

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

LUCYMARA MERQUIDES CONTARDI

**INTERAÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJOEIRO COMUM COM A INOCULAÇÃO DE
RHIZOBIUM TROPICI E *AZOSPIRILLUM BRASILENSE***

Ilha Solteira
2022

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

LUCYMARA MERQUIDES CONTARDI

**INTERAÇÃO DE GENÓTIPOS DE FEIJOEIRO COMUM COM A INOCULAÇÃO DE
RHIZOBIUM TROPICI E *AZOSPIRILLUM BRASILENSE***

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Agronomia. Especialidade: Sistema de Produção

Bruno Ettore Pavan
Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

C759i Contardi, Lucymara Merquides.
Interação de genótipos de feijoeiro comum com a inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense* / Lucymara Merquides Contardi. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022
29 f.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2022

Orientador: Bruno Ettore Pavan
Inclui bibliografia

1. Inoculação. 2. Feijão comum. 3. Genótipos. 4. Variabilidade genética. 6. Coinoculação.


Raiane da Silva Santos

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Interação de genótipos de feijoeiro comum com a coinoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*

AUTORA: LUCYMARA MERQUIDES CONTARDI

ORIENTADOR: BRUNO ETTORE PAVAN

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA, especialidade: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. BRUNO ETTORE PAVAN (Participação Virtual)
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / FEIS / UNESP - Ilha Solteira

Prof. Dr. PABLO FORLAN VARGAS (Participação Virtual)
Departamento de Agronomia / UNESP - Câmpus de Registro/SP

Prof. Dr. MARCO EUSTAQUIO DE SA (Participação Virtual)
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. SEBASTIÃO FERREIRA DE LIMA (Participação Virtual)
Agronomia / Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Profa. Dra. RITA DE CÁSSIA FÉLIX ALVAREZ (Participação Virtual)
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul / Chapadão do Sul/MS

Ilha Solteira, 24 de fevereiro de 2022

DEDICO

Aos meus pais, pelo amor e apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo amparo, força e perseverança recebidos para vencer os obstáculos dessa caminhada.

Aos, meus pais José Luis Contardi e Cicera Merquides Contardi, meus maiores exemplos de luta e superação, por toda ajuda, paciência e amor recebidos durante esses quatro anos.

Ao meu irmão André e minha cunhada por todo suporte no início desse ciclo. Ao meu irmão Douglas e toda sua família, que mesmo longe apoiaram e torceram para a conclusão dessa etapa. A minha tia Nancy e meu tio Luis, por todo amor e compreensão nos momentos de ausência.

Agradeço o meu orientador Bruno Pavan, por todo ensinamento, conversas e paciência no desenvolvimento e conclusão desse trabalho.

Ao Team Melhoramento, que sem essa equipe não seria possível a execução desse trabalho.

Aos amigos que fiz durante esse período, obrigada por estarem comigo nos momentos de alegrias e também nas dificuldades.

Agradeço as instituições Embrapa, IAPAR, Universidade Federal de Lavras e ao professor Orivaldo Arf por contribuir com a doação das sementes e materiais para realização dessa pesquisa.

A Universidade Estadual Paulista - “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, câmpus de Ilha Solteira- SP, agradeço a todos os professores, funcionários da universidade, da fazenda e do pomar, pelos ensinamentos e ajuda durante esse período de estudo e pesquisa.

RESUMO

A interação entre genótipos de feijão e microorganismos fixadores de nitrogênio, é uma alternativa para produção agrícola sustentável. Dessa forma, a pesquisa teve como objetivo verificar o efeito da interação das bactérias *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense* entre diferentes genótipos de feijão sobre caracteres de crescimento, nodulação, componentes de produção e produtividade de grãos de feijão. Os experimentos foram conduzidos no município de Selvíria – MS, nos anos de 2018 e 2019. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com três repetições, em esquema fatorial de 20x3, envolvendo vinte genótipos de feijão comum combinadas com três formas de inoculação (ausência de inoculação, inoculação com *Rhizobium tropici*, coinoculação de *Rhizobium tropici* + *Azospirillum brasilense*). Foram avaliados: altura de plantas; massa seca da parte aérea; diâmetro de caule; inserção da primeira vagem; número de vagens por planta; número de nódulos; massa de nódulos; número de grãos por vagem e produtividade de grãos. Houve interação tripla significativa dos fatores genótipos x anos x inoculação para as variáveis altura de plantas, número de nódulos, massa de nódulos e produtividade de grãos, sugerindo que a inoculação para ser eficiente na fixação biológica de nitrogênio, depende do conjunto de genótipos selecionados combinada com ambientes adequados. As características com maior efeito direto positivo sobre a produtividade de grãos foram número de grãos por vagem e massa de nódulos. Em relação as características de nodulação, observou-se que a seleção por massa de grãos é mais interessante, já que tem efeito direto sobre a produtividade de grãos e número de nódulos tem efeito negativo, sugerindo que é mais vantajoso termos maiores massas de nódulos do que quantidade de nódulos. Os genótipos de feijoeiro respondem de forma diferenciada a inoculação e programas de melhoramento vegetal devem levar em consideração a capacidade simbiótica do cultivar na seleção de genótipos de feijoeiro comum para ambientes tropicais.

Palavras-chave: fixação biológica de nitrogênio; correlação genética; simbiose; coinoculação.

ABSTRACT

The interaction between bean genotypes and nitrogen fixing microorganisms is an alternative for more sustainable agricultural production. Thus, the research aimed to verify the effect of the interaction of the bacteria *Rizhobium tropici* and *Azospirillum brasilense* between different bean genotypes on growth traits, nodulation, production components and bean grain yield. The experiments was conducted in Selvíria, MS, Brazil, in the years 2018 and 2019. The experimental design was a randomized block, with three replications, in a 20x3 factorial design, involving twenty common bean genotypes combined with three forms of inoculation (absence of inoculation, inoculation with *Rhizobium tropici*, coinoculation of *Rhizobium tropici* + *Azospirillum brasilense*). Were evaluated: plant height; shoot dry mass; stem diameter; first pod insertion; number of pods per plant; number of nodes; mass of nodules; number of grains per pod and grain yield. There was a significant triple interaction of the factors genotypes x years x inoculation for the variables plant height, number of nodules, nodule mass and grain yield, suggesting that inoculation to be efficient in biological nitrogen fixation depends on the set of selected genotypes combined with appropriate environments. The traits with the greatest positive direct effect on grain yield were number of grains per pod and nodule mass. Common bean genotypes respond differently to inoculation and plant breeding programs should take into account the symbiotic capacity of the cultivar in the selection of common bean genotypes for tropical environments.

Keywords: biological nitrogen fixation; genetic correlation; symbiosis; co-inoculation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1	A cultura do feijão comum.....	12
2.2	Fixação biológica do nitrogênio.....	14
2.3	A coinoculação.....	16
2.4	Melhoramento genético do feijoeiro para fixação biológica do nitrogênio....	18
3	MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1	Caracterização da área experimental.....	21
3.2	Material biológico e delineamento experimental.....	22
3.3	Condução do experimento e desenvolvimento da cultura.....	23
3.4	Variáveis analisadas.....	24
3.5	Análise estatística.....	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5	CONCLUSÃO	45
6	REFERÊNCIAS	46
	APÊNDICE A – Fotos	55
	APÊNDICE B – Fotos	56
	APÊNDICE C – Fotos	57

1 INTRODUÇÃO

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) é uma planta nodulífera, pertencente à família Fabaceae, que tem capacidade de estabelecer simbiose com determinadas espécies de bactérias da família Rhizobiaceae e assim se beneficiar do nitrogênio atmosférico fixado por este processo biológico (MATOSO; KUSDRA, 2014).

A fixação biológica do nitrogênio pode ser uma alternativa para a diminuição do uso de adubos nitrogenados, desde que a simbiose com rizóbios supra o nitrogênio necessário ao crescimento e desenvolvimento do feijoeiro, mas ainda há descrédito quanto aos benefícios que a inoculação traz, caracterizando aplicação de altas doses de nitrogênio mineral para a cultura (FONSECA *et al.*, 2013).

O processo de nodulação é controlado pela interação entre a leguminosa (planta hospedeira), bactéria simbiote e fatores ambientais (NICOLOSO; SANTOS, 1990; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Aliado a isso, a domesticação e seleção de cultivares visando características desejáveis apenas no aspecto comercial e com uso de adubação nitrogenada sem que se levasse em consideração a capacidade de feijão em se associar com bactérias do gênero *Rhizobium*, provavelmente direcionou a seleção de plantas que respondessem melhor a adubação química, alterando o equilíbrio simbiótico entre a bactéria (rizóbio) e a planta, sendo necessário que se faça uma reavaliação para fixação biológica de nitrogênio das cultivares atuais (HUNGRIA; VARGAS, 2000; MATOSO; KUSDRA, 2014).

Considerando a baixa disponibilidade de cultivares de feijão com potencial simbiótico de maior expressividade, passou-se a utilizar a técnica de coinoculação ou inoculação mista, buscando justamente melhorar o desempenho das cultivares para esse aspecto (GILABEL, 2018).

Deste modo, além dos rizóbios específicos para o grupo das leguminosas, existem outros microrganismos que podem maximizar esse tipo de benefício e que fazem parte do grupo das bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) (SCHOSSLER *et al.*, 2016). Um desses grupos promissores é representado por bactérias associativas capazes de promover o crescimento das plantas por meio de diversos processos, como a produção de hormônios de crescimento e a capacidade de realizar fixação biológica do nitrogênio, destacando-se as pertencentes ao gênero *Azospirillum* (HUNGRIA; NOGUEIRA; ARAÚJO, 2015). Com isso, a inoculação conjunta de *Azospirillum spp.* com *Rhizobium* possibilita resultados positivos nas

variáveis analisadas em feijão comum, devido ao efeito simultâneo de aumento do sistema radicular e maior número de nódulos fixadores de nitrogênio atmosférico, podendo resultar em aumento da produtividade de grãos (GITTI *et al.*, 2012).

Os resultados de pesquisas visando a eficácia da fixação biológica de nitrogênio na cultura do feijão com *R. tropici* ou com a coinoculação de *A. brasilense* são divergentes, tendo resultados promissores, como os encontrados por Felipini *et al.* (2020) onde a aplicação de *A. brasilense* aliado a inoculação de *R. tropici*, teve um efeito aditivo, com aumento da biomassa, peso de mil grãos e rendimento de grãos. Já no trabalho realizado por Veronezi *et al.* (2012) com diferentes estirpes de rizóbios coinoculados com *A. brasilense*, os autores verificaram que a produção de matéria seca e acúmulo de N na parte aérea do feijoeiro não foram alterados pela coinoculação. Pelegrin *et al.* (2009) comparando o feijoeiro com e sem inoculação com diferentes níveis de adubação nitrogenada, constataram que não houve diferença estatística quando comparada a produtividade do tratamento inoculado e adubado com 20 kg ha⁻¹ de N e o tratamento não inoculado com 20 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura.

Dessa forma, a pesquisa teve como objetivo verificar o efeito da interação das bactérias *Rizhobium tropici* e *Azospirillum brasilense* entre diferentes genótipos de feijão sobre caracteres de crescimento, nodulação, componentes de produção e produtividade de grãos de feijão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A CULTURA DO FEIJÃO COMUM

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é originário das Americas, mas a localização exata onde isto ocorreu ainda é controversa (GEPTS; DEBOUCK, 1991). Evidências, nas quais se baseiam as afirmações dessa origem, estão fundamentadas nas descobertas arqueológicas de restos da cultura encontrados no sudoeste dos Estados Unidos (Caverna Tularosa), no México (Vale de Tehuacan) e Peru (Caverna do Guitarrero) (MEDEIROS, 2004).

A espécie é uma planta dicotiledônea, pertencente à família Fabaceae, possui metabolismo C3 e sistema radicular pivotante sendo que maior parte está concentrada na camada 20 a 25 cm de profundidade (GILABEL, 2018). O ciclo do feijoeiro é dividido nas fases vegetativa (V) e reprodutiva (R), que por sua vez são subdivididas em dez etapas ou estádios (V0, V1, V2, V3, V4, R5, R6, R7, R8 e R9) (FERNÁNDEZ; GEPTS; LOPES, 1986).

Os hábitos de crescimento são agrupados e caracterizados em quatro tipos principais: Tipo I – hábito de crescimento determinado, arbustivo e porte da planta ereto; Tipo II – hábito de crescimento indeterminado, arbustivo, porte da planta ereto e caule pouco ramificado; Tipo III – hábito de crescimento indeterminado, prostrado ou semi-prostrado, com ramificação bem desenvolvida e aberta e Tipo IV – hábito de crescimento indeterminado, trepador (FERNANDÉZ; GEPTS, LOPES, 1986).

O cultivo do feijoeiro acontece em três épocas distintas no mesmo ano: A 1ª safra ou “safra das águas” (também chamada de “safra do Sul e Sudeste”) é colhida a partir de novembro até março, com maior intensidade em dezembro. A semeadura geralmente é feita entre agosto e outubro, podendo se estender até novembro e dezembro. A 2ª safra ou “safra da seca” ou “safrinha” (também chamada de “safra do Nordeste e Sudeste”) é colhida entre abril e maio até junho e julho, nesse caso, a semeadura é feita entre janeiro e abril. A 3ª safra também é conhecida como “safra de outono-inverno”, “safra do Sudeste” e “safra irrigada”; tendo a semeadura feita a partir de maio, com a colheita entre agosto a outubro (BARBOSA; GONZAGA, 2012).

De acordo com o levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2021), a produção brasileira na safra para a cultura do feijão no país (safra 2020/2021) ocupou uma área cultivada de 2.907,9 mil hectares somando as três

épocas de produção com produção nacional de 3.136,6 milhões de toneladas com demanda interna de 2.900 milhões de toneladas.

O feijoeiro comum tem grande importância econômica e social, pois é cultivado por pequenos e grandes produtores em todas as regiões brasileiras e em diversos sistemas de produção, podendo apresentar ciclos de 65 a 100 dias, o que o torna uma cultura apropriada para sistemas agrícolas intensivos irrigados, altamente tecnificados, até aqueles com baixo uso tecnológico, principalmente de subsistência (FERREIRA; PELOSO; FARIA, 2002).

