

Câmpus  
Ipameri



Universidade  
Estadual de Goiás



**Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal**

**RESPOSTA MORFOLÓGICA E ASPECTOS AGRONÔMICOS DO  
FEIJOEIRO À REINOCULAÇÃO VIA COBERTURA**

**WESTEFANN DOS SANTOS SOUSA**

**M  
E  
S  
T  
R  
A  
D  
O**

**Ipameri-GO  
2020**

WESTEFANN DOS SANTOS SOUSA

**RESPOSTA MORFOLÓGICA E ASPECTOS AGRONÔMICOS  
DO FEIJOEIRO À REINOCULAÇÃO VIA COBERTURA**

Orientador: Prof. Dr. Itamar Rosa Teixeira

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás – UEG, Unidade Universitária de Ipameri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal para obtenção do título de MESTRE.

Ipameri-GO  
2020

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UEG  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

dSO725 Sousa, Westefann dos Santos

r

Resposta morfológica e aspectos agrônômicos do feijoeiro à reinoculação via  
cobertura / Westefann dos Santos Sousa; orientador Itamar Rose Teixeira. --  
Ipameri, 2020.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação Mestrado Acadêmico em  
Produção Vegetal) -- Unidade de Ipameri, Universidade Estadual de Goiás,

1. *Phaseolus vulgaris*. 2. Fixação biológica de nitrogênio. 3. Inoculação  
suplementar. 4. Reinoculação via cobertura. I. Rose Teixeira, Itamar, orient. II.  
Título.

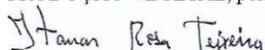
## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO:** “RESPOSTA MORFOLÓGICA E ASPECTOS AGRONÔMICOS DO FEIJOEIRO À REINOCULAÇÃO VIA COBERTURA”

**AUTOR(A):** Westefann dos Santos Sousa

**ORIENTADOR(A):** Itamar Rosa Teixeira

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE(A) EM PRODUÇÃO VEGETAL, pela comissão Examinadora:



Prof. Dr. Itamar Rosa Teixeira (Orientador)  
Universidade Estadual de Goiás/Unidade Universitária Ipameri-GO



Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira  
Universidade Federal de Lavras - MG



Prof. Dr. Adilson Pelá  
Universidade Estadual de Goiás/Unidade Universitária Ipameri-GO

Registro de Declaração	
Número: 065	
Livro: R-01	Folhas: 1A
Data: 07/08/2020	
	

Data da realização: 07 de agosto de 2020

## AGRADECIMENTOS

A presente dissertação de Mestrado não seria possível sem o precioso apoio de várias pessoas. Dentre elas, quero agradecer de forma especial, à quem dedico todas minhas conquistas e vitórias, minha mãe Maria Rosélia. Sem o seu apoio e amor incondicional, não teria chegado até aqui.

Igualmente, agradeço a Deus, o criador de todas as coisas e que me proporcionou esta oportunidade de uma forma tão natural. Foi Ele que me deu forças nas horas de angústia, mostrou o caminho certo a seguir, e me fez acreditar em meu potencial quando pensei que não conseguiria.

Agradeço a todos meus amigos do Mestrado em Produção Vegetal, especialmente a Ane Gabriele, Fernanda Alvarenga, Maryelle Barros, Osmany Francisco, Pedro Henrique Cintra e Layanara Farias, assim como os colegas da Graduação Valter Vaz e Paulo Henrique, cujo apoio esteve presente em todos os momentos. Não poderia deixar de agradecer a um amigo que fiz durante esta jornada, que me ajudou durante a condução do experimento e sempre buscou o melhor de mim. Muito obrigado Thiago Campos por toda ajuda e conhecimentos compartilhados!

Gostaria de agradecer também aos amigos que fiz em Ipameri, especialmente a Daniely Moura, Alexandre Rezende, Mateus Américo e Larissa Karulém, por terem me recebido calorosamente desde à minha chegada nesta cidade.

À todos os funcionários da limpeza, manutenção do campus e lanchonete, que carinhosamente chamávamos de “tias” e “tios”, muito obrigado por ter me acolhido e sempre ter me recebido com tanta atenção e prestação. Agradeço também ao corpo docente da Universidade Estadual de Goiás, principalmente os professores Doutores Talles Alberto, Daniel Carvalho, Roberli Ribeiro, Adilson Pelá e Fábio Santos, pelos ensinamentos e oportunidades oferecidas.

Um trabalho de qualidade só é possível graças a uma boa orientação, e diante disto, agradeço todo apoio dado pelo Professor Dr. Itamar Teixeira, que me acolheu na orientação do mestrado, e sempre muito paciente me orientou pelo caminho da pesquisa. Obrigado professor por todo o aprendizado!

**SUMÁRIO**

RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	viii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVO.....	5
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	6
3.1. Informações gerais .....	6
3.2. Delineamento experimental e detalhes dos tratamentos.....	7
3.3. Parcelas experimentais, implantação e condução.....	8
3.4. Avaliações realizadas .....	8
3.5. Análises estatísticas .....	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	11
4.1. Nodulação.....	13
4.2. Características morfológicas .....	16
4.3. Características agronômicas .....	20
4.4. Correlação de Pearson e análise de trilha .....	24
5. CONCLUSÕES.....	29
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30

## RESUMO

A cultura do feijoeiro tem se mostrado cada vez mais responsiva à adubação nitrogenada, de modo a aumentar a produtividade dos grãos. Além da adubação nitrogenada, existem outros processos que constituem fontes capazes de fornecer grandes quantidades de nitrogênio às plantas, como a fixação biológica de nitrogênio (FBN). Considerando a relevância da FBN no feijoeiro, há necessidade de mais pesquisas voltadas a investigar as associações positivas dos processos de FBN na cultura. Objetivou-se com o estudo, avaliar a resposta morfológica, nodulação e aspectos agronômicos de duas cultivares de feijoeiro submetidas à inoculação suplementar via cobertura (reinoculação). O experimento foi conduzido na safra das águas de 2019/2020, na área experimental pertencente à Universidade Estadual de Goiás – UEG, Unidade Universitária de Ipameri, Ipameri-GO. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 4, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por dois materiais genéticos de feijoeiro (BRS Pitanga e BRS Valente), submetidos a quatro métodos para fornecimento de nitrogênio (MFN): T1 - convencional, com aplicação de N; T2 - inoculação via semente com *Rhizobium tropici* + reinoculação suplementar via cobertura; T3 - inoculação exclusivamente via semente; T4 - inoculação exclusivamente via cobertura. A cultivar BRS Pitanga, com inoculação via semente, associada à reinoculação via cobertura, apresentou a maior massa seca radicular do que quando submetida aos demais tratamentos. O diâmetro do caule e a altura de planta, também apresentou maiores resultados com a BRS Pitanga. A técnica de inoculação, independentemente da forma de aplicação, favorece os aspectos agronômicos e morfológicos do feijoeiro comum. A cultivar de feijoeiro BRS Valente propicia melhores respostas à inoculação. A inoculação via semente combinado com reinoculação suplementar via cobertura proporciona incremento de 2.827 kg ha<sup>-1</sup> na produtividade de grãos do feijão pertencente a cultivar BRS Valente, em relação à adubação nitrogenada mineral.

**Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris*; Fixação biológica de nitrogênio; Inoculação suplementar; Reinoculação via cobertura.

