5433/1679-0359.2013v34n4p1443.

BASSAN, D.A.Z.; ARF, O.; BUZETTI, S.; CARVALHO, M.A.C.; SANTOS, N.C.B.; SÁ, M.E. Seed inoculation, nitrogen and molybdenum applicationon a winter bean crop: production and physiological seed quality. **Revista Brasileira de Sementes**. v. 23, n.1, p. 76-83, 2001. DOI: 10.17801/0101-3122/rbs.v23n1p76-83.

BEVILAQUA, G.A.P; ANTUNES, I.F.; EBERHARDT, P.E.R.; EICHHOLZ, C.J.; GREHS, R.C. **Indicações Técnicas para Produção de Sementes de Feijão para a Agricultura Familiar**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2013, 15p. (Circular técnica 141).

BINOTTI, F.F.S.; ARF, O.; CARDOSO, E.D.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S.; NASCIMENTO, V. Sources and doses of sidedressing nitrogen on irrigated common bean cropped in winter in no tillage system. **Bioscience Journal** (UFU. Impresso), v. 26, p. 770-778, 2010.

BINOTTI, F.F.S. ARF, O.; CARDOSO, E.D.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S. Sidedressing nitrogen fertilizer management of winter common bean in no tillage. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 1, n. 1, p. 58-64, 2014. DOI: 10.32404/rean.v1i1.226.

BISCARO, G.A. FREITAS JUNIOR, N.A.; SORATTO, R.P.; KIKUTI, H.; GOULART JUNIOR, S.A.R.; AGUIRRE, W.M. Nitrogen sidedressing and molybdenum leaf application on irrigated common bean in cerrado soil.. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 4, p. 665-670, 2011. DOI: 10.4025/actasciagron.v33i4.6387.

BOIERO, L.; PERRIG, D.; MASCIARELLI, O.; PENNA, C.; CASSÁN, F.; LUNA, V. Phytohormone production by three strains of *Bradyrhizobium japonicum* and possible physiological and technological implications. **Applied Microbiology and Biotechnology**. v. 74, n. 4, p. 874-880, 2007. DOI: 10.1007/s00253-006-0731-9.

BOIVIN, S.; FONOUNI-FARDE, C.; FRUGIER, F. How auxin and cytokinin phytohormones modulate root microbe interactions. **Frontiers in plant Science**. v. 7, 12p., 2016. DOI:10.3389/fpls.2016.01240

BOTTEGA, E. L.; SILVA, S. A.; COSTA, M. M.; BOTTEGA, S. P. Cokrigagem na estimativa dos teores de Ca e Mg em um Latossolo Vermelho distroférrico. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 821-828, 2011.

BRAGANTINI, C. **Alguns aspectos do armazenamento de sementes e grãos de feijão**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 28p.

BRASIL. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. **Instrução normativa nº 13, de 24 de março de 2011**. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-sda-13-de-24-03-2011-inoculantes.pdf. Acesso em 09 abr. 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa Nº 45, de 17 de setembro de 2013, Anexo XI - **Padrões para produção e comercialização de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Brasília, DF: DOU de 20/09/2013, nº 183, Seção 1, pág. 6. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/publicacoes-sementes-e-mudas/copy_of_INN45de17desetembrode2013.pdf. Acesso em: 19 de junho de 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Rules for seed testing**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 398p.

BURDMAN, S., KIGEL, J., OKON, Y. Effects of *Azospirillum brasilense* on nodulation and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Soil Biology Biochemistry**. v. 29, p. 923–929, 1997. DOI: 10.1016/S0038-0717(96)00222-2.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: UFV, 2007. 1017 p.

CARBONELL, S.A.M.; CHIORATO, A.F.; BOLONHEZI, D.B.; BARROS, V.L.N.P.; BORGES, W.L.B.; TICELLI, M.; GALLO, P.B.; FINOTO, E.L.; SANTOS, N.C.B. 'IAC Milênio' - Common bean cultivar with high grain quality. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 14, n.4, 273-276, 2014. DOI: 10.1590/1984-70332014v14n4c44.

CARBONELL, S.A.M; CHIORATO, A.F.; GONÇALVES, J.G.R.; PERINA, E.F.; CARVALHO, C.R.L. Commercial grain size in common bean cultivars. **Ciência Rural**, v.40, p.2067-2073, 2010. DOI: 10.1590/S0103-84782010005000159.

CARDILLO, B.E.S.; OLIVEIRA, D.P; SOARES, B.L.; MARTINS, F.A.D.; RUFINI, M.; SILVA, J.S.; FERREIRA NETO, G.G.; ANDRADE, M.J.B.; MOREIRA, F.M.S. Nodulation and yields of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) are not affected either by fungicides or by the method of inoculation. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 2, p. 694-701, 2019. DOI: 10.2134/agronj2018.06.0389.

CARVALHO, M. A. C. FURLANI JUNIOR, E.; ARF, O.; SÁ, M.E.; PAULINO, H.B.; BUZETTI, S. Effects of time and levels of nitrogen application on chlorophyll and nitrogen contents in common bean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n.3, p. 445-450, 2003. DOI: 10.1590/S0100-06832003000300006.

CARVALHO, M.A.F.; SILVEIRA, P.M.; SANTOS, A.B. **Utilização do Clorofilômetro para Racionalização da Adubação Culturas do Arroz e do Feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão (Comunicado Técnico, 205). 2012. 14p.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: Funep, 2012. 590 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. ***Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina**. Argentina: Asociación Argentina de Microbiologia, p. 61-86, 2008.

CASSÁN, F.; VANDERLEYDEN, J.; SPAEPEN, S. Physiological and agronomical aspects of phytohormone production by model plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) belonging to the Genus *Azospirillum*. **J. Plant Growth Regul**., v.33, p. 440–459, 2014. DOI: 10.1590/S0100-204X2018000300015

CASSINI, S. T. A.; FRANCO, M. C. Fixação biológica de nitrogênio: microbiologia, fatores ambientais e genéticos. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão**. 2. ed. atual. Viçosa, MG: UFV, 2006. p. 143-170.

COMPANT, S.; CLÉMENT, C.; SESSITSCH, A. Plant growth-promoting bacteria in the rhizo- and endosphere of plants: Their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization, **Soil Biology & Biochemistry**, v.42, p.669-678, 2010. DOI: 10.1016/j.soilbio.2009.11.024

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos - safra 2018/19 - quarto levantamento**. v. 6, n. 4, 2019.

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 Biochemistry**. v.40, p.2713–2721, 2008. DOI: 10.1016/j.soilbio.2008.06.016.

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; FAGANELLO, A.; COGO, N.P. Agricultura conservacionista no Brasil: uma análise do conceito à adoção. In: LEITE, L.F.C.; MACIEL, G.A.; ARAÚJO, A.S.F. (Orgs.). **Agricultura conservacionista no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2014. p.23-41.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa- SPI; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006, 306 p.

FARINELLI, R.; LEMOS, L.B.; CAVARIANI, C.; NAKAGAWA, J. Productivity and physiological quality of common bean seeds in function of soil tillage systems and nitrogen fertilization. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 307-312, fev. 2006.

FERNÁNDEZ, 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.

FERREIRA, A.N.; ARF, O.; CARVALHO, M.A.C.; ARAÚJO, R.S.; SÁ, M.E. BUZETTI, S. *Rhizobium tropici* strains for inoculation of the common bean. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 3, p. 507-512, 2000. DOI: 10.1590/S0103-90162000000300021.

FERREIRA, P.A.A.; SILVA, M.A.P.; CASSETARI, A.; RUFINI, M.; MOREIRA, F.M.S.; ANDRADE, M.J.B. Inoculation with *Rhizobium* strains in beans crop. **Ciência Rural**, v.39, n.7, p.2210-2212, 2009. DOI: 10.1590/S0103-84782009000700041.

FIGUEIREDO, M.A. OLIVEIRA, D.P.; SOARES, B.L.; MORAIS, A.R.; MOREIRA, F.M.S.; ANDRADE, M.J.B. Nitrogen and molybdenum fertilization and inoculation of common bean with *Rhizobium* spp. in two oxisols. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, n. 1, p. 85-92, 2016. DOI: 10.4025/actasciagron.v38i1.26661.

FONSECA, G.G.; OLIVEIRA, D.P.; SOARES, B.L.; FERREIRA, P.A.A.; TEIXEIRA, C.M.; MARTINS, F.A.D., MOREIRA, F.M.S. E ANDRADE, M.J.B. Common bean cultivars response to seed inoculation with two *Rhizobium* strains. **Bioscience Journal**, v.29, n.6, p.1778-1787, 2013.

GARCIA, G.; CARDOSO, A.A. E SANTOS, O.A.M. From shortage to stress on earth: a century of changes in the nitrogen cycle. **Química Nova**, v.36, n.9, p.1468-1476, 2013. DOI: 10.1590/S0100-40422013000900032

GITTI, D.C.; ARF; O.; KANEKO, F.H.; RODRIGUES, R.A. F.; BUZETTI, S.; PORTUGAL, J.R.; CORSINI, D.C.D.C. Inoculation of *Azospirillum brasilense* cultivars of beans types in winter crop. **Revista Agrarian**, Dourados-MT. v.5, n.15, p.36-46, 2012. DOI: 10.30612/agrarian.v5i15.1297.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: ESALQ, 460 p. 1990.

GOMES-JÚNIOR, F.G.; SÁ, M.E. Protein content and common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seed quality in relationship to nitrogen fertilization in a no-tillage system. **Revista Brasileira de Sementes**. v.32, n.1, p.34-44, 2010. DOI: 10.1590/S0101-31222010000100004.

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** v.49, p.791-801, 2013. DOI 10.1007/s00374-012-0771-5.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C.A. **Importance of the biological nitrogen fixation process for soybean cultivation: an essential component for the competitiveness of the Brazilian product**. Londrina: EMBRAPA-SOJA, 2007. 80 p. (Documentos, 283).

KANEKO, F.H.; ARF, O.; GITTI, D.C.; ARF, M.V.; FERREIRA, J.P.; BUZETTI, S. Furrow opening mechanisms, inoculation of seeds and nitrogen fertilization in no tillage common bean crop. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.1, p.125-133, 2010. DOI: 10.1590/S0006-87052010000100017.

KEILUWEIT, M.; NICO, P.S.; KLEBER, M.; FENDORF, S. Are oxygen limitations under recognized regulators of organic carbon turnover in upland soils? **Biogeochemistry**. v.127, p.157–171, 2016. DOI: 10.1007/s10533-015-0180-6

MAIA, S.C.M.; SORATTO, R.P.; BIAZOTTO, F. O.; ALMEIDA, A.Q. Sidedressing nitrogen need estimation on common bean IAC Alvorada using chlorophyll meter. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, p.2229-2238, 2013. DOI: 10.5433/1679-0359.2013v34n5p2229.

MAIA, S.C.M.; SORATTO, R.P.; LIEBE, S.M.; ALMEIDA, A.Q. Criteria for topdressing nitrogen application to common bean using chlorophyll meter. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.52, n.7, p.512-520, jul. 2017. DOI: 10.1590/S0100-204X2017000700005

MARCOS FILHO, J.; NOVEMBRE, A.D.C.; CHAMMA, H.M.C.P. Accelerated aging and controlled deterioration seed vigor tests for soybean. **Scientia agrícola**. v.58, n.2, p.421-426, 2001.

MARCOS-FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In KRYZANOWSKI, FC; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina, ABRATES. 3.1-3, 1999. 24 p.

MARRA, L.M.; OLIVEIRA, S.M.; SOARES, C.R.F.S.; MOREIRA, F.M.S. Solubilisation of inorganic phosphates by inoculant strains from tropical legumes. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 68, p. 603-609, 2011. DOI: 10.1590/S0103-90162011000500015.

MORAES, W. B.; MARTINS FILHO, S.; GARCIA, G.O.; CAETANO, S.P.; MORAES, W.B.; COSMI, C.F. Evaluation of biological fixation of nitrogen in *Rhizobium* under water deficit. **Idesia** (Chile), v.28, n.1, p. 61-68, 2010. DOI: 10.4067/S0718-34292010000100009.

MOREIRA, F.M.S; SIQUEIRA, J.O. **Microbiology and soil biochemistry**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

MOSTASSO, L.; MOSTASSO, F.L.; DIAS, B.G.; VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. Selection of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) rhizobial strains for the Brazilian Cerrados. **Field Crops Research**, v.73, p.121-132, 2002. DOI: 10.1016/S0378-4290(01)00186-1.

NAKAGAWA, J. 1999. Testes de vigor baseado no desempenho de plântulas. In KRYZANOWSKI, FC; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina, ABRATES. 2.1-2, 1999. 24 p.

NASCIMENTO, R.; ANDRADE, J.R.; ALENCAR, A.E.V.; BARBOSA, J.W.S.; SILVA, R.F.B. Índice SPAD em feijão caupi inoculado com rizóbio e submetidos a diferentes níveis de salinidade. **Revista Verde**, Mossoró, v. 7, n. 3, p. 14-16, 2012.

OLIVEIRA, D.P.; FIGUEIREDO, M.A., SOARES, B.L.; TEIXEIRA, O.H.S.; MARTINS, F.A.D.; RUFINI, M.; MORAIS, A.R.; MOREIRA, F.M.S.; ANDRADE, M.J.B. Seed treatment with fungicides does not affect symbiosis between common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and rhizobia. **Agronomy Journal**, v.108, p.1–8, 2016. DOI: 10.2134/agronj2016.02.0105.

OLIVEIRA, D.P.; SOARES, B.L.; MARTINS, F.A.D., FRANCESCHINI, L.A.; CARDILLO, B.E.S.; RUFINI, M.; MORAIS, A.R.; MOREIRA, F.M.S.; ANDRADE, M.J.B. Viability of liquid médium-inoculation of *Rhizobium etli* in planting furrows with common bean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.53, n.3, p.394-398, 2018. DOI: 10.1590/s0100-204x2018000300015.

OLIVEIRA-LONGATTI, S.M., MARRA, L.M., SOARES, B. L.; BOMFETI, C.A.; SILVA, K.; FERREIRA, P.A.A.; MOREIRA, F.M.S. Bacteria isolated from soils of the western Amazon and from rehabilitated bauxite-mining areas have potential as plant growth promoters. **World Journal Microbiology Biotechnology**. v.30, n.4, p. 1239-1250, 2014. DOI: 10.1007/s11274-013-1547-2

PELEGRIN, R.; MERCANTE, F. M.; OTSUBO, I. M. N.; OTSUBO, A. A. Response of common bean crop to nitrogen fertilization and *Rhizobium* inoculation. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, Viçosa, v.33, p.219-226, 2009. DOI: 10.1590/S0100-06832009000100023.

PERES, A.R.; RODRIGUES, R.A.F.; ARF, O.; PORTUGAL, J.R.; CORSINI, D.C.D. C. Co-inoculation of *Rhizobium tropici* and *Azospirillum brasilense* in common beans grown under two irrigation depths. **Revista Ceres**, Viçosa, v.63, n.2, p.198-207, 2016. DOI: 10.1590/0034-737X201663020011.

PERES, A.R.; PORTUGAL, J.R.; RODRIGUES, R.A.F.; SÁ, M.E.; ARF, O.; FRANCO, A.A.; GARÉ, L.M. Effect of common bean cultivation with co-inoculation (*Rhizobium tropici* and *Azospirillum brasilense*) and irrigation depths on the physiological quality of the seeds produced. **Investigación Agraria**. v.20, n.1, p.11-21, 2018. DOI:10.18004/investig.agrar.2018.junio.11-21.

PÉREZ-MONTAÑO, F.; ALÍAS-VILLEGAS, C.; BELLOGÍN, R. A.; DEL CERRO, P.; ESPUNY, M. R.; JIMÉNEZ-GUERRERO, I.; LÓPEZ-BAENA, F.J.; OLLERO, F.J.; CUBO, T. Plant growth promotion in cereal and leguminous agricultural important plants: from microorganism capacities to crop production. **Microbiological Research**. v.169, p.325–336, 2014. DOI: 10.1016/j.micres.2013.09.011

PINTO, P.P.; RAPOSEIRAS, R.; MACEDO, A.M.; SELDIN, L.; PAIVA, E.; SÁ, N.M.H. Effects of high temperature on survival, symbiotic performance and genomic modifications of bean nodulating *Rhizobium* strains. **Revista de Microbiologia**, São Paulo, v.29, n.4, p.295-300, 1998. DOI: 10.1590/S0001-37141998000400012.

PITTELKOW, C.M., LIANG, X., LINQUIST, B.A., VAN GROENIGEN, K.J., LEE, J., LUNDY, M.E., VAN GESTEL, N., SIX, J., VENTEREA, R.T., VAN KESSEL, C. Productivity limits andpotentials of the principles of conservation agriculture. **Nature**. v.517, p. 365–368, 2015. DOI: 10.1038/nature13809.

PORTES, T. A. Ecofisiologia. In: ARAÚJO, R. S. et al. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba, Potafós, 1996. p.101-137.

RAPOSEIRAS, R.; PINTO, P.R.; PASSOS, R.V.M.; SELDIN, L.; PAIVA, E.; SCOTTI, M.R.; SÁ, N.M.H. Variability of isolated colonies in bean nodulating *Rhizobium* strains before and after exposure to hight temperature. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v.33; p.149-154, 2002. DOI: 10.1590/S1517-83822002000200010.

RODRIGUES, C.S.; LARANJO, M.; OLIVEIRA, S. Effect of heat and pH stress in the growth of chickpea mesorhizobia. **Current Microbiology**, New York, v.53, n.1, p.1-7, 2006. DOI: 10.1007/s00284-005-4515-8.

ROMANINI JÚNIOR, A.; ARF, O.; BINOTTI, F.F.S.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S.; FERNANDES, F.A. Evaluation of *Rhizobium* inoculation and nitrogen fertization on commom bean growth in no tillage system. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.23, n.4, p.74-82, 2007.

RUFINI, M.; FERREIRA, P.A.A.; SOARES, B.L.; OLIVEIRA, D.P.; ANDRADE, M.J.B.; MOREIRA, F.M.S. Symbiosis of nitrogen fixing bacteria with common bean in different pH values. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.1, p.81-88, 2011. DOI: 10.1590/S0100-204X2011000100011

SABUNDJIAN, M.T.; ARF, O.; KANEKO, F.H.; NASCIMENTO, V. Sources nitrogen in bean winter in succession to grass with and without inoculation of *Azospirillum brasilense*: economic analysis. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**. v.8, n.2, p.139-145, 2014. DOI: 10.18011/bioeng2014v8n2p139-145.

SILVA, M.M.; SOUZA, H.R.T.; DAVID, A.M.S.S.; SANTOS, L.M.; SILVA, R.F.; AMARO, H.T.R. Physiological quality and seed storage of common bean grown in the north of Minas Gerais. **Revista Agro@mbiente** (On-line), v.8, n.1, p.97-103, 2014.

SILVEIRA, P.M.; BRAZ, A.J.B.P.; DIDONET, A.D. Chlorophyll meter to evaluate the necessity of nitrogen in dry beans. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.9, p.1083-1087, set. 2003. DOI: 10.1590/S0100-204X2003000900009.

SILVEIRA, P. M.; DAMASCENO, M. A. Response of irrigated common bean to nitrogen and potassium. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 11, p. 1269-1276, 1993.

SILVEIRA, P.M.; FERREIRA, E.P.B. **Índice de suficiência de nitrogênio determinado pelo clorofilômetro em feijão inoculado com rizóbio e sob adubação nitrogenada**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2016, 16 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento 46).

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F.; ALVEZ JÚNIOR, J.; SILVA, J.G. Effects of soil tillage and crop rotation systems on bulk density and soil porosity of a dystrophic red latosol. **Bioscience Journal**. v.24, n.3, p.53- 59, 2008.

SIQUEIRA NETO, M., PICCOLI, M.C., COSTA JUNIOR, C., CERRI, C.C., BERNOUX, M. Greenhouse gas emission caused by different land-uses in brazilian Savannah. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas. v.35, p. 63–76, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000100006.

SOARES, A.L.L.; FERREIRA, P.A.A.; PEREIRA, J.P.A.R.; VALE, H.M.M.; LIMA, A.S.; ANDRADE, M.J.B.; MOREIRA, F.M.S. Agronomic efficiency of selected rhizobia strains and diversity of native nodulating populations in Perdões (MG - Brazil). II – beans. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Campinas. v. 30, p.803-811, 2006. DOI: 10.1590/S0100-06832006000500006.

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.S. Agronomic and economic efficiency of common-bean inoculation with rhizobia and mineral nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas. v.40, n.15, 2016. DOI: 10.1590/18069657rbcs20150235

SORATTO, R. P., CARVALHO, M. A. C.; ARF, O. Chlorophyll content and grain yield of common bean as affected by nitrogen fertilization **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.9, p.895-901, 2004. DOI: 10.1590/S0100-204X2004000900009.

SOUZA, A. B.; ANDRADE, M.J.B; VIEIRA, N.M.B; ALBUQUERQUE, A. Sowing densities and npk and liming levels oncommon bean yield, in conventional croppingsystem, in Ponta Grossa, Paraná state, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.38, n.1, p.39-43, 2008.

SOUZA, A. B.; ANDRADE, M.J.B.; MUNIZ, J.A.; REIS, R.P. Plant populations and levels of fertilization and liming for the common bean crop (*Phaseolus vulgaris* L.) in a low fertility soil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.26, n.1, p.87-98, 2002.

SOUZA, A.B.; ANDRADE, M.J.B.; ALVES, V.G. Plant population, fertilization and liming for the common bean (cv. IAPAR 81) on gleysol in Ponta Grossa PR, Southern Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.26, n.3, p.347-352, 2004. DOI: 10.4025/actasciagron.v26i3.1835.

SOUZA, A.B.; OLIVEIRA, D.P.; SILVA, C.A.; ANDRADE, M.J.B. Plant populations and nitrogen doses for common bean at conventional system. **Biosciense Journal**, Uberlandia, v. 30, n. 4, p. 998-1006, 2014.

SOUZA, E. F. C.; SORATTO, R. P.; PAGANI, F. A. Nitrogen fertilization and *Rhizobium* inoculation in common bean cultivated after corn intercropped with palisade grass **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 4, p. 370-377, 2011. DOI: 10.1590/S0100-204X2011000400005.

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. DOI: 10.1016/j.agee.2016.12.040.

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**, Londrina, v. 40, n. 1, p. 81-98, 2019. DOI: 10.5433/1679-0359.2019v40n1p81

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Porto Alegre, Artmed. 6. ed. 2017, 858 p.

TSAI, S. M.; BONETTI, R.; AGBALA, S.M.; ROSSETI'O, R. Minimizing the efect of mineral nitrogen on biological nitrogen fxation in common bean by increasing nutrient levels. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.152, p.131-138, 1993. DOI: 10.1007/BF00016342.

VALADÃO, F. C. A.; JAKELAITIS, A.; CONUS, L. A.; BORCHARTT, L.; OLIVEIRA, A. A.; VALADÃO JUNIOR, D. D. Seeds inoculation and nitrogen and molybdenum fertilization of common bean in Rolim de Moura, RO. **Acta Amazonica**, v.39, n.4, p.741-748, 2009. DOI: 10.1590/S0044-59672009000400002.

VENEGAS, F.; SCUDELER, F. Compatibilidade de diferentes cepas de *Rhizobium tropici* com o fungo *Trichoderma harzianum* no tratamento de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, Campo Grande, v.15, n.5, p.19-30, 2011. DOI: http://dx.doi.org/10.17921/1415-6938.2011v15n5p%25p.