Por ser uma planta de ciclo curto e com sistema radicular pouco desenvolvido, o feijoeiro é considerado uma planta exigente em fertilidade e qualidade do solo, com recomendações para correção da acidez do solo a fim de elevar o pH entre 5,8 e 6,2 e aplicação de nitrogênio (N), fósforo (P) e boro (B) na semeadura (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Dentre as exigências nutricionais para a cultura, o destaque é o fornecimento de nitrogênio. Esse nutriente é de suma importância visando a de elevada produtividade, pois o nitrogênio é absorvido em maiores quantidades pela cultura (OLIVEIRA; ARAÚJO; DUTRA, 1996), o que pode por outro lado encarece o custo de produção da cultura em até 8,5% (FERREIRA; SILVA; WANDER, 2020), além dos custos ecológicos, já que as perdas com adubos nitrogenados chegam a 50%, ocasionados pela lixiviação na forma de nitrato, escoamento superficial provocado pelas águas das chuvas e, ou irrigação e também as perdas por forma gasosa, com o nitrogênio retornando para atmosfera via processo de desnitrificação e volatilização (STRALIOTO *et al.*, 2002; PELEGRIN *et al.*, 2009).

Mas, por se tratar de uma leguminosa, o feijoeiro é capaz de realizar a fixação biológica de nitrogênio (FBN) por meio de associações com bactérias do gênero *Rhizobium* entre outras, entretanto, a simbiose do feijoeiro ainda é insuficiente no fornecimento do nitrogênio realizado pela fixação biológica (MALAVOLTA, 1987; BERTOLDO *et al.*, 2015).

A cultura do feijão tem produção variável entre os anos, o que provoca instabilidades no cenário comercial brasileiro, portanto, torna-se necessária a utilização e adaptação dessa cultura em um sistema de cultivo agrícola que vise principalmente à sustentabilidade na produção, como a FBN, para que o interesse e os investimentos na cultura do feijoeiro sejam crescentes, tanto de pesquisadores como de agricultores (GILABEL, 2018).

2.2 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO NITROGÊNIO

A maioria dos ecossistemas naturais e agrários apresentam expressivos ganhos em produtividade após serem fertilizados com nitrogênio inorgânico, comprovando a importância deste elemento (TAIZ; ZEIGER, 2006). Os autores ressaltam também que embora a atmosfera seja constituída por cerca de 78% de nitrogênio molecular (N_2), essa grande quantidade de N_2 não está diretamente disponível para os organismos vivos, pois a utilização do nitrogênio atmosférico requer a quebra de uma estável tripla ligação entre os dois átomos de nitrogênio para produção de amônia (NH_3) ou nitrato (NO_3^-). Segundo Prado (2008), para a nutrição das plantas, a transformação do N_2 atmosférico para as formas assimiláveis, pode ser realizados por três processos: a fixação industrial, a fixação atmosférica e a fixação biológica.

O feijoeiro, é capaz de utilizar o N atmosférico através da associação simbiótica com bactérias do gênero *Rhizobium* entre outras (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Atualmente, o inoculante comercial para o feijoeiro no Brasil é produzido com uma espécie de rizóbio adaptada aos solos tropicais, o *Rhizobium tropici*, que toleram altas temperaturas e altos níveis de acidez do solo e são simbioticamente mais estáveis, apresentando habilidade de nodular leguminosas como o feijoeiro e a leucena (*Leucaena leucocephala*) (MARTINEZ-ROMERO *et al.*, 1991).

O destaque da contribuição da FBN em leguminosas no Brasil é na cultura da soja (*Glycine max* L.), onde chega a contribuir com mais de 80% do N-total via FBN (MARENCO, LOPES, MOSQUIM, 1993). Já o feijoeiro, consegue fixar de 20 a 40% do N que necessita através da FBN (MALAVOLTA, 1987; MENDES; REIS JUNIOR; CUNHA, 2010).

O processo de fixação biológica de nitrogênio é dividido em várias etapas: multiplicação do rizóbio no solo e na rizosfera da planta, emissão de sinais quimiotáticos entre o microssimbionte e o hospedeiro, reconhecimento do hospedeiro, formação do cordão de infecção, desenvolvimento do nódulo, fixação do nitrogênio e remoção da NH_3 fixada (HUNGRIA; VARGAS; 2000).

O rizóbio, neste sistema de simbiose, utiliza os carboidratos provenientes da fotossíntese da planta hospedeira para sua manutenção e para promover o processo de FBN e, por outro lado a planta se beneficia do nitrogênio fixado pela bactéria (STRALIOTTO; TEIXEIRA, 2000).

No feijoeiro, as cultivares melhoradas foram selecionadas na presença de fertilizantes nitrogenados, o que pode ter colaborado na redução da eficiência da FBN (PEREIRA, 1982). Contudo, alguns autores evidenciaram que menores doses de fertilizantes nitrogenados (5 até 40 kg de N ha⁻¹) aplicados no feijoeiro não causou inibição da nodulação e ainda a presença do fertilizante fez aumentar a eficiência simbiótica (BRITO; MURAOKA; SILVA, 2011; BARROS *et al.*, 2013). De acordo com Barbosa e Gonzaga (2012) resultados obtidos em regiões de cultivo de feijão tem demonstrado que onde o feijoeiro é cultivado com aplicação de fertilizante nitrogenado na semeadura ou cobertura, em qualquer estágio de desenvolvimento da planta, a nodulação e eficiência da FBN foram reduzidas, no entanto, o uso de 20 a 30 kg ha⁻¹ de N, geralmente, não compromete a FBN.

Dessa forma, as condições de seleção para incremento em características da FBN devem ser aquelas que permitam discriminar linhagens com alto ou baixo potencial de fixação e os experimentos devem ser conduzidos sem aplicação excessiva ou então ausência de fertilizante mineral nitrogenado (STRALIOTTO; TEIXEIRA, 2000)

Pode-se citar fatores biológicos, químicos e físicos que também podem interferir na simbiose entre as bactérias e a planta, dentre eles: umidade, acidez do solo, efeito de toxicidade de fungicidas e inseticidas aplicados às sementes, deficiência de nutrientes como fósforo e molibdênio e elementos tóxicos, além das características da espécie hospedeira (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2007; DIAS, 2017).

Além disso, o feijoeiro comum, apresenta dificuldade no estabelecimento de estirpes de bactérias fixadoras de N eficientes no solo, devido à alta promiscuidade com bacterias nativas que interagem diferencialmente com os diversos cultivares utilizados, acarretando em variabilidade de respostas à inoculação, constituindo um fator limitante a FBN (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Foi observado que em áreas com cultivos prévios de feijoeiro ocorre o estabelecimento de uma população nativa de rizóbio capaz de competir com as estirpes introduzidas pelo inoculante comercial, reduzindo as respostas à inoculação,

já em áreas com baixa população nativa de rizóbio no solo, a inoculação de estirpes eficientes de rizóbio pode resultar em aumentos significativos na nodulação, no crescimento e no rendimento de grãos de feijão (BRITO *et al.*, 2015).

As respostas são diferenciadas e em termos de produtividade do feijoeiro com a inoculação, demonstra variabilidade no potencial de fixação do nitrogênio entre diferentes cultivares de feijão (PERES *et al.*, 1994). Para Romanini Júnior *et al.* (2007) encontraram resultados que mostram incremento superior a 17% na produtividade de grãos de feijoeiro inoculado no inverno em sistema de plantio direto. Já por outro lado, Souza, Soratto e Pagani (2011) utilizando a cultivar IAC Alvorada inoculadas na semente com *R. tropici*, em dois anos de experimentos, não verificaram influência da inoculação sobre a produtividade de grãos do feijoeiro em relação à testemunha sem inoculação.

Tendo-se em vista que a técnica de inoculação com rizóbios, por si só, ainda não garante o fornecimento necessário de N ao feijão, estudar alternativas que aumentam a eficiência da FBN, incrementando a produtividade e reduzindo o impacto ambiental da cultura são bem vindas aos agricultores de feijão, sobretudo aquelas em que o custo e os possíveis impactos ambientais sejam reduzidos (BERTOLDO *et al.*, 2015).

2.3 A COINOCULAÇÃO

Além dos rizóbios específicos para o grupo das leguminosas, existem outros microrganismos que podem maximizar a fixação biológica do nitrogênio, que são os microrganismos que fazem parte do grupo das bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) (SCHOSSLER *et al.*, 2016).

A inoculação mista de leguminosas com bactérias simbióticas e associativas, produzem um efeito sinérgico, que superam os resultados produtivos obtidos com os mesmos, quando utilizados na forma isolada (BÁRBARO *et al.*, 2008).

As bactérias do gênero *Azospirillum* são conhecidas pela sua capacidade de produzir hormônios de crescimento, o ácido indol-3-acético (AIA), sintetizado por essas bactérias, atua no alongamento celular e promove na planta, o desenvolvimento de raízes e parte aérea, melhorando o desempenho da cultura (BASHAN; HOLGUIN, 1997).

Na literatura existem muitos relatos dos efeitos benéficos quando utilizam a espécie de *Azospirillum brasilense* juntamente com *R. tropici*. A técnica de aplicação de *A. brasilense*, em semente ou por pulverização foliar junto com a inoculação das sementes de *R. tropici*, teve efeito aditivo, aumentando a biomassa da parte aérea, peso de mil grãos e rendimento de grãos comparado com a testemunha, sem inoculação e nem pulverização foliar de *Azospirillum brasilense* (FELIPINI *et al.*, 2020).

A coinoculação também é capaz de aumentar o número de nódulos em comparação a inoculação isolada de *R. tropici* (VERONESI *et al.*, 2012; SOUZA; FERREIRA, 2017).

Os resultados positivos no cultivo de feijão de verão/outono relatam que a inoculação com *R. tropici* aumentou o rendimento do feijão em média 346 kg ha⁻¹ (19,9%), enquanto que a co-inoculação de *R. tropici* combinado com *A. brasilense* resultou em aumento do rendimento de grãos de 462 kg ha⁻¹ (26,6%) em relação as plantas não inoculadas. No entanto, na época de primavera/ verão, para o rendimento dos grãos não houve diferença significativa entre as inoculações e não inoculação com as rizobactérias (STEINER; FERREIRA; ZUFFO, 2019).

Em um trabalho onde foram analisados a média de sete experimentos de campo, foi verificado que a coinoculação do feijão comum com duas doses por hectare de *R. tropici* e três doses por hectare de *A. brasilense* pulverizado nas plantas promoveu um aumento de cerca de 9%, 25%, 35% e 31% em número de nódulos, massa seca de nódulos, massa seca da raiz e massa seca da parte aérea, respectivamente, em comparação à inoculação única de *R. tropici* (SOUZA; FERREIRA, 2017).

No trabalho de Remans *et al.* (2008), utilizando dois genótipos de feijão comum (BAT 477 e DOR 364) houve uma variação nas respostas à coinoculação de Rhizobium e Azospirillum, sendo que a coinoculação para o genótipo DOR 364 aumentou a quantidade de N fixado e o rendimento de grãos em relação a inoculação somente de Rhizobium, já para o genótipo BAT477, os autores observaram efeito contrario, a coinoculação causou um efeito negativo na produção de grãos e fixação de nitrogênio. Esse autores destacam a importância da interação genótipo e inoculação na agricultura.

Neste contexto, para a cultura do feijoeiro, são demandadas uso de técnicas de baixo custo econômico e o uso de sistemas de manejo conservacionistas, capazes

de promover elevadas produtividades e manter a sustentabilidade ambiental, com foco na segurança alimentar, beneficiando todos os produtores de feijão (VERONEZI *et al.*, 2012).

2.4 O MELHORAMENTO GENÉTICO DO FEIJOEIRO PARA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO

O melhoramento de plantas engloba todas as técnicas, métodos, estratégias e os recursos utilizados para que algum progresso seja incorporado a uma espécie vegetal, de forma que esse progresso esteja relacionado com a melhora do conteúdo genético da espécie trabalhada, com estreita relação com o ambiente em que esta espécie será cultivada (BORÉM, 1997; AMABILE; VILELA; PEIXOTO, 2018).

De forma bastante simplificada, o melhoramento genético vegetal pode ser definido como a arte e a ciência de modificar plantas ou seu desempenho em benefício da humanidade (POEHLMAN; SLEPER, 1995).

Grande parte dos objetivos dos programas de melhoramento do feijoeiro consiste na obtenção de cultivares com alta produtividade, resistentes às principais pragas e doenças e com características das sementes aceitáveis no mercado consumidor (RAMALHO; SANTOS, 1982). Outros objetivos podem ser citados, mas que no geral ficam em segundo plano de importância, como a busca por cultivares resistentes a seca e mais apropriados à colheita mecanizada, qualidade de grãos (comercial, culinária e nutritiva) e a fixação simbiótica do nitrogênio (BORÉM, 2005).

O melhoramento do feijoeiro no Brasil e no resto do mundo não considerou a capacidade desta planta de fixar o nitrogênio. Os estudos com a FBN não estiveram associadas ao melhoramento genético desde o princípio como aconteceu na soja, onde no início da implantação da cultura no país, a FBN esteve associada ao melhoramento genético (DÖBBEREINER; DUQUE, 1980; BERTOLDO *et al.*, 2015; HUNGRIA; MENDES, 2015)

Vários parâmetros tem sido utilizados como indicadores da fixação biológica de nitrogênio, com seleção de genótipos bem adaptados e com maior capacidade de nodulação (PEREIRA *et al.*, 1993).

Para Herridge e Danso (1995) o número de nódulos como característica para seleção de genótipos com maior eficiência simbiótica, assim como a nodulação precoce e aumento na matéria seca ou tamanho dos nódulos são utilizados como

indicadores de eficiência na FBN. Os autores ainda destacam que quando a nodulação é usada como principal critério de seleção, o progresso é limitado, sugerindo que os parâmetros mais adequados sejam a fixação de nitrogênio, medida como nitrogênio total da planta ou da semente, sob condições de baixa disponibilidade de nitrogênio, sendo as variáveis obtidas através da nodulação, como número e peso de nódulos, servem apenas para confirmar a ocorrência da nodulação.