## ABSTRACT

Bean culture has been shown to be increasingly responsive to nitrogen fertilization, in order to increase grain yield. In addition to nitrogen fertilization, there are other processes that constitute sources capable of supplying large amounts of nitrogen to plants, such as biological nitrogen fixation (BNF). Considering the relevance of BNF in common beans, there is a need for further research aimed at investigating the positive associations of BNF processes in the crop. The objective of the study was to evaluate the morphological response, nodulation and agronomic aspects of two bean cultivars submitted to supplementary inoculation via cover (reinoculation). The experiment was conducted in the 2019/2020 water harvest, in the experimental area belonging to the State University of Goiás - UEG, Ipameri University Unit, Ipameri-GO. The design used was in randomized blocks, in a 2 x 4 factorial scheme, with four replications. The treatments consisted of two genetic materials of common bean (BRS Pitanga and BRS Valente), submitted to four methods for nitrogen supply (MNS): T1 - conventional, with application of N; T2 - inoculation via seed with *Rhizobium tropici* + supplementary reinoculation via cover; T3 - inoculation exclusively via seed; T4 - inoculation exclusively via cover. The cultivar BRS Pitanga, with inoculation via seed, associated with reinoculation via cover, presented a greater root dry mass than when submitted to the other treatments. The stem diameter and plant height also showed greater results with BRS Pitanga. The inoculation technique, regardless of the form of application, favors the agronomic and morphological aspects of the common bean. The bean cultivar BRS Valente provides better responses to inoculation. Inoculation via seed combined with supplementary reinoculation via cover provides an increase of 2,827 kg ha<sup>-1</sup> in the grain yield of beans belonging to the BRS Valente cultivar, in relation to mineral nitrogen fertilization.

**Keywords:** *Phaseolus vulgaris*; Biological nitrogen fixation; Supplementary inoculation; Reinoculation via coverage.

## 1. INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), é um dos principais alimentos para a população brasileira, principalmente para as classes de menor poder aquisitivo, o que torna este alimento de suma importância social. Fonte rica em fibras, carboidratos e proteínas vegetais, fornece a energia necessária para o bom funcionamento do organismo humano. Além disso, o feijoeiro comum é cultivado em todas as regiões brasileiras, tornando-o um forte aliado na economia do país.

O Brasil se destaca como um dos principais produtores mundiais do grão, com produção média anual de 3,5 milhões de toneladas (CONAB, 2019). No entanto, a cultura possui pouca importância econômica, em termos de exportação para outros países, devido ao consumo de feijão ser muito pequeno, ou até mesmo inexistente, em países mais desenvolvidos (SILVEIRA et al., 2014). Desta forma, os países que se destacam na produção deste grão, como o Brasil, também são os maiores consumidores.

O feijoeiro é uma leguminosa que possui alto teor de nitrogênio (N) nos grãos e demais tecidos, logo, está entre os nutrientes mais extraído e exportado pela planta (FONSECA et al., 2013). Considerado macronutriente, o N é importante para o crescimento, desenvolvimento das plantas e faz parte de processos metabólicos básicos, tais como fotossíntese, respiração, absorção iônica de outros nutrientes, diferenciação celular, na síntese de proteínas e enzimas (GAUDINIER et al., 2018).

A cultura do feijoeiro tem-se mostrado cada vez mais responsiva à adubação nitrogenada, de modo a proporcionar aumento da produtividade dos grãos, o que tem sido um fator substancial na produção agrícola (TEIXEIRA et al., 2008). Trabalhos têm evidenciado este aumento na produtividade do feijoeiro influenciado pela adubação nitrogenada (SILVA et al., 2017). Souza et al. (2019), por exemplo, obtiveram maior produção de grãos para cultivar Pérola, adicionando-se 200 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura.

Além da adubação nitrogenada, existem outros processos que constituem fontes capazes de fornecer grandes quantidades de N às plantas. O primeiro deles é a própria decomposição da matéria orgânica (MO) do solo, processo natural, e que pode ser favorecido pelo sistema de plantio direto (SPD). Outro processo de grande importância é a fixação biológica de nitrogênio (FBN), que por intermédio de bactérias específicas, o nitrogênio atmosférico (N<sub>2</sub>) é fixado em formas amídicas e disponibilizado às plantas (MUS et al., 2018).

Em termos ecológicos, a aplicação excessiva de fertilizantes nitrogenados tem efeitos negativos no ambiente, como a eutrofização, onde um corpo de água adquire níveis altos de

nutrientes, especificamente fosfatos e nitratos (GAUDINIER et al., 2018). Outro motivo pelo qual é importante os estudos envolvendo a redução de adubação nitrogenada está relacionado às possíveis perdas de N no solo, seja por carreamento superficial, lixiviação, volatilização ou desnitrificação, que reduz o aproveitamento pelas plantas do N aplicado sob a forma de fertilizantes (MA et al., 2019).

A FBN surgiu como uma alternativa de grande relevância na otimização da produção de grãos, na década de 80, com pesquisas concentradas na cultura da soja (EMBRAPA, 2020). Todas as leguminosas possuem essa característica marcante para a agricultura, de realizar simbiose com bactérias rizóbias. Esses microrganismos, no que lhe concerne, fixam o nitrogênio atmosférico nos nódulos radiculares, tornando o disponível à planta hospedeira (CHEKANAI et al., 2018).

Após firmada a simbiose entre bactéria e planta, os processos desencadeados a partir de então são intimamente mutualísticos, ou seja, ambas as espécies se beneficiam com esta interação. Segundo Barros et al. (2013), o rizóbio, neste sistema de simbiose, utiliza os carboidratos provenientes da fotossíntese da planta hospedeira para sua manutenção, e conseqüentemente, promove o processo de FBN, beneficiando a planta com o N fixado em uma forma assimilada.

Quando fixado o  $N_2$ , o complexo proteico, denominado enzima nitrogenase, reduz o  $N_2$  em amônia ( $NH_3$ ), através de complexos proteicos formados por ferro e molibdênio (GUIMARÃES et al., 2017). Posteriormente o nitrogênio assimilado é absorvido pela planta, completando o ciclo da relação simbiótica.

Naturalmente, as leguminosas possuem a capacidade de interação natural com bactérias diazotróficas fixadoras de  $N_2$  (SILVA et al., 2016). No entanto, para que haja uma melhor eficiência do sistema produtivo, por intermédio da FBN, é comum que produtores, na ocasião da semeadura, fazem uso da inoculação das sementes com cepas da bactéria do gênero *Rhizobium* (OLIVEIRA, 2014). No caso do feijoeiro, a bactéria mais comumente utilizada para inoculação é a *R. tropici* e segundo Rabelo et al. (2017) esta técnica de inoculação contribui, em média, com até 40% do nitrogênio adquirido pela cultura.

Ainda é muito discrepante os resultados de pesquisa quanto à total substituição da adubação nitrogenada pela inoculação na cultura do feijoeiro. Mendes et al. (2010) relatam que para o feijoeiro, de modo diferente da cultura da soja, a inoculação nem sempre é suficiente para suprir toda exigência nutricional de N pela cultura. Apesar de se mostrar eficiente, a inoculação do feijoeiro comum com estirpes de rizóbio ainda é um feito que está sendo estudado por diversos pesquisadores, e os resultados não apresentam consistência que permita a

recomendação inequívoca dessa técnica para substituição de todo o fertilizante nitrogenado nas condições de cultivo no Brasil (FERREIRA et al., 2013).