VIANA, T.O.; VIEIRA, N.M.B.; MOREIRA, G.B.L.; BATISTA, R.O.; CARVALHO, S.J.P.; RODRIGUES, H.F.F. Nitrogen and phosphorous fertilization of common bean in Northern Minas Gerais State, Brazil. **Revista Ceres**, Viçosa, v.58, n.1, p.115-120, 2011. DOI: 10.1590/S0034-737X2011000100017.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, MG: UFV, 1991. 449p.
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, p.1733-1743, 2010. DOI: 10.1080/01904167.2010.503776.

YE, C.; HALL, S.J.; HU, S.; Controls on mineral-associated organic matter formation in a degraded Oxisol. **Geoderma**. v.338, p.383–392, 2019. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.12.011.

3. É VIÁVEL INOCULAR *Rhizobium tropici* NA SEMENTE OU NO SULCO DA SEMEADURA E *Azospirillum brasilense* NAS FOLHAS DA PLANTA DO FEIJOEIRO?

Resumo

Alternativa viável para reduzir a utilização dos fertilizantes nitrogenados e produzir sementes de qualidade no cultivo das plantas do feijoeiro é a simbiose da planta com *Rhizobium tropici* e a associação as bactérias do gênero *Azospirillum* que favorecem a fixação biológica de nitrogênio - FBN, a indução de resistência sistêmica aos patógenos e à absorção de água e nutrientes pelas plantas. Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a nodulação, o desenvolvimento, a nutrição nitrogenada, o rendimento das plantas e o parâmetro fisiológico das sementes produzidas a partir da aplicação de 20 kg ha^{-1} de nitrogênio na semeadura em conjunto à inoculação da semente ou do sulco da semeadura com *Rhizobium tropici* (estirpe SEMEA 4088) e, ou, a inoculação das folhas da planta com *Azospirillum brasilense* (estirpes AbV5 e AbV6) em diferentes estádios do ciclo das plantas do feijoeiro, do cultivar IAC Milênio, cultivadas nas safras “da seca” e “do inverno” e utilizando as semeaduras convencional e direta, com irrigação. Por meio dos resultados foi possível concluir que o cultivo da planta do feijoeiro na safra “do inverno” favorece o rendimento de sementes, no entanto, a planta cultivada na safra “da seca” origina sementes com qualidade superior. O revolvimento do solo, para a semeadura convencional, favorece o desenvolvimento e o rendimento das sementes do feijoeiro. A aplicação de 20 kg ha^{-1} de nitrogênio na semeadura e a inoculação da semente ou do sulco da semeadura com *Rhizobium tropici* e, ou, a inoculação com *Azospirillum brasilense* nas folhas da planta, no estádio V3, ou V4, ou R5, são técnicas viáveis, pois, favorecem a nodulação, o desenvolvimento e o rendimento das plantas, o parâmetro fisiológico das sementes produzidas e reduzem a utilização do fertilizante nitrogenado para o cultivo do feijoeiro.

Palavras-chave: Fixação biológica de nitrogênio, Estádio fenológico, Parâmetro fisiológico

Abstract

A viable alternative to reduce the use of nitrogen fertilizers and produce quality seeds in the cultivation of bean plants is the symbiosis of the plant with *Rhizobium tropici* and the association of bacteria of the genus *Azospirillum* that favor the biological nitrogen fixation - BNF, the induction of systemic resistance to pathogens and the absorption of water and nutrients by plants. Thus, the objective of this research was to evaluate the nodulation, the development, the nitrogenous nutrition, the yield of the plants and the physiological parameter of the seeds produced from the application of 20 kg ha^{-1} of nitrogen in the sowing together with the inoculation of the seed or the furrow of the sowing with *Rhizobium tropici* (strain SEMEA 4088) and, or, the inoculation of the leaves of the plant with *Azospirillum brasilense* (strains AbV5 and AbV6) at different stages of the cycle of the plants of the feijoeiro, the IAC Milênio cultivar, cultivated in the "dry" and "winter" crops and using conventional and direct sowing, with irrigation. Through the results it was possible to conclude that the cultivation of the bean plant in the "winter" crop favors the yield of seeds, however, the plant cultivated in the "dry" crop produces seeds with superior quality. The development of the soil for conventional sowing favors the development and yield of the bean plant seeds. The application of 20 kg ha^{-1} of nitrogen in the sowing and the inoculation of the seed or of the furrow in the sowing with *Rhizobium tropici* and, or, the inoculation with *Azospirillum brasilense* in the leaves of the plant, in stage V3, or V4, or R5, are viable techniques, because they favor the nodulation, the development and the yield of the plants, the

physiological parameter of the seeds produced and reduce the use of nitrogen fertilizer for the cultivation of the bean plant.

Keywords: Biological nitrogen fixation, Phenological stage, Physiological parameter

3.1. Introdução

A alternativa para reduzir a utilização dos fertilizantes nitrogenados para o cultivo das plantas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é a simbiose mutualística da planta com as bactérias do gênero *Rhizobium* que, a partir da fixação biológica de nitrogênio (FBN), fornecem parte do nitrogênio requerido pela planta, além disso, evitam os riscos da contaminação do ambiente, reduzem os custos da produção (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; HUNGIA et al., 2007; BINOTTI et al., 2010; BINOTTI et al. 2014; MATOSO; KUSDRA, 2014; PERES et al., 2018; CARDILLO et al., 2019) e mitigam a emissão de gases causadores do efeito estufa, gerados por transformações bioquímicas dos fertilizantes nitrogenados aplicados no solo (GARCIA et al., 2013; ALMEIDA et al., 2015).

Resultados de pesquisas demonstraram que a eficiência da fixação biológica de nitrogênio (FBN), pela planta do feijoeiro, está relacionada também aos fatores edafoclimáticos (RAPOSEIRAS et al., 2002; RUFINI et al., 2011; SOUZA et al., 2011; FONSECA et al. 2013), à restrição dos fertilizantes nitrogenados na semeadura (BARROS et al., 2013; SOARES et al., 2016), à utilização de estirpes eficientes de *Rhizobium* sp. (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), aos métodos de inoculação (OLIVEIRA et al., 2018; CARDILLO et al., 2019) e à utilização concomitante com as bactérias promotoras do desenvolvimento das plantas, como as do gênero *Azospirillum* (HUNGRIA et al., 2013; SOUZA; FERREIRA, 2017; STEINER et al. 2019).

Os benefícios da inoculação conjunta das bactérias simbiônticas de leguminosas, como *Rhizobium* sp., e das promotoras do desenvolvimento das plantas, como *Azospirillum* sp., estão relacionados à síntese e à secreção de fitormônios, especialmente, do grupo das auxinas, giberelinas e citocininas que favorecem o desenvolvimento das raízes e da parte aérea, ao aumento da disponibilidade e da assimilação de nutrientes como fósforo (P), cálcio (Ca), potássio (K), ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn), através da solubilização dos fosfatos inorgânicos e da acidificação da rizosfera, por meio da produção de ácidos orgânicos e, ou, da estimulação da bomba de prótons da ATPase, à atuação na inibição e no controle dos microrganismos fitopatogênicos, decorrente da indução de respostas sistêmica de resistência, produção de antibióticos, toxinas e compostos de superfície ativa (biossurfactantes) e, também, pela competição por nutrientes e pelos locais de colonização (CASSÁN et al., 2008; BÁRBARO et al., 2008; WANG et al., 2009; MARRA et al., 2011; CASSÁN et al., 2014; PÉREZ-MONTAÑO et al., 2014; OLIVEIRA-LONGATH; MARRA; MOREIRA, 2014), esses fatores favorecem a nodulação das raízes, o desenvolvimento das plantas e reduzem o nível de doenças das

plantas, especialmente as transmissíveis pelas sementes, aumentando o rendimento e a qualidade das sementes do feijoeiro.

De acordo com Hungria et al. (2013), as inoculações com *Rhizobium tropici* na semente e com *Azospirillum brasilense* no sulco da semeadura favorecem a nodulação das plantas do feijoeiro, consequentemente, favorecem a fixação biológica nitrogênio, o desenvolvimento e o rendimento das plantas, o que representa estratégia viável para a redução da utilização dos fertilizantes nitrogenados, relacionada aos modernos requisitos da agricultura, para a sustentabilidade econômica, social e ambiental (CHAPARRO et al., 2012). No entanto, são restritas as pesquisas que avaliaram a inoculação com *Rhizobium* sp. na semente ou no sulco de semeadura e a inoculação com *Azospirillum* sp. nas folhas das plantas do feijoeiro (SOUZA; FERREIRA, 2017) e não há pesquisas que avaliaram a qualidade das sementes, produzidas a partir de plantas do feijoeiro resultantes destes métodos de inoculação.

Deste modo, a adequação dos métodos de inoculação com *Rhizobium* sp. para o feijoeiro é importante para definir o local a ser aplicado e qual estádio fenológico do ciclo da planta é adequado para inoculação com *Azospirillum* sp. nas folhas da planta. Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a nodulação das raízes, o desenvolvimento da planta, a nutrição nitrogenada, o rendimento das plantas e o parâmetro fisiológico das sementes produzidas a partir da aplicação de 20 kg ha^{-1} de nitrogênio na semeadura em conjunto à inoculação da semente ou do sulco da semeadura com *Rhizobium tropici* (estirpe SEMEA 4088) e, ou, a inoculação das folhas da planta com *Azospirillum brasilense* (estirpes AbV5 e AbV6) em diferentes estádios do ciclo da planta do feijoeiro, do cultivar IAC Milênio, cultivada nas safras “da seca” e “do inverno”, em dois sistemas de cultivo, semeaduras convencional e direta, com irrigação.

3.2. Material e Métodos

O trabalho foi realizado nos períodos entre março e junho e entre julho e novembro, do ano de 2017, que compreenderam as safras “da seca” e “do inverno”, respectivamente, sendo as plantas do feijoeiro cultivadas em área experimental do Departamento de Produção Vegetal, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", município de Piracicaba – SP (47°38’ W; 20°42’ S e 532 metros de altitude), em um Nitossolo Vermelho eutrófico latossólico (EMBRAPA, 2006) de textura argilosa e de alta fertilidade (Tabela 1).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cwa, subtropical úmido, verão quente e inverno seco, temperatura média anual de 21,4 °C e precipitação média anual de 1.257 mm. Na Figura 1, são apresentadas as informações referentes à radiação luminosa, temperatura média do ar, precipitação pluvial e umidade relativa do ar, nos períodos de condução dos experimentos.

A semeadura do feijoeiro foi realizada em dois sistemas de cultivo, um com revolvimento do solo, realizado por meio de uma gradagem, utilizando uma grade aradora com discos de 32 polegadas, e outras duas gradagens, utilizando uma grade niveladora com discos de 20 polegadas, considerado como semeadura convencional (SC), e outro sem revolvimento do solo, considerado como semeadura direta (SD), ambos com irrigação por aspersão.

Tabela 1. Resultado das análises química e física de amostras de solo retiradas da camada de 0 a 20 cm de profundidade dos locais do cultivo das plantas do feijoeiro, Piracicaba-SP.

Safras	Sistemas de cultivo	pH (CaCl)	P (Resina)	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	V	M.O
		mg dm^{-3}	----------mmol$_c$dm^{-3} ----------								%	g dm^{-3}
Seca	SC	5,3	37,0	6,4	29,0	14,0	0,0	31,0	49,0	49,0	61,0	23,0
	SD	5,1	40,0	4,4	20,0	11,0	3,0	34,0	35,4	38,4	51,0	18,0
Inverno	SC	5,4	29,0	5,6	46,0	17,0	0,0	28,0	69,0	69,0	71,0	21,0
	SD	5,4	24,0	5,6	28,0	15,0	0,0	25,0	49,0	49,0	66,0	21,0

As propriedades granulométricas dos solos, em g kg^{-1}, para a SC eram, Argila = 481, Areia = 330 e Silte = 189, e para a SD eram, Argila = 492, Areia = 300 e Silte = 208, sendo, SC - Semeadura convencional e SD - Semeadura direta; SB = soma de bases (Ca + Mg + K); t = capacidade efetiva de troca de cátions (Ca + Mg + K + Al); V = saturação por bases ((K + Ca + Mg)/T) x 100), onde T = K + Ca + Mg + acidez total a pH 7.0 (H + Al); M.O. – matéria orgânica.

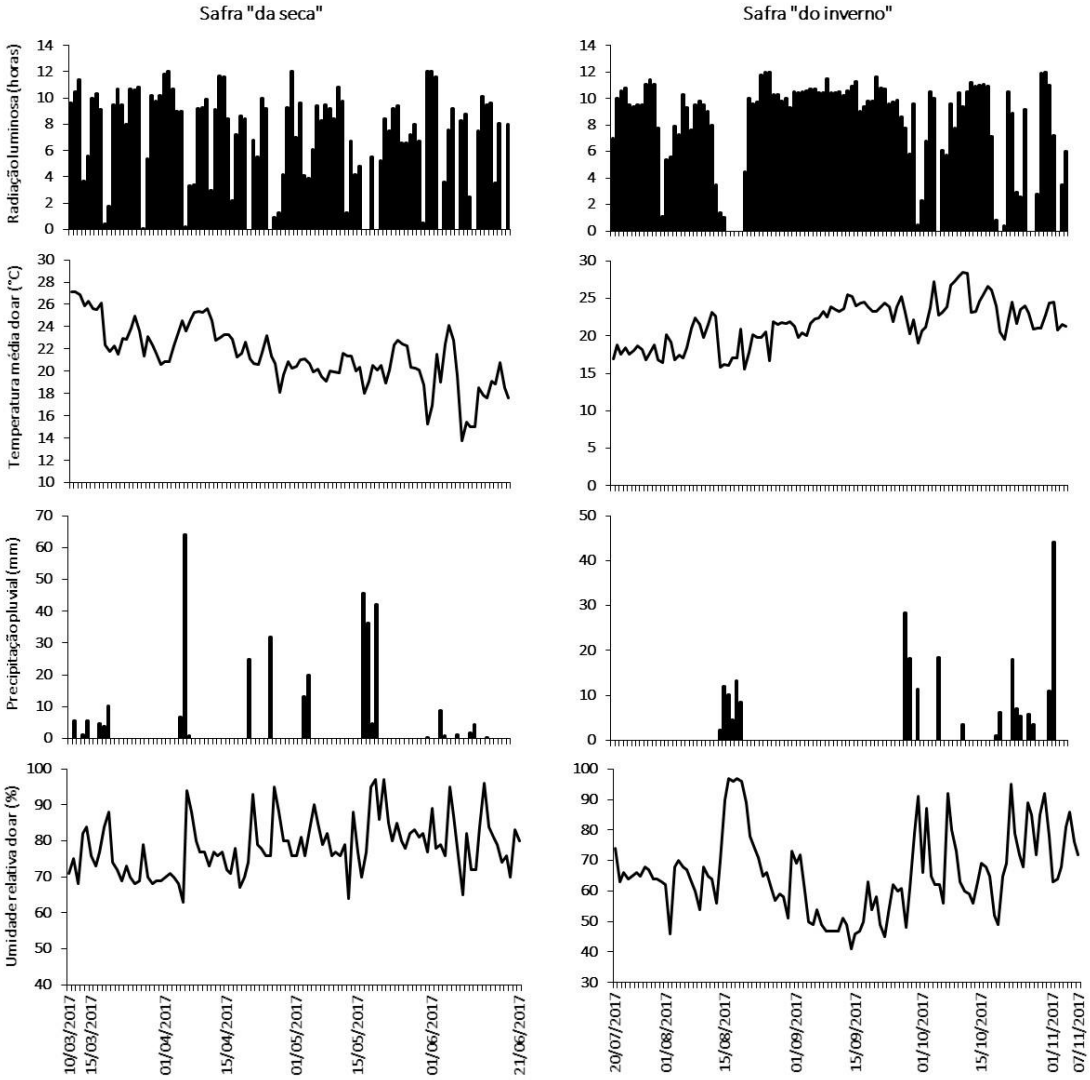

Figura 1. Dados diários referentes à radiação luminosa (horas), à temperatura média do ar (°C), precipitação pluvial (mm) e à umidade relativa do ar (%) durante o período do cultivo das plantas do feijoeiro, para as safras “da seca” e “do inverno”, do ano de 2017.
Fonte: Série de Dados Climatológicos do Campus Luiz de Queiroz de Piracicaba, SP, Departamento de Engenharia de Biossistemas, USP, ESALQ.

Para a safra “da seca” as sementes do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) utilizadas foram adquiridas do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), enquanto, para a safra “do inverno”, foram utilizadas as sementes produzidas nos experimentos da safra “da seca”. O cultivar utilizado foi IAC Milênio com as sementes do tipo Carioca, as plantas possuem arquitetura semiereta, resistência à antracnose e à murcha de *Fusarium* sp., hábito de crescimento indeterminado, tipo III, ciclo em torno de 90 a 95 dias e potencial produtivo de 4.625 kg ha^{-1} (CARBONELL et al. 2014).

As bactérias utilizadas nas inoculações foram as da estirpe SEMIA 4088 de *Rhizobium tropici* indicada para o feijoeiro e as das estirpes AbV5 e AbV6 de *Azospirillum brasilense* indicadas para o milho, ambas aprovadas pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) para produção de inoculantes comerciais no Brasil (BRASIL, 2011). A inoculação foi realizada utilizando o inoculante

comercial líquido Starfix Feijão®, com *Rhizobium tropici* na concentração de $1x10^9$ células mL^{-1}, e foram avaliadas as doses de $1,6x10^6$ células $semente^{-1}$ ou $1,4x10^8$ células $metro^{-1}$ no sulco da semeadura. Para a inoculação do *Azospirillum brasilense* o inoculante comercial líquido foi o AzoMax®, com a concentração de $2,0x10^9$ células mL^{-1}, e foi avaliada a aplicação da dose de $4,5x10^7$ células $metro^{-1}$, nas folhas das plantas, que compreendeu os tratamentos experimentais apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Descrição dos tratamentos utilizados para os experimentos em campo, Piracicaba-SP.

20N+SI	20 kg de N ha^{-1} na semeadura e sem a inoculação
20N+AV3	20 kg de Nha^{-1} na semeadura e a inoculação com *Azospirillum brasilense* nas folhas da planta no estádio V3
20N+AV4	20 kg de Nha^{-1} na semeadura e a inoculação com *Azospirillum brasilense* na folha da planta no estádio V4
20N+AR5	20 kg de N ha^{-1} na semeadura e a inoculação com *Azospirillum brasilense* nas folhas da planta no estádio R5
20N+RSE+AV3	20 kg de N ha^{-1} na semeadura e a inoculação com *Rhizobium tropici* na semente e *Azospirillum brasilense* nas folhas da planta no estádio V3
20N+RSE+AV4	20 kg de N ha^{-1} na semeadura e a inoculação com *Rhizobium tropici* na semente e com *Azospirillum brasilense* nas folhas da planta no estádio V4
20N+RSE+AR5	20 kg de Nha^{-1} na semeadura e a inoculação com *Rhizobium tropici* na semente e com *Azospirillum brasilense* nas folhas da planta no estádio R5
20N+RSU+AV3	20 kg de Nha^{-1} na semeadura e a inoculação com *Rhizobium tropici* no sulco de semeadura e com *Azospirillum brasilense* nas folhas da planta no estádio V3
20N+RSU+AV4	20 kg de Nha^{-1} na semeadura e a inoculação com *Rhizobium tropici* no sulco de semeadura e com *Azospirillum brasilense* nas folhas da planta no estádio V4
20N+RSU+AR5	20 kg de Nha^{-1} na semeadura e a inoculação com *Rhizobium tropici* no sulco de semeadura e com *Azospirillum brasilense* nas folhas da planta no estádio R5
20N+60N	20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura

A unidade experimental foi composta por 6 linhas de 4 m de comprimento com 0,45 m entre as linhas (10,8 m2) e para o cultivo da safra “da seca” foram distribuídas, em média, 12,5 sementes $metro^{-1}$, enquanto, para a safra “do inverno” foram 14,0 sementes $metro^{-1}$, com 3 a 4 cm de profundidade. As linhas externas foram consideradas bordaduras e as 4 linhas centrais perfizeram a unidade útil. As unidades experimentais foram espaçadas por 1,0 m nas extremidades para evitar a contaminação por deriva contendo bactérias.

As semeaduras foram realizadas manualmente em 10 e 14 de março e 20 e 21 de julho de 2017 e as plantas antecessoras foram as de trigo na safra “da seca” e as de milheto na safra “do inverno”. A adubação no momento da semeadura correspondeu à aplicação de 70 kg de P_2O_5 ha^{-1}, 20 kg de K_2O ha^{-1}, 20 kg de N ha^{-1}, 62 kg de Ca ha^{-1} e 55 kg de S ha^{-1}, utilizando como fontes o superfosfato simples, o cloreto de potássio e o sulfato de amônio. A aplicação reduzida de nitrogênio na semeadura seguiu as recomendações de Barros et al. (2013) e de Soares et al. (2016). A inoculação das sementes foi realizada no momento da semeadura, a do sulco logo após a semeadura e as das folhas das plantas,

com o *Azospirillum brasilense*, foi realizada quando as plantas do feijoeiro estavam nos estádios V3, ou V4, ou R5 do ciclo do desenvolvimento (FERNÁNDEZ et al., 1986), com aplicação de 260 L ha^{-1} da mistura de água mais inoculante, utilizando um pulverizador costal com o bico tipo leque. No estádio V4 do ciclo da planta do feijoeiro (FERNÁNDEZ et al., 1986), foram aplicados também 60 kg de N ha^{-1} (fonte sulfato de amônio) em cobertura para as plantas das unidades experimentais correspondentes ao tratamento 20N+60N.

Para as duas safras de cultivo, o controle das plantas infestantes em pré-semeadura, na semeadura direta, foi realização com a aplicação do herbicida não seletivo glifosato na dose de 1,9 kg i.a. ha-1 (5 L ha^{-1} de Roundup®). Após a emergência das plantas do feijoeiro, nas duas safras e em ambos sistemas de cultivo, foram aplicados os herbicidas pós-emergentes seletivos para a planta do feijoeiro, fomesafen e fluazifop-p-butil nas doses de 250 e 125 g i.a. ha^{-1} (1L ha^{-1} de Flex® + 0,5 L ha^{-1} de Fusilade®), respectivamente, para o controle das plantas infestantes. Na maturidade fisiológica das sementes, estádio R9 do ciclo da planta do feijoeiro (FERNÁNDEZ et al., 1986), na safra "do inverno" e para a semeadura convencional, as plantas foram dessecadas com 500 g i.a. ha^{-1} de paraquat (2,5 L ha^{-1} de Gramoxone®) para a realização da colheita.

Para o controle de *Bemisia tabaci*, na safra "da seca" foram realizadas duas aplicações dos inseticidas acetamiprido + bifentrina, ambos com 45 g i.a. ha^{-1} (180 g ha^{-1} de Sperto®) e uma aplicação do inseticida piriproxifem com 25 g ha^{-1} de i.a. (0,25 L ha^{-1}de Tiger 100 EC®), enquanto, na safra "do inverno" foi realizada uma aplicação dos mesmos inseticidas. Para o controle de *Lyriomyza huidobrensis*, em ambas as safras, foram aplicados 18 g i.a. ha^{-1} do inseticida e acaricida abamectina (0,5 L ha^{-1}de Kraft 36 EC®) e posteriormente na safra "do inverno" foram aplicados 17,63 g i.a. ha^{-1} e 13,25 g i.a. ha^{-1} dos inseticidas tiametoxam + lambda-cialotrina (0,125 L ha^{-1}de Engeo pleno®), respectivamente, para o controle de *Diabrotica speciosa*.