Parâmetros como a velocidade de nodulação, eficiência na iniciação nodular e desenvolvimento precoce dos nódulos e plantas, mostraram diferenças entre as cultivares, no entanto são de difícil avaliação e mostram pouca utilidade em programas de melhoramento (STRALIOTTO; TEIXEIRA, 2000). Resultados encontrados por Farid *et al.* (2017), mostraram que a seleção de melhores plantas fixadoras de nitrogênio atmosférico não condiz com maiores produtividades.

Portanto, é importante que os programas de melhoramento também tenham conhecimento das correlações entre os caracteres, principalmente quando deseja-se reunir em um mesmo genótipo, fenótipos desejáveis de várias características (SILVA, 2009). Além disso, é fundamental o conhecimento das influências de um caráter sobre o outro, principalmente quando a seleção de um deles apresenta dificuldades, devido a baixa herdabilidade ou problemas de medição e identificação (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

A fixação simbiótica de nitrogênio é uma característica de herança quantitativa (GRAHAM, 1981), e os métodos de melhoramento a serem empregados devem enfatizar a seleção entre diferentes famílias em diferentes condições (anos e ambientes) (PEREIRA; BRAIDOTTI, 2001).

O processo tradicional de investigar as interações Genótipo x Ambiente é a análise de variância conjunta. Por meio dessa análise, a magnitude das interações é avaliada pela variância dos efeitos de genótipos x locais; genótipos x anos; genótipos x anos x locais, entre outros (REGAZZE *et al.*, 1999).

Aliado a isso, o melhoramento genético utiliza diversas técnicas e ferramentas que ajudam a elucidar que decisões devem ser tomadas para se alcançar o objetivo proposto de estudar e de avaliar as variabilidades inerentes a interação genótipo x ambiente. A estatística é uma dessas ferramentas, sendo as técnicas multivariadas como: análise de agrupamento, análise de componentes principais e análise por variáveis canônicas muito utilizadas para o estudo da divergência genética (AMABILI; VILELA; PEIXOTO, 2018).

A gama de técnicas estatísticas disponíveis, permite ao geneticista e ao melhorista utilizar essas ferramentas como aliada na construção de conhecimento, tornando-se fundamental uma ferramenta fundamental para orientar a sua tomada de decisão (AMABILI; VILELA; PEIXOTO, 2018). Considerando que o ideótipo de feijoeiro comum moderno é aquele que alia alta produtividade com técnicas sustentáveis de produção, como o uso mínimo de fertilizantes nitrogenados, alta estabilidade na capacidade de nodulação e eficiência na fixação biológica de nitrogênio, mesmo em ambientes desfavoráveis, torna-se de grande relevância o conhecimento de técnicas que possam auxiliar a obtenção genótipos que atenda a um sistema cada vez mais sustentável.

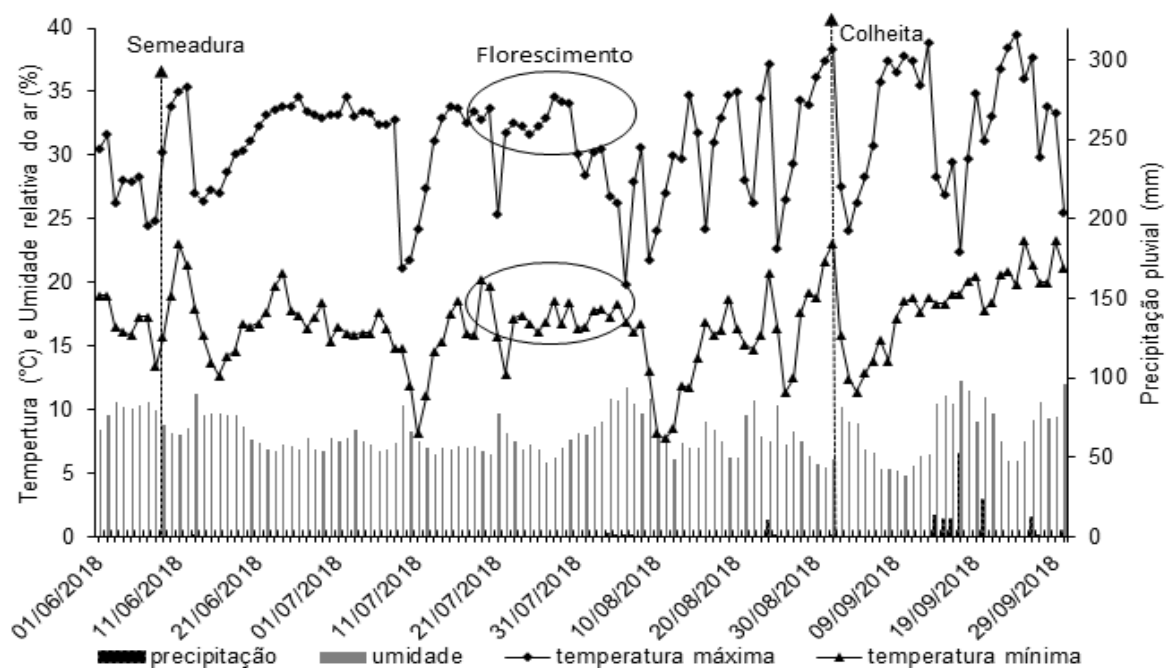
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Os experimentos foram instalados no campo, no período de inverno, em 09/06/2018 e 14/06/2019, na área experimental pertencente à Faculdade de Engenharia – UNESP, Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria - MS (51° 22' de longitude O; 20° 22' de Latitude S e 335 m de altitude). O clima da região é, Aw Segundo Köppen (tropical úmido com estação chuvosa no verão e inverno seco (ALVARES *et al.*, 2013). Os dados de precipitação, temperatura mínima e máxima do ar foram coletados durante a condução do experimento (Figura 1 e 2).

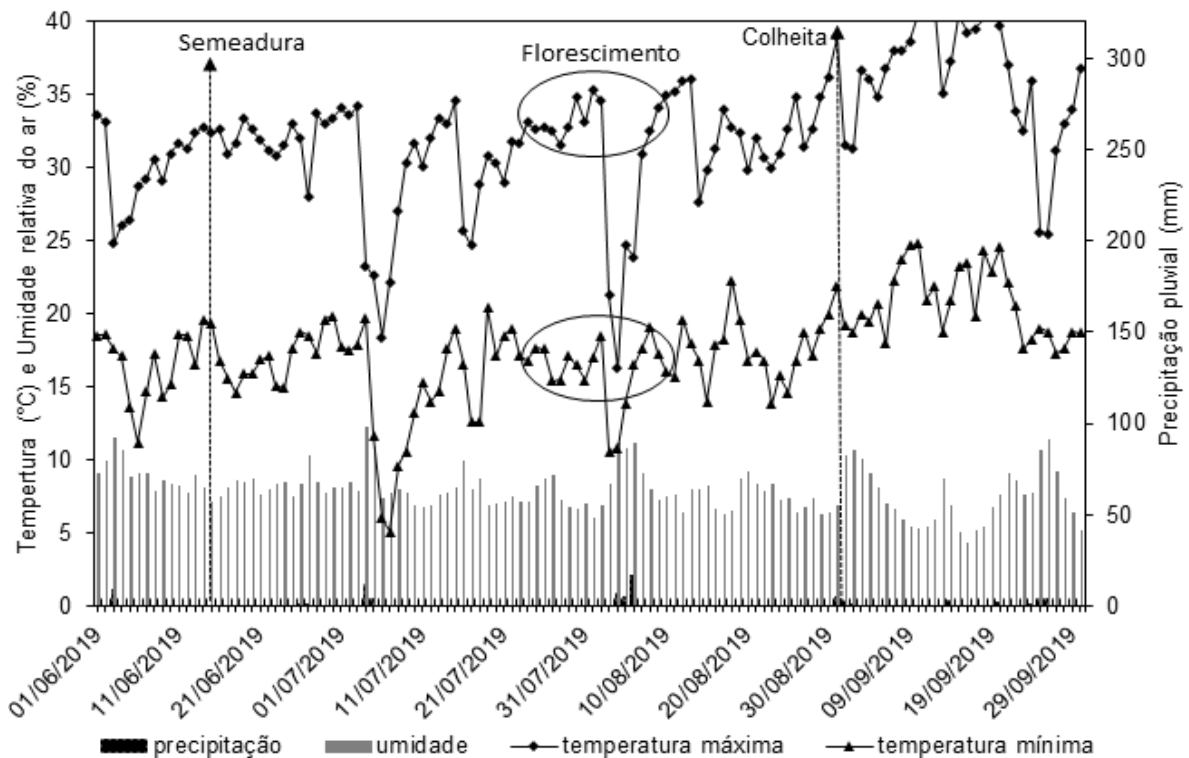
O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico de textura argilosa (SANTOS *et al.*, 2018). Antes da instalação dos experimentos, foram coletadas amostras de solo da área experimental e realizada a análise química, de acordo com a metodologia de Raij *et al.* (2001) (Tabela 1). A análise de solo foi utilizada para os dois anos de semadura, pois as áreas estavam em pousio.

Figura 1. Variação diária da precipitação, temperatura mínima e máxima do ar, durante o cultivo do feijão de inverno, Ilha Solteira-SP, 2018.



Fonte: elaboração da própria autora.

Figura 2. Variação diária da precipitação, temperatura mínima e máxima do ar, durante o cultivo do feijão de inverno, Ilha Solteira-SP, 2019.



Fonte: elaboração da própria autora.

Tabela 1. Atributos químicos do solo na profundidade de 0 - 0, 20m. Selvíria-MS, 2018/2019.

Ano	P resina mg dm ⁻³	M.O g dm ⁻³	pH CaCl ²	K Ca Mg H+Al CTC V					
				mmolcdm ⁻³					(%)
2018/20019	23	20	5.0	2.3	20	17	34	73.3	54

Fonte: Elaboração da própria autora.

3.2 MATERIAL BIOLÓGICO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os 20 genótipos avaliados nos experiemtnos, sendo quatro linhagens endogâmicas e 16 cultivares de feijão, pertencentes a 5 programas de melhoramento nacionais da cultura (Tabela 2). Dentre os materiais analisados foram utilizados cultivares recentes e antigos de forma que possam representar a variabilidade genética dos principais programas de melhoramento do país para *Phaseolus vulgaris*. Da mesma forma, excetuando o programa próprio, foram obtidos cultivares dos programas mais conceituados e tradicionais da cultura.

Tabela 2. Relação dos genótipos de feijão carioca que foram testadas no experimento. Ilha Solteira-SP, 2018/2019.

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

Nota: ¹Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de IlhaSolteira; ²Universidade Federal de Lavras; ³Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; ⁴Instituto Agrônômico do Paraná; ⁵Instituto Agrônômico de Campinas.

Fonte: elaboração da própria autora.

Para as inoculação das sementes de feijão foram utilizadas inoculante de estirpes comerciais de *Rhizobium tropici* SEMIA 4088 com concentração mínimo de 1×10^9 UFC/mL e na coinoculação foi acrescentado às sementes o inoculante a base de *Azospirillum brasilense*, estirpes Ab-V5 e Ab-V6 com concentração de 2×10^8 UFC/mL.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições, em esquema fatorial 20x3, constituído pela combinação de vinte genótipos de feijão comum (Tabela 2) e três formas de inoculação (ausência de inoculação, inoculação com *Rhizobium tropici*, co-inoculação de *Rhizobium tropici* + *Azospirillum brasilense*).

As parcelas foram constituídas de quatro linhas de 4,0 m de comprimento com espaçamento entre linhas de 0,5 m sendo consideradas úteis as duas linhas centrais, desprezando-se 0,5 m das extremidades.

3.3 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA CULTURA

A adubação de semeadura foi realizada nos dois anos de experimento, de acordo com a análise de solo (Tabela 1), sendo aplicados 10 kg N ha^{-1} , $40 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ e $30 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$. A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada em todos os tratamentos na recomendação mínima para cultura de 20 kg de nitrogênio por hectare, nos dois anos de experimentos.

As sementes foram tratadas no dia anterior a instalação dos experimentos, utilizando o produto piraclostrobina, tiofanato metílico e fipronil na dose de 200ml p.c para 100 kg de sementes. As inoculações com as bactérias foram feitas via inoculante líquido diretamente nas sementes, no dia da semeadura, na dose de 100 ml ha⁻¹.

A semeadura foi realizada com auxílio de semeadora manual com distribuição de sementes visando obter de 10–12 plantas por metro. Para evitar contaminações dos tratamentos, primeiro foram semeados todos os tratamentos sem inoculações, em seguida os tratamentos com *R. tropic* e por último os tratamentos coinoculados com *A. brasillense*. A irrigação fornecida no período do experimento, quando necessária, foi realizada por sistema de pivô central, seguindo as recomendações para a cultura.

O controle de plantas daninhas foi realizado em pós-emergência com os herbicidas fomesafen (250 g ha⁻¹ do i.a.) e fenoxaprope-p-etílico (77 g ha⁻¹ do i.a.) para o controle de plantas de folhas largas e estreitas, respectivamente. Não foi efetuado qualquer controle químico para doenças e pragas durante a condução do experimento

3.4 VARIÁVEIS AVALIADAS

Foram avaliadas as variáveis de respostas de inoculação obtidas em três plantas por parcela no estágio R7: massa seca da parte aérea (MSPA): foram coletadas 3 plantas por parcela e colocados em estufa de ventilação forçada à temperatura média de 60-70 °C, até atingir massa constante; número de nódulos (NN) e massa de nódulos (MN): Foram coletados os sistemas radiculares de três plantas em sequência por parcela, com o auxílio de uma pá reta, os nódulos depois de contados foram colocados estufa com ventilação forçada a 60°C até atingir massa constante.