Independentemente do que tem sido discutido, a eficiência da FBN está mais relacionada com fatores próprios da bactéria (inserção de novas estirpe e populações de rizóbio nativa no solo) e do meio onde a planta está inserida (ambiente-solo-planta), do que a própria espécie de leguminosa em questão (FERNANDES JUNIOR e REIS, 2008). Pois, como todo processo biológico, a FBN requer o suprimento de condições ideais na fertilidade do solo, características hídricas e temperaturas adequadas, para expressar sua máxima eficiência (FERREIRA et al., 2013).

Por outro lado, em algumas pesquisas, tem sido obtidas altas produtividades do feijoeiro, quando este é submetido a inoculação de estirpes de rizóbio mais eficientes e competitivas, com substituição do N mineral, ainda que parcial, garantindo produtividades acima de 2.500 kg ha<sup>-1</sup> (FERREIRA et al., 2013). Com a inoculação de rizóbio exclusivamente na semeadura e adubação com 40 kg ha<sup>-1</sup> aos 25 dias após a emergência (DAE), Barros et al. (2016) obtiveram a mesma produtividade das plantas fertilizadas com N na semeadura e aos 25 DAE (20 kg ha<sup>-1</sup> e 40 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente).

Outros autores corroboram com esta discussão, a exemplo de estudos realizados por Oliveira e Sbardelotto (2011), que verificaram resposta positiva do feijoeiro comum cv. Eldorado submetido a inoculação com *R. tropici*. Os autores supracitados citam a prática como promissora para redução da adubação nitrogenada na cultura.

Chaves et al. (2018) relatam um aumento da produtividade do feijoeiro de 11%, quando utilizado a inoculação, sendo superior ao que recebeu aplicação de 30 kg ha<sup>-1</sup> de N; Oliveira et al. (2017) afirmam que, a adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro pode ser substituída na sua totalidade pela inoculação com a bactéria *R. tropici*, uma vez que esta, aumenta a produtividade do feijoeiro comum cv. Pérola; e, a inoculação, como relatado por Barros et al. (2013), pode substituir a adubação nitrogenada de 20 kg ha<sup>-1</sup> no plantio, sem perda de produtividade.

Outra possível alternativa, não muito utilizada, é a reinoculação da leguminosa. A técnica consiste na reinoculação da cultura em áreas que já foram inoculadas na ocasião da semeadura (inóculo via semente + inóculo via cobertura), considerada também como uma inoculação suplementar. Há relatos de que reinoculações na soja via cobertura, com pulverizações adicionais de *Bradyrhizobium* até o estágio R6, aumentaram significativamente a nodulação da cultura (MORETTI et al., 2018). No feijoeiro, não há trabalhos envolvendo essa otimização da inoculação suplementar via cobertura.

Portanto, o aumento da produtividade do feijoeiro, resultante do uso intensivo de fertilizantes minerais, é uma prática que requer alta energia e gera custos ambientais (GOPALAKRISHNAN et al., 2015; TOZLU et al., 2012). Diante disso, incrementando o que tem sido feito com relação a FBN no feijoeiro, e atendendo aos princípios da inovação, é oportuno o desenvolvimento deste tipo de investigação. Assim, considera-se a hipótese de que a adubação nitrogenada, comumente utilizada, poderia ser substituída parcial ou totalmente, pela inoculação via semente, suplementada com inoculação via cobertura (reinoculação).

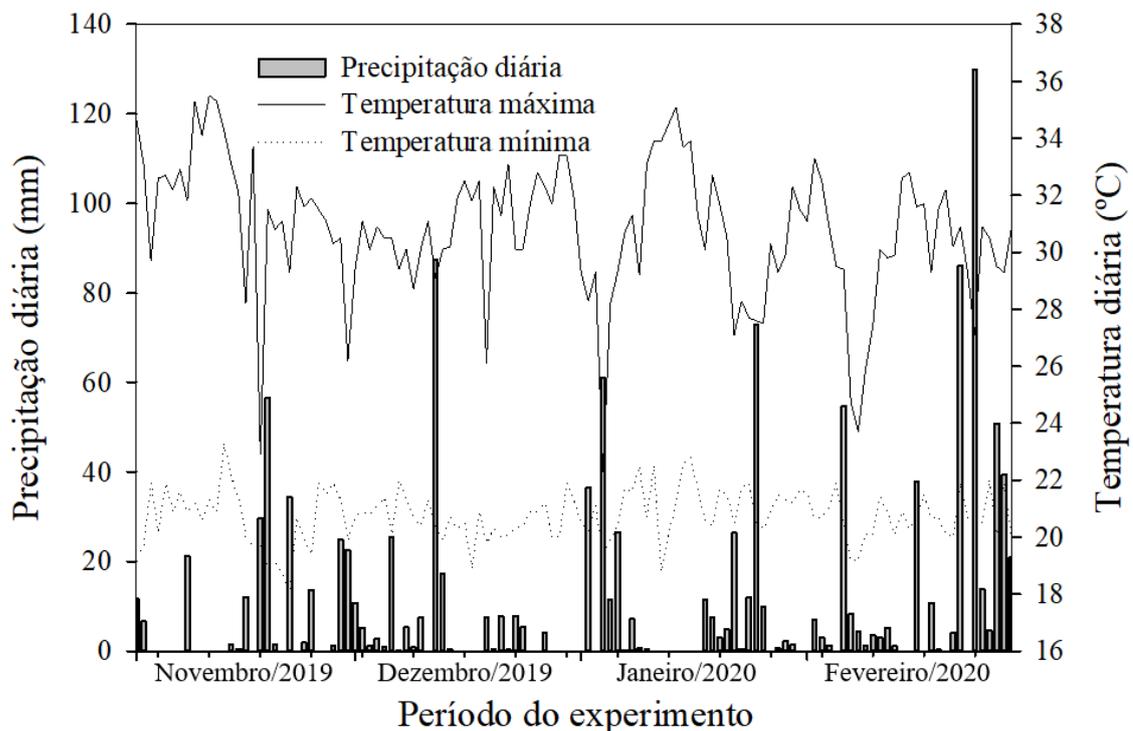
## 2. OBJETIVO

Avaliar a resposta morfológica, efeitos na nodulação e aspectos agronômicos de duas cultivares de feijoeiro submetidas a inoculação suplementar via cobertura (reinoculação), de modo a constatar a eficiência deste método e otimizar a fixação biológica de nitrogênio, nas condições edafoclimáticas do Cerrado goiano.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Informações gerais

O experimento foi conduzido na safra das águas de 2019/2020, na área experimental pertencente à Universidade Estadual de Goiás – UEG, Unidade Universitária de Ipameri, Ipameri-GO. As coordenadas geográficas da área são: 17°43'27''S e 48°08'55''W, com altitude média de 800 m (GOOGLE EARTH, 2019). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, com temperaturas mensais superiores a 20 °C, e precipitação pluviométrica variando de 1100 a 1800 mm anuais (CARDOSO et al., 2014). Os dados climáticos do período em que o experimento foi conduzido são apresentados abaixo (Figura 1).



**Figura 1.** Dados climáticos diários referentes à precipitação pluviométrica (mm), temperatura máxima (°C) e temperatura mínima (°C) para o período de condução do experimento. Ipameri, UEG, 2020.

Anteriormente, na área onde foi conduzido o experimento, cultivou-se feijão comum em consórcio com híbrido de mamona, no primeiro semestre de 2019. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, com padrão brunado devido o elevado teor de matéria orgânica, o que determinou um sobretom escurecido na camada mais superficial do solo. A textura foi caracterizada como média-arenosa, compreendendo a classe textural franco arenosa, com mais de 520 g kg<sup>-1</sup> de areia (SANTOS et al., 2018). Antes da instalação do experimento

foram retiradas amostras da camada de 0-20 cm do solo, para caracterização físico-química (Tabela 1).