Para o controle e a prevenção de *Colletotrichum lindemuthianum*, *Phaeoisariopsis griseola* e *Uromyces appendiculatus*, nas duas safras, foram aplicados 60 g i.a. ha^{-1} do fungicida azoxistrobina (120 g ha^{-1} de Amistar WG®) e para a safra "da seca" foi aplicado, também, 320 g i.a. ha^{-1} do fungicida hidróxido de fentina (0,8 L ha^{-1} de Mertin®) para a prevenção e o controle de *Colletotrichum lindemuthianum*, *Phaeoisariopsis griseola*, *Uromyces appendiculatus* e *Alternaria* spp., enquanto, para a safra "do inverno" foram aplicados 300 g i.a. ha^{-1} e 750 g i.a. ha^{-1} de tiofanato-metílico + clorotalonil (1,5 kg ha^{-1} de Cerconil WP®), respectivamente, para o controle e a prevenção de *Colletotrichum lindemuthianum*, *Cercospora* sp., *Uromyces appendiculatus*, *Phaeoisariopsis griseola*, *Alternaria* sp., *Peronospora manshurica*, *Phytophthora phaseoli*, *Erysiphe polygoni* e *Sclerotinia sclerotiorum*. Para todas as aplicações foram pulverizados 300 L ha^{-1} de água mais o produto, com o bico do tipo leque para os herbicidas, inseticidas e acaricidas e o tipo cone para os fungicidas, conforme indicações da bula dos produtos.

Para as avaliações foram utilizadas as 4 linhas centrais da unidade experimental, sendo, duas linhas utilizadas para as avaliações no estádio R6 e as outras duas para as avaliações no estádio R9 do ciclo da planta do feijoeiro (FERNÁNDEZ et al. 1986). Com as plantas do feijoeiro no estádio R6 do ciclo da planta do feijoeiro (plena floração), foram determinados o índice relativo de clorofila (IRC), a massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA), o número de nódulos (NN) e a massa da matéria seca dos nódulos (MMSN). Já, com as plantas no estádio R9 do ciclo, foram determinadas a população final de plantas (PF), os componentes primários do rendimento das plantas: o número de vagens por planta (VP), o número de sementes por vagem (SV) e o peso de mil sementes (PMS), e o rendimento de sementes das plantas do feijoeiro (RS).

O índice relativo de clorofila (IRC) foi determinado por meio do clorofilômetro Minolta® SPAD e calculado a partir da média de 30 leituras em cada unidade experimental, obtidas em 10 folhas completamente desenvolvidas e expandidas, sendo, uma folha por planta e uma leitura por folíolo. Com os dados do índice relativo de clorofila foram calculados o teor de clorofila das folhas (TC), em mg dm^{-2}, por meio da equação y = -0,152 + 0,0996x (BARNES et al., 1992) e o índice de suficiência de nitrogênio (ISN) da planta do feijoeiro, em porcentagem, utilizando como referência (100%) as leituras obtidas nas folhas das plantas adubadas com 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60kg de N ha^{-1} em cobertura, referente ao tratamento 20N+60N (MAIA et al., 2017; CARVALHO et al., 2012; SILVEIRA; FEREIRA, 2016).

Para as determinações da massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA), em gramas por planta, do número de nódulos (NN), em unidade por planta, e da massa da matéria seca dos nódulos (MMSN), em gramas por planta, foram coletadas 10 plantas de cada unidade experimental, de forma aleatória. As partes aéreas das plantas foram coletadas por meio do corte da planta rente ao solo e colocadas em sacas de papel tipo *kraft,* previamente identificados em relação aos tratamento para serem posteriormente avaliadas; em seguida, as raízes foram coletadas do solo, com uma pá reta, colocadas em sacos plásticos, também previamente identificados, e armazenadas em câmara a 10±2°C, até a contagem dos nódulos. No laboratório, os nódulos foram destacados das raízes, contados manualmente e depositados em recipientes; após este procedimento, os nódulos e as partes aéreas das plantas foram secos em estufa, com circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas e pesados em balança digital, com precisão de 0,001 e 0,01g, respectivamente, para as determinações das massas da matérias seca dos nódulos e das partes aéreas. A partir dos dados da massa da matéria seca da parte aérea, foi calculada a eficiência relativa do desenvolvimento das plantas, em percentagem, correspondente à cada tratamento, por meio da expressão ER = (MMSPA das plantas resultantes da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e sem a inoculação ou com a inoculação com *Rhizobium tropici* e, ou, com *Azospirillum brasilens*/MMSPA das plantas adubadas com 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60kg de N ha^{-1} em cobertura) x 100, sendo que, a massa da matéria seca da parte aérea das plantas das unidades experimentais do tratamento 20N+60N foi utilizada como referência -ER=100%.

Para a determinação da população final de plantas (PF) as plantas do feijoeiro das outras duas linhas foram coletadas e contadas e o resultado foi expresso em plantas ha^{-1}; em seguida, foram separadas dez plantas de cada unidade experimental, de forma aleatória, que foram utilizadas para as determinações, do número de vagens por planta (VP) e do número de sementes por vagem (SV), por meio de contagem; em seguida, foram divididas oito repetições de 100 sementes, duas de cada unidade experimental, para determinar o peso de mil sementes (PMS) e o resultado foi expresso em gramas (BRASIL, 2009). Após estes procedimentos foi determinado o rendimento de sementes das plantas do feijoeiro (RS), em sacas de 60 $kgha^{-1}$, no qual, as plantas coletadas nas duas linhas de cada unidade experimental foram trilhadas e as sementes pesadas em conjunto às sementes das dez plantas utilizadas para as determinações dos componentes primários do rendimento. Em seguida, foi determinado o teor de água das sementes, por meio de estufa a 105±3°C por 24 horas (BRASIL, 2009), corrigindo os valores do peso de mil sementes e do rendimento de sementes para 13% de água, após este procedimento, as sementes foram armazenadas a 10±2°C e umidade relativa do ar de 35±5%.

Transcorrido sete dias de armazenamento, as sementes foram utilizadas para as determinações dos parâmetros fisiológicos, que corresponderam ao teor de água, ao teste de germinação (G) e da primeira contagem da germinação (PCG), aos testes de comprimento da raiz (CR), da plântula (CP) e da massa da matéria seca das plântulas normais (MMSP), ao teste de envelhecimento acelerado (EA), ao teste de frio (F) e ao teste de emergência da plântula em campo (EPC).

Para determinar o teor de água inicial e após o teste de envelhecimento acelerado foram utilizadas 10 sementes de cada unidade experimental, mantidas em estufa a 105ºC ± 3°C por 24 horas (BRASIL, 2009). O resultado foi expresso em porcentagem, base úmida.

Para as avaliações da germinação (G) e da primeira contagem da germinação (PCG) foram semeadas 50 sementes de cada unidade experimental em rolos compostos por 4 folhas de papel, da marca *Germitest*, umedecidas em 2,5 vezes o seu peso seco com água destilada; a seguir, foram mantidas em germinador a 25°C. As avaliações foram no 5º dia após a semeadura para a primeira contagem da germinação e ao 7º dia para a germinação. O resultado foi expresso em porcentagem e relacionado à quantidade de plântulas normais (BRASIL, 2009).

Para as avaliações do comprimento da raiz primária (CR) e da plântula (CP) foram utilizadas 10 sementes de cada unidade experimental, distribuídas em 3 folhas de papel, da marca *Germitest*, umedecidas com água destilada em quantidade relativa a 2,5 vezes o peso seco; a seguir foram mantidas a 25 °C, por cinco dias. Os comprimentos da raiz e da plântula foram determinados manualmente utilizando uma régua, graduada em centímetros, e os resultados foram expressos em centímetros. Em seguida, foi determinada a massa da matéria seca de plântulas normais (MMSP), após retirar os cotilédones das plântulas o restante foi colocado em sacas de papel tipo *kraft* e seco em estufa a 80°C

por 24 horas, após este período as plântulas foram pesadas, por meio de uma balança digital, com precisão de 0,001g, e o resultado expresso em miligramas por plântula (NAKAGAWA, 1999).

Para o teste de envelhecimento acelerado (EA) as sementes foram colocadas em caixas plásticas, contendo 40 mL de água destilada, distribuídas sobre tela de aço inoxidável, a seguir, mantidas em BOD, a 41°C, por 48 horas (MARCOS FILHO et al., 2001). Após este período de exposição, as sementes foram colocadas para germinar em rolos compostos por 4 folhas de papel, da marca *Germitest*, umedecidas em 2,5 vezes o seu peso seco com água destilada e mantidas em germinador a 25°C, após cinco dias foi realizada a avaliação. O resultado foi relacionado à quantidade de plântulas normais e expresso em porcentagem.

Para o teste de frio (F) foram utilizadas 50 sementes de cada unidade experimental distribuídas em bandejas de polietileno contendo substrato composto por areia e solo peneirado, na proporção de 2:1 (v/v), respectivamente, e umedecido com quantidade de água equivalente a 60% da capacidade de retenção de água pelo substrato. Em seguida, as caixas plásticas, com as sementes, foram colocadas em câmara previamente regulada a 10±2°C, permanecendo por cinco dias. Após esse período, as caixas foram transferidas para local em temperatura ambiente, por sete dias (MIGUEL; CICERO, 1999). A avaliação foi realizada considerando as plântulas normais emergidas e o resultado foi expresso em porcentagem.

A emergência das plântulas em campo (EPC) foi avaliada a partir da semeadura de 50 sementes de cada unidade experimental em campo, em um solo de textura argilosa, com a irrigação diária por aspersão em quantidade equivalente a 7 L de água m^{-2}, determinada por meio de um pluviômetro. A avaliação foi realizada no 14º dia após a semeadura, registrando o total de plântulas normais emersas e o resultado foi expresso em porcentagem.

O delineamento experimental utilizado, para cada experimento, foi em blocos casualizados com quatro repetições e 11 tratamentos (Tabela 2). Os dados foram avaliados individualmente e após verificada a homogeneidade dos quadrados médios residuais foi realizada a análise conjunta (GOMES, 1990). Para a análise conjunta dos dados, o delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições e esquema fatorial 2x11, representados pelos dois sistemas de cultivo (semeadura convencional e direta) e pelos onze tratamentos (Tabela 2). Para todas variáveis a normalidade e a homogeneidade das variâncias dos resíduos foram calculadas pelos testes de *Shapiro-Wilk* e *Kolmogorv-Smirnov*, respectivamente, e quando necessário os dados foram transformados pela equação de Box-Cox e, posteriormente, analisados quanto à variância (ANOVA) e para as variações significativas ($p \leq 0,05$), para a comparação das médias foi utilizado o teste de *Tukey* ($p \leq 0,05$). As análises foram realizadas utilizando o *software* R®.

3.3. Resultados e discussão

Para os resultados referentes à nodulação das plantas do feijoeiro, na safra "da seca", o cultivo das plantas em semeadura direta aumentou, respectivamente, em 22,5 e 24,8%, o número de nódulos e a massa da matéria seca dos nódulos em comparação às plantas cultivadas em semeadura convencional, no entanto, para a safra "do inverno" os resultados foram estatisticamente similares entre os sistemas de cultivo, Tabela 3. De acordo com Denardin et al. (2014), Andrade et al. (2010 e 2012) e Brown et al. (2018), os resíduos vegetais depositados sobre a superfície do solo, característico de áreas nativas e dos sistemas conservacionistas do solo, aumentam a matéria orgânica, a retenção de água e a ciclagem de nutrientes no solo, influenciando na colonização dos microrganismos, como *Rhizobium* sp., o que contribuem para a simbiose e, consequentemente, para nodulação e para o desenvolvimento das plantas, além de reduzirem as perdas de solo por erosão e os gastos energéticos com combustíveis fósseis, utilizados nas atividades de arar e, ou, gradear o solo (HUNGRIA et al., 2013).

A aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e a inoculação dos microrganismos, independentemente do método de inoculação, aumentaram a nodulação da planta do feijoeiro em ambas as safras de cultivo (Tabela 3), especialmente, para as plantas cujas inoculações foram realizadas com *R. tropici* na semente ou no sulco da semeadura e com *A. brasilense* nas folhas da planta nos estádios V3 ou V4, que aumentaram, em média, 80,2 e 140,7% o número dos nódulos e a massa da matéria seca dos nódulos, respectivamente, em comparação às plantas originadas da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e sem a inoculação e as adubadas com 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura, Tabela 3. Souza e Ferreira et al. (2017) também obtiveram aumento médio de 58,2% para o número de nódulos e de 55,5% para a massa da matéria seca dos nódulos nas plantas do feijoeiro, do cultivar Pérola, cuja inoculação foi realizada com $2,4x10^6$ células $semente^{-1}$ de *R. tropici* em conjunto à inoculação das folhas com $2,4x10^5$ células $planta^{-1}$ de *A. brasilense*, aplicado entre os estádios V2 e V3 do ciclo da planta, quando comparado às plantas sem a inoculação destes microrganismos. Do mesmo modo, Steiner et al. (2019) e Peres et al. (2016) observaram aumento da nodulação das plantas do feijoeiro, do cultivar Pérola, com a inoculação das sementes, com *R. tropici* e *A. brasilense*, em comparação às plantas produzidas sem a inoculação, ambos com doses restritas de nitrogênio na semeadura.

Todavia, a inoculação com *R. tropici* no sulco da semeadura e com *A. brasilense* nas folhas da planta, nos estádios V3, V4, ou R5, proporcionaram incrementos da nodulação do feijoeiro semelhantes à inoculação com *R. tropici* na semente e com *A. brasilense* nas folhas da planta, nos estádios V3, V4, ou R5, constituindo alternativa técnica para evitar o contato dos microrganismos com produtos químicos utilizados para o tratamento das sementes, favorecendo a simbiose e a associação da planta com as

bactérias e, consequentemente, a fixação biológica de nitrogênio do feijoeiro (BARBOSA; GONZAGA, 2012; CARDILLO et al., 2017; OLIVEIRA, et al., 2018; CARDILLO et al., 2019)

Com relação à adubação nitrogenada, há resultados que demostraram os efeitos nocivos do excesso do nitrogênio mineral no solo para a simbiose da planta do feijoeiro com as bactérias do gênero *Rhizobium* (RUFINI et al. 2011; OLIVEIRA et al. 2018; CARDILLO et al. 2019). Entretanto, nesta pesquisa (Tabela 3), as plantas do feijoeiro adubadas, com 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura, tiveram número de nódulos e massa da matéria seca dos nódulos similar ao das plantas adubadas com 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e sem a inoculação. De acordo com Moreira e Siqueira (2006) o excesso do nitrogênio no solo pode reduzir a formação dos nódulos, devido à falta de estímulos para a infecção do pelo radicular pela bactéria, que está relacionada à deficiência do nitrogênio no solo para as plantas, porém, constataram que a utilização de doses reduzidas deste elemento, nas fases iniciais do desenvolvimento da planta, pode beneficiar a simbiose e a fixação biológica do nitrogênio, principalmente, para as espécies que possuem a nodulação tardia ou fixam nitrogênio durante um curto período do seu ciclo, como a exemplo do feijoeiro. Barros et al. (2013) e Soares et al. (2016) afirmaram que aplicação de até 20 kg ha^{-1} de nitrogênio na semeadura do feijoeiro não influência a nodulação e supre o nitrogênio requerido para o desenvolvimento inicial da planta.

Figueiredo et al. (2016), também obtiveram resultados similares para a nodulação do feijoeiro, do cultivar BRS Madrepérola, entre as plantas adubadas com 80 kg ha^{-1} de nitrogênio e as originadas da inoculação das sementes, com *R. tropici* ou com *R. etli*, ou sem a inoculação. Para Moreira e Siqueira (2006), Silva et al. (2009) e Kaneko et al. (2010), os nódulos das plantas do feijoeiro, que não foram inoculadas, são decorrentes de *Rhizobium* sp. nativo do solo, porém, afirmaram que essas bactérias podem influenciar negativamente a fixação biológica do nitrogênio (FBN) e, consequentemente, a simbiose da planta do feijoeiro com as bactérias consideradas eficientes e introduzidas por meio da inoculação, devido à competição pelo mesmo local de infecção nas raízes.

Tabela 3. Médias referentes aos resultados do número (NN), das massas da matéria seca dos nódulos (MMSN) e da parte aérea (MMSPA), da eficiência relativa (ER), do índice relativo de clorofila (IRC), do teor de clorofila (TC) e do índice de suficiência de nitrogênio (ISN), das plantas do feijoeiro, do cultivar IAC Milênio, cultivadas nas safras "da seca" e "do inverno" em dois sistemas de cultivo e diferentes tratamentos, em Piracicaba-SP.

Sistemas de cultivo	Safra "da seca"							Safra "do inverno"						
	NN	MMSN	MMSPA	ER	IRC	TC	ISN	NN	MMSN	MMSPA	ER	IRC	TC	ISN
	unid. planta^{-1}	mg planta^{-1}	g planta^{-1}	%	-	mg cm^{2}	%	unid. planta^{-1}	mg planta^{-1}	g planta^{-1}	%	-	mg cm^{2}	%
Semeadura convencional	40 b	63,0 b	13,8 a	-	41,6	4,0	-	53	83,5	12,0 a	-	48,8	4,7	-
Semeadura direta	49 a	78,6 a	11,1 b	-	41,7	4,0	-	59	95,0	10,8 b	-	49,3	4,8	-
Tratamentos														
20N+SI	30 bc	40,0 bc	13,2 a	96,5	41,8	4,0	96,8	41 bc	52,9 bc	11,2	91,1	49,6	4,8	98,9
20N+AV3	37 abc	51,0 abc	13,4 a	97,4	41,2	4,0	95,3	47 abc	65,4 abc	10,8	85,9	48,2	4,7	96,2
20N+AV4	48 abc	81,7 a	12,3 ab	90,3	41,8	4,0	96,8	61 ab	105,0 ab	11,5	92,7	48,6	4,7	97,0
20N+AR5	30 bc	54,9 abc	11,9 ab	88,1	40,8	3,9	94,3	39 bc	70,3 abc	10,8	88,1	49,8	4,8	99,3
20N+RSE+AV3	60 ab	94,0 a	10,0 b	72,6	43,0	4,1	99,5	71 a	117,2 a	11,1	89,9	48,4	4,7	96,5
20N+RSE+AV4	54 ab	97,8 a	11,6 ab	85,5	39,7	3,8	91,9	68 a	116,4 a	12,3	98,9	49,0	4,7	97,8
20N+RSE+AR5	42 abc	66,9 ab	12,9 ab	93,5	40,6	3,9	94,0	57 ab	88,2 ab	11,5	94,0	49,9	4,8	99,6
20N+RSU+AV3	48 abc	85,8 a	11,7 ab	84,3	43,3	4,2	100,2	68 a	108,7 a	10,3	81,0	48,2	4,7	96,2
20N+RSU+AV4	62 a	92,2 a	12,5 ab	90,8	40,2	3,9	93,0	70 a	113,5 a	11,9	95,8	48,4	4,7	96,4
20N+RSU+AR5	47 abc	78,5 ab	12,8 ab	94,3	42,4	4,1	98,0	61 ab	101,1 ab	11,3	90,4	49,1	4,7	97,9
20N+60N	31 c	35,7 c	14,2 a	100,0	43,3	4,2	100,0	36 c	43,2 c	12,6	100,0	50,2	4,8	100,0
Média	45	70,8	12,4	90,3	41,6	4,0	96,3	56	89,3	11,4	91,6	49,0	4,7	97,8
CV%	3,3	5,4	3,6	19,4	6,2	6,5	7,5	11,2	19,8	14,8	2,9	4,0	4,2	24,7

As médias seguidas da mesma letra na coluna, para os sistemas de cultivo e para os tratamentos, não diferem entre si pelo teste de *Tukey* com a probabilidade de erro de 5%. CV% = Coeficiente de variação.

Em relação ao desenvolvimento das plantas do feijoeiro, o cultivo em semeadura convencional aumentou, respectivamente, em 24,3% e 11,1% a massa da matéria seca da parte aérea das plantas cultivadas nas safras “da seca” e “do inverno” e em comparação às plantas cultivadas em semeadura direta (Tabela 3). De acordo com Keiluweit et al. (2016) e Ye et al. (2019) para a semeadura convencional há a desestruturação do solo o que aumenta a porosidade e a concentração de oxigênio, favorecendo a mineralização da matéria orgânica, a disponibilidade de nutrientes e o desenvolvimento das raízes que, consequentemente, absorvem mais água e nutrientes, propiciando o desenvolvimento da parte área das plantas. Por outro lado, Pittelkow et al. (2015) e Silveira et al. (2008) afirmaram que a utilização consecutiva dos sistemas conservacionistas do solo, podem constituir um sistema de melhoria da qualidade física, química e microbiológica do solo em virtude do aumento do teor de matéria orgânica e da agregação do solo, além de reduzir os gastos enérgicos relacionados ao cultivo.

Os resultados da massa da matéria seca da parte aérea e da eficiência relativa das plantas do feijoeiro originadas da aplicação de 20 kg de N ha^{-1}na semeadura e da inoculação da semente ou do sulco da semeadura com *R. tropici* e, ou, da inoculação com *A. brasilense* nas folhas da planta, nos estádios V3, V4, ou R5, ou sem a inoculação foram estatisticamente semelhantes ao das plantas adubadas com 20 kg de N ha^{-1}na semeadura e com 60 kg de N ha^{-1} em cobertura, nas duas safras de cultivo, com exceção das plantas cultivadas na safra “da seca” e resultantes da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e da inoculação com *R. tropici* na semente e com *A. brasilense* nas folhas da planta, no estádio V3, que apresentaram massa da matéria seca da parte aérea estatisticamente inferior, entretanto, o resultado da eficiência relativa foi estatisticamente similar ao dos demais tratamentos (Tabela 3).

Hungria et al. (2013) evidenciaram também a similaridade entre os resultados das determinações da massa da matéria seca da parte aérea das plantas do feijoeiro originadas da inoculação com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, assim como, para as plantas da soja resultantes da inoculação com *Bradyrhizobium japonicum* e, ou, com *A. brasilense* em comparação às plantas adubadas com 80 e 200 kg ha^{-1} de nitrogênio, respectivamente, e sem a inoculação. Por outro lado, Souza e Ferreira (2017) observaram que a inoculação da semente do feijoeiro com *R. tropici* e a inoculação com *A. brasilense* nas folhas, entre os estádios V2 e V3 do ciclo da planta, proporcionaram massa da matéria seca da parte aérea superiores aos das plantas originadas sem a inoculação e equivalentes, ou até mesmo superiores, às plantas obtidas da aplicação de 20 kg ha^{-1} de nitrogênio na semeadura e 60 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura.

Deste modo, os resultados demonstraram que a aplicação de 20 kg de N ha^{-1}na semeadura e a população nativa de rizóbios presentes no solo promoveu o desenvolvimento das plantas do feijoeiro equivalente ao das plantas resultantes da aplicação de 20 kg de N ha^{-1}na semeadura e da inoculação da semente ou do sulco da semeadura com *R. tropici* e, ou, da inoculação com *A. brasilense* nas folhas da

planta, nos estádios V3, V4, ou R5, ou da aplicação de 20 kg de N ha^{-1}na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura (Tabela 3). No entanto, na literatura há relatos dos benefícios da inoculação dos rizóbios e do *Azospirillum* sp. para a nodulação, o desenvolvimento e o rendimento de várias espécies leguminosas como o feijão (PERES et al., 2016; SOUZA; FERREIRA, 2017; STEINER et al., 2019), a soja (HUNGRIA et al., 2013 e 2015; CHIBEBA et al., 2015) e o amendoim (SILVA et al., 2017).