Para as variáveis de componentes de produção e arquitetura de planta coletadas de 6 plantas da área útil de cada parcela, mensurou-se: altura de inserção de primeira vagem (IPV): medindo as plantas de cada parcela a partir da cicatriz cotiledonar até a inserção da primeira vagem; diâmetro do caule (DC): com auxílio de um paquímetro foram medidas plantas no ponto da cicatriz cotiledonar; altura total da planta (ATP): comprimento da base da planta até o final da guia com auxílio de uma trena milimétrica; número de vagens por planta (NVP): obtido pela contagem do número de vagens por planta; número de grãos por planta (NGP):

contagem do número de grãos por planta, utilizados posteriormente para o cálculo de número de grãos por vagem; número de grãos por vagens (NGV): relação entre o número de grãos/número de vagens; massa de 100 grãos (M100G), foi determinada pela avaliação de uma amostra de 100 grãos por parcela, tendo sua massa corrigida para a base úmida de 13%; Produtividade de grãos (PROD), obtidas considerando-se todas as plantas da área útil da parcela ajustando-se os dados para 13% de umidade.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

De posse dos dados efetuou-se teste de normalidade dos dados e aqueles que não atenderam as condições foram transformados por $\sqrt{x + 0,5}$, sendo as variáveis: NN, MN e PROD transformadas, mantendo-se as médias reais nas tabelas de resultados. Tais procedimentos foram efetuados pelo programa SAS (SAS, 1999).

Posteriormente ao atendimento da normalidade procedeu-se análise de variância conjunta considerando os genótipos e anos como aleatórios e as inoculações como efeitos fixos. O teste de médias utilizados para interação GxA foi o Scott-Knott adotando-se o nível de significância de 5% de probabilidade (valor de $p = 0,05$), utilizando o programa estatístico GENES (CRUZ, 2013; 2016).

Foi realizado análise das variáveis canônicas para estudar a inter relação entre as variáveis e os tratamentos, no desdobramento de interações triplas (GxAxI) utilizando o software Rbio (BHERING, 2017).

Para estimativas da correlação genética, foi utilizado o programa GENES (CRUZ, 2013; 2016) e para aferir a magnitude do coeficiente de correlação foi utilizado a classificação de acordo com o critério proposto por Carvalho *et al.* (2002): nula = 0; fraca = 0,1 a 0,30; média = 0,31 a 0,60; forte = 0,61 a 0,90; muito forte = 0,91 a 1.

Na análise de trilha, foram considerandos os caracteres de produção total como chave e os demais como secundários, utilizando-se o programa estatístico GENES. Todavia, anteriormente à análise de trilha, foi efetuado o diagnóstico de multicolinearidade conforme critério de Montgomery, Peck e Vining (2006), visando a eliminar caracteres que possam resultar em coeficientes viesados na análise de trilha. Devido à presença de multicolinearidade de moderada a forte, foi realizada a análise de trilha com colinearidade, no valor $k=0,05$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de variância conjunta, observaram-se efeitos significativos para os fatores genótipos (G), anos (A) e interação genótipos x anos x inoculação (GxAxI) (valor de $p < 0,01$) para os caracteres de crescimento, nodulação e produção de feijão (Tabela 3).

O fator de variação Genótipos (G), foi significativo para seis dos 10 caracteres avaliados (Tabela 3). Esse resultado era esperado uma vez que tais genótipos provieram de diferentes programas de melhoramento genético vegetal.

Efeitos significativos dos genótipos na cultura do feijoeiro são comumente encontrados na literatura (PEREIRA *et al.*, 2009; MOURA *et al.*, 2013; SANTIS *et al.*, 2019). E a variabilidade genética do feijoeiro é muito importante pois é a base de um programa de melhoramento genético, visto que, quanto maior a variabilidade genética disponível para os cruzamentos visando o melhoramento da cultivar, maior o número de características que podem ser combinadas (STRALIOTTO; TEIXEIRA, 2000).

Da mesma forma o fator de variação Anos (A), foi significativo para seis caracteres. Ribeiro, Domingues e Zemolin (2014) também encontraram efeitos significativos para linhagens e anos, pois as condições edafoclimáticas não foram constantes nos anos agrícolas, assim como épocas de semeadura e locais de cultivos.

Esse resultado evidencia que genótipos e anos causam variação diferenciada nos caracteres.

Já a interação G x A (Tabela 3) foi significativa na maioria dos caracteres, com exceção de NGV e IPV, que apesar de serem significativos nos fatores sozinhos não causaram interação G x A, ou seja, esses caracteres não se alteram em seu comportamento fenotípico conforme o ambiente.

Resultados de interação entre genótipos e anos foram encontrados por Moura *et al.* (2013) onde trinta e seis linhagens de feijão foram avaliadas e vinte e três caracteres mensurados, relacionados à arquitetura de plantas e à produtividade de grãos. Os autores constataram que na análise de variância conjunta, os ambientes (anos de avaliação), teve efeito significativo para maioria dos caracteres avaliados, já a interação genótipo x ambiente apresentou efeito significativo para 21 caracteres avaliados. Fernandes, Guerra e Araújo (2005), analisando cultivares de feijoeiro-comum inoculadas com *R. tropice* em sistema orgânico de produção também

obtiveram efeitos significativos na interações entre anos e cultivares quanto às variáveis produção de grãos, número de grãos por vagem e massa de 100 grãos.

Sabe-se que a constituição genética de um indivíduo não muda de um ambiente para o outro, a não ser que esse ambiente induza alguma mutação, então qualquer alteração no fenótipo para um dado genótipo, pode ser atribuída a efeitos ambientais (SQUILASSI, 2003). Para o feijoeiro comum, o interessante é encontrar genótipos que apresentem a menor interação GxA possível e, para isso é necessário testar a interação, avaliando os genótipos em diferentes ambientes (DIAS, 2017). Pois o efeito da interação GxA pode dificultar a recomendação de genótipos, mesmo quando os genótipos apresentam características promissoras, pois proporciona alteração no desempenho relativo dos genótipos em virtude da diferença de ambiente trazendo a necessidade de realizar avaliações em um número maior de ambientes, tornando a seleção e recomendação do genótipo mais lenta e onerosa (CARVALHO *et al.*, 2002).

O fator Inoculação (I) não foi significativo para nenhuma variável analisada (Tabela 3), evidenciando que somente as inoculações não foram suficientes para fazer diferença nos caracteres avaliados. Na literatura são encontrados resultados onde o fator inoculação também não foi significativo para alguns caracteres como: altura de plantas (MORAES *et al.*, 2010), matéria seca da parte aérea e massa de nódulos (VERONEZI *et al.*, 2012), massa de mil grãos (FELIPINI *et al.*, 2020), número de vagens por planta e número de grãos por vagem (BARBOSA *et al.*, 2020), produtividade de grãos (PERES *et al.*, 2016).

Porém esse fator teve interações triplas significativas para os caracteres AP, NN, MN e PHA, sugerindo que a inoculação pode ser uma importante forma de aumentar a eficiência da fixação de nitrogênio desde que combinada com ambientes adequados e com genótipos responsivos, sugerindo então que a inoculação para ser eficiente depende do conjunto de genótipos selecionados para eficácia da FBN.

Um bom entendimento da interação genótipo em diferentes ambientes auxiliam em predições mais precisas sobre as respostas à seleção com espécies com habitats heterogêneos, tanto espacial quanto temporal, contribuindo dessa forma para o aproveitamento de efeitos benéficos ou então na busca por alternativas de efeitos indesejáveis sobre a avaliação de genótipos e recomendação de cultivares (SQUILASSE, 2003).

Tabela 3. Resumo das análises de variância e estimação de parâmetros genéticos para os caracteres avaliados. Selvíria-MS 2018 e 2019.

F.V.	G.L.	Quadrados médios				
		AP ¹ (cm)	MSPA ² (g)	DC ³ (mm)	IPV ⁴ (cm)	NVP ⁵ (un)
Genótipos (G)	19	193,79*	532,86*	3,03	38,35**	43,20
Anos (A)	1	66,13	280,19	2,93	424,7**	2469,8**
Inoculação (I)	2	1,03	12,12	2,42	4,27	32,18
G x A	19	83,22**	230,72*	1,58**	12,17	47,66**
G x I	38	23,00	186,15	0,54	9,74	13,17
A x I	2	8,80	86,11	1,77	8,91	33,14
G x A x I	38	45,88*	110,66	0,48	10,31	12,70
Resíduo	236	27,05	121,66	0,52	7,65	11,43
Média		31,87	24,78	4,60	14,06	10,27
C.V.(100%)		16,31	21,41	15,66	19,66	14,98

F.V.	G.L.	Quadrados médios				
		NN ⁶ (un)	MN ⁷ (mg)	NGV ⁸ (un)	M100G ⁹ (g)	PHA ¹⁰ (t ha ⁻¹)
Genótipos(G)	19	11,77	45,71*	2,86**	77,82**	0,12
Anos (A)	1	27,62	139,29*	44,29**	1521,8**	33,97**
Inoculação (I)	2	5,26	15,41	1,18	16,73	0,00
G x A	19	6,55**	16,44**	0,73	11,64*	0,08**
G x I	38	10,59*	40,89	0,81	7,78	0,06
A x I	2	3,58	19,24	0,49	4,78	0,03
G x A x I	38	5,88**	2565**	0,62	8,75	0,07**
Resíduo	236	0,37	3,29	0,69	6,98	0,02
Média		15	49,7	3,75	22,02	1,37
C.V.(100%)		17,06	29,83	22,23	11,99	12,17

Nota: ¹ AP: Altura de Planta; ² MSPA: Massa seca da parte aérea; ³ DC: Diâmetro do caule; ⁴ IPV: Inserção de primeira vagem; ⁵ NVP: Número de vagens por planta; ⁶ NN: Número de nódulos; ⁷ MN: Massa de nódulos; ⁸ NGV: Número de grãos por vagens; ⁹ M100G: Massa de cem grãos; ¹⁰ PHA: Produtividade de grãos. ** e * Significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; C.V.: coeficiente de variação;
Fonte: Dados da própria autora.

No desdobramento da interação GxA, a variável MSPA foi significativa no quadro da análise de variância (Tabela 3), mas não foi constatado diferença estatística no teste de médias (Tabela 4). Embora estatisticamente não houve diferença entre as cultivares para a variável MSPA, observa que algumas cultivares aumentaram a MSPA no ano de 2019, também constata-se que no ano de 2019 a média geral foi maior para essa variável.

Para a variável DC (Tabela 4), entre os anos, dos 20 genótipos avaliados, nove não apresentaram modificação no diâmetro do caule entre as safras, sendo os genótipos Ling 03, Ling 06, Ling 13, Esal 1, BRSMG Uai, BRS Notável, Pérola, IPR Campos Gerais. Nove genótipos aumentaram de diâmetro de caule no ano de 2019, e os genótipos IPR Tangará e Milênio ficaram com menores médias nesse ano.

Embora a média geral do DC tenha sido menor no ano de 2019, é difícil achar um padrão que explique esse comportamento, pois as cultivares se comportaram de maneira distinta entre os anos. Como observado, nove cultivares aumentaram o DC no ano de 2019 em relação a 2018, duas cultivares tiveram DC menor em 2019 e nove cultivares mantiveram seus DC independente do ano.

No ano de 2018, os genótipos BRSMG Majestoso (4,79 mm) teve maior DC, não deferindo significamente dos genótipos Ling 03, Ling 06, Ling 13, Esal 1, BRS Estilo, IPR 81, Milênio e Alvorada e o menor DC foi obtido pela cultivar Ling 08 (1,91mm) não deferindo do restante das cultivares. Já no ano de 2019, o maior DC também foi obtido pelo genótipo BRSMG Majestoso (6,04 mm) não deferindo estatisticamente dos genótipos Carioca MG, BRS Estilo e Alvorada. Em trabalho realizado por SULZBACHER *et al.* (2017), cujo objetivo foi avaliar a divergência genética entre 21 genótipos de feijão, obtiveram variação de diâmetro de caule entre 0,77 a 0,93 cm e dentre as cultivares que apresentaram maiores diâmetros de caule estavam a BRSMG Majestoso, BRS Estilo, Pérola, IPR Tangará entre outras.

O diâmetro do caule é uma característica importante para a arquitetura do feijoeiro, visto que caules espessos e rígidos podem evitar o acamamento da planta (VALE *et al.*, 2012) porém é de pouca relevância para identificação de diversidades genéticas já que o comportamento diferenciado da variável DC entre as cultivares dentro do mesmo ano é esperada.

Tabela 4. Desdobramento da interação Genótipo x Anos referente a massa seca da parte aérea (MSPA) e diâmetro do caule (DC) de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*). Selvíria- MS, 2018/2019.

Genótipos	MSPA (g)		DC (mm)	
	2018	2019	2018	2019
1. Ling 03	20,73 Aa	22,74 Aa	4,07 Aa	3,26 Ac
2. Ling 06	23,67 Aa	23,01 Aa	3,40 Aa	3,07 Ac
3. Ling 08	20,89 Aa	21,74 Aa	1,91 Bb	3,64 Ac
4. Ling 13	16,31 Aa	25,22 Aa	4,35 Aa	4,18 Ab
5. Carioca MG	18,00 Aa	32,36 Aa	3,28 Bb	5,66 Aa
6. Esal 1	19,11 Aa	19,31 Aa	3,56 Aa	4,54 Ab
7. BRSMG Majestoso	25,27 Aa	25,15 Aa	4,79 Ba	6,04 Aa
8. BRSMG Uai	23,66 Aa	19,62 Aa	2,44 Ab	2,42 Ad
9. BRS Cometa	30,78 Aa	25,27 Aa	2,97 Bb	4,20 Ab
10. BRS Estilo	37,11 Aa	24,45 Aa	4,06 Ba	5,28 Aa
11. BRS Notável	20,44 Aa	24,28 Aa	3,25 Ab	2,29 Ad
12. Pérola	16,70 Aa	17,54 Aa	3,06 Ab	2,80 Ac
13. IPR 81	34,00 Aa	24,87 Aa	3,49 Aa	3,11 Ac
14. IPR Campos Gerais	17,89 Aa	15,55 Aa	2,73 Ab	3,68 Ac
15. IPR Sabiá	21,44 Aa	22,76 Aa	3,05 Bb	4,78 Ab
16. IPR Tangará	21,56 Aa	35,05 Aa	2,97 Ab	1,65 Bd
17. Imperador	25,78 Aa	28,59 Aa	3,05 Bb	4,43 Ab
18. Sintonia	36,00 Aa	39,91 Aa	2,25 Bb	4,17 Ab
19. Milênio	22,22 Aa	24,53 Aa	3,85 Aa	2,35 Bd
20. Alvorada	26,44 Aa	41,35 Aa	3,49 Ba	5,54 Aa
Média	23,90	25,66	4,70	4,52

Fonte: Dados da própria autora.