**Tabela 1.** Resultado da análise físico-química da área experimental da Universidade Estadual de Goiás, Ipameri-GO.

Ca	Mg	Al	H+Al	K	P	Na	Zn	B	Cu	Fe	Mn
----- cmolc dm <sup>-3</sup> -----			-- mg dm <sup>-3</sup> --			----- mg dm <sup>-3</sup> -----					
5,0	1,2	0,0	3,4	188,2	11,2	10,4	9,3	0,19	1,1	27,9	33,8
V	MO	C	pH	CTC	Argila	Silte	Areia				
%	--- g dm <sup>-3</sup> ---	CaCl <sub>2</sub>	cmolc dm <sup>-3</sup>	----- g kg <sup>-1</sup> -----							
66,39	40	23,20	5,2	10,13	340,0	90,0	570,0				

Ca = cálcio, Mg = magnésio, Al = alumínio, H = hidrogênio, K = potássio, P (Melich) = fósforo, Na = sódio, Zn = zinco, B = boro, Cu = cobre, Fe = ferro, Mn = manganês, V = saturação por bases, MO = matéria orgânica, C = carbono, pH = potencial hidrogeniônico, CTC = capacidade de troca catiônica.

### 3.2. Delineamento experimental e detalhes dos tratamentos

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 4, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por dois materiais genéticos de feijoeiro (BRS Pitanga e BRS Valente), submetidos a quatro métodos para fornecimento de nitrogênio (MFN): T1 - convencional, com aplicação de N (20 e 40 kg ha<sup>-1</sup> no plantio e na cobertura, respectivamente) seguindo as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (RIBEIRO et al., 1999); T2 - inoculação via semente com *Rhizobium tropici* + reinoculação suplementar via cobertura; T3 - inoculação exclusivamente via semente; T4 - inoculação exclusivamente via cobertura.

As cultivares utilizadas no trabalho são provenientes da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. A primeira (BRS Pitanga), faz parte do grupo comercial “roxinho”, com planta de porte ereto, hábito de crescimento indeterminado (tipo II) e ciclo médio de 83 dias (EMBRAPA, 2004). A outra cultivar utilizada foi a BRS Valente, pertencente ao grupo comercial de grão preto, possui ciclo de maturação entre 80 a 90 dias, com porte ereto e hábito de crescimento do tipo II (arbustiva e indeterminado) (EMBRAPA, 2002).

No tratamento que recebeu adubação nitrogenada, o nutriente foi aplicado na ocasião da semeadura e no estágio V<sub>4</sub> (plantas com 4 trifólios), de forma contínua ao longo das linhas do feijoeiro de cada parcela do tratamento e a fonte utilizada foi ureia. Para o tratamento que recebeu inoculação + reinoculação suplementar via cobertura, ocorreu no final do estágio V<sub>4</sub>, quando as plantas apresentaram de seis folhas trifolioladas. Utilizou-se o produto Biomax Premium, com estirpes do rizóbio recomendado para o feijão (SEMIA 4088).

Na inoculação via semente, aplicou-se o inoculante turfoso ( $2 \times 10^9$  UFC  $g^{-1}$ ) e seguiu as recomendações do produto, na dosagem de 100 g do produto para 50 kg de sementes. Na suplementação via cobertura (reinoculação), assim como a inoculação exclusivamente via cobertura, utilizou-se 300 mL  $ha^{-1}$  do inoculante líquido ( $2 \times 10^9$  UFC  $ml^{-1}$ ), em volume de calda de 200 L  $ha^{-1}$ . As aplicações foram realizadas com pulverizador costal de 20 L, no final da tarde, direcionando o jato para as linhas do feijoeiro (MORETTI et al., 2018).

### 3.3. Parcelas experimentais, implantação e condução

As parcelas experimentais foram formadas por quatro fileiras de 5 m de comprimento, espaçadas em 0,50 m, perfazendo 10  $m^2$  de área total. A área útil de cada parcela, foi composta pelas duas linhas centrais, totalizando-se 5  $m^2$  de área útil. A densidade de semeadura foi de 12 plantas por metro linear para ambas as cultivares de feijão. Inicialmente a área foi dessecada com 2,4-D + glyphosate (2,5 L  $ha^{-1}$  de cada produto), e uma semana depois realizou-se o preparo convencional do solo, com uma aração e uma gradagem. Ao longo do ciclo, o controle de plantas daninhas foi realizado por meio de duas capinas manuais.

A calagem foi dispensada e a adubação básica foi realizada com fósforo e potássio, nas doses de 60 kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$  e 30 kg de  $K_2O$   $ha^{-1}$ , respectivamente (RIBEIRO et al., 1999). A adubação nitrogenada de base e em cobertura foi adicionada somente no tratamento testemunha (adubação convencional) e dispensada para as demais parcelas. Antes da semeadura, as sementes foram tratadas com fertilizante líquido contendo micronutrientes (Booster) na dose de 0,2 L  $ha^{-1}$ .

Realizou-se o controle de formigas (*Atta* sp.) com distribuição de iscas granuladas Mirex – S (Sulfluramina) na fase inicial do experimento. Foi utilizado o inseticida Decis® 25 EC (30 mL 100  $L^{-1}$ ) no controle de cigarrinha-verde (*Empoasca kraemeri*), vaquinha-verde-amarela (*Diabrotica speciosa*), broca-da-vagem (*Etiella zinckenella*), e pulgão (*Aphis craccivora*). O inseticida Galil® SC (300 mL  $ha^{-1}$ ) foi utilizado no controle da mosca-branca (*Bemisia tabaci*). Para controle preventivo de doenças fúngicas causadas por *Sclerotinia sclerotiorum* (podridão-de-sclerotinia), *Colletotrichum lindemuthianum* (antracnose) e *Erysiphe polygoni* (oídio) aplicou-se o fungicida Cercobin® 700 WP (70 g p.c 100  $L^{-1}$  de água).

### 3.4. Avaliações realizadas

Foram coletadas, com auxílio de um enxadão, cinco plantas da bordadura de cada parcela para avaliação da nodulação das plantas. As raízes foram lavadas e posteriormente feita

a contagem do número de nódulos por planta (NN) nos estádios V<sub>4</sub> e R<sub>6</sub>, antes e após a aplicação do inoculante em cobertura. Foram incluídos na contagem dos nódulos somente aqueles que estavam com tamanho igual ou superior a 2 mm. Na ocasião das amostragens no estádio R<sub>6</sub>, os nódulos destacados foram levados à estufa de circulação forçada por 48 horas à 65 °C, com pesagem do material seco em balança de precisão, para determinação da massa seca de nódulos por planta (MSN). Com base nesses resultados, foi calculado a razão entre a massa seca e o número de nódulos por planta, para obtenção da massa seca por nódulo (MSPN) (MOREIRA et al., 2017). Não foi possível realizar todas as avaliações de nodulação no estádio V<sub>4</sub>, em razão dos nódulos estarem pequenos e em processo de formação, sendo feito somente à avaliação de NN no respectivo estádio fenológico do feijoeiro.