Segundo Blackmer et al. (1993) as medições da intensidade da cor verde nas folhas, avaliada por meio do clorofilômetro, podem ser relacionadas à fixação biológica do nitrogênio, à disponibilidade de nitrogênio e de outros nutrientes no solo, à idade e ao teor de água da planta, à densidade populacional de plantas, ao cultivar e ao estresse ambiental. Todavia, nesta pesquisa (Tabela 3) houve similaridade estatística entre os sistemas de cultivo para os resultados do índice relativo de clorofila e do teor de clorofila, para as duas safras de cultivo, o que indicaramm o equilíbrio no fornecimento do nitrogênio para a planta do feijoeiro. Porém, nos sistemas conservacionistas do solo, como a semeadura direta, há mais atividade microbiana no solo, que imobiliza parte do nitrogênio disponível para a planta (MOREIRA, SIQUEIRA, 2006; FARINELLI et al. 2006), assim, os resultados da nodulação obtidos neste sistema contribuíram para a disponibilidade do nitrogênio para as plantas do feijoeiro (Tabela 3).

Segundo Soratto et al. (2004), o sistema de cultivo convencional disponibiliza mais nitrogênio para as plantas, devido à aceleração do processo de mineralização pela incorporação dos restos culturais presentes na área de cultivo, o que pode reduzir a simbiose das plantas do feijoeiro com *Rhizobium* sp. e influenciar a nodulação (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), enquanto, para o sistema de semeadura direta a disponibilidade do nitrogênio para as plantas cultivadas é reduzida devido à imobilização, principalmente quando os resíduos culturais da superfície do solo apresentam relação carbono e nitrogênio superior a 30/1 (SORATTO et al., 2004, MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Deste modo, é importante inocular o feijoeiro com bactérias que favoreçam a nodulação e, consequentemente, a fixação biológica de nitrogênio, no sentido de suprir a demanda requerida pela planta e reduzir os efeitos deletérios da imobilização do nitrogênio no sistema de semeadura direta.

As plantas do feijoeiro originadas da aplicação de 20 kg de N ha^{-1}na semeadura e da inoculação com *R. tropici* na semente ou no sulco de semeadura e, ou, com *A. brasilense* nas folhas da planta, nos estádios V3, V4, ou R5, ou da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e sem a inoculação, proporcionaram resultados do índice relativo de clorofila e do teor de clorofila semelhantes aos das plantas adubadas com 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e com 60 kg de N ha^{-1} em cobertura, para as duas safras de cultivo (Tabelas 3). Steiner et al. (2019) obtiveram também resultados similares do índice relativo de clorofila entre as plantas do feijoeiro, do cultivar Pérola, decorrentes da aplicação de 24 kg de N ha^{-1} na semeadura e da inoculação da semente, com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, ou sem a inoculação e as adubadas com até 144 kg de N ha^{-1}.

Carvalho et al. (2003) avaliaram doses crescentes de nitrogênio, até 140 kg ha^{-1}, para o cultivo do feijoeiro e obtiveram teores de clorofila entre 2,9 e 3,9 mg dm^{-2}, já, para Soratto et al. (2004) os teores de clorofila nas folhas do feijoeiro foram entre 3,0 e 5,0 mg dm-^{2}, resultantes da aplicação de até 210 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura, compatíveis com os valores obtidos nesta pesquisa, Tabela 3, comprovando, assim, a eficiência da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura em conjunto com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, independentemente do método de inoculação, ou das bactérias nativas do solo, em disponibilizar o nitrogênio de modo similar à adubação com 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} na em cobertura, resultando em teores equivalentes de clorofila das folhas das plantas do feijoeiro. De acordo com Nascimento et al. (2012) a maior parte do nitrogênio absorvido na fase do desenvolvimento vegetativo da planta do feijoeiro é direcionada para a síntese de pigmentos foliares para a fotossíntese; assim, o teor de clorofila é indicativo da nutrição nitrogenada e da eficiência da fixação biológica de nitrogênio, gerada a partir da simbiose entre a planta e as bactérias do gênero *Rhizobium*, introduzido e, ou, do nativo do solo.

Os resultados do índice de suficiência de nitrogênio comprovaram os resultados descritos, ou seja, as plantas do feijoeiro originadas da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e da inoculação com *R. tropici* na semente ou no sulco da semeadura e, ou, com *A. brasilense* nas folhas da planta, nos estádios V3, ou V4, ou R5, ou sem a inoculação apresentaram valores relativos de suficiência de nitrogênio estatisticamente similares aos das plantas adubadas com 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura (Tabela 3). Segundo Silveira e Ferreira (2016), o índice de suficiência de nitrogênio, caracteriza o suprimento do nitrogênio para a planta do feijoeiro, independentemente da forma como é obtido e Maia et al. (2012) afirmaram que a planta do feijoeiro com índice de suficiência de nitrogênio superior a 90%, em relação à planta adubada com doses elevadas do nitrogênio mineral, apresenta adequada nutrição nitrogenada.

Deste modo, além do fornecimento do nitrogênio, a partir da fixação biológica (FBN), a inoculação de leguminosas com *Rhizobium* sp. e com *A. brasilense* pode beneficiar o desenvolvimento das plantas pela produção de fitormônios (giberelinas, citocininas e auxinas), pelo aumento da solubilização do fosfato inorgânico do solo, pela absorção de nutrientes e pela indução de resistência sistêmica da planta aos patógenos, (CASSÁN et al., 2008; BÁRBARO et al., 2008; WANG et al., 2009; CASSÁN et al., 2014; PÉREZ-MONTAÑO et al., 2014; PERRIG et al., 2007; FUKAMI et al, 2018; SOUZA e FERREIRA, 2017), reduzindo assim, a utilização dos fertilizantes nitrogenados e dos defensivos químicos, proporcionando aumento do rendimento e da qualidade das sementes do feijoeiro (PERES et al. 2018; STEINER et al. 2019).

Tabela 4. Médias referentes aos resultados da população final de plantas (PF), do número de vagem por planta (VP) e de sementes por vagem (SV), do peso de mil sementes (PMS) e do rendimento de sementes (RS) das plantas do feijoeiro, do cultivar IAC Milênio, cultivadas nas safras "da seca" e "do inverno" em dois sistemas de cultivo e diferentes tratamentos, em Piracicaba-SP.

Sistemas de cultivo	Safra "da seca"			Safra "do inverno"				
	PF	VP	PMS	PF	VP	SV	PMS	RS
	plantas ha^{-1}	unid. $planta^{-1}$	G	plantas ha^{-1}	unid. $planta^{-1}$	unid. $vagem^{-1}$	g	Sacas de 60 kg ha^{-1}
Semeadura convencional	202.848	16,7 a	280,9 b	254.355 a	17,0	3,6	317,7	65,5 a
Semeadura direta	203.032	14,3 b	294,9 a	240.402 b	17,9	3,6	321,7	57,7 b
Tratamentos								
20N+SI	192.713	14,6	292,1	254.163	16,7	3,4	331,3	54,6
20N+AV3	209.050	15,7	281,7	243.400	16,6	3,6	313,4	63,2
20N+AV4	201.388	14,7	290,2	244.788	18,5	3,6	323,1	61,5
20N+AR5	208.675	15,2	289,7	261.800	15,4	3,6	321,3	59,6
20N+RSE+AV3	202.088	14,5	278,5	246.188	16,8	3,7	318,8	59,9
20N+RSE+AV4	206.263	15,8	291,2	251.038	15,0	3,8	313,7	62,9
20N+RSE+AR5	205.575	16,2	293,7	235.425	19,4	3,6	323,7	61,2
20N+RSU+AV3	209.025	15,4	293,5	247.225	16,6	3,8	313,9	60,6
20N+RSU+AV4	201.738	16,7	285,9	246.525	17,5	3,6	315,8	60,3
20N+RSU+AR5	198.600	15,4	290,5	240.288	19,7	3,7	315,0	66,7
20N+60N	197.225	16,1	280,3	250.325	19,8	3,4	326,6	67,0
Média	202.940	15,5	287,9	247.378	17,5	3,6	319,7	61,6
CV%	8,5	4,2	5,5	7,8	0,5	12,4	0,1	14,4

As médias seguidas da mesma letra na coluna, para os sistemas de cultivo e para os tratamentos, não diferem entre si pelo teste de *Tukey* com a probabilidade de erro de 5%. CV% = Coeficiente de variação.

Os resultados da população final de plantas, para a safra “da seca”, foram estatisticamente similares entre os sistemas de cultivo, entretanto, na safra “do inverno”, o cultivo em semeadura convencional proporcionou 5,8% a mais de plantas em comparação ao cultivo em semeadura direta (Tabela 4). A aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e a inoculação da semente ou do sulco da semeadura com *R. tropici* e, ou, a inoculação com *A. brasilense* nas folhas da planta, nos estádios V3, V4, ou R5, ou sem a inoculação, ou a aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura, não tiveram influência significativa para a população final de plantas, nas duas safras de cultivo (Tabela 4). Steiner et al. (2019) também obtiveram similaridade estatística entre os resultados da população final de plantas do feijoeiro, do cultivar Pérola, com a aplicação de 24 kg ha^{-1} de nitrogênio na semeadura e a inoculação da semente com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, ou sem a inoculação; observaram também que a aplicação de até 120 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura não afetou a população final das plantas cultivadas na safra “das águas” e na safra “da seca”.

Por outro lado, Souza et al. (2014) observaram que a aplicação de até 49,72 kg ha^{-1} em cobertura causou o aumento da população final das plantas do feijoeiro, do cultivar IPR Tangará, enquanto, dose superiores reduziram a população final das plantas e relacionaram este resultado ao efeito salino dos fertilizantes nitrogenados amoniacais, que influenciaram a germinação das sementes e a emergência das plântulas. Todavia, nesta pesquisa (Tabela 4), a aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura, utilizando o fertilizante sulfato de amônio, não interferiu na população final das plantas do feijoeiro, do cultivar IAC Milênio, e a variação da população final de plantas entre as safras foi devida à quantidade inicial semeada, que foi de 277.775 e 311.111 sementes ha^{-1} para o cultivo nas safras “da seca” e “do inverno”, respectivamente.

Com relação aos componentes primários do rendimento das plantas do feijoeiro, para a safra “da seca”, as plantas cultivadas na semeadura convencional produziram 16,8% a mais de vagens em comparação às plantas cultivadas na semeadura direta, entretanto, houve redução de 5,0% do peso de mil sementes das plantas cultivadas em semeadura convencional (Tabela 4), assim, a produção de mais sementes por planta reduziu o peso das sementes, em função da distribuição dos fotoassimilados entre as sementes (TAIZ; ZEIGER, 2017). Para as plantas cultivadas na safra “do inverno” o número de vagens por planta e de sementes por vagens e o peso de mil sementes não tiveram influência significativa dos sistemas de cultivo (Tabela 4). Por outro lado, Brown et al. (2018) obtiveram aumento de 9,7% do peso de mil sementes do feijoeiro, para as plantas cultivadas na semeadura direta, assim como aumento de 35,2% e de 9,2% nos rendimentos das plantas da soja e do milho, respectivamente, quando comparado ao das plantas cultivadas por meio da semeadura convencional. Soratto et al. (2004) observaram também aumento do peso de mil sementes do feijoeiro, do cultivar IAC Carioca, cujas plantas foram cultivadas em semeadura direta, e relacionaram o aumento do número de vagens por planta à dose do

nitrogênio aplicado, devido à insuficiente quantidade do nutriente no solo, obtido a partir da mineralização da matéria orgânica.

Para as duas safras de cultivo, os resultados do número vagens por planta e do peso de mil sementes foram estatisticamente semelhantes entre as plantas do feijoeiro originadas da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e da inoculação com *R. tropici* na semente ou no sulco de semeadura e, ou, com *A. brasilense* nas folhas da planta, nos estádios V3, V4, ou R5, ou sem a inoculação ou da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura (Tabela 4). Steiner et al. (2019) e Peres et al. (2016) obtiveram resultados diferente, pois as plantas do feijoeiro, do cultivar Pérola, oriundas da aplicação de 24 ou 10 kg de N ha^{-1} na semeadura e da inoculação das sementes, com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense* produziram mais vagens do que as plantas originadas sem a inoculação ou adubadas com até 120 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura. Porém, para o peso de mil sementes, Steiner et al. (2019) obtiveram resultados similares estatisticamente entre os pesos das sementes das plantas cultivadas nas safras "das águas" ou "da seca" e originadas da aplicação de 24 kg ha^{-1} de nitrogênio na semeadura e sem a inoculação, ou da inoculação da semente com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, no entanto, evidenciaram o aumento progressivo do peso das sementes com a aplicação de até 120 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura.

Os resultados da interação entre os sistemas de cultivo e os tratamentos (Tabela 4), para o número de sementes por vagens e referentes à safra "da seca", indicaram que as plantas do feijoeiro decorrentes do cultivo em semeadura direta e da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e da inoculação da semente com *R. tropici* e da inoculação com *A. brasilense* nas folhas da planta no estádio V3, produziram, em média, 4,7 sementes por vagem, número superior ao das plantas cultivadas em semeadura convencional e ao das plantas originadas da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e sem a inoculação e ao das plantas resultantes da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e da inoculação com *A. brasilense* nas folhas da planta no estádio V4 (Tabela 4). Já, as plantas cultivadas na safra "do inverno" e resultantes da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e com a inoculação com os microrganismos ou sem a inoculação, ou da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura apresentaram resultados estatisticamente semelhantes para o número de sementes por vagem (Tabela 5). Resultados similares foram obtidos por Oliveira et al. (2016), Peres et al. (2016) e Steiner et al. (2019), para os feijoeiros, dos cultivares BRS Madrepérola e Pérola.

Para os resultados do rendimento de sementes, no desdobramento da interação entre os sistemas de cultivo e os tratamentos para a safra "da seca", as plantas do feijoeiro originadas da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e da inoculação com *A. brasilense* nas folhas da planta no estádio V3 e as originadas da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e da inoculação com *R. tropici* na semente e com *A. brasilense* nas folhas da planta, nos estádios V4 ou R5, proporcionaram rendimentos superiores quando as plantas foram cultivadas em semeadura convencional, em relação

às cultivadas em semeadura direta (Tabela 5). Todavia, em ambos os sistemas de cultivo, o rendimento de sementes das plantas adubadas com 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e sem a inoculação foi inferior, com 43,6 sacas de 60 kg ha^{-1} para a semeadura convencional e 41,5 sacas de 60 kg ha^{-1} para a semeadura direta e as plantas decorrentes da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e da inoculação com *R. tropici* na semente ou no sulco de semeadura e, ou, da inoculação com *A. brasilense* nas folhas da planta nos estádios V3, V4, ou R5, ou da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura proporcionaram rendimentos estatisticamente semelhantes (Tabela 5).

Já, para a safra "do inverno", as plantas do feijoeiro cultivadas em semeadura convencional produziram, em média, 7,8 sacas de 60 kg ha^{-1} a mais em relação às plantas da semeadura direta e este aumento foi atribuído à população final de plantas, superior em 5,8%, pois, não houve variação significativa entre os componentes primários do rendimento, entre os sistemas de cultivo (Tabela 4). Por outro lado, Souza et al. (2002) obtiveram resultados estatisticamente similares para o rendimento das plantas do feijoeiro, do cultivar Pérola, com hábito de crescimento indeterminado, tipo III, com a população final de plantas variando entre 120.000 e 300.000 plantas ha^{-1}. Todavia, as plantas do feijoeiro oriundas da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e da inoculação com os microrganismos, ou sem a inoculação e as resultantes da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura tiveram rendimento de sementes estatisticamente similares, Tabela 4.

Tabela 5. Médias referentes aos resultados do número de sementes por vagem (SV) e do rendimento de sementes (RS) das plantas do feijoeiro, do cultivar IAC Milênio, cultivadas na safra "da seca" em diferentes sistemas de cultivo e tratamentos.

Tratamentos	SV (unid. vagem^{-1})		RS (sacas de 60 kg ha^{-1})	
	----------Semeadura----------			
	Convencional	Direta	Convencional	Direta
20N+SI	4,2 Aa	4,0 Ab	43,6 Ab	41,5 Ab
20N+AV3	4,3 Aa	4,4 Aab	52,7 Aab	44,8 Bab
20N+AV4	4,2 Aa	3,9 Ab	51,5 Aab	53,0 Aab
20N+AR5	4,2 Aa	4,3 Aab	56,3 Aa	53,7 Aab
20N+RSE+AV3	4,2 Ba	4,7 Aa	47,6 Aab	53,5 Aab
20N+RSE+AV4	4,5 Aa	4,2 Bab	56,3 Aa	48,3 Bab
20N+RSE+AR5	4,1 Aa	4,1 Aab	59,5 Aa	50,3 Bab
20N+RSU+AV3	4,0 Aa	4,2 Aab	56,1 Aa	52,7 Aab
20N+RSU+AV4	4,4 Aa	4,2 Aab	49,8 Aab	56,3 Aa
20N+RSU+AR5	4,2 Aa	4,4 Aab	49,0 Aab	53,8 Aab
20N+60N	4,5 Aa	4,4 Aab	58,9 Aa	53,9 Aab
CV%	5,7		10,2	

As médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula nas colunas, para a mesma variável, não diferem entre si pelo teste de *Tukey* com a probabilidade de erro de 5%.CV% = Coeficiente de variação.

Steiner et al. (2019) obtiveram resultados similares para o rendimento das plantas do feijoeiro, do cultivar Pérola, cultivadas na safra “das águas”, adubadas com 24 kg de N ha^{-1} na semeadura e inoculadas com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, ou não inoculadas, que produziram quantidade de sementes entre 35,9 e 40,8 sacas de 60 kg ha^{-1}; já, para safra “da seca” as plantas resultantes da inoculação com os microrganismos produziram 7,7 sacas de 60 kg ha^{-1} de sementes a mais em comparação às plantas sem a inoculação. Souza e Ferreira (2017), em sete locais do Cerrado brasileiro, verificaram que a inoculação das sementes, com *R. tropici*, e das folhas da planta, entre os estádios V2 e V3, com *A. brasilense*, aumentou, em média, 4,7 e 12,2 sacas de 60 kg ha^{-1} de sementes em comparação às plantas originadas da aplicação de 20 kg ha^{-1} de nitrogênio na semeadura e 60 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura, ou sem a inoculação, respectivamente.

De modo geral, nas duas safras de cultivo, as plantas do feijoeiro, originadas da aplicação de 20 kg ha^{-1} de nitrogênio na semeadura e da inoculação com *R. tropici* na semente ou no sulco de semeadura e da inoculação com *A. brasilense* nas folhas da planta, nos estádios V3, ou V4, ou R5, e as plantas originadas apenas da inoculação com *A. brasilense* nas folhas da planta, nos estádios V3, ou V4, ou R5, produziram, respectivamente, em média, 8,8 e 8,1 sacas de 60 kg ha^{-1} de sementes a mais em comparação às plantas originadas sem a inoculação, cujo rendimento médio de sementes foi de 48,6 sacas de 60 kg ha^{-1}, além disso, para as plantas do feijoeiro resultantes da aplicação de 20 kg ha^{-1} de nitrogênio na semeadura e da inoculação com os microrganismos, independentemente do método de inoculação, os rendimentos das sementes foram similares aos das plantas adubadas com 20 kg ha^{-1} de nitrogênio na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura (Tabelas 3, 4 e 5)

Assim, a fixação biológica do nitrogênio (FBN), proporcionada a partir da simbiose do feijoeiro com estirpes eficientes de *Rhizobium* e a associação com as bactérias promotoras do desenvolvimento das plantas, como as do gênero *Azospirillum*, é alternativa para o suprimento de parte do nitrogênio requerido pela planta, reduzindo a utilização dos fertilizantes nitrogenados e os riscos da contaminação do ambiente (HUNGRIA et al., 2013; SOUZA; FERREIRA et al. 2017; STEINER et al. 2019), além de garantir o rendimento satisfatório de sementes das plantas do feijoeiro (Tabelas 3, 4 e 5).

Após o período do armazenamento das sementes do feijoeiro, os teores de água variaram entre 10,3±0,5 e entre 12,5±0,2%, para as sementes produzidas nas safras “da seca” e “do inverno”, respectivamente. Assim, de acordo com Carvalho e Nakagawa (2012), teores de água das sementes inferiores a 13%, reduzem o processo respiratório, evitam a infestação por pragas e favorecem a manutenção da qualidade das sementes, evidenciando que não houve interferência dos teores de água para os resultados das análises.

Tabela 6. Médias referentes aos resultados da germinação (G) e da primeira contagem do teste de germinação (PCG), dos comprimentos da raiz (CR) e da plântula (CP), da massa da matéria seca da plântula (MMSP) e dos testes de envelhecimento acelerado (EA), de frio (F) e de emergência da plântula em campo (EPC) das sementes do feijoeiro, do cultivar IAC Milênio, obtidas das plantas cultivadas nas safras "da seca" e "do inverno" em dois sistemas de cultivo e diferentes tratamentos, Piracicaba-SP.

Sistemas de cultivo	Safra "da seca"						Safra "do inverno"					
	G	PCG	CP	EA	F	EPC	CR	CP	MMSP	EA	F	EPC
	----------% --------		cm	----------% ----------			----------cm ----------		mg plântula^{-1}	----------% ----------		
Semeadura convencional	94	93	13,2 b	89 a	79 b	96	8,8 a	13,2 a	43,8	74 a	84	58 b
Semeadura direta	94	92	14,8 a	86 b	86 a	95	7,8 b	12,2 b	45,3	65 b	84	64 a
Tratamentos												
20N+SI	93	92	14,4	87	77 abc	97	8,7 ab	13,1 ab	43,4 abcd	58 b	86	59
20N+AV3	92	91	14,1	89	72 c	94	8,8 ab	13,0 ab	41,8 abcd	65 ab	80	57
20N+AV4	95	93	14,5	90	81 abc	97	6,9 b	10,7 b	38,3 d	70 ab	85	61
20N+AR5	96	95	13,9	87	71 bc	98	7,8 ab	12,3 ab	41,9 abcd	60 ab	85	57
20N+RSE+AV3	94	91	14,4	89	87 ab	96	8,3 ab	12,5 ab	41,1 bcd	76 a	86	59
20N+RSE+AV4	96	94	14,3	88	87 ab	97	8,3 ab	12,6 ab	40,6 bcd	76 a	84	63
20N+RSE+AR5	94	93	13,2	87	88 a	93	10,1 a	15,2 a	52,4 a	72 ab	85	64
20N+RSU+AV3	94	93	13,5	83	88 a	97	7,2 b	10,9 b	39,4 cd	68 ab	82	57
20N+RSU+AV4	93	91	14,4	88	79 abc	97	8,2 ab	12,9 ab	51,6 ab	72 ab	83	57
20N+RSU+AR5	94	93	14,0	88	86 abc	93	9,0 ab	13,9 ab	48,8 abcd	74 a	83	68
20N+60N	93	92	13,5	86	88 a	96	7,7 ab	12,3 ab	50,5 abc	73 ab	87	67
Média	94	93	14,0	87	83	96	8,3	12,7	44,6	70	84	61
CV%	28,2	28,5	10,1	22,5	28,0	32,8	18,4	17,2	15,0	25,4	9,6	22,8

As médias seguidas da mesma letra na coluna, para os sistemas de cultivo e para os tratamentos, não diferem entre si pelo teste de *Tukey* com a probabilidade de erro de 5%.
CV% = Coeficiente de variação.