Para a variável NVP (Tabela 5) os genótipos Ling 03, Ling 06, Ling 13, Carioca MG, Esal 1, BRSMG Majestoso, BRSMG Uai, IPR Tangará, Milênio e Alvorada não tiveram variação estatística na quantidade de vagens por planta entre os anos. Os outros dez genótipos se diferenciaram estatisticamente, reduzindo do NVP no ano de 2019 em relação a 2018. É possível observar que de todos os do programa de melhoramento, os genótipos do programa de Lavras- MG, não tiveram diferença

estatística para essa variável entre as safras. Já os genótipos pertencentes ao programa da Embrapa, todos tiveram as médias reduzidas no ano de 2019.

No ano de 2018, o genótipo Sintonia (19 vagens) obteve maior NVP, não diferindo significativamente dos genótipos BRS Cometa, BRS Estilo, IPR 81, Imperador. No ano de 2019, não houve diferença estatística para variável NVP, sendo o Carioca MG, obteve maior número de vagens (11). A média geral do número de vagens por planta caiu de 13 para 8 vagens por planta no ano 2018 e 2019, respectivamente. O que pode ter ocorrido segundo Didonet e Vitória (2006), é que geralmente as primeiras flores ao se transformarem em vagens exercem dominância em relação às demais estruturas reprodutivas, ocasionando o abortamento das flores tardias, mas o estresse térmico provoca maior abortamento das vagens provenientes das floradas iniciais, estimulando a produção de flores mais tardias o que ocasiona maior defasagem ou aumento de número de vagens por planta dependendo da cultivar utilizada, já que a característica de desenvolver floradas sucessivas é uma capacidade genética da cultivar.

Para a variável M100G (Tabela 5), 11 genótipos não apresentaram modificação entre as safras, sendo eles: Ling 08, Ling 13, Carioca MG, BRSMG Majestoso, BRSMG Uai, BRSMG Cometa, Pérola, IPR 81, Imperador, Sintonia e Alvorada. O restante dos genótipos tiveram a M100G reduzida no ano de 2019.

No ano de 2018, os genótipos que tiveram maiores M100G foram: Carioca MG, BRSMG Majestoso, BRSMG Cometa, BRS Estilo, BRS Notável, BRS Pérola, IPR 81, IPR Sabiá, IPR Tangará, Imperador, Sintonia e Alvorada, não diferindo estatisticamente entre si. Os valores de M100G variaram de 21,03 a 27,29 g no ano de 2018. Já no ano de 2019, os genótipos que se destacaram com maiores médias de M100G foram: Ling 08, Ling 13, Carioca MG, BRSMG Majestoso, BRS Cometa, BRS Estilo, BRS Notável, Pérola, IPR 81, IPR Tangará, Imperador, Sintonia e Alvorada. A variação da M100G desse ano, foi de 15,47 a 24,69 g. e a média geral da safra 2018, para M100G foi de 24,08 g e na safra de 2019 essa média reduziu para 19,97g.

Em trabalho realizado por Santis *et al.*, (2019), a variação da massa de cem grãos na safra de outono inverno, foi de 25,9 a 34,5 g, e as cultivares que se destacaram foram : Pérola, IAC Alvorada, IAC Milênio, IPR 139, TAA Bola Cheia, TAA Dama e ANfc, sendo que a cultivar IAC Imperador e BRS Notável ficaram com menores médias para massa de cem grãos, 25,9 e 27,5 respectivamente.

Para Arf *et al.* (2008) a massa de cem grãos está relacionada com caracteres genéticos de cada cultivar utilizada. Portanto a influência do ambiente não é capaz de fazer alterações significativas nessa variável. No trabalho realizado por Fonseca *et al.* (2013) a massa de cem grãos foi influenciada apenas pelas cultivares, o fator inoculação com rizóbios não foi capaz de promover diferenças significativas.

Tabela 5. Desdobramento da interação Genótipo x Anos referente a numero de vagens por planta (NVP) e massa de cem grãos (M100G) de feijoeiro. Selvíria- MS, 2018/2019.

Genótipos	NVP		M100G (g)	
	2018	2019	2018	2019
1. Ling 03	13 Ab	8 Aa	21,03 Ab	15,47 Bb
2. Ling 06	10 Ab	9 Aa	23,15 Ab	16,68 Bb
3. Ling 08	13 Ab	6 Ba	22,43 Ab	19,77 Aa
4. Ling 13	12 Ab	8 Aa	22,22 Ab	20,79 Aa
5. Carioca MG	12 Ab	11 Aa	24,73 Aa	21,05 Aa
6. Esal 1	12 Ab	9 Aa	21,37 Ab	16,00 Bb
7. BRSMG Majestoso	12 Ab	8 Aa	25,26 Aa	21,83 Aa
8. BRSMG Uai	11 Ab	7 Aa	21,50 Ab	18,69 Ab
9. BRS Cometa	18 Aa	7 Ba	24,11 Aa	21,21 Aa
10. BRS Estilo	17 Aa	7 Ba	27,13 Aa	22,60 Ba
11. BRS Notável	13 Ab	7 Ba	25,26 Aa	19,47 Ba
12. Pérola	9 Ab	5 Ba	27,29 Aa	23,51 Aa
13. IPR 81	18 Aa	7 Ba	24,82 Aa	21,00 Aa
14. IPR Campos Gerais	12 Ab	6 Ba	22,73 Ab	17,83 Bb
15. IPR Sabiá	13 Ab	7 Ba	24,42 Aa	17,82 Bb
16. IPR Tangará	8 Ab	8 Aa	26,11 Aa	20,05 Ba
17. Imperador	14 Aa	9 Ba	24,63 Aa	20,67 Aa
18. Sintonia	19 Aa	8 Ba	25,33 Aa	24,69 Aa
19. Milênio	12 Ab	8 Aa	22,21 Ab	17,63 Bb
20. Alvorada	12 Ab	8 Aa	25,89 Aa	22,62 Aa
Média	13	8	24,08	19,97

Fonte: Dados da própria autora.

Quando há um aumento na quantidade de MSPA (Tabela 4) e menor quantidade de M100G (Tabela 5) pode significar que as plantas não tiveram capacidade de redirecionar essa biomassa para seu crescimento e desenvolvimento, isso acontece quando plantas são submetidas a altas temperaturas no estágio R5 (DIDONET; VITÓRIA, 2006).

Aidar *et al.* (2002), observaram que em condições de cultivo sob temperatura do ar elevada, tem-se observado a diminuição do número de vagens por planta, do número de grãos por vagem e da massa de grãos, o que afeta negativamente a produtividade.

Mesmo a cultura de feijão estando com níveis adequados de água e de nutrientes, ao ser submetida a altas temperaturas já é o suficiente para causar entre 51,1 a 90% de abortamento floral para cultivares suscetíveis a alta temperaturas e entre 5,7 a 48,6% de abortamento para cultivares consideradas tolerantes à alta temperatura do ar no estágio reprodutivo, confirmando que há variabilidade genética em feijão para tolerância a altas temperatura do ar (30°C) no período reprodutivo (HOFFMANN JUNIOR, 2007).

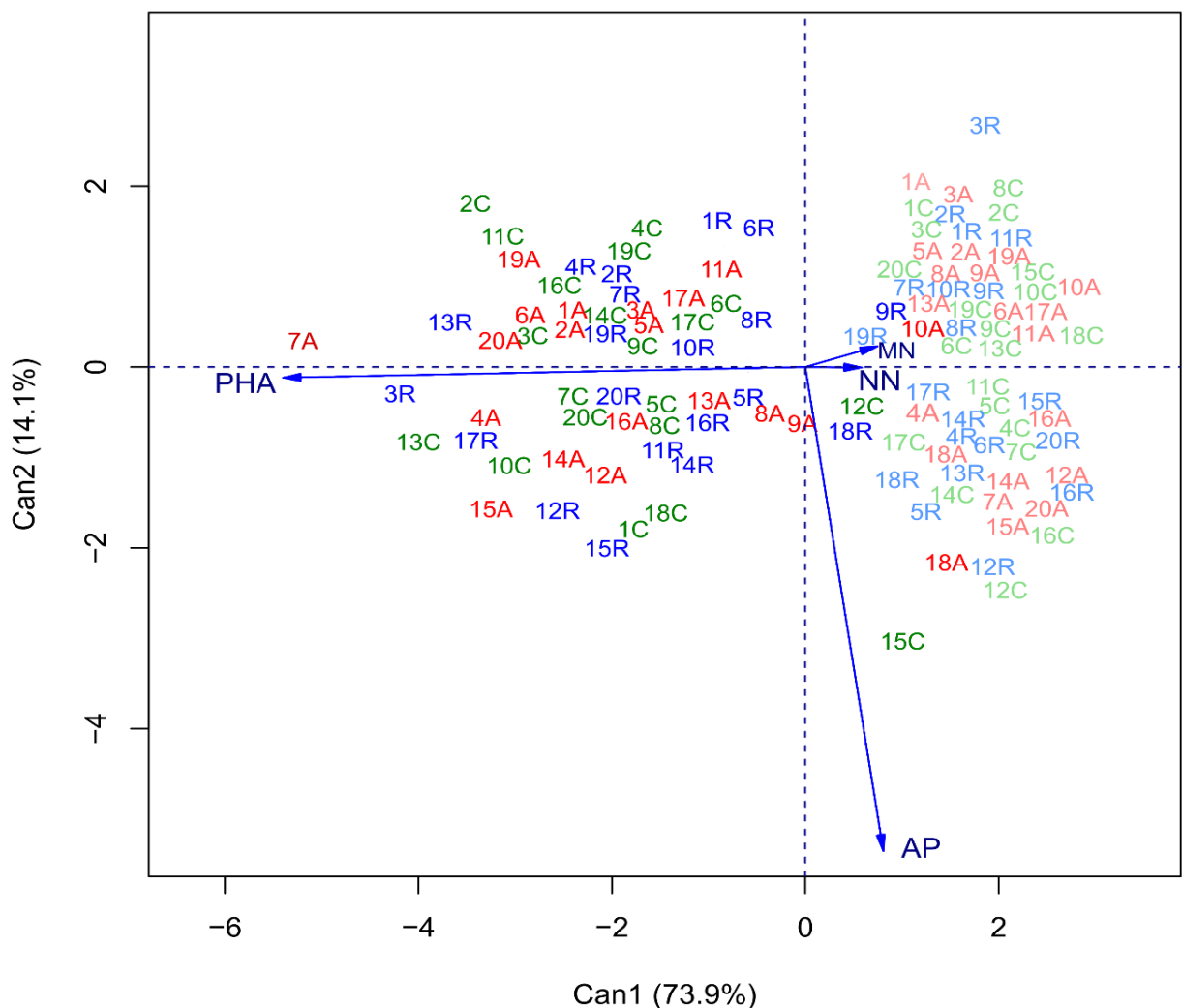
O comportamento diferenciado da cultura entre os anos é esperado, como observado nesse trabalho a temperatura, também pode ter contribuído para isso. Durante a condução do experimento no ano de 2018 no período do florescimento à formação de vagens que durou por volta de 15 dias, a temperatura máxima variou de 25,3 a 34,8°C, já no ano de 2019 a variação na temperatura máxima foi de 16,3 a 35,3 °C, sendo que logo após o início do florescimento teve-se 10 dias seguidos de temperaturas máximas acima de 32°C (Figura 1 e 2), ficando com uma média de temperaturas máximas de 33,32°C que pode ter colaborado para maior abortamento das flores e vagens de feijão, diminuição da massa de cem grãos e menores produtividades na safra de 2019.

Para a interpretação das interações triplas (GxAxI), foi utilizada a análise das variáveis canônicas (Figura 3) para verificar a contribuição de cada variável na diferença entre os tratamentos e as variáveis analisadas, já que a estatística multivariada permite a melhor exploração das relações entre as variáveis.

Neste trabalho, a variância acumulada nas duas primeiras variáveis canônicas foi de 88%, conferindo credibilidade para representação em um gráfico bidimensional, visto que as porcentagens de variância acumulada nas duas primeiras variáveis canônicas devem ser superiores a 80% (MINGOTI, 2005).

Os vetores PHA e AP foram os variáveis de maior influência nos componentes canônicos, sendo que a variável PHA tem forte influência no componente 1 (73,9% da variação total) e AP tem grande influência no componente 2 (14,1% da variação total).

Figura 3. Análise de variáveis canônicas para interação tripla (GxAXL) dos caracteres número de nódulos (NN), Massa de nódulos (MN) e PHA (produtividade por hectare), avaliados entre os genótipos ling 03 (1) ling 06 (2) ling 08 (3), ling 13 (4), Carioca MG (5), Esal 1(6), Magestoso (7), Uai (8), Cometa (9), Estilo (10), Notável (11), Perola (12), IPR 81(13), Campos Gerais (14), Sabiá (15), Tangará (16), Imperador (17), Sintonia (18), Milenio (19), Alvorada (20) e três inoculações: ausência de inoculação (A), inoculação com *Rhizobium tropici* (R) e Coinoculação (C) em dois anos agrícolas 2018 e 2019 (coloração forte e fraca, respectivamente). Selvíria, MS, 2018/2019.



Fonte: Dados da própria autora.