Quando as plantas estavam no início do estádio de formação das vagens (R<sub>6</sub>), foram coletadas cinco plantas de cada tratamento para avaliação da área foliar (AF), fotografando 10 folhas saudáveis das plantas amostradas de cada tratamento, e em seguida as imagens foram processadas no software ImageJ (NIH, 2011) para mensuração da área foliar (MARTIN et al., 2013). Avaliou-se também a altura de planta (AP), medindo a distância entre o colo da planta e o ápice da haste principal; comprimento da raiz (CR), medindo-se a distância entre o colo da planta e a extremidade final da raiz (coifa); diâmetro do caule (DC), mensurado com auxílio de um paquímetro.

No final do estádio de formação das vagens coletou-se as raízes, caules, folhas e vagens de cinco plantas da área útil, as quais foram separadas e levadas para estufa de circulação forçada à 70 °C por 48 horas, para determinação da massa seca radicular (MSR), massa seca caulinar (MSC), massa seca foliar (MSF), massa seca de vagens (MSV) e massa seca por vagem (MSPV), pesando-se o material após desidratado; a biomassa seca total (BIO) foi determinada pelo somatório das massas secas (MSR+MSC+MSF). O material seco da parte aérea (folhas) foi moído em moinho tipo willey e armazenados em sacos de papel devidamente identificados, os quais foram encaminhados para o laboratório para determinação de nitrogênio foliar (N). A metodologia utilizada para análise de tecido vegetal foi a digestão sulfúrica seguida da destilação e titulação (método Kjeldahl) (SILVA, 2009).

Na ocasião da colheita, foram colhidas 10 plantas na área útil de cada parcela para determinação do número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), peso médio de cem grãos (P100G) e produtividade de grãos (PROD), além do estande final (EF), correspondente ao número de plantas existentes na parcela amostrada. A massa média de 100 grãos, expressa em gramas, e a produtividade de grãos expresso em kg ha<sup>-1</sup> foram corrigidos para 13% de umidade.

### **3.5. Análises estatísticas**

Os efeitos dos fatores estudados foram discriminados pela análise de variância, por meio dos programas de análises estatísticas SISVAR (FERREIRA, 2011) e AgroEstat (BARBOSA e MALDONADO JÚNIOR, 2015). Quando apresentada significância para os fatores isolados ou interação (Cultivares x Métodos para fornecimento de nitrogênio), aplicou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foi determinado o coeficiente de correlação de Pearson entre todas as variáveis avaliadas e a análise multivariada foi feita por meio da análise de trilha, como técnica estatística para realçar efeitos diretos e indiretos de um conjunto de variáveis sobre uma variável principal, independentemente dos tratamentos estudados (ANDREOLA et al., 2000). O software utilizado nessas análises foi o Genes (CRUZ, 2013). As plotagens dos gráficos foram realizadas com auxílio do software SigmaPlot 10.0 (SYSTAT SOFTWARE 2006).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos estudados apresentaram efeito isolado sob as variáveis número de nódulos por planta no estágio V<sub>4</sub> (NN<sub>4</sub>), número de nódulos por planta no estágio R<sub>6</sub> (NN<sub>6</sub>) e massa seca de nódulos (MSN). Para as características de biomassa, houve interação entre cultivar e os métodos para fornecimento de nitrogênio (MFN) para a biomassa seca total (BIO) e massa seca radicular (MSR), enquanto o fator MFN influenciou significativamente a massa seca caulinar (MSC). Observa-se também que as cultivares estudadas influenciaram significativamente a MSC, massa seca foliar (MSF), massa seca de vagens (MSV) e massa seca por vagem (MSPV) (Tabela 2).

Para as variáveis que correspondem as características morfológicas e componentes agronômicos do feijoeiro, nota-se um efeito de interação significativa entre os fatores estudados sobre o diâmetro do caule (DC), altura de planta (AP) e nitrogênio foliar (N), sendo o mesmo resultado verificado para produtividade de grãos (PROD). Ao observar os efeitos dos fatores isolados, foi possível averiguar significância da cultivar sob o número de vagens por planta (NVP) e número de grãos por vagem (NGV), enquanto que os MFN, apresentaram efeitos significativos sobre NVP e peso médio de 100 grãos (P100G) (Tabela 2).

As variáveis massa seca por nódulo (MSPN), comprimento da raiz (CR), área foliar (AF) e estande final das plantas (EF), não foram influenciadas pelos fatores estudados de forma isolada, tampouco pela sua interação (Tabela 2).

**Tabela 2.** Análise de variância das variáveis de nodulação, características morfológicas e componentes agronômicos de cultivares de feijoeiro (C), submetidas a diferentes métodos para fornecimento de nitrogênio (MFN). Ipameri, UEG, 2020.

Quadrados Médios					
FV	GL	NN <sub>4</sub>	NN <sub>6</sub>	MSN	MSPN
Blocos	3	280,754 <sup>NS</sup>	632,344 <sup>NS</sup>	0,00193 <sup>NS</sup>	0,000004 <sup>NS</sup>
C	1	478,951 <sup>*</sup>	6458,16 <sup>**</sup>	0,05395 <sup>**</sup>	0,000008 <sup>NS</sup>
MFN	3	69,7745 <sup>NS</sup>	2411,53 <sup>**</sup>	0,02793 <sup>**</sup>	0,000004 <sup>NS</sup>
C x MFN	3	163,507 <sup>NS</sup>	176,134 <sup>NS</sup>	0,00607 <sup>NS</sup>	0,000003 <sup>NS</sup>
Resíduo	21	94,4755	368,580	0,00351	0,000002
CV (%)	-	49,51	37,37	34,14	40,86
FV	GL	MSR	MSC	MSF	BIO
Blocos	3	0,07782 <sup>NS</sup>	1,88997 <sup>NS</sup>	1,60454 <sup>NS</sup>	1,95917 <sup>NS</sup>
C	1	2,67961 <sup>**</sup>	251,664 <sup>**</sup>	88,3785 <sup>**</sup>	723,691 <sup>**</sup>
MFN	3	0,11260 <sup>NS</sup>	13,6240 <sup>*</sup>	2,29168 <sup>NS</sup>	21,9525 <sup>*</sup>
C x MFN	3	0,28582 <sup>*</sup>	7,98717 <sup>NS</sup>	4,67860 <sup>NS</sup>	27,3045 <sup>*</sup>
Resíduo	21	0,08940	3,56308	1,88792	7,05743 <sup>*</sup>
CV (%)	-	16,02	19,64	17,13	13,62
FV	GL	MSV	MSPV	DC	AP
Blocos	3	56,6129 <sup>**</sup>	0,07632 <sup>**</sup>	0,07684 <sup>NS</sup>	409,6412 <sup>**</sup>
C	1	460,561 <sup>**</sup>	0,84635 <sup>**</sup>	14,0582 <sup>**</sup>	6815,28 <sup>**</sup>
MFN	3	9,62675 <sup>NS</sup>	0,00669 <sup>NS</sup>	0,01942 <sup>NS</sup>	90,8079 <sup>NS</sup>
C x MFN	3	6,96602 <sup>NS</sup>	0,00461 <sup>NS</sup>	1,24017 <sup>*</sup>	279,641 <sup>*</sup>
Resíduo	21	10,4820	0,00571	0,28804	68,8650
CV (%)	-	35,66	15,36	7,36	8,03
FV	GL	CR	AF	N	EF
Blocos	3	16,5979 <sup>NS</sup>	261,738 <sup>**</sup>	5,94125 <sup>NS</sup>	128,031 <sup>NS</sup>
C	1	35,7012 <sup>NS</sup>	62,9349 <sup>NS</sup>	13,7812 <sup>NS</sup>	1188,28 <sup>NS</sup>
MFN	3	7,89125 <sup>NS</sup>	22,5470 <sup>NS</sup>	104,594 <sup>**</sup>	712,281 <sup>NS</sup>
C x MFN	3	2,50125 <sup>NS</sup>	20,9677 <sup>NS</sup>	22,6012 <sup>*</sup>	337,281 <sup>NS</sup>
Resíduo	21	19,6131	24,6900	6,78125	327,126
CV (%)	-	12,99	10,25	6,37	8,91
FV	GL	NVP	NGV	P100G	PROD
Blocos	3	3,29693 <sup>NS</sup>	0,59658 <sup>**</sup>	0,68923 <sup>NS</sup>	76182,58 <sup>NS</sup>
C	1	202,886 <sup>**</sup>	2,79270 <sup>**</sup>	0,04209 <sup>NS</sup>	4691543,1 <sup>**</sup>
MFN	3	61,6282 <sup>*</sup>	0,09905 <sup>NS</sup>	23,6975 <sup>**</sup>	6087707,6 <sup>**</sup>
C x MFN	3	15,1654 <sup>NS</sup>	0,14365 <sup>NS</sup>	0,26446 <sup>NS</sup>	796684,46 <sup>**</sup>
Resíduo	21	14,2211	0,18553	1,77360	57954,92
CV (%)	-	23,97	9,22	11,89	10,27