Para as sementes produzidas na safra “da seca”, os resultados dos testes de germinação e da primeira contagem da germinação não tiveram influência significativa dos sistemas de cultivo das plantas do feijoeiro (Tabela 6). As sementes produzidas a partir das plantas resultantes da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e da inoculação com *R. tropici* na semente ou no sulco de semeadura e, ou, da inoculação com *A. brasilense* nas folhas da planta, nos estádios V3, ou V4, ou R5, ou da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura, ou sem a inoculação, proporcionaram resultados estatisticamente semelhantes para a germinação e para a primeira contagem da germinação (Tabela 6). Peres et al. (2018) obtiveram também resultados similares entre a germinação das sementes do feijoeiro, cujas plantas foram originadas da aplicação de 10 kg ha^{-1} de nitrogênio na semeadura e da inoculação das sementes, com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, ou sem a inoculação, ou da aplicação de 10 kg ha^{-1} de nitrogênio na semeadura e 40 ou 80 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura; por outro lado, evidenciaram variação dependente da safra de cultivo para os resultados da primeira contagem da germinação das sementes.

Para Gomes Junior e Sá. (2010), as sementes do feijoeiro, do cultivar IPR Juriti, originadas das plantas adubadas com 10 kg ha^{-1} de nitrogênio na semeadura e com 90 ou 120 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura proporcionaram decréscimo dos resultados do teste de germinação, da primeira contagem da germinação e da velocidade da germinação das sementes. Por outro lado, Barbosa et al. (2011) não obtiveram diferença significativa para a germinação das sementes dos feijoeiros, dos cultivares Pérola e IAC Carioca Eté, com a aplicação de até 150 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura para as plantas.

Os resultados da interação entre os sistemas de cultivo e os tratamentos, para a safra “do inverno”, indicaram que as sementes produzidas pelas plantas do feijoeiro cultivadas em semeadura direta e resultantes da aplicação de 20 kg de N ha^{-1}na semeadura e da inoculação com *A. brasilense* nas folhas da planta, nos estádios V3 ou V4 e as da aplicação de 20 kg de N ha^{-1}na semeadura e da inoculação com *R. tropici* no sulco de semeadura e da inoculação com *A. brasilense* nas folhas da planta, no estádio V4, proporcionaram, respectivamente, 10%, 9% e 7% a mais de plântulas normais no teste de germinação e 2%, 3% e 8% a mais para a primeira contagem da germinação em relação às sementes produzidas pelas plantas cultivadas em semeadura convencional e decorrentes dos mesmos tratamentos (Tabela 7). De modo geral, para as duas safras de cultivo, as plantas do feijoeiro originadas da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e da inoculação com os microrganismos, ou sem a inoculação, ou da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura, produziram sementes cujos resultados dos testes de germinação e da primeira contagem da germinação foram similares, Tabelas 6 e 7.

Para as avaliações relacionadas ao desenvolvimento da plântula, os resultados da interação entre os sistemas de cultivo e os tratamentos indicaram que as plântulas originadas das sementes, produzidas pelas plantas cultivadas na safra “da seca” e em semeadura direta, tinham comprimento da

raiz 25,6% maior em relação ao das plântulas obtidas das sementes das plantas cultivadas em semeadura convencional e apenas para as plântulas das sementes das plantas originadas da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e da inoculação com *A. brasilense* nas folhas da planta, no estádio V4, ou da inoculação com *R. tropici* na semente ou no sulco de semeadura e com *A. brasilense* nas folhas da planta, no estádio V3, os resultados do comprimento da raiz foram estatisticamente semelhantes nos dois sistemas de cultivo, Tabela 7. Assim, o comprimento médio das raízes das plântulas provenientes das sementes produzidas pelas plantas cultivadas em semeadura direta contribuiu para aumentar em 12,1% o comprimento total da plântula em comparação às plântulas originadas das sementes produzidas pelas plantas cultivadas em semeadura convencional (Tabelas 7). Entretanto, não houve diferença significativa entre os resultados do comprimento total das plântulas obtidas das sementes das plantas originadas da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e da inoculação com *R. tropici* na semente ou no sulco de semeadura e, ou, da inoculação com *A. brasilense* nas folhas da planta, nos estádios V3, ou V4, ou R5, ou da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura, ou sem a inoculação (Tabela 7).

Com relação à massa da matéria seca da plântula, a interação entre os sistemas de cultivo e os tratamentos causou variação entre os resultados (Tabela 8). Todavia, as plântulas oriundas das sementes produzidas pelas plantas cultivadas em semeadura direta e originadas da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura ou da inoculação com *R. tropici* na semente e com *A. brasilense* nas folhas da planta, nos estádios V3 ou R5, ou sem a inoculação, tiveram mais massa da matéria seca da plântula em relação às plântulas originadas das sementes produzidas pelas plantas cultivadas em semeadura convencional, quando são avaliados os mesmos tratamentos (Tabela7). De acordo com Carvalho e Nakagawa (2012), o aumento da massa da matéria seca das plântulas é decorrente da transferência dos compostos dos tecidos de reserva para o eixo embrionário durante a germinação e as sementes vigorosas originam plântulas com peso superior.

Em contrapartida, as sementes produzidas na safra “do inverno”, a partir das plantas do feijoeiro cultivadas em semeadura convencional, proporcionaram plântulas com comprimento da raiz 12,8% superior que, consequentemente, aumentou o comprimento total da plântula quando os resultados são comparados ao das plântulas originadas das sementes produzidas pelas plantas cultivadas em semeadura direta (Tabela 6). Já, para as sementes oriundas das plantas adubadas com 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e das inoculações com *R. tropici* na semente e com *A. brasilense* nas folhas da planta, no estádio R5, os resultados mostraram que o comprimento total da plântula e a massa da matéria seca foram superiores, no entanto, foram estatisticamente semelhantes aos das plântulas, cujas sementes foram produzidas pelas plantas adubadas com 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura (Tabela 6). Peres et al. (2018) também observaram que as sementes das plantas do feijoeiro originadas da aplicação de 10 kg de N ha^{-1} na semeadura e da inoculação da semente, com *R.*

tropici e, ou, com *A. brasilense*, ou da aplicação de 10 kg de N ha^{-1} na semeadura e 80 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura, originaram plântulas cujos resultados do comprimento e da massa da matéria seca foram estatisticamente similares.

Tabela 7. Médias referentes aos resultados do comprimento da raiz (CR) e da massa da matéria seca da plântula (MMSP), obtidas das sementes produzidas na safra "da seca", e ao teste de germinação (G) e à primeira contagem da germinação, obtidas das sementes produzidas na safra "do inverno", ambas em diferentes sistemas de cultivo e tratamentos.

Tratamentos	Safra "da seca"				Safra "do inverno"			
	CR (cm)		MMSP (mg plântula^{-1})		G (%)		PCG (%)	
	----------Semeadura----------							
	Convencional	Direta	Convencional	Direta	Convencional	Direta	Convencional	Direta
20N+SI	9,4Ba	11,2Aa	31,9Bbc	44,6Aab	90Aa	89Aa	85Aa	85Aa
20N+AV3	8,7Ba	10,3Aa	42,0Aab	38,3Aabc	83Ba	93Aa	80Ba	90Aa
20N+AV4	8,9Aa	10,0Aa	46,4Aa	49,2Aa	83Ba	92Aa	78Ba	91Aa
20N+AR5	8,1Ba	11,3Aa	37,8Aabc	32,6Ac	88Aa	89Aa	84Aa	89Aa
20N+RSE+AV3	9,7Aa	10,8Aa	33,2Bbc	41,7Aabc	91Aa	89Aa	83Aa	84Aa
20N+RSE+AV4	8,8Ba	12,0Aa	31,9Abc	35,9Aabc	90Aa	89Aa	84Aa	84Aa
20N+RSE+AR5	7,7Ba	11,0Aa	29,3Bc	38,5Aabc	94Aa	87Ba	89Aa	83Aa
20N+RSU+AV3	8,3Ba	9,9Aa	39,1Aabc	41,3Aabc	87Aa	88Aa	85Aa	86Aa
20N+RSU+AV4	10,0Aa	10,4Aa	38,9Aab	34,6Aabc	85Ba	92Aa	83Ba	91Aa
20N+RSU+AR5	7,5Ba	11,1Aa	38,3Aabc	40,8Aabc	87Aa	88Aa	83Aa	84Aa
20N+60N	7,9Ba	10,7Aa	42,5Aab	33,0Bbc	83Aa	87Aa	79Aa	84Aa
CV%	11,6		1,5		25,9		6,1	

As médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula nas colunas, para a mesma variável, não diferem entre si pelo teste de *Tukey* com a probabilidade de erro de 5%.CV% = Coeficiente de variação.

Os resultados dos teores de água das sementes, após o teste de envelhecimento acelerado, apresentaram, em média, 26,9±1,0% e 27,8±0,8% de água para as sementes produzidas nas safras "da seca" e "do inverno", respectivamente, variações dentro da diferença máxima de 2 a 3% de água que, de acordo com Marcos Filho et al. (2001), é considerada adequada para a instalação e interpretação dos resultados do teste.

Para os resultados do teste de envelhecimento acelerado, as sementes obtidas das plantas do feijoeiro cultivadas em semeadura convencional apresentaram valores superiores de plântulas normais em comparação aos obtidos com as sementes produzidas a partir das plantas cultivadas em semeadura direta, nas duas safras de cultivo (Tabela 6), resultados similares aos de Farinelli et al. (2006). Estes resultados podem estar relacionados à maior disponibilidade e absorção de nutrientes pelas plantas do feijoeiro cultivadas em semeadura convencional, que possibilita a adequada formação e nutrição das

sementes produzidas. Segundo Carvalho e Nakagawa (2012) quanto maior a reserva de nutrientes presente na semente, mais elevado será o vigor da plântula originada desta.

Para as sementes produzidas na safra “da seca”, os tratamentos não influenciaram os resultados do teste de envelhecimento acelerado, no entanto, as sementes produzidas na safra “do inverno” e oriundas das plantas adubadas com 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e sem a inoculação, tiveram redução estatisticamente significativa do número de plântulas normais, em comparação ao das sementes das plantas originadas da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e das inoculações com *R. tropici* na semente ou no sulco da semeadura e, ou, com *A. brasilense* nas folhas da planta, nos estádios V3 ou V4, ou da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e da inoculação com *R. tropici* no sulco da semeadura e com *A. brasilense* nas folhas da planta, nos estádios R5 (Tabela 6). Porém, não houve diferença significativa, para os resultados do teste de envelhecimento acelerado, entre as sementes obtidas das plantas adubadas com 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e inoculadas com os microrganismos e as oriundas da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e de 60 kg de N ha^{-1} em cobertura (Tabela 6), resultados similares aos obtidos por Peres et al. (2018). Gomes Júnior e Sá (2010), também não obtiveram diferenças para os resultados do teste de envelhecimento acelerado para sementes do feijoeiro, do cultivar IPR Juriti, originadas das plantas adubadas com 10 kg de N ha^{-1} na semeadura e até 120 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura.

A emergência da plântula em campo, relacionada às sementes produzidas na safra “da seca”, não foi influenciada pelos sistemas de cultivo e pelos tratamentos, cujos valores foram semelhantes ao da germinação, em que as condições do teste são controladas (Tabela 6). Em contrapartida, as sementes originadas das plantas cultivadas na safra “do inverno” e em semeadura convencional, a emergência da plântula em campo foi estatisticamente inferior ao das sementes obtidas das plantas cultivadas em semeadura direta (Tabela 6). Para as sementes das plantas originadas da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e da inoculação com *R. tropici* na semente ou no sulco de semeadura e, ou, da inoculação com *A. brasilense* nas folhas da planta, nos estádios V3, ou V4, ou R5, ou sem a inoculação, ou da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura, as plântulas emergidas em campo também apresentaram valores estatisticamente semelhantes e similares à classificação dos resultados obtidos após o teste de envelhecimento acelerado, evidenciando a variabilidade de respostas entre as safras de cultivo, em relação ao vigor das sementes e a emergência das plântulas do feijoeiro em campo (Tabela 6). Peres et al. (2018) observaram também essa similaridade dos resultados da emergência da plântula em campo a partir das sementes produzidas pelas plantas originadas da aplicação de 10 kg de N ha^{-1} na semeadura e de 40 ou 80 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura, ou da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e da inoculação da semente, com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, evidenciaram também, variações entre as safras de cultivo para os resultados da emergência da plântula do feijoeiro, do cultivar Pérola.

Para o teste de frio, os resultados da emergência das plântulas das sementes produzidas pelas plantas cultivadas na safra “da seca” e em semeadura convencional, foram estatisticamente inferiores (8,9%) em relação aos das sementes obtidas das plantas cultivadas em semeadura direta, enquanto, para as sementes produzidas na safra “do inverno” não houve variação de resultados em função dos sistemas de cultivo (Tabela 7). As sementes produzidas na safra “da seca” e provenientes das plantas resultantes da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e da inoculação com *A. brasilense* nas folhas da planta, nos estádios V3 ou R5, apresentaram redução, estatisticamente significativa, do número de plântulas emergidas, no entanto, para as sementes produzidas na safra “do inverno” não houve influência dos tratamentos, para o número de plântulas emergidas (Tabela 6). De modo geral, para as duas safras de cultivo, os resultados do teste de frio não proporcionaram a mesma classificação proporcionada pelos resultados dos testes de envelhecimento acelerado e de emergência de plântula em campo (Tabela 6), assim, o teste de frio não foi adequado para estimar o vigor das sementes do feijoeiro, ou seja, a exposição das sementes ao frio não influenciou na emergência das plântulas, resultado semelhante aos de Miguel e Cicero (1999).

Contudo, nesta pesquisa (Tabelas 6 e 7), a germinação e o vigor das sementes do feijoeiro foram influenciados, especialmente, pela safra de cultivo, pois, na safra “do inverno” houve excesso de chuva após as sementes terem atingido a maturidade fisiológica, o que atrasou a colheita e, consequentemente, influenciou na qualidade das sementes produzidas (Figura 1), assim, o cultivo das plantas do feijoeiro na safra “da seca” favorece a produção de sementes de qualidade, devido às condições climáticas. Além disso, as sementes produzidas a partir das plantas originadas da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e da inoculação com *R. tropici* na semente ou no sulco de semeadura e, ou, da inoculação com *A. brasilense* nas folhas da planta, no estádio V3, ou V4, ou R5, ou sem a inoculação, proporcionaram níveis de germinação e de vigor semelhantes aos das sementes produzidas pelas plantas adubadas com 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura, evidenciando que as plantas do feijoeiro em simbiose com bactérias fixadores de nitrogênio e associadas às promotoras do desenvolvimento das plantas produzem sementes de qualidade e podem substituir parte do nitrogênio mineral aplicado para as plantas.

3.4. Conclusões

O cultivo da planta do feijoeiro na safra “do inverno” favorece o rendimento de sementes, no entanto, a planta cultivada na safra “da seca” origina sementes com qualidade superior.

O revolvimento do solo, para a semeadura convencional, favorece o desenvolvimento e o rendimento das sementes do feijoeiro.

A aplicação de 20 kg ha^{-1} de nitrogênio na semeadura e a inoculação da semente ou do sulco da semeadura com *Rhizobium tropici* e, ou, a inoculação com *Azospirillum brasilense* nas folhas da planta, no estádio V3, ou V4, ou R5, são técnicas viáveis, pois, favorecem a nodulação, o desenvolvimento e o rendimento das plantas, o parâmetro fisiológico das sementes produzidas e reduzem a utilização do fertilizante nitrogenado para o cultivo do feijoeiro.

Referências

ABRASEM – Associação Brasileira de Sementes e Mudas. **Estatísticas**, 2019. Disponível em: http://www.abrasem.com.br/estatisticas/#. Acesso em: 20 mai.2019.

ALMEIDA, R.F.; NAVES, E.R.; SILVEIRA, C.H. E WENDLING, B. Emissão de óxido nitroso em solos com diferentes usos e manejos: Uma revisão. **Revista Agronegócio e Meio Ambiente**, v.8, n.2, p.441-461, 2015.

ANDRADE, A.P.; MAFRA, A.L.; BALDO, G.R.; PICOLLA, C.D.; BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A. Physical properties of a Humic Cambisol under tillage and cropping systems after twelve years. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.34, n.1, p.219-226, 2010. https:// doi.org/10.1590/S0100-06832010000100022.

ANDRADE, A.P.; MAFRA, A.L.; PICOLLA, C.D.; ALBUQUERQUE, J.A.; BERTOL, I. Atributos químicos de um Cambissolo Húmico após 12 anos sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas. **Ciência Rural**. v.42, n.5, p.814-821, 2012. DOI: 10.1590/S0103-84782012005000013.

ANDRADE, M.J.B.; DINIZ, A.R.; CARVALHO, J.G. de; LIMA, S.F. Resposta da cultura do feijoeiro à aplicação foliar de molibdênio e às adubações nitrogenadas de plantio e cobertura. **Ciência e Agrotecnologia.** v.22, p.499-508, 1998.

ARF, M.V.; BUZETTI, S.; ARF, O.; KAPPES, C.; FERREIRA, J.P.; GITTI, D.C.; YAMAMOTO, C.J. Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em feijoeiro de inverno sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical.** v.41, p.430-438, 2011.

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 de produtividade**. Artigo em Hipertexto. 2008. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2008_4/coinoculacao/index.htm>. Acesso em: 12 mar. 2019.

BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. O. **Technical Information for the cultivation of the common bean plant in the Central-Brazilian region**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA-CNPAF, 2012, 247p. (Documentos, 272).

BARBOSA, R.M.; COSTA, D.S.; HOMEM, B.F.M.; SÁ, M.E. Nitrogênio na produção e qualidade de sementes de feijão. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v.41, n.3, p.470-474, 2011.

BARROS, R.L.N. OLIVEIRA, L.B.; MAGALHÃES, W.B.; MÉDICI, L.O.; PIMENTEL, C. Interaction between rizobial inoculation and sowing nitrogen fertilization on yield of common bean crop at dry and rainy seasons. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina-PR. v.34, n.4, p.1443-1450, 2013.

BASSAN, D.A.Z.; ARF, O.; BUZETTI, S.; CARVALHO, M.A.C.; SANTOS, N.C.B.; SÁ, M.E. Inoculação de sementes e aplicação de nitrogênio e molibdênio na cultura do feijão de inverno: produção e qualidade fisiológica de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**. v.23, n.1, p.76-83, 2001.

BERTOLIN, D.C.; SÁ, M.E.; MOREIRA, E.R. Parameters of the accelerated aging test to determine the vigor of dry bean seeds. **Revista Brasileira de Sementes**. v.33, n.1 p.104 - 112, 2011.

BINOTTI, F. F. S.; ARF, O.; CARDOSO, E. D.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S.; NASCIMENTO, V. Sources and doses of sidedressing nitrogen on irrigated common bean cropped in winter in no tillage system. **Bioscience Journal** (UFU. Impresso). v.26, p.770-778, 2010.

BINOTTI, F. F. S. ARF, O.; CARDOSO, E. D.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S. Sidedressing nitrogen fertilizer management of winter common bean in no tillage. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v.1, n.1, p.58-64, 2014. DOI: 10.32404/rean.v1i1.226.

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S.; VIGIL, M. F. Chlorophyll meter reading in corn as affected by plant spacing. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York. v.24, n.17/18, p.2507-2516, 1993.

BRASIL - Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), **O que é agricultura familiar?** Disponível em: http://www.mda.gov.br/sitemda/noticias/o-que-%C3%A9-agricultura-familiar. Acesso em: 10 mai. 2019.

BRASIL. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. **Instrução normativa nº 13, de 24 de março de 2011**. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-sda-13-de-24-03-2011-inoculantes.pdf. Acesso em 09 abr. 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Rules for seed testing**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 398p.

BROWN, V.; BARBOSA, F.T.; BERTOL, I.; MAFRA, Á.L.; MUZEKA, L.M. Effects on soil and crops after 20 years of conventional and zero tillage. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife. v.13, n.1, e5501, 2018. DOI:10.5039/agraria.v13i1a5501

CARBONELL, S. A. M.; CHIORATO, A. F.; BOLONHEZI, D. B.; BARROS, V. L. N. P.; BORGES, W. L. B.; TICELLI, M.; GALLO, P. B.; FINOTO, E. L.; SANTOS, N. C. B. 'IAC Milênio' - Common bean cultivar with high grain quality. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. v.14, n.4, p.273-276, 2014. DOI: 10.1590/1984-70332014v14n4c44.

CARBONELL, S.A.M; CHIORATO, A.F.; GONÇALVES, J.G.R.; PERINA, E.F.; CARVALHO, C.R.L. Tamanho de grão comercial em cultivares de feijoeiro. **Ciência Rural.** v.40, p.2067-2073, 2010.

CARDILLO, B. E. S.; OLIVEIRA, D. P; SOARES, B. L.; MARTINS, F. A. D.; RUFINI, M.; SILVA, J. S.; FERREIRA NETO, G. G.; ANDRADE, M. J. B.; MOREIRA, F. M. S. Nodulation and yields of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) are not affected either by fungicides or by the method of inoculation. **Agronomy Journal**. v.111, n.2, p.694-701, 2019. DOI: 10.2134/agronj2018.06.0389.

CARDILLO, B. E. S.; OLIVEIRA, D. P.; SOARES, B. L.; MARTINS, F. A. D.; FERREIRA NETO, G. G.; COSTA, J.C.; MOREIRA, F. M. S.; ANDRADE, M. J. B. *Rhizobium* inoculation in dry bean cv. BRSMG Madrepérola subjected to fungicide seed treatment. **Annual report of the bean improvement cooperative**. v.60, p.125-126, 2017.

CARVALHO, M. A. C. FURLANI JUNIOR, E.; ARF, O.; SÁ, M.E.; PAULINO, H.B.; BUZETTI, S. Effects of time and levels of nitrogen application on chlorophyll and nitrogen contents in common bean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v.27, n.3, p.445-450, 2003.

CARVALHO, M.A.F.; SILVEIRA, P.M.; SANTOS, A.B. **Utilização do Clorofilômetro para Racionalização da Adubação Culturas do Arroz e do Feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão (Comunicado Técnico, 205). 2012. 14p.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: Funep, 2012. 590 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. ***Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina**. Argentina: Asociación Argentina de Microbiologia, 2008. p. 61-86.

CASSÁN, F.; VANDERLEYDEN, J.; SPAEPEN, S. Physiological and agronomical aspects of phytohormone production by model plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) belonging to the Genus Azospirillum. **Journal Plant Growth Regulation**. v.33, p.440–459, 2014. DOI: 10.1590/S0100-204X2018000300015

CHAPARRO, J.M.; SHEFLIN, A.M.; MANTER, D.K.; VIVANCO, J.M. Manipulating the soil microbiome to increase soil health and plant fertility. **Biol Fertil Soils**. v.48, p. 489–499, 2012.