Nota-se um claro padrão de agrupamento por anos agrícolas, portanto, apesar da interação tripla o componente ano é que menos contribui para isso. Observa-se que a maior parte dos tratamentos do ano de 2018 apresentaram similaridade entre si e a variável que colaborou para isso foi a produtividade de grãos. Esse resultado significa que a maioria dos tratamentos do ano de 2018 foram eficazes em aumentar a produtividade de grãos de feijão. Sendo o tratamento 7A (BRSMG Majestoso + ausência de inoculação+ 2018) destaque no vetor PHA, pois está na mesma ordem de distância da origem no componente canônico 1. Em experimento realizado por Alves *et al.* (2020) a cultivar BRSMG Majestoso foi a cultivar com melhor desempenho em produtividade de grãos, comparada com as cultivares BRS Estilo, BRS Ametista, BRS Notável e BRS Cometa, ambas sem inoculações de bactérias fixadoras de nitrogênio.

O tratamento 15C (IPR Sabiá+coinoculação+2018) tem destaque no vetor AP, ficando mais próximo do componente canônico 2. Observa-se que os fatores mais importantes para interação GxAxI são genótipos e inoculação, reforçando o entendimento que a inoculação só é eficiente desde que seja precedida de um genótipo responsivo. O processo de nodulação é controlado geneticamente pela interação entre a leguminosa (planta hospedeira), bactéria simbiote e fatores ambientais (NICOLOSO; SANTOS, 1990; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Sendo o genótipo da planta mais determinante sobre o mecanismo de nodulação do que a bactéria (NUTMAN, 1969 citado por PEREIRA *et al.*, 1984; FONSECA *et al.*, 2013). Portanto, para aumentar a produtividade de grãos com eficiência no uso da fixação biológica de nitrogênio é necessário que sejam selecionados genótipos de feijão e bactérias fixadoras de nitrogênio de forma simultânea.

Ainda na Figura 3, os vetores NN e MN apresentaram pouca influência nos componentes canônicos e os tratamentos do ano de 2019 tiveram comportamento semelhantes para esse vetor. Os vetores NN e MN também tiveram comportamentos semelhantes entre si, sugerindo que tanto NN quanto MN geram a mesma variabilidade entre Genótipos, Anos e Inoculação, ou seja, genótipos que obtiveram maior NN também tiveram maior MN. Resultados semelhantes foram encontrados no trabalho de Franco *et al.*, (2002), onde obteve correlação positiva e significativa entre número e massa seca de nódulos de três estirpes de bactérias nodulíferas, explicando que o tratamento com a formação de maior número de nódulos também apresentou maior massa nodular.

Os genótipos pertencentes ao programa de melhoramento da Unesp no ano de 2018 Ling 3 (1A), Ling 6 (2A) e ling 8 (3A), ficaram próximos quando não receberam inoculação e quando aplicado alguma inoculação responderam de formas diferentes, sendo que o genótipo ling 08 na presença de *R. tropici* (3R) ficou mais próximo do vetor PHA. Já no ano de 2019, os mesmo genótipos se agruparam na ausência de inoculação (1A, 2A e 3A), inoculação com *R. tropici* (1R, 2R e 3R) e com coinoculação (1C, 2C E 3C), e o tratamento 4 (Ling 13) nas três formas de inoculação (4A, 4R e 4C) se comportaram de maneira semelhante, isso significa que no ano de 2019, esse genótipos não foram responsivos as inoculações. Esse fato pode ser explicado devido a promiscuidade com bactérias nativas que interagem com os genótipos o que dificulta a visualização de diferenças significativas entre as formas de inoculação.

No programa de Lavras, os únicos genótipos que foi possível observar um comportamento semelhante no ano de 2018 foram o Carioca MG (5C) e Uai (8C) quando coinoculados. Os mesmo genótipos no ano de 2019 tiveram mesmo comportamento na ausência de inoculação (5A e 8A), que também foram semelhantes com os genótipos Ling 06 (2A), Cometa (9A) e Milênio (19A) dos programas da Unesp, Embrapa e IAC, respectivamente.

Nos genótipos da Embapa, o genótipo Cometa quando inoculado com *R. Tropici* (9R) e Estilo na ausência de inoculação (10A) na safra de 2018, ficaram mais próximos do vetor MN. O fato de genótipos que não foram inoculados terem destaque para o vetor MN novamente evidenciam a presença das bactérias nativas do solo, nos locais dos experimentos. Vieira *et al.* (2005) e Fonseca *et al.* (2013) também observaram existência de rizóbios nativos em solos, que são capazes de nodular os feijoeiros. Estas bactérias nativas, que ocorrem em quantidades elevadas nos solos brasileiros, competem pelos sítios de infecção nodular, com vantagens numéricas e adaptativas, porém apresentam baixa eficiência na fixação biológica do nitrogênio (VARGAS; MENDES; HUNGRIA, 2000).

O genótipo Pérola quando coinoculado (12C) teve destaque para no vetor NN. Resultados semelhantes foram encontrados por Steiner, Ferreira e Zuffo *et al.* (2019), onde a cultivar Pérola quando coinoculada com *R. tropice* e *A. brasilense* teve maior número de nódulos em comparação a ausência de inoculação, inoculação apenas com *R. tropice* e inoculação apenas com *A. brasilense*. O efeito benéfico da coinoculação de *R. tropice* e *A. brasilense* na cultivar Pérola para nodulação também foi encontrado por Peres *et al.* (2016), mas dependeu do ano de cultivo, sendo que

a coinoculação proporcionou aumento da nodulação somente no segundo ano de cultivo. Já no ano de 2019, os genótipos Cometa e Estilo quando inoculados com *R. tropici*, tiveram comportamento semelhantes.

Os genótipos do programa de melhoramento do IAPAR, no ano de 2018, sendo o IPR Campos Gerais (14) e IPR Tangará (16) se agruparam quando inoculados com *R. tropici* (14R e 16R), quando coinoculados (14C e 16C) e na ausência de inoculações (14A e 16A). Isso significa que para esses genótipos as inoculações também não causaram diferença.

No programa de melhoramento do IAC todos os genótipos se comportaram de maneira bem distinta. O genótipo Milênio com inoculação de *R. tropici* (19R) destacou-se no vetor MN. Para Cardillo (2019), o genótipo IAC Milênio também apresentou maior número e massa de nódulos quando recebeu inoculação de sementes com *R. tropice* mas não deferiu quando coinoculado com *A. brasilense*.

Esses resultados confirmam a hipótese que a inoculação responde diferentemente aos genótipos podendo ter genótipos responsivos ou não. Remans *et al.* (2008), utilizando dois genótipos (BAT-477 e DOR364) demonstraram que o potencial para aumentar a nodulação e crescimento das plantas do feijoeiro comum com a coinoculação com *R. tropici* e *A. brasilense*, é maior ou menor de acordo com o genótipo utilizado. Corroborando com os resultados obtidos por Franco *et al.* (2002) que ao testar quatorze cultivares de feijão e três estirpes *Rhizobium*, constataram que a eficiência de nodulação é altamente dependente do genótipo da planta, enfatizando que há diferenças entre cultivares quanto ao potencial de nodulação.

A divergência de resultados existente entre a cultura do feijão e a fixação biológica de nitrogênio, não significa que a FBN para essa cultura não seja eficiente, mas talvez que a cultivar e a estirpe utilizadas não tiveram simbiose. A falta de respostas do feijoeiro à inoculação também pode ser associado a presença de bactérias nativas no solo mais agressivas que as inoculadas (MERCANTE; GOI; FRANCO, 2002), e isso reforça a ideia da complexidade que é a interação bactéria-planta-ambiente.

Por isso ressalta-se a importância de fazer seleções de genótipo e de estirpes de bactérias concomitantemente. Sendo de suma importância que os programas de melhoramento de feijão foquem em lançar cultivares que sejam responsivos a inoculação e coinoculação, permitindo eficiência no uso dessa técnica tão importante para a agricultura tropical.

Como exemplo de sucesso na FBN, temos a cultura da soja que para se produzir uma tonelada de grãos de soja são necessários 80 kg de nitrogênio por hectare, e esta demanda é totalmente suprida pela FBN, o que resulta em uma economia aproximada de US\$ 7 bilhões por ano. No caso do feijoeiro, haveria uma economia imediata de US\$ 240 milhões por ano (considerando a área cultivada em três safras, a recomendação atual de 60 kg de N/ha para a cultura e o preço da ureia se a FBN fosse eficaz. (HUNGRIA; CAMPO; NOGUEIRA, 2012).

Além do mais o custo de produção de fertilizantes nitrogenados é de 5% mais alto para a agricultura comercial e 8,5% a mais para a agricultura familiar, comparado à coinoculação de *R. tropici* e *A. brasilense* (FERREIRA; SILVA; WANDER, 2020).

Além disso, há de se considerar os custos ambientais dos fertilizantes nitrogenados, uma vez que o uso de 100 kg de fertilizante N corresponde a cerca de 950 kg de CO₂ equivalente (HUNGRIA; NOGUEIRA; ARAUJO, 2013).

Nesse sentido, torna-se necessário selecionar genótipos que possam vir a ter maior capacidade de FBN combinado com características que também aumentem a produção da planta. Para isso, a ferramenta estatística que os melhoristas dispõem para estimar o grau e a natureza das associações entre os caracteres, é o coeficiente de correlação, podendo ser avaliadas por meio de correlações genéticas, ambientais e fenotípicas, porém, apenas causas genéticas são herdáveis, podendo ser utilizadas nos programas de melhoramento vegetal (SILVA, 2009). Com isso, o conhecimento sobre as relações existentes entre as características por meio de correlações genéticas é fundamental para o melhoramento de plantas (GONÇALVES *et al.*, 2017).

Segundo Nogueira *et al.* (2012) para a interpretação das correlações, deve-se considerar três fatores: a magnitude, a direção e a significância, dessa forma quando se tem coeficiente de correlação positivas, indicam a tendência de uma variável aumentar quando a outra aumenta e as correlações negativas indicam tendência de uma variável aumentar enquanto a outra diminui.

Os valores obtidos para a correlação genética (Tabela 6) indicam que houve variação nas magnitudes e direção das correlações. Na variável AP, obteve-se estimativa de correlação genética positiva e de forte magnitude entre AP e IPV (0,71), isso indica que plantas que tem maiores alturas também tem inserções altas de primeira vagem. Forte correlação genotípica entre altura de plantas e inserção de primeira vagem (0.63) foi encontrado no trabalho de Arevalo *et al.* (2020), onde foram avaliadas as correlações de 22 genótipos de feijão, dentre eles o BRS Estilo, BRSMG

Uai, IPR Campos Gerais e Pérola. Diferente da magnitude de correlação encontrada por Gonçalves *et al.* (2017), onde avaliando as correlações genéticas de 40 acessos de feijão comum cultivados pela Empaer de Cáceres -MT, tiveram correlação genética de fraca magnitude entre altura de planta e inserção de primeira vagem (0,17). A relação de altura de plantas e inserção de primeira vagem é muito importante para seleção de genótipos visando melhorar a colheita mecanizada. Já correlações de média magnitude foram obtidas entre AP e NN (0,52); AP e M100G (0,58), significando que plantas mais altas, além de terem maior altura de inserção de primeira vagem também apresentam maior número de nódulos e massa de cem grãos.

Para MSPA as correlações positivas de forte magnitude entre MSPA e NVP (0,68) já entre MSPA e M100G (0,54), MSPA e NN (0,37) apresentaram média magnitude. Portanto, plantas que apresentam massa seca da parte aérea, também tem incremento na massa de cem grãos e número de nódulos.

A variável DC obteve correlação positiva muito forte com MN (0,92), indicando que o aumento da diâmetro do caule aumentara a massa seca de nódulos. Isso pode ser devido ao fato que o aumento no diâmetro do caule influencia na quantidade de fotoassimilados transportados e conseqüentemente a massa seca de nódulos terá maior peso. O DC também mostrou uma correlação positiva com o NVP (0,37). Resultados semelhantes foram obtidos por Velho *et al.*, (2017), onde foram avaliados 16 genótipos para avaliação dos componentes da parte aérea de feijão comum e a correlação encontrada entre diâmetro do caule e número de vagens por planta foi de 0,37. É importante que essas variáveis tenham correlação positiva, já que um aumento expressivo no número de vagens não pode ser suportado por uma planta que não mostra um aumento paralelo do diâmetro do caule (ROCHA *et al.*, 2009).

A variável IPV correlacionou-se positivamente em forte magnitude com AP (0,71) e NN (0,64) e em média magnitude com M100G (0,55). Observa-se que a variável AP e IPV correlacionaram positivamente entre si e com as variáveis NN e M100G. Indicando que a seleção de plantas mais altas resulta em plantas com maiores alturas inserção de primeira vagem, maiores quantidades de número de nódulos e maior massa seca de grãos. Sabe-se que a busca por novas tecnologias é necessária tanto para o aumento nos rendimentos da cultura como para facilitar os tratos culturais, assim, operações de colheita mecanizada que melhoraram a qualidade do feijão produzido aliado ao melhoramento para a obtenção de plantas de porte mais ereto, com menor acamamento e maior altura de inserção de vagens,

em relação ao solo, atende a esses objetivos (SHIMADA; ARF; SÁ, 2000). Ainda na variável IPV correlacionou-se de forma negativa em média magnitude com MN e NVP, - 0,31 e - 0,35, respectivamente.

O NVP também correlacionou-se negativamente em média magnitude com NGV (-0,39), indicando que plantas com maiores número de vagem por planta formam menor quantidade de grãos. Esses resultados evidenciam o efeito da compensação que o feijoeiro promove entre os componentes de produção (BONNETTI *et al.*, 2006), por exemplo o aumento ou redução no tamanho da semente em função do número de vagens. Correlação negativa de alta magnitude para essas variáveis também foram observadas no trabalho de Arevalo *et al.* (2020).

De maneira geral a variável NN se correlacionou de forma positiva de média a forte magnitude com 50% das variáveis analisadas (AP; MSPA; IPV; M100G). Essa associação indica que plantas com maiores quantidades de nódulos propiciarão maior altura de planta e inserção da primeira vagem, maior parte aérea e massa de cem grãos. Esse resultado é muito importante para seleção em relação a capacidade de nodulação de feijão, já que a seleção de plantas com maiores quantidade de nódulos não exclui outras características desejáveis. Já a variável MN teve uma correlação positiva muito forte com DC (0,92) como visto anteriormente e, com o restante das variáveis foram correlações fracas. Também correlacionou-se de forma negativa de média magnitude com IPV (-0,35).