NN<sub>4</sub> = número de nódulos no estágio V<sub>4</sub>, NN<sub>6</sub> = número de nódulos no estágio R<sub>6</sub>, MSN = massa seca de nódulos, MSPN = massa seca por nódulos, MSR = massa seca radicular, MSC = massa seca caulinar, MSF = massa seca foliar, BIO = biomassa seca total, MSV = massa seca de vagens, MSPV = massa seca por vagem, DC = diâmetro do caule, AP = altura de planta, CR = comprimento da raiz, AF = área foliar, N = nitrogênio foliar, EF = estande final, NVP = número de vagens por planta, NGV = número de grãos por vagem, P100G = peso médio de 100 grãos e PROD = produtividade de grãos. FV = fonte de variação, GL = Grau de Liberdade e CV = Coeficiente de Variação. ns = não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade, \* e \*\* significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

#### 4.1. Nodulação

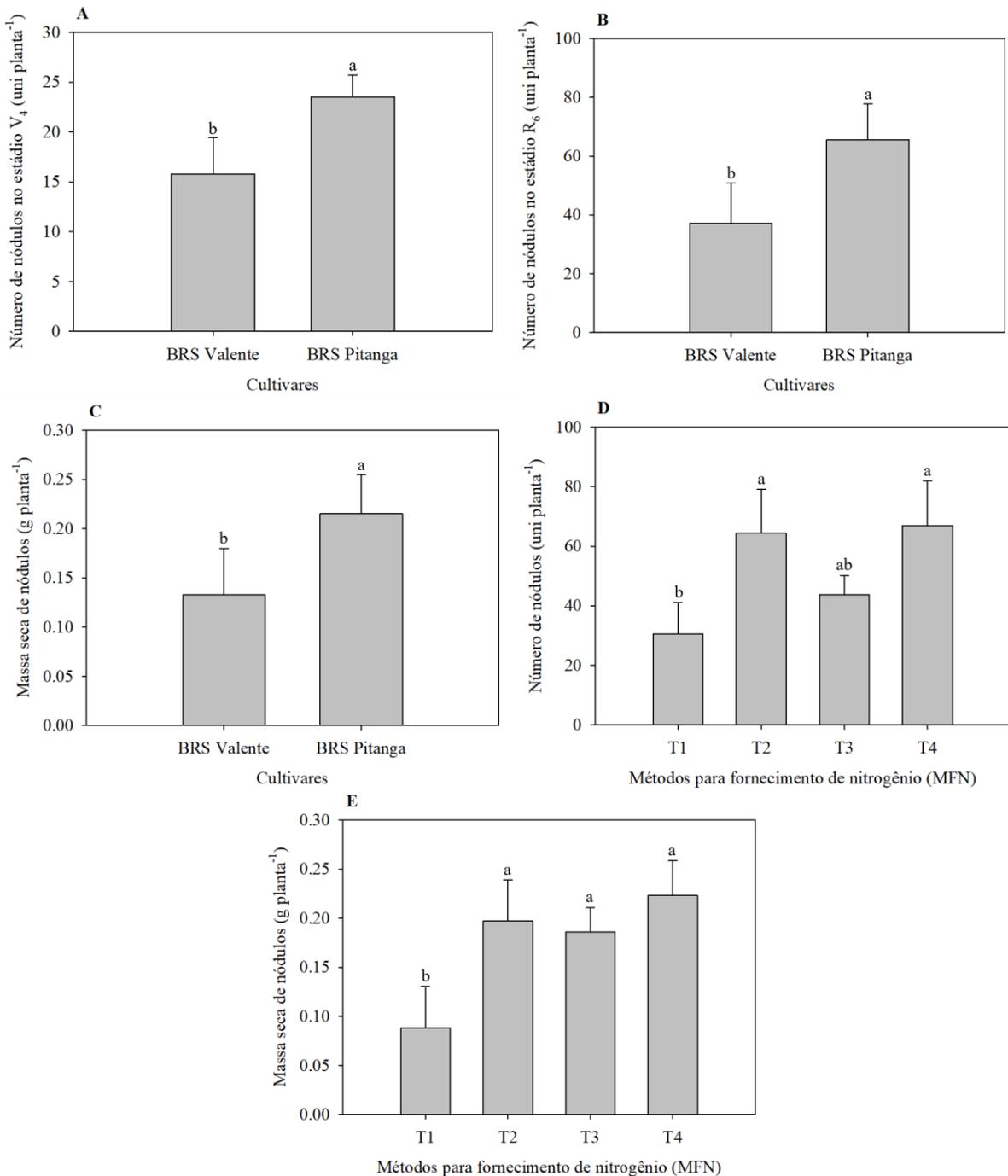
A cultivar de feijão BRS Pitanga apresentou maior desempenho para número de nódulos no estágio V<sub>4</sub> (NN<sub>4</sub>), número de nódulos no estágio R<sub>6</sub> (NN<sub>6</sub>) e massa seca de nódulos (MSN), quando comparada com a BRS Valente. A diferença entre as cultivares foi da ordem de 7,7 uni planta<sup>-1</sup> no NN<sub>4</sub> (Figura 2A), de 28,4 uni planta<sup>-1</sup> no NN<sub>6</sub> (Figura 2B) e 0,082 g planta<sup>-1</sup> da MSN (Figura 2C). Dentre os fatores estudados, a massa seca por nódulos (MSPN) não foi influenciada pelos tratamentos. Por se tratar de uma razão matemática (quociente entre MSN e NN), a elevada nodulação leva a formação de nódulos menores, enquanto na baixa nodulação tem-se a formação de nódulos maiores (VALADÃO et al., 2009). Deste modo, o valor produzido por essa variável não é muito importante para representar o potencial de nodulação do feijoeiro.

O fato de diferentes cultivares terem características de nodulação distintas, é um resultado que pode ser influenciado pelos genótipos de feijoeiro comum (ANDRAUS et al., 2016). Em vista disso, os melhores resultados atribuídos a BRS Pitanga, estaria associado a seu maior potencial genético na formação e atividade de nódulos, o que caracteriza um desempenho superior da FBN (FONSECA et al., 2013).