CHIBEBA, A. M.; GUIMARÃES, M. F.; BRITO, O. R.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Co-inoculation of soybean with *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* promotes early nodulation. **American Journal of Plant Science**, Irvine. v.6, n.10, p.1641- 1649, 2015.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos - safra 2018/19 - quarto levantamento**. v. 6, n. 4, 2019

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; FAGANELLO, A.; COGO, N.P. Agricultura conservacionista no Brasil: uma análise do conceito à adoção. In: Leite, L.F.C.; Maciel, G.A.; Araújo, A.S.F. (Orgs.). **Agricultura conservacionista no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2014. p.23-41.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa- SPI; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FARINELLI, R.; LEMOS, L.B.; CAVARIANI, C.; NAKAGAWA, J. Productivity and physiological quality of common bean seeds in function of soil tillage systems and nitrogen fertilization. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v.41, n.2, p.307-312, 2006.

FERNÁNDEZ, 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. A. OLIVEIRA, D. P.; SOARES, B. L.; MORAIS, A. R.; MOREIRA, F. M. S.; ANDRADE, M. J. B. Nitrogen and molybdenum fertilization and inoculation of common bean with *Rhizobium* spp. in two oxisols. **Acta Scientiarum. Agronomy**. v.38, n.1, p.85-92, 2016.

FONSECA, G.G.; OLIVEIRA, D.P.; SOARES, B.L.; FERREIRA, P.A.A.; TEIXEIRA, C.M.; MARTINS, F.A.D., MOREIRA, F.M.S. E ANDRADE, M.J.B. Resposta de cultivares de feijoeiro-comum à inoculação das sementes com duas estirpes de rizóbio. **Bioscience Journal**. v.29, n.6, p.1778-1787, 2013.

FUKAMI, J.; CEREZINI, P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **AMB Express**, London. v.8, n.73, p.1-12, 2018.

GARCIA, G.; CARDOSO, A.A. E SANTOS, O.A.M. Da escassez ao estresse do planeta: um século de mudanças no ciclo do nitrogênio. **Quimica Nova**. v.36, n.9, p.1468-1476, 2013. DOI: 10.1590/S0100-40422013000900032

GITTI, D.C.; ARF; O.; KANEKO, F.H.; RODRIGUES, R.A. F.; BUZETTI, S.; PORTUGAL, J.R.; CORSINI, D.C.D.C. Inoculation of *Azospirillum brasilense* cultivars of beans types in winter crop. **Revista Agrarian**, Dourados-MT. v.5, n.15, p.36-46, 2012

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: ESALQ, 460 p. 1990.

GOMES-JÚNIOR, F.G.; SÁ, M.E. Proteína e qualidade de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em função da adubação nitrogenada em plantio direto. **Revista Brasileira de Sementes**. v.32, n.1, p.34-44, 2010.

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

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. A. **Importance of the biological nitrogen fixation process for soybean cultivation: an essential component for the competitiveness of the Brazilian product**. Londrina: EMBRAPA-SOJA, 2007. 80 p. (Documentos, 283).

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Soybean seed co-inoculation with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense*: a new biotechnological tool to improve yield and sustainability. **American Journal of Plant Sciences**, Irvine. v.6, n.6, p.811-817, 2015.

KANEKO, F. H.; ARF, O.; GITTI, D. C.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P.; BUZETTI, S. Mecanismos de abertura de sulcos, inoculação e adubação nitrogenada em feijoeiro em sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.1, p.125-133, 2010.

KEILUWEIT, M.; NICO, P. S.; KLEBER, M.; FENDORF, S. Are oxygen limitations under recognized regulators of organic carbon turnover in upland soils? **Biogeochemistry**. v.127, p.157–171, 2016. DOI: 10.1007/s10533-015-0180-6

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, n.1, p.183-191, 2012

MARCOS FILHO, J.; NOVEMBRE, A. D. C.; CHAMMA, H. M. C. P. Testes de envelhecimento acelerado e de deterioração controlada para avaliação do vigor de sementes de soja. **Scientia agrícola**. v.58, n.2, p.421-426, 2001.

MARCOS-FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In KRYZANOWSKI, FC; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina, ABRATES. 3.1-3, 1999, 24 p

MARRA, L. M.; OLIVEIRA, S.M.; SOARES, C.R.F.S.; MOREIRA, F.M.S. Solubilisation of inorganic phosphates by inoculant strains from tropical legumes. **Scientia Agrícola**, Piracicaba. v.68, p.603-609, 2011.

MATOSO, S. C. G.; KUSDRA, J. F. Nodulação e crescimento do feijoeiro em resposta à aplicação de molibdênio e inoculante rizobiano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v.18, n.6, p.567-573, 2014.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.; BRUSSAARD, L. **Soil biodiversity in Amazonian and other Brazilian ecosystems**. CABI Publishing, Oxford. 2006. 280 p. DOI:10.1079/9781845930325.0000

MOREIRA, F.M.S; SIQUEIRA, J.O. **Microbiology and soil biochemistry**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

NAKAGAWA, J. 1999. Testes de vigor baseado no desempenho de plântulas. In KRYZANOWSKI, FC; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina, ABRATES. 2.1-2, 1999, 24 p.

NASCIMENTO, R.; ANDRADE, J.R.; ALENCAR, A.E.V.; BARBOSA, J.W.S.; SILVA, R.F.B. Índice SPAD em feijão caupi inoculado com rizóbio e submetidos a diferentes níveis de salinidade. **Revista Verde**, Mossoró. v.7, n.3, p.14-16, 2012.

OLIVEIRA, D. P.; FIGUEIREDO, M. A., SOARES, B. L.; TEIXEIRA, O. H. S.; MARTINS, F. A. D.; RUFINI, M.; MORAIS, A. R.; MOREIRA, F. M. S.; ANDRADE, M. J. B. Seed treatment with fungicides does not affect symbiosis between common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and rhizobia. **Agronomy Journal**. v.108, p.1–8, 2016.

OLIVEIRA, D. P.; SOARES, B. L.; MARTINS, F. A. D., FRANCESCHINI, L. A.; CARDILLO, B. E. S.; RUFINI, M.; MORAIS, A. R.; MOREIRA, F. M. S.; ANDRADE, M. J. B. Viability of liquid médium-inoculation of *Rhizobium etli* in planting furrows with common bean. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília. v.53, n.3, p.394-398, 2018.

OLIVEIRA-LONGATTI, S.M., MARRA, L.M., SOARES, B. L.; BOMFETI, C.A.; SILVA, K.; FERREIRA, P.A.A.; MOREIRA, F.M.S. Bacteria isolated from soils of the western Amazon and from rehabilitated bauxite-mining areas have potential as plant growth promoters. **World Journal Microbiology Biotechnology**. v.30, n.4, p.1239-1250, 2014. DOI: 10.1007/s11274-013-1547-2

PERES, A. R.; RODRIGUES, R. A. F.; ARF, O.; PORTUGAL, J. R.; CORSINI, D. C. D. C. Co-inoculation of *Rhizobium tropici* and *Azospirillum brasilense* in common beans grown under two irrigation depths. **Revista Ceres**, Viçosa. v.63, n.2, p.198-207, 2016.

PERES, A.R.; PORTUGAL, J.R.; RODRIGUES, R. A. F.; SÁ, M.E.; ARF, O.; FRANCO, A.A.; GARÉ, L.M. Effect of common bean cultivation with co-inoculation (*Rhizobium tropici* and *Azospirillum brasilense*) and irrigation depths on the physiological quality of the seeds produced. **Investigación Agraria**. v.20, n.1, p.11-21, 2018. DOI:10.18004/investig.agrar.2018.junio.11-21

PÉREZ-MONTAÑO, F.; ALÍAS-VILLEGAS, C.; BELLOGÍN, R. A.; DEL CERRO, P.; ESPUNY, M. R.; JIMÉNEZ-GUERRERO, I.; LÓPEZ-BAENA, F.J.; OLLERO, F.J.; CUBO, T. Plant growth promotion in cereal and leguminous agricultural important plants: from microorganism capacities to crop production. **Microbiological Research**. v.169, p.325–336, 2014. doi: 10.1016/j.micres.2013.09.011

PERRIG, D.; BOIERO, L.; MASCIARELLI, O.; PENNA, C.; CASSÁN, F.; LUNA, V. Plant growth promoting compounds produced by two agronomically important strains of *Azospirillum brasilense*, and their implications for inoculant formulation. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Washington. v.75, n.5, p.1143-1150, 2007.

PITTELKOW, C.M., LIANG, X., LINQUIST, B.A., VAN GROENIGEN, K.J., LEE, J., LUNDY, M.E., VAN GESTEL, N., SIX, J., VENTEREA, R.T., VAN KESSEL, C. Productivity limits andpotentials of the principles of conservation agriculture. **Nature**. v.517, p.365–368, 2015. DOI: 10.1038/nature13809.

PORTES, T. A. Ecofisiologia. In: ARAÚJO, R. S. et al. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba, Potafós. 1996. p.101-137.

RAPOSEIRAS, R.; PINTO, P. R.; PASSOS, R. V. M.; SELDIN, L.; PAIVA, E.; SCOTTI, M. R.; SÁ, N. M. H. Variability of isolated colonies in bean nodulating *Rhizobium* strains before and after exposure to hight temperature. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo. v.33; p.149-154, 2002.

RUFINI, M.; FERREIRA, P. A. A.; SOARES, B. L.; OLIVEIRA, D. P.; ANDRADE, M. J. B.; MOREIRA, F. M. S. Symbiosis of nitrogen fixing bacteria with common bean in different pH values. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v.46, n.1, p.81-88, 2011. DOI: 10.1590/S0100-204X2011000100011.

SILVA, E. F.; MARCHETTI, M. E.; SOUZA, L. C. F.; MERCANTE, F. M.; RODRIGUES, E. T.; VITORINO, A. C. T. *Rhizobium tropici* associated with *Mimosa flocculosa* exudates inoculation effect on bean plants under different nitrogen rates. **Bragantia**, Campinas. v.68, n.2, p.443-451, 2009.

SILVA, E. R. S.; BUSH, A.; ZUFFO, A. M.; STEINER, F. Co-inoculação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* em sementes de amendoim de diferentes tamanhos. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia. v.4, n.5, p.93-102, 2017.

SILVEIRA, P.M.; FERREIRA, E.P.B. **Índice de suficiência de nitrogênio determinado pelo clorofilômetro em feijão inoculado com rizóbio e sob adubação nitrogenada**. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2016.

SILVEIRA, P.M.; GONZAGA, A.C.O. Portable chlorophyll meter can estimate the nitrogen sufficiency index and levels of topdressing nitrogen in common bean. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia. v.47, n.1, p.1-6, 2017.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F.; ALVEZ JÚNIOR, J.; SILVA, J.G. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um Latossolo. **Bioscience Journal**. v.24, n.3, p.53- 59, 2008.

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. S. Agronomic and economic efficiency of common-bean inoculation with rhizobia and mineral nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.40, n.15, 2016. DOI: 10.1590/18069657rbcs20150235

SORATTO, R. P., CARVALHO, M. A. C.; ARF, O. Teor de clorofila e produtividade do feijoeiro em razão da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v.39, n.9, p.895-901. 2004.

SOUZA, A.B.; ANDRADE, M.J.B.; MUNIZ, J.A. Common bean plant height and primary yield components affected by plant population, fertilization and liming. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. v.27, n.6, p.1205-1213, 2003.

SOUZA, A.B.; OLIVEIRA, D.P.; SILVA, C.A.; ANDRADE, M.J.B. Plant populations and nitrogen doses for common bean at conventional system. **Bioscience Journal**, Uberlandia. v.30, n.4, p.998-1006, 2014.

SOUZA, E. F. C.; SORATTO, R. P.; PAGANI, F. A. Nitrogen fertilization and *Rhizobium* inoculation in common bean cultivated after corn intercropped with palisade grass **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v.46, n.4, p.370-377, 2011. DOI: 10.1590/S0100-204X2011000400005.

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. DOI: 10.1016/j.agee.2016.12.040.

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**, Londrina. v.40, n.1, p.81-98, 2019. DOI: 10.5433/1679-0359.2019v40n1p81

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Porto Alegre, Artmed. 6. ed., 2017, 858 p.

VENEGAS, F.; SCUDELER, F. Compatibilidade de diferentes cepas de *Rhizobium tropici* com o fungo *Trichoderma harzianum* no tratamento de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, Campo Grande. v.15, n.5, p.19-30, mai. 2011.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, MG: UFV, 1991. 449p.

WANG, S.; HUIJUN, W.; JUNQING, Q.; LINGLI, M.; JUN, L.; YANFEI, X.; XUEWEN, G. Molecular mechanism of plant growth promotion and induced systemic resistance to tobacco mosaic virus by **Bacillus** spp. **Journal Microbiology Biotechnology**. v.19, p.1250–1258, 2009.

YE, C.; HALL, S. J.; HU, S.; Controls on mineral-associated organic matter formation in a degraded Oxisol. **Geoderma**. v.338, p.383–392, 2019. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.1

4. *Rhizobium tropici* E *Azospirillum brasilense* INTERFEREM NO CUSTO DE PRODUÇÃO E NOS INDICADORES ECONOMICOS DA PRODUÇÃO DO FEIJOEIRO?

Resumo

Há o interesse constante em reduzir o custo de produção da planta do feijoeiro e há indicações de que a simbiose mutualística entre a planta do feijoeiro e o *Rhizobium* sp. é beneficiada pela interação com *Azospirillum* sp., microrganismo promotor do desenvolvimento das plantas, que incrementa a fixação biológica do nitrogênio (FBN) e minimiza a utilização do fertilizante nitrogenado; no entanto, não há consenso quanto à forma e o momento de inoculação destes microrganismos e a influência desta técnica para os custos de produção. Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito da inoculação com *Rhizobium tropici* e, ou, *Azospirillum brasilense* para o rendimento de sementes, o custo de produção e para os indicadores econômicos do cultivo das plantas do feijoeiro. As plantas foram cultivadas nas safras "da seca" e "do inverno", do ano de 2017, em dois sistemas de cultivo, semeaduras convencional e direta, com irrigação. Para análise conjunta dos dados do rendimento de sementes, o delineamento estatístico foi o de blocos casualizados com quatro repetições, com o esquema fatorial 2x2x11 (2 safras x 2 sistemas de cultivo x 11 tratamentos), e para análise econômica foi o inteiramente casualizado com quatro repetições, considerando as mesmas causas de variação. Na análise econômica foram calculados os custos variáveis total e médio, o lucro médio, o ponto de nivelamento referente à quantidade de sementes necessária para pagar os custos de produção e a contribuição, em percentagem, do custo de cada atividade e dos insumos, em relação ao custo variável total. Assim, os resultados possibilitaram concluir que a planta do feijoeiro cultivada na safra "do inverno" beneficia o rendimento das sementes e o lucro do cultivo. O cultivo das plantas do feijoeiro nas semeaduras convencional ou direta, são viáveis economicamente, mas em termos técnicos, o cultivo em semeadura direta reduz as operações de arar e, ou, gradear o solo e, consequentemente, o custo de produção. A aplicação de 20 kg ha^{-1} de nitrogênio na semeadura associada à inoculação com *Rhizobium tropici* e, ou, com *Azospirillum brasilense*, independentemente do modo de aplicação, favorece o rendimento e o lucro do cultivo da planta do feijoeiro. As inoculações com *Rhizobium tropici* e, ou, com *Azospirillum brasilense* são alternativas para substituição da aplicação em cobertura de 60 kg ha^{-1} de nitrogênio, a qual onera o custo de produção do feijoeiro.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., Fixação biológica do nitrogênio, Análise econômica

Abstract

There is a constant interest in reducing the production cost of the bean plant and there are indications that the mutualistic symbiosis between the bean plant and *Rhizobium* sp. is benefited by the interaction with *Azospirillum* sp., a microorganism that promotes plant development, which increases the biological nitrogen fixation (BNF) and minimizes the use of nitrogen fertilizer; however, there is no consensus on the form and timing of inoculation of these microorganisms and the influence of this technique on production costs. Thus, the objective of this research was to evaluate the effect of inoculation with *Rhizobium tropici* or *Azospirillum brasilense* on seed yield, production cost and economic indicators of the cultivation of bean plants. The plants were cultivated in the "dry" and "winter" harvests of 2017, in two cultivation systems, conventional and direct sowing, with irrigation. For the joint analysis of seed yield data, the statistical design was that of casualized blocks with four repetitions, with the factor scheme 2x2x11 (2 harvests x 2 cultivation systems x 11 treatments), and for economic analysis was the entirely casualized with four repetitions, considering the same causes of

variation. In the economic analysis, the total and average variable costs, the average profit, the leveling point for the quantity of seeds needed to pay for the production costs and the percentage contribution of the cost of each activity and of inputs to the total variable cost were calculated. Thus, the results made it possible to conclude that the bean plant cultivated in the "winter" harvest benefits the seed yield and the crop profit. The cultivation of bean plants in conventional or direct sowing is economically viable, but in technical terms, cultivation in direct sowing reduces plowing operations and, or, grid the soil and, consequently, the production cost. The application of 20 kg ha^{-1} of nitrogen in sowing associated with inoculation with *Rhizobium tropici* and, or, with *Azospirillum brasilense*, regardless of the mode of application, favors the yield and profit of growing the bean plant. Inoculations with *Rhizobium tropici* and, or, with *Azospirillum brasilense* are alternatives to replace the application in 60 kg ha^{-1} nitrogen coating, which increases the production cost of the bean plant.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., Biological nitrogen fixation, Economic analysis

4.1. Introdução

A planta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tem valor cultural e socioeconômico mundial (Builes et al., 2011), especialmente no Brasil (Barbosa & Gonzaga, 2012). As sementes, além de serem utilizadas para a multiplicação das plantas desta espécie, são o alimento básico da dieta do brasileiro, especialmente para a população carente, e constituí até 25% da proteína consumida diariamente (Hungria et al., 1997). Além disso, há um contingente de produtores e trabalhadores rurais envolvidos na produção, principalmente nos sistemas produtivos de subsistência da Agricultura Familiar, em que o nível tecnológico é restrito e que é essencial otimizar o uso de insumos, para aumentar os rendimentos, com desenvolvimento sustentável, relacionado às responsabilidades socioambientais e à viabilidade econômica (Hungria et al., 2013; Soares et al., 2016; Martins, 2016; Souza & Ferreira, 2017). Neste contexto, é fundamental reduzir o custo de produção desta atividade agrícola e aumentar o rendimento das plantas.

Os custos de produção limitam o aumento do rendimento do feijoeiro, principalmente os relacionados ao excesso da aplicação dos defensivos agrícolas e dos nutrientes, a maioria de origem química como, por exemplo, o nitrogênio (N), extraído da solução do solo, decorrente da decomposição da matéria orgânica e dos fertilizantes nitrogenados, fundamental para o crescimento e o desenvolvimento, pois é constituinte das proteínas e, consequentemente, essencial para o metabolismo da planta (Keiluweit et al., 2016; Ye et al., 2019; Taiz & Zeiger, 2017). Todavia, o solo disponibiliza apenas parte do nitrogênio requerido pela planta e a eficiência dos fertilizantes químicos nitrogenados é, no máximo, 50% (Binotti et al., 2010). Por outro lado, estes fertilizantes constituem riscos acentuados para a contaminação do ambiente e aumentam a emissão de dióxido de carbono, gases de efeito estufa (Siqueira Neto et al., 2011; Hungria et al. 2013).

Diante disso, a fixação biológica de nitrogênio - FBN constitui solução para a redução dos riscos de contaminação do ambiente e dos custos de produção, mesmo que seja alternativa para o fornecimento parcial do nitrogênio requerido pelo feijoeiro (Moreira & Siqueira, 2006; Ahemad & Kibret, 2014 Ferreira et al., 2009; Soares et al. 2016; Cardillo et al., 2019). Soares et al. (2016) observaram que a inoculação da estirpe CIAT 899 de *Rhizobium tropici* nas sementes do feijoeiro, do cultivar BRSMG Majestoso, e a aplicação de 20 kg ha^{-1} de nitrogênio na semeadura, proporcionou rendimento de sementes e lucratividade semelhante à aplicação de 80 kg ha^{-1} de nitrogênio.

Entretanto, para o cultivo da planta do feijoeiro não há, ainda, consenso quanto à forma e o momento de inoculação dos microrganismos e da eficiência agronômica da fixação biológica do nitrogênio - FBN em função das variáveis de cultivo e da competição entre as bactérias introduzidas e as nativas do solo (Moreira & Siqueira, 2006). Pesquisas demonstram taxas elevadas de rendimento, variando de 2.000 a 3.500 kg ha^{-1} (Mostasso et al., 2002 ; Pelegrin et al., 2009; Souza & Ferreira, 2017) e também rendimentos inferiores, entre 900 e 1.600 kg ha^{-1} (Raposeiras et al., 2006; Valadão et al., 2009; Souza et al., 2011; Rufini et al., 2011; Cardillo et al., 2019), que podem causar prejuízos financeiros aos produtores quando o preço da saca do feijoeiro não é suficiente para pagar os custos de produção.

Com isso, estratégias como a aplicação de bactérias fixadoras de nitrogênio do gênero *Rhizobium* em conjunto com as promotoras de crescimento, como as do gênero *Azospirillum* (Hungria et al., 2013; Souza & Ferreira, 2017), e os métodos associados às técnicas de aplicação (Oliveira et al. 2018; Cardillo et al., 2019) são primordiais para a eficiência da FBN e, consequentemente, para o aumento do rendimento das plantas e para a redução dos custos de produção. Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito da inoculação com *Rhizobium tropici* (estirpe SEMEA 4088) e, ou, com *Azospirillum brasilense* (estirpes AbV5 e AbV6) para o rendimento das sementes, para o custo de produção e para os indicadores econômicos do cultivo das plantas do feijoeiro.

4.2. Material e Métodos

Para avaliação do rendimento de sementes e da viabilidade econômica os dados utilizados foram os das pesquisas conduzidas em área experimental do Dep. de Produção Vegetal, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", município de Piracicaba - SP, nas safras “da seca”, entre março e junho de 2017 e “do inverno”, entre julho e novembro de 2017 e em dois sistemas de cultivo, que corresponderam à semeadura convencional (SC) e à semeadura direta (SD), ambos com irrigação por aspersão.

Os tratamentos foram: 1) 20N+SI (20 kg de N ha^{-1} na semeadura e sem inoculação); 2) 20N+ASE (20 kg de N ha^{-1} na semeadura e a inoculação com *Azospirillum brasilense* na semente); 3)

20N+ASU (20 kg de N ha^{-1} na semeadura e a inoculação com *Azospirillum brasilense* no sulco da semeadura); 4) 20N+AR5 (20 kg de N ha^{-1} na semeadura e a inoculação com *Azospirillum brasilense* nas folhas da planta, estádio R5); 5) 20N+RSE (20 kg de N ha^{-1} na semeadura e a inoculação com *Rhizobium tropici* na semente); 6) 20N+RSE+ASE (20 kg de N ha^{-1} na semeadura e a inoculação com *Rhizobium tropici* e com *Azospirillum brasilense* na semente); 7) 20N+RSE+AR5 (20 kg de N ha^{-1} na semeadura e a inoculação com *Rhizobium tropici* na semente e com *Azospirillum brasilense* nas folhas da planta, estádio R5); 8) 20N+RSU (20 kg de N ha^{-1} na semeadura e a inoculação com *Rhizobium tropici* no sulco da semeadura); 9) 20N+RSU+ASU (20 kg de N ha^{-1} na semeadura e a inoculação com *Rhizobium tropici* e com *Azospirillum brasilense* no sulco da semeadura); 10) 20N+RSU+AR5 (20 kg de N ha^{-1} na semeadura e a inoculação com *Rhizobium tropici* no sulco da semeadura e com *Azospirillum brasilense* nas folhas da planta, estádio R5) e 11) 20N+60N (20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura).