A variável M100G correlacionou-se de forma positiva com todas variáveis com magnitudes variando de fracas a médias. Indicando que a seleção dessa variável poderá incrementar todas as outras características relacionadas.

Coefficientes de correlação igual a zero foram verificados entre algumas variáveis (NN e DC), o que não implica falta de relação, apenas expressa a ausência de relação linear entre eles (CRUZ; CARNEIRO, 2004).

Para um programa de melhoramento, é interessante que se busque um equilíbrio entre as características da planta, de forma que se tenha um genótipo produtivo, mas levando em consideração os demais caracteres que estão associados ao rendimento, portanto é importante que os melhoristas faça um balanceamento entre a característica objetivada com as demais características associadas (ROCHA *et al.*, 2009).

Tabela 6. Coeficientes de correlação genotípica das variáveis: AP (Altura total da Planta); MSPA (Massa seca da parte aérea); DC (Diâmetro do caule); IPV (Inserção de primeira vagem); NVP (Número de vagens por planta); NN (Número de nódulos); MN (Massa de nódulos); NGV (Número de grãos por vagens) e M100G (Massa de cem grãos) de 20 genótipos de feijão comum. Selvíria- MS, 2018/2019.

Variáveis	MSPA	DC	IPV	NVP	NN	MN	NGV	M100G
AP	0,11	0,08	0,71	-0,14	0,52	-0,02	-0,07	0,58
MSPA		0,19	0,10	0,68	0,37	0,25	0,07	0,54
DC			-0,25	0,36	0,00	0,92	0,12	0,20
IPV				-0,31	0,64	-0,35	0,04	0,55
NVP					0,18	0,28	-0,39	0,13
NN						-0,18	-0,15	0,44
MN							0,13	0,18
NGV								0,07

Fonte: Dados da própria autora.

A correlação é uma medida de associação, portanto uma alta correlação não implica dizer que existe uma relação de causa e efeito entre as variáveis, sendo assim, não é possível inferir sobre as relações de causa e efeito (ZUFFO *et al.*, 2018).

Com isso, a análise de trilha é um artifício que o melhorista dispõe para entender as causas e efeitos envolvidas nas associações entre as variáveis, desdobrando os coeficientes de correlação existentes em efeitos diretos e indiretos sobre uma variável básica (KUREK *et al.*, 2001; ALCANTARA NETO *et al.*, 2011).

Na análise de trilha (Tabela 7) são apresentados os efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas primárias sobre a produtividade de grãos. O coeficiente de determinação (R^2) da análise de trilha foi equivalente a 73%, indicando que a produtividade de grãos de feijão pode ser explicada pelos efeitos das variáveis analisadas.

Analisando os efeitos diretos dos componentes primários sobre a variável principal (PHA), das 9 variáveis primárias (AP, MSPA, IPV, NVP, NN, MN, NGV e M100G), nota-se que o NGV teve maior efeito direto (0,57) sobre a PHA e apresentou mesmo sinal positivo para o coeficiente de correlação total, indicando o NGV como determinante para a produtividade de grãos de feijão. Resultados semelhantes foram encontrados por Ribeiro, Domingues e Zemolin (2014) que também constataram na

análise de trilha maiores efeitos diretos positivos para a variável número de grãos por vagem. A MN foi a segunda variável que mais influenciou a PHA, obteve efeito direto (0,40) sobre a PHA e também mesmo sinal positivo para a correlação total. Para fins de melhoramento é importante identificar os caracteres de alta correlação com caráter principal e de maior efeito direto em sentido favorável à seleção, de modo que a resposta correlacionada por meio da seleção indireta seja satisfatória (CRUZ *et al.*, 2004). Isso indica que a seleção de cultivares de feijão com maior NGV e MN resultará em genótipos com maiores produtividade de grãos.

Tabela 7. Desdobramento das correlações genóticas em componentes de efeito direto e indireto das variáveis independentes explicativas : AP (Altura total da Planta); MSPA (Massa seca da parte aérea); DC (Diâmetro do caule); IPV (Inserção de primeira vagem); NVP (Número de vagens por planta); NN (Número de nódulos); MN (Massa de nódulos); NGV (Número de grãos por vagens) e M100G (Massa de cem grãos) sobre a variável dependente principal PHA(Produtividade de grãos). Selvíria-MS, 2018/2019.

Efeito Direto	AP	MSPA	DC	IPV	NVP	NN	MN	NGV	M100G
Direto PHA	-0,03	-0,27	-0,27	-0,34	0,17	-0,14	0,40	0,57	0,05
Indireto via AP		0,00	0,00	-0,02	0,00	-0,01	0,00	0,00	-0,01
Indireto via MSPA	-0,03		-0,05	-0,03	-0,18	-0,10	-0,07	0,02	-0,14
Indireto via DC	-0,02	-0,05		0,07	-0,10	0,00	-0,25	-0,03	-0,05
Indireto via IPV	-0,24	-0,03	0,08		0,10	-0,21	0,12	-0,01	-0,18
Indireto via NVP	-0,02	0,12	0,06	-0,05		0,03	0,05	-0,07	0,02
Indireto via NN	-0,07	-0,05	0,00	-0,09	-0,03		0,03	0,02	-0,06
Indireto via MN	-0,01	0,10	0,37	-0,14	0,11	-0,07		0,05	0,07
Indireto via NGV	-0,04	-0,04	0,07	0,02	-0,22	-0,09	0,08		0,04
Indireto via M100G	0,03	0,03	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,00	
Total (correlação)	-0,43	-0,22	0,26	-0,56	-0,12	-0,59	0,39	0,59	-0,27
Coeficiente de determinação (R ²): 0,73									

Fonte: Dados da própria autora.

A variável NVP (0,17) teve efeito direto positivo de baixa magnitude com PHA, mas devido ao efeito indireto e negativo com o NGV (-0,22) fez com que a correlação total ficasse negativa (-0,12). Portanto a variável NVP não deve ser descartada na seleção para incremento à produtividade de grãos. Embora a seleção visual pelo

maior número de vagens por planta é mais fácil de ser implementada na rotina do programa de melhoramento de feijão, do que a seleção pelo maior número de grãos por vagem (RIBEIRO; DOMINGUES; ZEMOLIN, 2014). Mas, a seleção deve ser cuidadosa, pois devido ao efeito cronológico da planta, onde primeiro há a formação de vagens e depois a formação de grãos, no caso do feijão quando o passa por algum tipo de estresse pode haver o efeito compensatório, como dito anteriormente, e o investimento em maior número de vagens por planta pode deixar os grãos menores. Então deve-se ter precaução ao fazer a seleção somente pelo caráter NVP, pois pode não refletir em aumento da produção de grãos.

O mesmo ocorreu com a variável M100G, onde apresentou efeito direto positivo (0,05) de baixa magnitude com a PHA e correlação total negativa (-0,27), isso se deu devido ao maior efeito indireto negativo com as variáveis MSPA (-0,14) e IPV (-0,18).

As variáveis IPV (-0,34), MSPA (-0,27), NN (-0,14) e AP (-0,03) tiveram efeito direto negativo sobre PHA e ambas com mesmo sinal negativo para o coeficiente de correlação total, evidenciando a baixa contribuição dessas variáveis sobre a produtividade de grãos. As plantas que tiveram maiores alturas totais e de inserção de primeira vagem, maior volume de parte aérea e número de nódulos, não conseguiram redirecionar para a produtividade de grãos.

A variável DC embora tenha apresentado efeito direto negativo (-0,27) com a PHA, a correlação total (0,26) foi positiva, devido ao efeito indireto positivo de MN (0,37). Assim, a seleção baseado na massa de nódulos auxilia tanto a PHA quanto o diâmetro de caule. Como observado anteriormente na tabela 6, a variável DC e MN tiveram correlação positiva forte. Portanto, a seleção direta via DC para aumento da PHA sem levar em consideração a capacidade da fixação biológica de nitrogênio, nesse caso a MN, pode fazer com que as plantas com maiores diâmetros de caule acabem tendo menor produtividade. Ao passo que DC acompanhados de intensa assimilação de N pela fixação biológica representada pela MN pode garantir um suprimento adequado de fotoassimilados tanto para arquitetura da planta quanto para a produção.

Os relação aos efeitos das variáveis de nodulação (NN e MN), observa-se de modo geral, a seleção por MN é mais interessante, já que tem efeito direto positivo com a produtividade de grãos, já o NN tem efeito negativo. Isso significa que é mais importante termos maiores massas de nódulos do que quantidade de nódulos.

Nódulos maiores, mais pesados e em menor quantidade é mais interessante que nódulos menores em maior quantidade. O tamanho do nódulo, apesar de pouco usual como critério de nodulação, é importante, segundo Döbereiner (1966) há uma correlação entre a massa do nódulo e a quantidade de N acumulado em leguminosas.

Para Kusdra (2002), nódulos pequenos são considerados de baixa eficiência na fixação biológica de nitrogênio e que pouco ou nada contribuem para a nutrição de N pela planta e podem até causarem prejuízo as mesmas, já que estas transferem fotossintatos para sua manutenção e funcionamento, sem no entanto terem grandes quantidade de N fixados pelos nódulo. Ainda, o autor considera que a massa nodular é a indicadora da eficiência da FBN. De acordo com Franco *et al.*, (2002) o aumento da massa de nódulos pode ser devido ao aumento no tamanho dos nódulos, ou seja pela fisiologia da planta e não necessariamente pelo aumento no número de nódulos.

O que pode ser confirmado quando observou-se a correlação genética (Tabela 6), onde a correlação entre as variáveis MM e NN foi negativa (-0,18), embora de fraca magnitude, indicando que plantas com maior número de nódulos tiveram menor massa de nódulos ou então plantas que tiveram aumento na massa seca de nódulos tiveram uma diminuição na quantidade de nódulos. Nesse sentido, coinodulação com *A. brasilense*, por se tratar de um promotor de crescimento, pode ter contribuído para o aumento na massa de nódulos, conseqüentemente aumento na fixação de N, o que pode resultar em maiores produtividades de grãos de feijão.

5 CONCLUSÃO

Existe variabilidade genética entre os genótipos para nodulação e promoção de crescimento quanto a inoculação *R. tropici* e coinoculação com *Azospirillum brasilense*.

Os genótipos de feijoeiro respondem de forma diferenciada a inoculação e programas de melhoramento vegetal devem levar em consideração a capacidade simbiótica do cultivar na seleção de genótipos de feijoeiro comum para ambientes tropicais.

Não existe um padrão de agrupamento entre genótipos de feijão e inoculação, exceto para fator ano, demonstrando forte interação genótipo x inoculação.

O caráter massa de nódulos é mais promissor para seleção de genótipos de feijoeiro comum que a número de nódulos este devendo ser utilizado conjuntamente com componentes de produção.

REFERÊNCIAS

- AIDAR, H *et al.* **Recomendações técnicas para o cultivo do feijoeiro comum em várzeas tropicais irrigadas por subirrigação**. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 12 p. (Circular Técnica, 60).
- ALCANTARA NETO, F. *et al.* A. Análise de trilha do rendimento de grãos de soja na microrregião do Alto Médio Gurguéia. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 2, n. 2, p.107-112, 2011.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ALVES, M. V. P. *et al.* Desempenho agrônômico e qualitativo de cultivares de feijoeiro dos grupos comerciais carioca e especial na época de inverno. **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata, v. 119, n. 1, p. 15, 2020.
- AMABILE, R. F.; VILELA, M. S.; PEIXOTO, J. R. (ed.). **Melhoramento de plantas: variabilidade genética, ferramentas e mercado**. Brasília: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2018. 108 p. (SBMP: Livro técnico).
- AREVALO, A. C. M. *et al.* Parâmetros genéticos, correlações e componentes principais para caracteres agrônômicos em genótipos de feijoeiro comum do grupo carioca. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 9, n. 11, p. 1-21, 2020.
- ARF, O. *et al.* Mecanismos de abertura do sulco e adubação nitrogenada no cultivo do feijoeiro em sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 499-506, 2008.
- BÁRBARO, I. M. *et al.* Técnica alternativa: coinoculação com *Azospirillum* e *Bradyrhizobium* visando incremento de produtividade da cultura da soja no Norte do Estado de São Paulo. **Informações Tecnológicas**, Campinas, 2008. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2008_4/coinoculacao/index.htm. Acesso em: 29 dez. 2021.
- BARBOSA, C. K. R. *et al.* Adubação nitrogenada, inoculação e coinoculação na cultura do feijoeiro-comum. **Caderno de Ciências Agrárias**, Montes Claros, v. 12, p. 1-6, 2020.
- BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. O. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014**. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2012. 247 p. (Documentos, 272).
- BARROS, R. L. N. *et al.* Interação entre inoculação com rizóbio e adubação nitrogenada de plantio na produtividade do feijoeiro nas épocas da seca e das águas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 4, p. 1443-1450, 2013.

- BASHAN, Y.; HOLGUIN, G. Azospirillum–plant relationships: environmental and physiological advances (1990–1996). **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 43, n. 2, p. 103-121, 1997.
- BERTOLDO, J.G. *et al.* Alternativas na fertilização de feijão visando a reduzir a aplicação de N-ureia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 3, p. 348-355, 2015.
- BONETT, L. P. *et al.* Divergência genética em germoplasma de feijoeiro comum coletado no estado do Paraná, Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, n. 4, p. 547-560, 2006.
- BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. Viçosa: Editora UFV, 1997. 547p.
- BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2005. 969 p.
- BRITO, L. F. *et al.* Resposta do Feijoeiro Comum à Inoculação com Rizóbio e Suplementação com Nitrogênio Mineral em Dois Biomas Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 39, n. 4, p. 981–992, 2015.
- BHERING, L.L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and applied biotechnology**, Viçosa, MG, v. 17, n. 2, p. 187-190, 2017.
- BRITO, M. M. P.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio do solo no desenvolvimento de feijão e caupi. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p. 206-215, 2011.
- CARDILLO, B. E, S. **Inoculações de *Rhizobium tropici* e de *Azospirillum brasilense* relacionadas aos parâmetros de qualidade da semente e da planta do feijoeiro**. 2019. 102 f. Tese (Doutorado em Ciência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2019.
- CARVALHO, C.G.P. *et al.* Interação genótipo x ambiente no desempenho produtivo da soja no Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, p. 989-1000, 2002.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos Safra 2021/22: terceiro levantamento**. Brasília, DF: CONAB, 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 03 jan. 2022.
- CRUZ, C. D. Genes - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.
- CRUZ, C. D. Genes Software – extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 38, n. 4, p. 547-552, 2016.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. I.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3 ed. Viçosa, MG: UFV, 2004. 480p.