O tratamento que recebeu somente adubação nitrogenada (T1), resultou nos menores valores para NN (Figura 2D) e MSN (Figura 2E), com respectivos valores de 30,4 uni planta<sup>-1</sup> e 0,088 g planta<sup>-1</sup>. Para os demais tratamentos, que receberam inoculação com *R. tropici*, houve um aumento de 111, 43,5 e 119,5% no NN para inoculação via semente + reinoculação suplementar via cobertura (T2), inoculação exclusivamente via semente (T3) e inoculação exclusivamente via cobertura (T4), respectivamente. A MSN também foi superior quando utilizado algum tipo de inoculação, comparado ao tratamento T1. O incremento na MSN foi de 123,9, 111,4 e 153,4 para os tratamentos T2, T3 e T4, na devida ordem. Neste caso, sugere-se que a presença de estirpes nativas no solo promoveu a nodulação do feijoeiro adubado com N, e o maior resultado encontrado nos tratamentos inoculados está atribuído ao efeito da inoculação (VALADÃO et al., 2009).

O fato de as cultivares BRS Valente e BRS Pitanga pertencerem ao hábito indeterminado e tipo II, com plantas mais eretas, possibilitou eficiência do processo de aplicação do inoculante em cobertura feito diretamente no solo. Contudo, para as cultivares de crescimento indeterminado e pertencentes ao tipo III, com porte prostrado, à aplicação do inoculantes em cobertura talvez não seja eficiente, em razão das gotículas pulverizadas terem dificuldade de atingir diretamente o solo.

Ademais, os bons resultados para as variáveis de nodulação estão associados à maximização da capacidade simbiótica de N<sub>2</sub> no feijoeiro (KNUPP et al., 2017). Então, pode-se afirmar que a inoculação com *R. tropici* é eficiente para aumentar o número de nódulos por planta e a massa seca dos nódulos, com resultados superiores à adubação nitrogenada de 20 e 40 kg ha<sup>-1</sup> de N na base e cobertura, respectivamente. Resultados semelhantes são frequentemente observados em experimentos com inoculação do rizóbio e adubação nitrogenada, como os relatados por Chaves et al. (2018) e Barros et al. (2013), que evidenciaram maior número de nódulos e a maior massa seca de nódulos no feijão-caupi e feijão comum, respectivamente, em tratamentos inoculados, e os resultados para a adubação nitrogenada foram inferiores, semelhantes ao observado no presente trabalho.



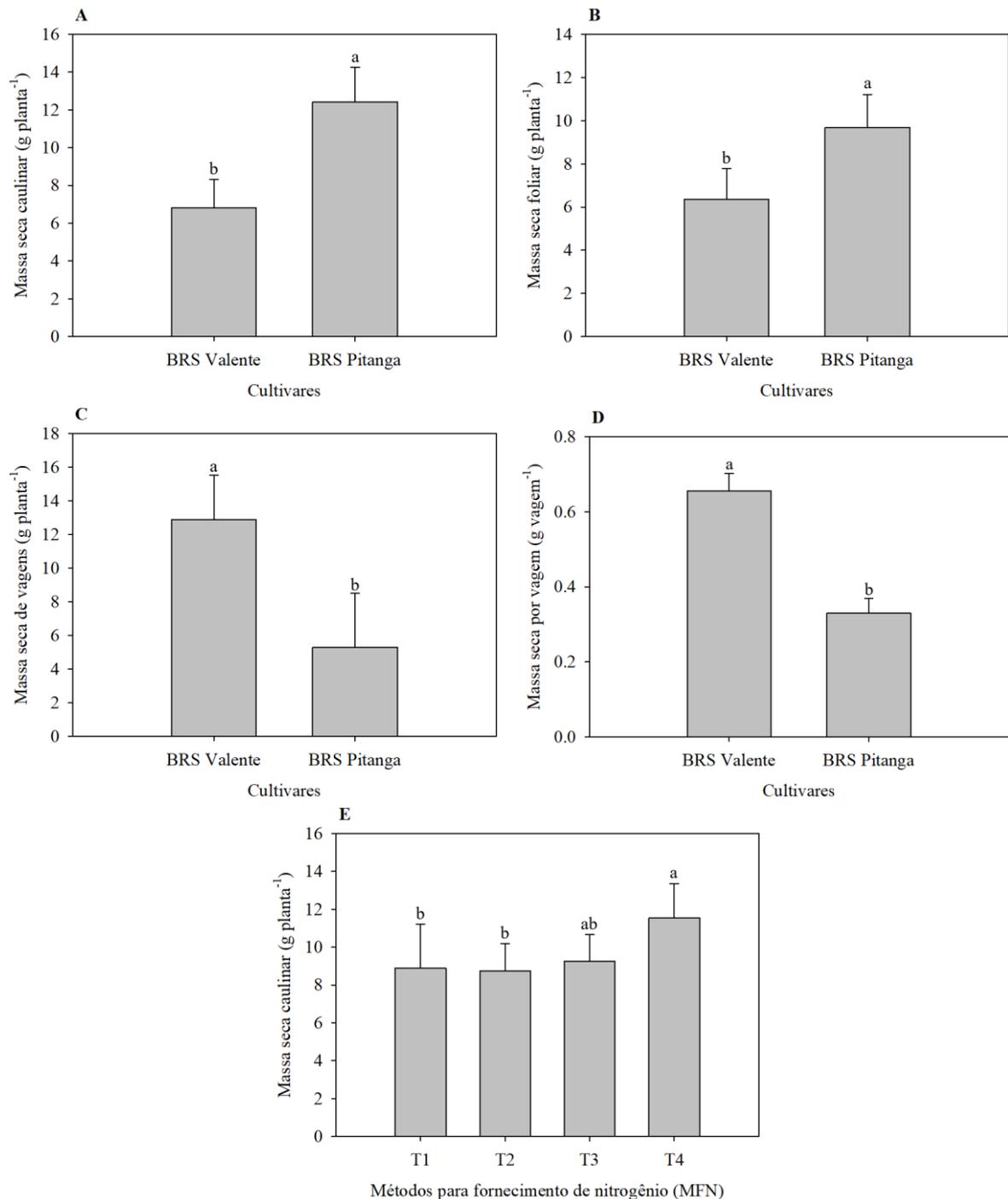
**Figura 2.** Valores médios da nodulação do feijoeiro. Número de nódulos no estágio V<sub>4</sub> (A), número de nódulos no estágio R<sub>6</sub> (B) e massa seca de nódulos (C) das cultivares BRS Valente e BRS Pitanga. Número de nódulos (D) e massa seca de nódulos (E) em função dos métodos para fornecimento de nitrogênio: T1 = convencional, com aplicação de N; T2 = inoculação via semente + reinoculação suplementar via cobertura; T3 = inoculação exclusivamente via semente; T4 = inoculação exclusivamente via cobertura. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## 4.2. Características morfológicas

A cultivar BRS Pitanga expressou resultados superiores para massa seca caulinar (MSC) (Figura 3A) e massa seca foliar (MSF) (Figura 3B), cuja diferença estatística foi, na devida ordem, de 5,6 g planta<sup>-1</sup> e 3,3 g planta<sup>-1</sup>, entre as duas cultivares estudadas. A cultivar BRS Pitanga, que expressou os melhores resultados para MSC e MSF, apresentou um desempenho vegetativo superior a BRS Valente, o que pode estar relacionado com o maior potencial vegetativo do genótipo e justifica a discriminação das variáveis entre as cultivares (HIOLANDA et al., 2018). Em relação às variáveis de biomassa da vagem, os resultados foram maiores para a cultivar BRS Valente, com diferença de 7,6 g planta<sup>-1</sup> para massa seca de vagens (MSV) (Figura 3C) e 0,325 g vagem<sup>-1</sup> para massa seca por vagem (MSPV) (Figura 3D), em relação à cultivar BRS Pitanga.