Os preços médios, em dólar (US$), das atividades e dos insumos foram obtidos no mercado regional de Piracicaba-SP, onde foram realizadas as pesquisas, entre junho e dezembro de 2017. Para complementar foram citadas as informações das séries históricas do Instituto de Economia Agrícola do Estado de São Paulo (IEA, 2019a) e da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2019a).

Para os cálculos relacionados à comparação dos indicadores econômicos entre as safras, os sistemas de cultivo e os tratamentos foi utilizada a Teoria do custo de produção (Reis, 2007). Nesta análise todos os custos foram integrados aos custos variáveis, relacionados às atividades e aos insumos gastos durante o cultivo das plantas do feijoeiro, que podem ser alterados e variam de acordo com o rendimento (Reis, 2007; Pindyck & Rubinfeld, 2009). Para o cálculo dos custos variáveis total (CVT) foram considerados os custos operacionais relacionados às atividades de arrendamento da área de cultivo e da irrigação, da gradagem do solo, da semeadura, das inoculações, das pulverizações, da mão de obra e da assistência técnica, da colheita e da trilhagem e dos insumos, referentes às sementes Certificadas, aos inoculantes, aos fertilizantes, aos herbicidas, aos fungicidas, aos inseticidas e acaricidas e às sacarias e o custo alternativo, referente à remuneração que seria obtida se valor financeiro gasto para o cultivo do feijoeiro fosse aplicado em outra atividade econômica do mercado, como a taxa de juros da caderneta de poupança – 6% ao ano (Reis et al., 2001).

Em seguida, os resultados dos custos variáveis totais foram decompostos pelos rendimentos das sementes (sacas de 60 kg - RS), originando o custo variável médio (CVMe), também foram calculados o ponto de nivelamento (PN), que representa a quantidade de sementes necessária para pagar os custos de produção, o lucro médio (LMe), proporcionado pela venda da saca de 60 kg do feijoeiro (US$ 41,42) e a contribuição, em percentagem, dos custos do arrendamento da área de cultivo e da irrigação, da mão de obra e da assistência técnica, do aluguel das máquinas, da colheita e trilhagem, das sacarias, das sementes Certificadas, dos inoculantes, dos insumos (fertilizantes, fungicidas, inseticidas e acaricidas) e do custo alternativo do custo variável total.

Para a análise conjunta dos dados do rendimento de sementes (RS), o delineamento estatístico foi o de blocos casualizados (DBC) com quatro repetições, em esquema fatorial 2x2x11 (2 safras x 2 sistemas de cultivo x 11 tratamentos, descritos acima) e para o custo variável total, custo variável médio, lucro médio e o ponto de nivelamento, o delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) e a análise considerou os fatores de variação safras, sistemas de cultivo e tratamentos, com a análise das médias das repetições para cada tratamento em cada experimento. Para todas variáveis, a normalidade e a homogeneidade das variâncias dos resíduos foram calculadas pelos testes de *Shapiro-Wilk* e *Kolmogorv-Smirnov*, respectivamente, e posteriormente a análise de variância (ANOVA). Para as variações significativas ($p \leq 0,05$), foi utilizado o teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para a comparação das médias. As análises foram realizadas utilizando o programa *Statistical Analysis Software* (SAS®) versão 9.4.

4.3. Resultados e Discussão

O rendimento de sementes da safra "da seca" foi, em média, 8,3 sacas de 60 kg ha^{-1} inferior ao da safra "do inverno" (Gráfico 1), e esta diferença foi relacionada às condições climáticas intrínsecas do período de cultivo, em especial à radiação luminosa acumulada, que na safra "da seca" foi de 721 horas, enquanto, na safra "do inverno" foi de 887 horas (Série de Dados Climatológicos do Campus Luiz de Queiroz de Piracicaba, SP). O aumento de 166 horas de exposição à radiação luminosa, no período de cultivo "do inverno", favoreceu o rendimento de sementes das plantas do feijoeiro. De acordo com Taiz e Zeiger (2017), o período de exposição da planta à radiação luminosa é essencial para os processos da fotossíntese, ou seja, a energia solar é utilizada para oxidar a água, consequentemente, liberar oxigênio e reduzir o dióxido de carbono, formando compostos carbonados como os açúcares, que influenciam no desenvolvimento e no rendimento da planta.

Para os resultados relacionados aos sistemas de cultivo, para a semeadura convencional foram obtidas 5,7 sacas de 60 kg ha^{-1} a mais em relação à semeadura direta (Gráfico 1), este aumento do rendimento das sementes pode ser decorrente da gradagem do solo, que segundo Keiluweit et al. (2016) e Ye et al. (2019) aumenta a porosidade e a concentração de oxigênio, consequentemente, beneficia a atividade microbiana, que mineraliza a matéria orgânica e disponibiliza os nutrientes para as plantas, assim, favorece o desenvolvimento das raízes e a absorção de água e de nutrientes pelas plantas. A redução do rendimento de sementes das plantas obtida por meio da semeadura direta, também está relacionada à atividade microbiana do solo, pois em ambas as safras a semeadura foi realizada em área de primeiro cultivo sem a desagregação do solo. Deste modo, a relação entre carbono e nitrogênio dos restos vegetais das plantas anteriores, com as plantas de trigo na safra "da seca" e do

milheto na safra “do inverno”, presentes na superfície do solo na área de cultivo favoreceu a competição dos microrganismos do solo com a planta por nutrientes, principalmente pelo nitrogênio (Moreira & Siqueira, 2006).

De acordo com Lundy et al. (2015), a semeadura direta causa redução do rendimento das plantas durante os dois primeiros anos de cultivo e quando são aplicadas doses restritas de nitrogênio, tanto em regiões tropicais como subtropicais. Pittelkow et al. (2015) também observaram que a semeadura direta reduz em até 5,7% o rendimento das plantas, embora em certas condições o rendimento seja equivalente ou até mesmo superior ao do cultivo com a semeadura convencional. Enfatizaram, ainda, que na semeadura direta, o rendimento é apenas um dos componentes dos sistemas agrícolas e é essencial otimizar as práticas agrícolas em relação aos demais indicadores socioeconômicos e ambientais. Assim, a utilização do sistema de semeadura direta de forma contínua, associada aos outros princípios da agricultura de conservação, como o potencial de melhoria da qualidade do solo, pode representar um sistema de gestão lucrativo, atenuando os custos de energia, relacionados à atividade de arar e, ou, gradear o solo, e de utilização dos fertilizantes químicos relacionados ao cultivo das plantas (Winck et al. 2014; Sabundjian et al. 2014).

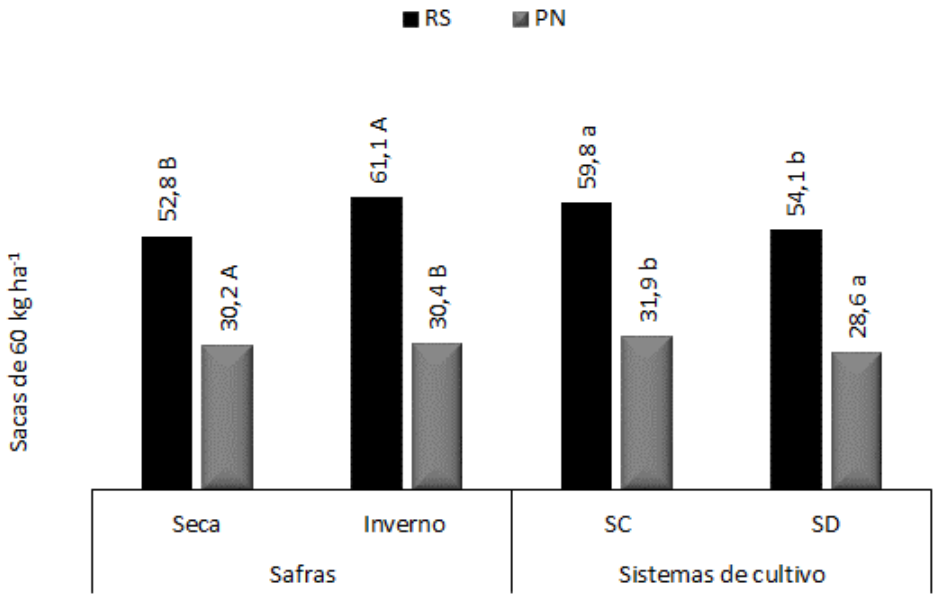

Gráfico 1. Médias referentes aos resultados do rendimento de sementes (RS) e do ponto de nivelamento (PN), referentes às safras (“da seca” e “do inverno”) e aos sistemas de cultivo (Semeadura convencional - SC e Semeadura direta - SD) do feijoeiro, do cultivar IAC Milênio.

As médias com a mesma letra maiúscula entre as safras e entre o rendimento de sementes (RS) e entre o ponto de nivelamento (PN) e as minúsculas entre os sistemas de cultivo e entre o rendimento de sementes (RS) e entre ponto de nivelamento (PN), não diferem entre si pelo teste de *Tukey* com a probabilidade de erro de 5%.

Os resultados da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e da inoculação com *R. tropici* ou *A. brasilense* no sulco da semeadura ou da inoculação da semente com *R. tropici* e, ou, da inoculação com *A. brasilense* na folha da planta do feijoeiro ou da inoculação com *R. tropici* no sulco da semeadura em conjunto com *A. brasilense* aplicado na folha da planta do feijoeiro, proporcionaram incremento estatisticamente significativo no rendimento de sementes em comparação ao tratamento resultante da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e sem a inoculação (Gráfico 2). Além disso, os resultados da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura associados às inoculações, com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, independentemente do modo de aplicação, foram estatisticamente semelhantes ao da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura, para o rendimento de sementes (Gráfico 2), o que possibilita a substituição da utilização de 60 kg de N ha^{-1} em cobertura no cultivo das plantas do feijoeiro.

Todavia, mesmo que estatisticamente semelhantes, os resultados da inoculação com *R. tropici* no sulco da semeadura e, ou, com *A. brasilense* no sulco do semeadura ou nas folhas das plantas, têm vantagens em comparação à inoculação destes microrganismos nas sementes do feijoeiro, devido à otimização da semeadura, redução da mão de obra e do tempo de inoculação das sementes, além de evitar danos às sementes e à morte das bactérias pelo contato direto com os defensivos utilizados para o tratamento das sementes do feijoeiro, em especial os fungicidas, favorecendo a fixação biológica de nitrogênio - FBN (Araújo & Araújo, 2006; Araújo, et al. 2007; Barbosa & Gonzaga, 2012; Cardillo et al., 2017; Oliveira, et al., 2018; Cardillo et al., 2019) e, consequentemente, reduzindo os custos com a adubação nitrogenada. No entanto, resultados de pesquisas demonstraram que a dose de *Rhizobium* sp. indicada para aplicar no sulco da semeadura deve ser até seis vezes superior à aplicada na semente, devido à competição entre os microrganismos nativos do solo e os introduzidos pela inoculação (Barbosa & Gonzaga, 2012, Ramalho et al., 2014).

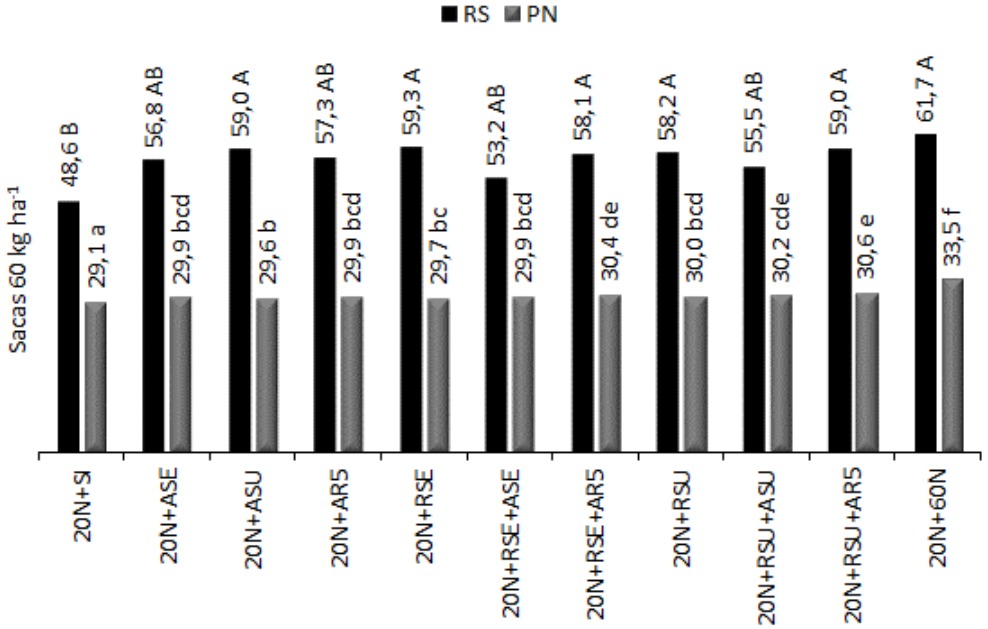

Gráfico 2. Médias referentes aos resultados do rendimento sementes (RS) e do ponto de nivelamento (PN), a partir dos tratamentos aplicados para as plantas do feijoeiro, cultivar IAC Milênio, cultivadas em duas safras e em dois sistemas de cultivo.

As médias com a mesma letra maiúscula entre rendimento de sementes (RS) e minúsculas entre o ponto de nivelamento (PN), não diferem entre si pelo teste de *Tukey* com a probabilidade de erro de 5%.

Contudo os resultados desta pesquisa (Gráficos 1 e 2) indicaram que as inoculações com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, a aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura, as condições favoráveis do clima, os controles de pragas e doenças, a irrigação, as características físicas e químicas do solo e outros fatores proporcionaram rendimento de sementes superior à média nacional que na safra 2017/2018 foi de 23 sacas de 60 kg ha^{-1}, superando também a produção média do Estado de São Paulo, correspondente a 40 sacas de 60 kg ha^{-1} (Conab, 2019b).

Em relação ao custo de produção, a diferença do custo variável total entre as safras, no valor de US$ 8,01, foi referente aos diferentes insumos utilizados no cultivo das plantas do feijoeiro, porém, de modo geral, houve equilíbrio entre as técnicas utilizadas para a produção do feijoeiro (Gráfico 3). Todavia, o maior rendimento das sementes das plantas cultivadas na safra “do inverno” e o valor de US$ 41,42, decorrente da venda de uma saca 60 kg de feijão, proporcionou lucro médio superior em US$ 3,13 por saca 60 kg de feijão em relação à safra “da seca” (Gráfico 3).

O custo variável total e o ponto de nivelamento foram estatisticamente superiores para a semeadura convencional em comparação à semeadura direta, Gráficos 1 e 4. Para a semeadura convencional a diferença do custo variável total foi de US$ 140,59 ha^{-1}, equivalente a 3,3 sacas de 60 kg de feijão a mais para pagar os custos de produção, em função dos custos com aluguel das máquinas para gradagem do solo, que foi 11,0% superior ao da semeadura direta (Tabela 1), mostrando a

relevância desta atividade para o custo de produção da planta do feijoeiro. O resultado do custo variável médio, relacionado aos sistemas de cultivo, não apresentou diferença estatística significativa (Gráfico 5), pois, o maior rendimento de sementes proporcionado pelas plantas do feijoeiro cultivadas em semeadura convencional, em relação aos das plantas cultivadas em semeadura direta (Gráfico 1), aumentou a receita desta atividade e, assim, pagou os custos decorrentes da gradagem do solo.

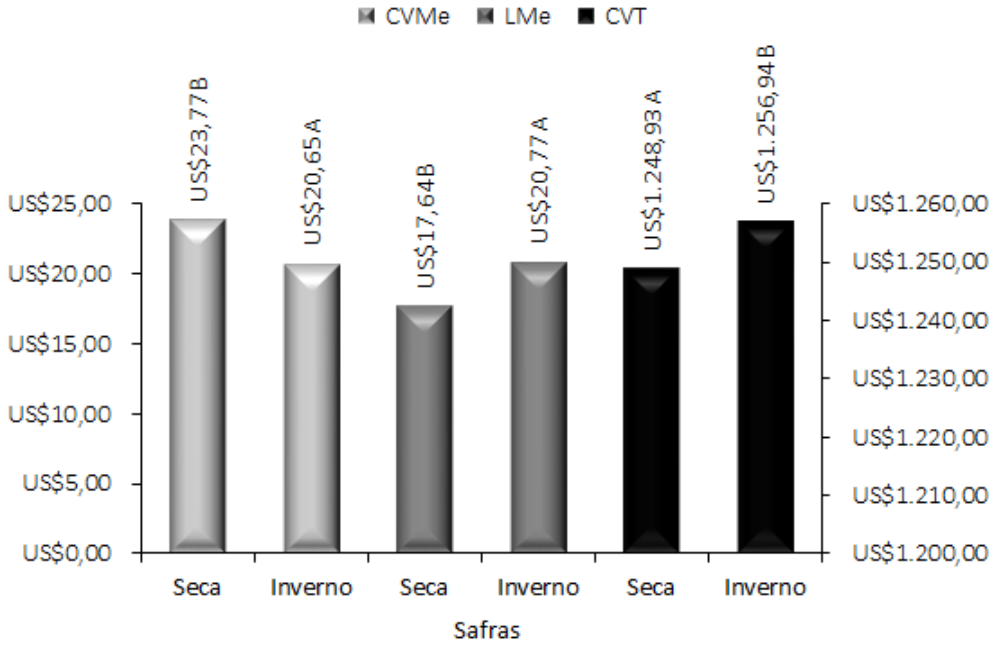

Gráfico 3. Médias referentes aos resultados do custo variável total (CVT), do custo variável médio (CVMe) e do lucro médio (LMe), obtidas com o cultivo das plantas do feijoeiro, do cultivar IAC Milênio, em duas safras (seca e inverno).
As médias seguidas da mesma letra maiúscula dentro do custo variável total (CVT), do custo variável médio (CVMe) e do lucro médio (LMe), não diferem entre si pelo teste de *Tukey* à probabilidade de erro de 5%.

O custo variável total do tratamento resultante da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e sem a inoculação foi inferior ao dos demais tratamentos, em função da restrição da quantidade do fertilizante nitrogenado e a ausência da inoculação dos microrganismos, o que comprometeu o rendimento de sementes, Gráficos 1 e 4. Já, os resultados decorrentes da inoculação com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense* e da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} apresentaram valores estatisticamente intermediários para o custo variável total (Gráfico 4), e em média US$ 147,92 ha^{-1} abaixo do custo variável total do tratamento resultante da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura (Gráfico 4). Sabundjian et al. (2014) inocularam as sementes do feijoeiro com *R. tropici*, em sucessão ao milho não inoculado e inoculado com *A. brasilense*, e observaram, para a inoculação da semente com o *R. tropici* e as aplicações em cobertura de 40 e 80 kg ha^{-1} de nitrogênio, que a margem de ganho foi positiva em US$ 218,56 e US$ 1.027,72 ha^{-1}, respectivamente; por outro lado, para a

aplicação de 120 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura houve margem de ganho negativa de US$ 105,47 ha^{-1}, concluíram que as bactérias diazotróficas – *A. brasilense* contribuem para o rendimento do feijoeiro e a adubação com 120 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura, causa prejuízo financeiro para o produtor. Similares aos resultados de Burdman et al. (1997), Dardanelli et al. (2008), Hungria et al (2013) e Souza & Ferreira (2017), que consideraram benéfico associar as inoculações com *Rhizobium* sp. e com *Azospirillum* sp., pois favorecem o desenvolvimento e o rendimento da planta do feijoeiro e reduzem a utilização dos fertilizantes nitrogenados e os custos de produção.

Assim como o custo variável total, o ponto de nivelamento do tratamento com a aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura foi superior aos dos demais tratamentos (Gráfico 2), representando 54,3% do rendimento de sementes, em função do custo com o fertilizante nitrogenado que resultou em 15,0% a mais do custo variável total comparação ao do tratamento decorrente da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e sem a inoculação dos microrganismos (Gráficos 2 e 4). Para o tratamento resultante da aplicação de 20 kg de N ha^{-1}e sem a inoculação, o resultado do ponto de nivelamento foi inferior aos dos demais tratamentos (Gráfico 2), porém, representou 59,8% do rendimento de semente, efeito da redução do rendimento das plantas que produziram, em média, 48,6 sacas de 60 kg ha^{-1}. Para os resultados da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e da inoculação com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, independentemente do modo de aplicação, o ponto de nivelamento médio foi de 30,0 sacas de 60 kg ha^{-1}, 10,4 % inferior ao do tratamento resultante da adubação com 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura, Gráfico 2.

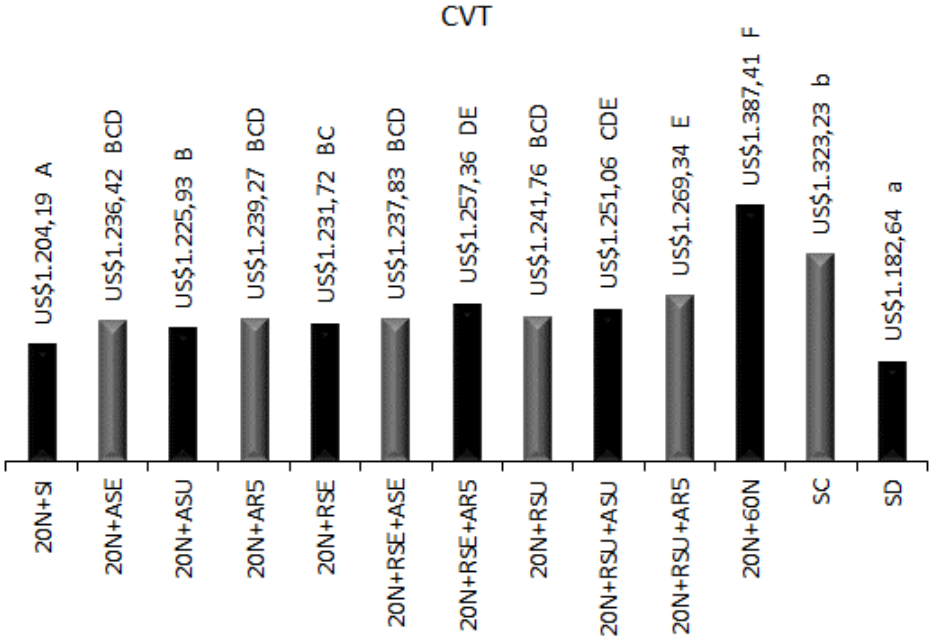

Gráfico 4. Médias referentes aos resultados do custo variável total (CVT) obtidas do cultivo das plantas do feijoeiro, do cultivar IAC Milênio, em diferentes tratamentos e dois sistemas de cultivo (Semeadura convencional - SC e Semeadura direta - SD).
As médias com a mesma letra maiúscula, entre os tratamentos, e minúscula, entre os sistemas de cultivo (SC-semeadura convencional e SD-semeadura direta), não diferem entre si pelo teste de Tukey com a probabilidade de erro de 5%.