DIAS, P. A. S. **Potencial genético de linhagens elite de feijoeiro-comum para fixação biológica de nitrogênio**. 2017.106 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

DIDONET, A. D.; VITÓRIA, T. B. Resposta do feijoeiro comum ao estresse térmico aplicado em diferentes estágios fenológicos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 3, p. 199-204, 2006.

DÖBEREINER, J. Evaluation of nitrogen fixation in legumes by the regression of total plant nitrogen with nodule weight. **Nature**, Londres, v. 210, n. 5038, p. 850-852, 1966.

DÖBBEREINER, J.; DUQUE, F. F. Contribuição da pesquisa em fixação biológica de nitrogênio para o desenvolvimento do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, DF, v. 18, n. 3, p. 447-460, 1980.

FARID, M.; EARL, H.J.; PAULS, K.P.; NAVABI, A. Response to selection for improved nitrogen fixation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Euphytica**, Dordrecht, v. 213, p. 99-111, 2017.

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

FERNANDES, R. C.; GUERRA, J. G. M.; ARAÚJO, A. P. Desempenho de cultivares de feijoeiro-comum em sistema orgânico de produção. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, DF, v. 50, n. 9, p. 797-806, 2015.

FERREIRA, C. M.; PELOSO, M. J.; FARIA, L. C. **Feijão na economia nacional**, Santo Antonio de Goiás, GO. Embrapa Arroz e Feijão, 2002, 47 p. (Sistemas de Produção, 2).

FERREIRA, E. P. B.; SILVA, O. F.; WANDER, A. E. Economics of rhizobia and azospirilla co-inoculation in irrigated common bean in commercial and family farming. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 55, p. 1-9, 2020.

FILIPINI, L. D. *et al.* Application of Azospirillum on seeds and leaves, associated with Rhizobium inoculation, increases growth and yield of common bean. **Archives of Microbiology**, Heidelberg, v. 203, n. 3, p. 1033-1038, 2021.

FONSECA, G. G. *et al.* Resposta de cultivares de feijoeiro-comum à inoculação das sementes com duas estirpes de rizóbio. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 6, p. 1778-1787, 2013.

FRANCO, M. C. *et al.* Nodulação em cultivares de feijão dos conjuntos gênicos andino e meso-americano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 8, p. 1145-1150, 2002.

GEPTS, P.; DEBOUCK, D. Origin, domestication, and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *In*: van SCHOONHOVEN, A.; VOYSEST, O. (ed.). **Common beans: Research for crop improvement**. Wallingford, CAB, 1991. p.7-53

GILABEL, A. P. **Co-inoculação de *Rhizobium* e *Azospirillum* e adubação nitrogenada na cultura do feijão comum**. 2018. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018.

GITTI, D. C. *et al.* Inoculação de *Azospirillum* brasilense em cultivares de feijões cultivados no inverno. **Agrarian**, Dourados, v. 5, n. 15, p. 36–46, 2012.

GONÇALVES, D. L. *et al.* Correlação genética e análise de trilha de feijão comum coletados em Cáceres-MT, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n. 8, p. 1-7, 2017.

GRAHAM, P. H. Some problems of nodulation and symbiotic nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris* L.: a review. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 4, p. 93-112, 1981.

HERRIDGE, D. F.; DANSO, S. K. A. Enhancing crop legume N₂ fixation through selection and breeding. **Plant and Soil**, Haia, v. 174, n. 2, p. 51-82, 1995.

HOFFMANN JÚNIOR, L. *et al.* Resposta de cultivares de feijão à alta temperatura do ar no período reprodutivo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, p. 1543-1548, 2007.

HUNGRIA, M., CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura de soja**: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados, 2007. 80 p. (Documentos, 283).

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; NOGUEIRA, M. A. A pesquisa em fixação biológica do nitrogênio na Embrapa Soja: passado, presente e perspectivas futuras. *In*: Reunião da rede de laboratórios para recomendação, padronização e difusão de tecnologia de inoculantes microbianos de interesse agrícola, 16., 2012, Londrina, PR. **Anais [...]** Londrina, PR: XVI Relare, 2014. p. 54-59.

HUNGRIA, M.; MENDES, I.C. Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis? *In*: DE BRUIJIN, F. (ed.). **Biological Nitrogen Fixation**. New Jersey: Wiley Publisher, Hoboken, 2015. p. 1005-1019.

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 Science**, Dubai, v. 6, n. 10, p. 811–817, 2015.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: Strategies to improve sustainability. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 49, n. 7, p. 791–801, 2013.

- HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 65, n. 2–3, p. 151–164, 2000.
- KUREK, A. J. *et al.* Análise de trilha como critério de seleção indireta para rendimento de grãos em feijão. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 7, n.1, p. 29-32, 2001.
- KUSDRA, F. J. **Nodulação do feijoeiro e fixação biológica do nitrogênio em resposta à microbiolização das sementes e à aplicação de micronutrientes**. 2002. 154 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- MALAVOLTA, E. Nutrição Mineral das Plantas. *In*: **Curso de Atualização em Fertilidade do Solo**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 33-101.
- MARENCO, R. A.; LOPES, N. F.; MOSQUIM, P. R. Nodulation and nitrogen fixation in soybeans treated with herbicides. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 5, n. 2, p. 121-126, 1993.
- MARTINEZ-ROMERO *et al.* Rhizobium tropici, a novel species nodulating *Phaseolus vulgaris* L. Beans and *Leucaena* sp. trees. **International Journal of Systematic Bacteriology**, Iowa, v. 41, n. 3, p. 417-426, 1991.
- 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.
- MEDEIROS, L. A. M. **Resistência genética do feijão (Phaseolus vulgaris L.) ao Colletotrichum lindemuthianum**. 2004. 97 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.
- MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; CUNHA, M. H. **20 perguntas e respostas sobre fixação biológica de nitrogênio**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 19 p.(Documentos, 281).
- MERCANTE, F.M.; GOI, S. R.; FRANCO, A. A. Importância dos compostos fenólicos nas interações entre espécies leguminosas e rizóbio. **Revista Universidade Rural**, Seropédica, v. 22, n. 1, p. 65-81, 2002.
- MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**. Belo Horizonte, MG: UFNG. 2005. 297 p.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras: Ufla, 2006. 729 p.
- MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. **Introduction to linear regression analysis**. New York: John Wiley and Sons, 2006. 640 p.

- MORAES, W. B. *et al.* Avaliação da fixação biológica do nitrogênio em genótipos de feijoeiros tolerantes a seca. **Idesia (Arica)**, Chile, v. 28, n. 1, p. 61-68, 2010.
- MOURA, M. M. *et al.* Potencial de caracteres na avaliação da arquitetura de plantas de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, n. 4, p. 417-425, 2013.
- NICOLOSO, F. T.; SANTOS, O. S. Considerações sobre a fixação simbiótica do N₂ no feijoeiro comum. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 51-73, 1990.
- NOGUEIRA, A. P. O. *et al.* E. Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 6, p. 877-888, 2012.
- NUTMAN, P.S. Genetics of symbiosis and nitrogen fixation in legumes. **Proceedings of the Royal Society**, London, v. 172, n. 1029, p. 417-437, 1969.
- OLIVEIRA, L. F. C. *et al.* **Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos**. Brasília, DF: Embrapa Arroz e Feijão, 2018. 59 p. (Livro técnico).
- OLIVEIRA, I. P.; ARAUJO, R. S.; DUTRA, L. G. **Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio**. In: ARAUJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. de O. (coord.). *Cultura do feijoeiro comum no Brasil*. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 169-221.
- PELEGRIN, R. DE *et al.* Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p. 219-226, 2009.
- PEREIRA, P. A. A. Fixação biológica de nitrogênio no feijoeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 90, n. 8, p. 1-5, 1982.
- PEREIRA, P. A. A. *et al.* Capacidade de genótipos de feijoeiro de fixar N₂ atmosférico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 19, n.7, p. 811-815, 1984.
- PEREIRA, P. A. A. *et al.* Selection for increased nodule number in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plant and Soil**, Haia, v. 148, n. 2, p. 203-209, 1993.
- PEREIRA, A. A.; BRAIDOTTI, W. Comparação de métodos de melhoramento de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) para o incremento da fixação simbiótica de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 31, p. 15-21, 2001.
- PEREIRA, H. S. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum com grãos tipo carioca na Região Central do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, p. 29-37, 2009.

- PERES, A. R. *et al.* Co-inoculation of *Rhizobium tropici* and *Azospirillum brasilense* in common beans grown under two irrigation depths. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 63, n. 2, p. 198–207, 2016.
- PERES, J. R. R. *et al.* Efeito da inoculação com rizóbio e da adubação nitrogenada em sete cultivares de feijão em solo Cerrado. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, MG, v. 18, n. 3, p. 415-420, 1994.
- POEHLMAN, J. M.; SLEPER, D. A. **Breeding field crops**. Iowa: Iowa State University Press, 1995. 417 p.
- PRADO, R. M. **Nutrição de Plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 300 p.
- RAIJ, B. van *et al.* **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001.
- RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. Melhoramento do feijão. **Informativo Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 8, n. 90, p. 16-19, 1982.
- REGAZZI, A. J. *et al.* Análise de experimentos em látice quadrado com ênfase em componentes de variância. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 11, p. 1987-1997, 1999.
- REMANS, R. *et al.* Effect of *Rhizobium*–*Azospirillum* coinoculation on nitrogen fixation and yield of two contrasting *Phaseolus vulgaris* L. genotypes cultivated across different environments in Cuba. **Plant and Soil**, Crawley, v. 312, n. 1, p. 25-37, 2008.
- RIBEIRO, N. D.; DOMINGUES, L. S.; ZEMOLIN, A. E. M. Avaliação dos componentes da produtividade de grãos em feijão de grãos especiais. **Científica**, Jaboticabal, v. 42, n. 2, p. 178-186, 2014.
- ROCHA, F. *et al.* Seleção em populações mutantes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) para caracteres adaptativos. **Biotemas**, Florianópolis, v. 22, n. 2, p. 19-27, 2009.
- ROMANINI JÚNIOR, A. *et al.* Avaliação da inoculação de rizóbio e adubação nitrogenada no desenvolvimento do feijoeiro, sob sistema plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 4, p. 74-82, 2007.
- SAS. Institute inc. SAS procedures guide. Version 8 (TSMO). Cary: SAS Institute Inc., 1999. 454p.
- SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.
- SANTIS, F. *et al.* Componentes de produção, produtividade e atributos tecnológicos de cultivares de feijoeiro do grupo comercial carioca. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 15, n. 6, p. 21–30, 5 dez. 2019.

SILVA, C. A. **Associação entre arquitetura da planta e a produtividade do feijoeiro do mesmo “pool” gênico**. 2009. 59 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

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**, Amsterdam, v. 237, p. 250–257, 2017.

SOUZA, E. F. C.; SORATTO, R. P.; PAGANI, F. A. Aplicação de nitrogênio e inoculação com rizóbio em feijoeiro cultivado após milho consorciado com braquiária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 4, p. 370-377, 2011.

SULZBACHER, L. J. *et al.* Análise da divergência genética através de caracteres agrônômicos em genótipos de feijão comum. **Revista Espacios**, Venezuela, v. 38, n. 23, 2017.

SCHOSSLER, J. H. *et al.* Componentes de rendimento e produtividade do feijoeiro comum submetido à inoculação e co-inoculação com estirpes de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense*. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 17, n. 1, p. 10-15, 2016.

SHIMADA, M; ARF, O; SÁ, M. E. Componentes do rendimento e desenvolvimento do feijoeiro de porte ereto sob diferentes densidades populacionais. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 181-187, 2000.

SQUILASSI, M. G. **Interação de genótipos com ambientes**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2003. 48 p. (Livro técnico).

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.

STRALIOTTO, R.; TEIXEIRA, M. G. A. **Variabilidade Genética do Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**: aplicações nos estudos das interações simbióticas e patogênicas. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, 2000. 59 p. (Documentos, 126)

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 722p.

VALE, N. M. *et al.* Avaliação para tolerância ao estresse hídrico em feijão. **Biotemas**, Florianópolis, v. 25, n. 3, p. 135-144, 2012.

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

VELHO, L. P. S. *et al.* Phenotypic correlation and direct and indirect effects of aerial part components with root distribution of common bean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 52, n. 5, p. 328–334, 2017.

VERONEZI, S. D. F. *et al.* **Co-inoculação de rizóbio e Azospirillum brasilense em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Embrapa Agropecuária Oeste-Outras publicações técnicas (INFOTECA-E), 2012.

VIEIRA, N. M. B. *et al.* Comportamento dos genótipos de feijoeiro em relação à adubação com nitrogênio mineral e inoculação com rizóbio. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 18, n. 01, p. 57-61, 2005.

ZUFFO, A. M. *et al.* Correlações e análise de trilha em cultivares de soja cultivadas em diferentes densidades de plantas. **Revista Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v. 27, n. 1, p. 78-90, 2018.

APÊNDICE A- Fotos

1. Área experimental e semeadura de 2018 (A) e 2019 (B); Irrigação por pivô central (C); Desenvolvimento do feijoeiro (D); Florescimento (E); Colheita (F).

A



B



C



D



E



F



APENDICE B: Fotos

1. Coleta da massa seca da parte aérea e nódulos (A, B); Lavagem das raízes para contagem dos nódulos (A, B, C, D).



APENDICE C: Fotos

1. Secagem de plantas colhidas (A); Total de grãos por parcela (B).

A



B