Para os valores do lucro médio e do custo variável médio o cultivo em semeadura convencional ou em semeadura direta os resultados foram estatisticamente similares (Gráfico 5). Os resultados do custo variável médio, decorrentes da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura associada à inoculação com *R. tropici* na semente ou no sulco da semeadura e, ou, à inoculação com *A. brasilense* na semente ou no sulco da semeadura ou na folha da planta do feijoeiro e a adubação com 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura, apresentaram valores estatisticamente similares, assim como para os resultados do lucro médio, Gráfico 5. O custo variável médio inferior foi obtido com a aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e a inoculação com *A. brasilense* no sulco da semeadura, que gerou lucro médio de US$ 20,51 por saca de 60 kg de feijão, sendo, US$ 4,36 a mais em comparação ao tratamento com a aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e sem a inoculação dos microrganismos. Os resultados do lucro médio dos tratamentos decorrentes da aplicação 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e da inoculação com *R. tropici* e com *A. brasilense*, ambos na semente ou no sulco da semeadura, e da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1}em cobertura, foram estatisticamente semelhantes aos do tratamento decorrente da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e sem a inoculação, no entanto, apresentaram tendência de aumento na lucratividade da atividade no valor médio de US$ 2,43 por saca de 60 kg de feijão (Gráfico 5).

Com isso, a inoculação do feijoeiro com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense* combinada à aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura constituiu alternativa tecnicamente viável, que proporcionou redução dos custos de produção e lucro equivalente ao tratamento decorrente da adubação com 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura e superior ao da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e sem a inoculação (Gráfico 5). Hungria et al. (2007), Binotti et al. (2014) e Sabundjian et al. (2014) afirmaram que os fertilizantes nitrogenados apresentam baixa eficiência agronômica decorrente de perdas por lixiviação, volatilização e escoamento superficial, além de apresentar risco de contaminação de aquíferos, rios e lagos. Segundo Hungria et al. (2013) e Souza & Ferreira (2017), a inoculação com *R. tropici* e com *A. brasilense* é alternativa viável para a substituição de parte do nitrogênio proveniente dos fertilizantes químicos, tornando a atividade sólida, sustentável e ecologicamente adequada no cultivo do feijoeiro, reafirmando os resultados obtidos a partir desta pesquisa.

Todavia, o valor de US$ 41,42 referente ao preço da saca 60 kg de feijão, na região de Piracicaba – SP, entre junho e dezembro de 2017, pagou os custos de produção do cultivo do feijoeiro e proporcionou lucro adicional nas duas safras de cultivo (Gráficos 3 e 5), o que possibilita a expansão da atividade e incentiva o empresário rural a investir em infraestrutura, conforme afirma Reis (2007).

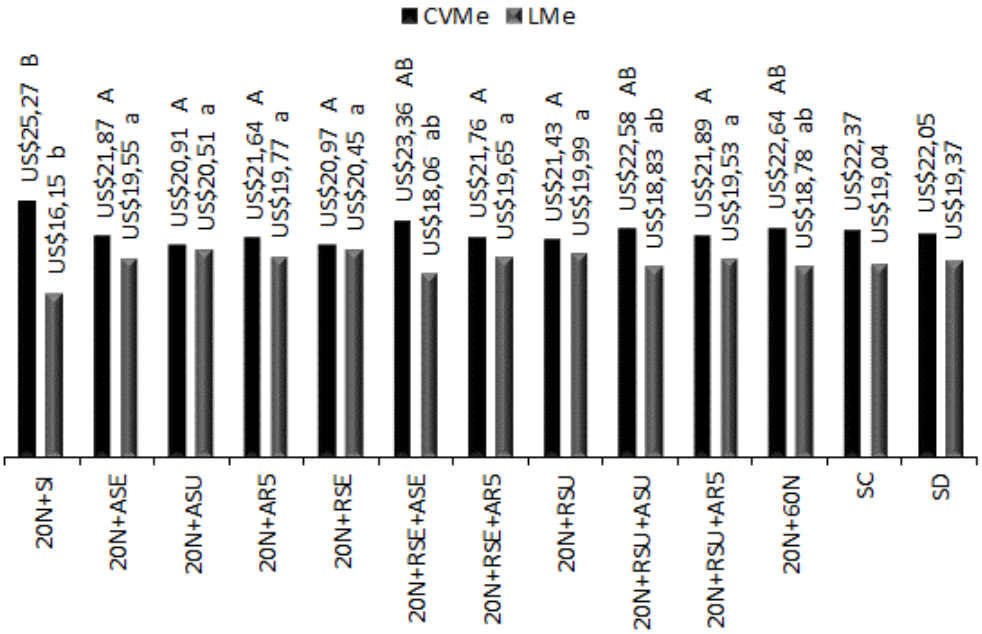

Gráfico 5. Médias referentes aos resultados do custo variável médio (CVMe) e do lucro médio (LMe), do cultivo das plantas do feijoeiro, do cultivar IAC Milênio, em diferentes tratamentos e dos sistemas de cultivo (Semeadura convencional - SC e Semeadura direta - SD), em relação ao preço médio de venda de uma saca de 60 kg de feijão (US$ 41,42).

As médias seguidas da mesma letra maiúscula, entre o custo variável médio (CVMe), e minúscula, entre lucro médio (LMe), para os tratamentos não diferem entre si pelo teste de *Tukey* com a probabilidade de erro de 5%.

Os cálculos de contribuição de cada item para o custo variável total de produção mostraram que o maior custo foi dos insumos agrícolas, seguido, do arrendamento da área de cultivo, das sementes Certificadas, do aluguel de máquinas, da colheita, da mão de obra e assistência técnica, do custo alternativo de outra atividade econômica do mercado e dos inoculantes, Tabela 2. A contribuição dos insumos agrícolas para o tratamento decorrente da aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura e 60 kg de N ha^{-1} em cobertura, foi de US$ 517,50, que correspondeu a 37,3% do custo variável total da produção, sendo, 40,81% deste total provenientes dos 400 kg ha^{-1} do fertilizante sulfato de amônio utilizados neste tratamento (Tabela 2), já, para os demais tratamento o fertilizante nitrogenado representou, em média, 13,96% do custo com os insumos agrícolas, referente ao valor de US$ 52,80.

No Brasil, aproximadamente 36% dos fertilizantes importados são referentes aos nitrogenados e o preço desses fertilizantes varia em função da variação do preço do petróleo-*commodity* (Iea, 2019b) e segundo Hungria et al. (2007) para cada tonelada de fertilizante amoniacal sintetizado são necessários, aproximadamente, seis barris de petróleo, mostrando quão o gasto energético para obtenção destes fertilizantes. Além disso, a aplicação correta dos fertilizantes nitrogenados representa uma das principais dificuldades no setor agrícola, especialmente em ambientes tropicais, por apresentar perdas por lixiviação, volatilização e escoamento superficial, acima de 50% (Hungria et al., 2007; Binotti et al., 2010; Binotti et al., 2014; Sabundjian et al., 2014). Deste modo, alternativas que reduzam o consumo dos fertilizantes nitrogenados, como a inoculação do feijoeiro com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense*, representam ganhos na atividade agrícola tropical, além de proporcionar segurança ambiental e ganhos econômicos, conforme resultados obtidos nesta pesquisa (Gráficos 4 e 5).

Tabela 1. Médias referentes aos resultados da distribuição dos custos de produção, em percentagem, a partir das atividades sobre o custo variável total (CVT), para as safras “da seca” e “do inverno” e para os sistemas de cultivo, semeadura convencional (SC) e semeadura direta (SD) do feijoeiro, do cultivar IAC Milênio.

Especificação	Safras		Sistemas de cultivo	
	Seca	Inverno	SC	SD
Arrendamento da área de cultivo	20,3%	22,7%	20,5%	22,5%
Aluguel de máquinas	14,3%	14,2%	19,7%	8,7%
Mão de obra e assistência técnica	2,4%	2,4%	2,2%	2,5%
Sementes Certificadas	15,0%	14,9%	14,1%	15,8%
Inoculantes	1,3%	1,3%	1,2%	1,4%
Insumos agrícolas	31,2%	28,4%	26,9%	32,7%
Colheita, trilhagem e sacarias	13,9%	14,5%	13,6%	14,8%
Custo alternativo	1,6%	1,8%	1,7%	1,7%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

O custo das sementes Certificadas de feijoeiro representou entre 13,5% e 15,5% do custo variável total dos tratamentos, Tabela 2, cujo valor foi US$ 186,34 por hectare. Todavia, em conjunto aos fatores edafoclimáticos e ao controle de pragas e patógenos, a utilização da semente Certificada contribui para aumentar o rendimento das plantas e reduzir a disseminação de patógenos na área de cultivo, como afirmaram Carvalho & Nakagawa (2012) e Castro & Wander (2014), assim, mesmo com o preço atribuído às sementes, são vários os benefícios de sua utilização, principalmente para os produtores que têm o hábito de utilizar parte da produção de grãos como semente, podendo comprometer o rendimento das plantas e a lucratividade da atividade, decorrente da baixa qualidade do material propagativo.

Para os tratamentos resultantes da aplicação dos microrganismos, os gastos com os inoculantes contendo *R. tropici* e, ou, *A. brasilense*, variaram de 0,4% a 3,2% do custo variável total, ou seja, os inoculantes representaram gastos entre US$ 4,66 e US$ 39,60 por hectare, inferiores aos dos demais insumos e atividades da produção (Tabela 1), e em conjunto à dose restrita de nitrogênio proporcionou lucratividade entre US$ 18,06 e US$ 20,51 por saca de 60 kg de feijão, além disso, favoreceu o rendimento de sementes e reduziu os custos de produção em comparação ao fertilizante nitrogenado (Gráficos 2 e 4).

Assim, os resultados obtidos nesta pesquisa evidenciaram a importância da inoculação do feijoeiro com *R. tropici* e, ou, com *A. brasilense* e a aplicação de 20 kg de N ha^{-1} na semeadura associada à utilização de sementes Certificadas, além da utilização das atividades conservacionistas do solo, como a semeadura direta, para ganhos de rendimento e financeiro no cultivo das plantas do feijoeiro.

Tabela 2. Médias referentes aos resultados da distribuição dos custos de produção, em percentagem, a partir das atividades sobre o custo variável total (CVT), para os tratamentos aplicados no cultivo da planta do feijoeiro, do cultivar IAC Milênio, em Piracicaba-SP

Especificação	20N+ SI	20N+ ASE	20N+ ASU	20N+ AR5	20N+ RSE	20N+ RSE+ASE	20N+ RSE+AR5	20N+ RSU	20N+ RSU+ASU	20N+ RSU+AR5	20N+ 60N
Arrendamento da área de cultivo	22,3%	21,7%	21,9%	21,7%	21,8%	21,7%	21,4%	21,6%	21,5%	21,2%	19,4%
Aluguel de máquinas	14,5%	14,1%	14,2%	14,9%	14,2%	14,1%	14,6%	14,1%	14,0%	14,5%	13,3%
Mão de obra e assistência técnica	2,1%	3,0%	2,0%	2,0%	3,0%	3,0%	3,0%	2,0%	2,0%	2,0%	1,8%
Sementes Certificadas	15,5%	15,1%	15,3%	15,1%	15,2%	15,1%	14,9%	15,1%	14,9%	14,7%	13,5%
Inoculantes	0,0%	0,9%	1,0%	0,9%	0,4%	1,3%	1,3%	2,3%	3,2%	3,1%	0,0%
Insumos agrícolas	29,8%	29,0%	29,2%	29,3%	29,1%	28,9%	28,9%	28,9%	28,6%	28,6%	37,3%
Colheita, trilhagem e sacarias	14,1%	14,4%	14,6%	14,4%	14,6%	14,1%	14,2%	14,4%	14,1%	14,2%	13,1%
Custo alternativo	1,7%	1,7%	1,7%	1,7%	1,7%	1,7%	1,7%	1,7%	1,7%	1,7%	1,7%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

4.4. Conclusões

A planta do feijoeiro cultivada na safra “do inverno” beneficia o rendimento das sementes e o lucro do cultivo.

O cultivo das plantas do feijoeiro nas semeaduras convencional ou direta, são viáveis economicamente, mas em termos técnicos, o cultivo em semeadura direta reduz as operações de arar e, ou, gradear o solo e, consequentemente, o custo de produção.

A aplicação de 20 kg ha^{-1} de nitrogênio na semeadura associada à inoculação com *Rhizobium tropici* e, ou, com *Azospirillum brasilense*, independentemente do modo de aplicação, favorece o rendimento e o lucro do cultivo da planta do feijoeiro.

As inoculações com *Rhizobium tropici* e, ou, com *Azospirillum brasilense* são alternativas para substituição da aplicação em cobertura de 60 kg ha^{-1} de nitrogênio, a qual onera o custo de produção do feijoeiro.

Referências

AHEMAD, M.; KIBRET, M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. **Journal of King Saud University – Science**. v.26, p.1–20, 2014. DOI: 10.1016/j.jksus.2013.05.001.

ARAÚJO, A.S.F.; ARAÚJO, R.S. Survival and nodulation of *Rhizobium tropici* on common bean seeds treated with fungicides. **Ciência Rural**, Santa Maria. v.36, n.3, p.973-976, 2006. DOI: 10.1590/S0103-84782006000300039.

ARAÚJO, F.F.; CARMONA, F.G.; TIRITAN, C.S.; CRESTE, J.E. Biological fixation of N2 in bean plantation at doses of inoculants and chemical treatment to the seed compared with nitrogenous fertilization. Acta Scientiarum. Agronomy, Maringá, v. 29, n.4, p. 535-540, 2007. DOI: 10.4025/actasciagron.v29i4.416.

BARBOSA, F.R.; GONZAGA, A.C.O. **Technical Information for the cultivation of the common bean plant in the Central-Brazilian region**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA-CNPAF, 2012, 247p. (Documentos, 272)

BINOTTI, F.F.S. ARF, O.; CARDOSO, E.D.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S. Sidedressing nitrogen fertilizer management of winter common bean in no tillage. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia. v.1, n.1, p 58-64, 2014. DOI: 10.32404/rean.v1i1.226.

BINOTTI, F.F.S.; ARF, O.; CARDOSO, E.D.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S.; NASCIMENTO, V. Sources and doses of sidedressing nitrogen on irrigated common bean cropped in winter in no tillage system. **Bioscience Journal** (UFU. Impresso). v.26, p.770-778, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Rules for seed testing**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 398p.

BUILES, V.H.R., PORCH, T.G., HARMSEN, E.W. Genotypic differences in water use efficiency of common bean under drought stress. **Agronomy Journal**. v.103, p.1206–1215, 2011. DOI: 10.2134/agronj2010.0370.

BURDMAN, S., KIGEL, J., OKON, Y. Effects of *Azospirillum brasilense* on nodulation and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Soil Biology Biochemistry**. v.29, p.923–929, 1997. DOI: 10.1016/S0038-0717(96)00222-2.

CARBONELL, S.A.M.; CHIORATO, A.F.; BOLONHEZI, D.B.; BARROS, V.L.N.P.; BORGES, W.L.B.; TICELLI, M.; GALLO, P.B.; FINOTO, E.L.; SANTOS, N.C.B. 'IAC Milênio' - Common bean cultivar with high grain quality. **Crop Breeding and Applied Biotechnology.** v.14, n.4, p.273-276, 2014. DOI: 10.1590/1984-70332014v14n4c44.

CARDILLO, B.E.S.; OLIVEIRA, D.P; SOARES, B.L.; MARTINS, F.A.D.; RUFINI, M.; SILVA, J.S.; FERREIRA NETO, G.G.; ANDRADE, M.J.B.; MOREIRA, F.M.S. Nodulation and yields of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) are not affected either by fungicides or by the method of inoculation. **Agronomy Journal.** v.111, n.2, p.694-701, 2019. DOI: 10.2134/agronj2018.06.0389.

CARDILLO, B.E.S.; OLIVEIRA, D.P.; SOARES, B.L.; MARTINS, F.A.D.; FERREIRA NETO, G.G.; COSTA, J.C.; MOREIRA, F.M.S.; ANDRADE, M.J.B. *Rhizobium* inoculation in dry bean cv. BRSMG Madrepérola subjected to fungicide seed treatment. **Annual report of the bean improvement cooperative**. v.60, p.125-126, 2017.

CASTRO, E.C.; WANDER, A.E. Production chain of common bean seed in brazil analyzed under the perspective of new institutional economics. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília. v.31, n.3, p.475-492, set./dez. 2014.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos - safra 2018/19 - quarto levantamento**. v.6, n.4, 2019a.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Preços agropecuários**. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/precos. Acesso em: 02 abr. 2019b.

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 A*zospirillum brasilense* coinoculated with *Rhizobium* on *Phaseolus vulgaris* flavonoids and Nod factor production under salt stress. **Soil Biology Biochemistry**. v.40, p.2713–2721, 2008. DOI: 10.1016/j.soilbio.2008.06.016.

FERREIRA, P.A.A.; SILVA, M.A.P.; CASSETARI, A.; RUFINI, M.; MOREIRA, F.M.S.; ANDRADE, M.J.B. Inoculation with *Rhizobium* strains in beans crop. **Ciência Rural**. v.39, n.7, p.2210-2212, 2009. DOI: 10.1590/S0103-84782009000700041.

HUNGRIA, M., NOGUEIRA, M.A.; ARAUJO, R.S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: Strategies to improve sustainability. **Biol Fertil Soils**. v.49, p.791-801, 2013. DOI 10.1007/s00374-012-0771-5.

HUNGRIA, M.; TEIXEIRA, M.A.; ARAUJO, R.S. Biological nitrogen fixation in common beans. Planaltina: **Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados-CPAC**, p. 189-294. 1997.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C.A. **Importance of the biological nitrogen fixation process for soybean cultivation: an essential component for the competitiveness of the Brazilian product**. Londrina: EMBRAPA-SOJA, 2007. 80 p. (Documentos, 283).

IEA- INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Monthly prices paid by agriculture**. Available in: <http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/Precos_Medios.aspx?cod_sis=5>. Access in: 02 abr. 2019a.

IEA- INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Fertilizer Market: Increased imports worry**. Available in: <http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=14447. Access in: 02 abr. 2019b

KEILUWEIT, M.; NICO, P.S.; KLEBER, M.; FENDORF, S. Are oxygen limitations under recognized regulators of organic carbon turnover in upland soils? **Biogeochemistry**. v.127, p.157–171, 2016. DOI: 10.1007/s10533-015-0180-6

LUNDY, M.E.; PITTELKOW, C.M.; LINQUIST, B.A.; LIANG, X.; VAN GROENIGEN, K.J.; LEE, J.; SIX, J.; VENTEREA, R.T.; VAN KESSEL, C. Nitrogen fertilization reduces yield declines following no-till adoption. **Field Crops Research**. v.183, p.204–210, 2015. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.07.023.

MARTINS, F.A.D. **Management systems and plant population in the common bean crop.** Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2016, 159 p.

MOREIRA, F.M.S; SIQUEIRA, J.O. **Microbiology and soil biochemistry**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p

MOSTASSO, L.; MOSTASSO, F.L.; DIAS, B.G.; VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. Selection of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) rhizobial strains for the Brazilian Cerrados. **Field Crops Research.** v.73, p.121-132, 2002. DOI: 10.1016/S0378-4290(01)00186-1.

OLIVEIRA, D.P.; SOARES, B.L.; MARTINS, F.A.D., FRANCESCHINI, L.A.; CARDILLO, B.E.S.; RUFINI, M.; MORAIS, A.R.; MOREIRA, F.M.S.; ANDRADE, M.J.B. Viability of liquid médium-inoculation of *Rhizobium etli* in planting furrows with common bean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v.53, n.3, p.394-398, 2018. DOI: 10.1590/S0100-204X2018000300015

PELEGRIN, R.; MERCANTE, F.M.; OTSUBO, I.M.N.; OTSUBO, A.A. Response of common bean crop to nitrogen fertilization and *Rhizobium* inoculation. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, Viçosa. v. 33, p. 219-226, 2009. DOI: 10.1590/S0100-06832009000100023.

PINDYCK, R.S.; RUBINFELD, D.L. **Microeconomics**. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2009.

PITTELKOW, C.M., LIANG, X., LINQUIST, B.A., VAN GROENIGEN, K.J., LEE, J., LUNDY, M.E., VAN GESTEL, N., SIX, J., VENTEREA, R.T., VAN KESSEL, C. Productivity limits andpotentials of the principles of conservation agriculture. **Nature**. v.517, p.365–368, 2015. DOI: 10.1038/nature13809.

RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B.; GUILHERME, S.R. **Technical information for growing the Brazilian common bean plant: 2015-2017**. Anais da Reunião da Comissão Técnica Central Brasileira de feijão. Lavras: Fundecc, 2014, 168p.

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.** v.41, n.3, p.439-447, 2006. DOI: 10.1590/S0100-204X2006000300010.

REIS, R. P. **Fundamentals of applied economics**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2007. 95 p.

REIS, R. P.; MEDEIROS, A.L.; MONTEIRO, L.A. **Milk production costs in the southern region of Minas Gerais**. Lavras: UFLA/DAE, 2001. 23 p.

RUFINI, M.; FERREIRA, P.A.A.; SOARES, B.L.; OLIVEIRA, D.P.; ANDRADE, M.J.B.; MOREIRA, F.M.S. Symbiosis of nitrogen fixing bacteria with common bean in different pH values. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.1, p.81-88, 2011. DOI: 10.1590/S0100-204X2011000100011.

SABUNDJIAN, M.T.; ARF, O.; KANEKO, F.H.; NASCIMENTO, V. Sources nitrogen in bean winter in succession to grass with and without inoculation of *Azospirillum brasilense*: economic analysis. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**. v.8, n.2, p.139-145, 2014. DOI: 10.18011/bioeng2014v8n2p139-145.

SIQUEIRA NETO, M., PICCOLI, M.C., COSTA JUNIOR, C., CERRI, C.C., BERNOUX, M. Greenhouse gas emission caused by different land-uses in brazilian Savannah. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.35, p.63–76, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000100006.

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.S. Agronomic and economic efficiency of common-bean inoculation with rhizobia and mineral nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.40, n.15, 2016. DOI: 10.1590/18069657rbcs20150235

SOUZA, E.F.C.; SORATTO, R.P.; PAGANI, F.A. Nitrogen fertilization and *Rhizobium* inoculation in common bean cultivated after corn intercropped with palisade grass. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.4, p.370-377, 2011. DOI: 10.1590/S0100-204X2011000400005.

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. DOI: 10.1016/j.agee.2016.12.040.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Porto Alegre, Artmed. 6. ed. 858 p., 2017.

VALADÃO, F.C.A.; JAKELAITIS, A.; CONUS, L.A.; BORCHARTT, L.; OLIVEIRA, A.A.; VALADÃO JUNIOR, D.D. Seeds inoculation and nitrogen and molybdenum fertilization of common bean in Rolim de Moura, RO. **Acta Amazonica.** v.39, n.4, p.741-748, 2009. DOI: 10.1590/S0044-59672009000400002.

WINCK, B. R.; VEZZANI, F.M.; DIECKOW, J.; FAVARETTO, N.; MOLIN, R. Carbon and nitrogen in the particle size fractions of soil organic matter in crop systems under no tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.38, n.3, p. 980-989, 2014. DOI: 10.1590/S0100-06832014000300030.

YE, C.; HALL, S.J.; HU, S.; Controls on mineral-associated organic matter formation in a degraded Oxisol. **Geoderma**. v.338, p.383–392, 2019. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.12.011.