Nota-se uma distribuição discriminada entre às duas cultivares no que diz respeito as características de massa seca acumulada, em que anteriormente, a BRS Pitanga acumulou maior massas secas de folha e caule, enquanto BRS Valente, por sua vez, apresentou maior acúmulo nas vagens. Deste modo, os resultados confirmam a existência de variações entre as cultivares para algumas características, pressupondo neste caso, que estas são determinadas geneticamente (COELHO et al., 2007).

O tratamento com aplicação do inóculo somente via cobertura (T4) interferiu significativamente na MSC, com o maior valor de 11,5 g planta<sup>-1</sup>, que nos demais tratamentos (T1, T2 e T3), os quais apresentaram resultados inferiores na ordem de 8,9, 8,7 e 9,2 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente. Destaca-se que o segundo maior valor foi obtido no o tratamento com inóculo exclusivamente via semente, da MSC (Figura 3E). Isto demonstra um efeito positivo da inoculação com *R. tropici*, que certamente contribui de forma significativa para a maior fixação de N na planta e, conseqüentemente, com o incremento de biomassa na planta (BORGES et al., 2012).



**Figura 3.** Valores médios das características morfológicas do feijoeiro. Massa seca caulinar (A), massa seca foliar (B), massa seca de vagens (C) e massa seca por vagem (D) das cultivares BRS Valente e BRS Pitanga. Massa seca caulinar (E) em função dos métodos para fornecimento de nitrogênio: T1 = convencional, com aplicação de N; T2 = inoculação via semente + reinoculação suplementar via cobertura; T3 = inoculação exclusivamente via semente; T4 = inoculação exclusivamente via cobertura. Médias seguidas pela mesma letra não difere entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

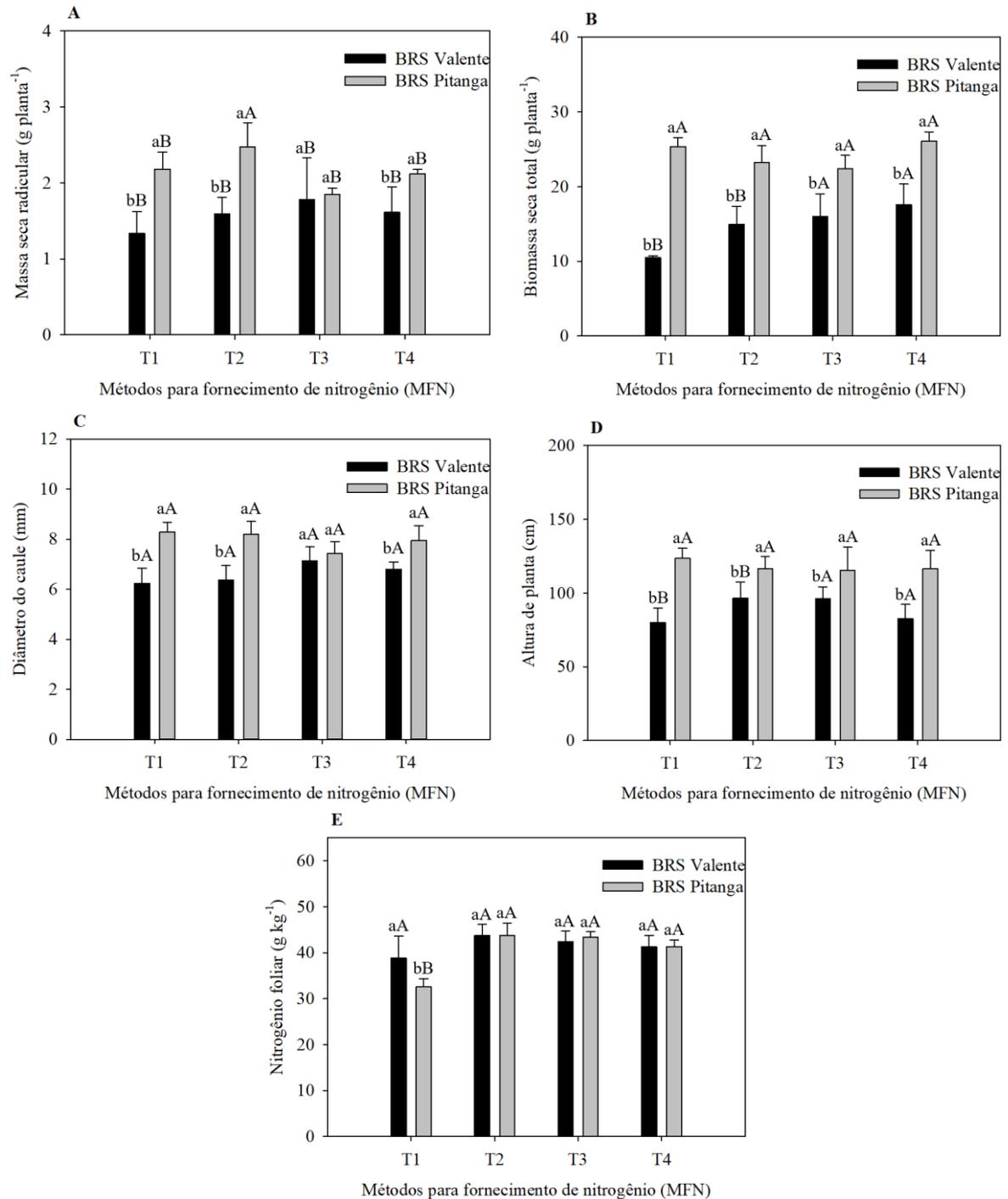
O comprimento da raiz (CR) e a área foliar (AF), não foram influenciados pelos tratamentos utilizados, assim como, não diferenciaram entre si em ambas as cultivares investigadas. Resultado que geralmente pode ser atribuído a uma série de fatores, como, por exemplo, o arranquio manual das plantas para amostragem, em que a retirada do sistema

radicular foi prejudicada, por não se conseguir retirar todo o sistema radicular da planta do solo durante a amostragem, o que pode ter influenciado nos resultados de CR. A área foliar por sua vez, como foi realizada somente uma amostragem no estágio R<sub>6</sub>, as plantas já estavam em seu pleno desenvolvimento morfológico, visto que o desenvolvimento foliar do feijoeiro tipo II e III, de forma geral, é dado até por volta de 55 dias da emergência (SANTOS, 2015), justificando assim a não influência dos tratamentos sobre estas características.

Para a cultivar BRS Pitanga, a associação do tratamento com inoculação via semente mais a reinoculação via cobertura (T2), propiciou os melhores resultados para a massa seca radicular (2,5 g planta<sup>-1</sup>) (Figura 4A). Particularmente, quando observado a biomassa seca total das plantas de feijoeiro comum (Figura 4B), a referida cultivar resultou nas maiores médias em todos os tratamentos utilizados. A BRS Pitanga mostrou-se superior a BRS Valente em termos de diâmetro do caule (DC) (Figura 4C) e altura de planta (AP) (Figura 4D), independente do método para fornecimento de N, com exceção para o tratamento T3 em relação ao DC, que não diferiram entre si.

De modo geral, a cultivar BRS Pitanga, quando comparada com a BRS Valente, especialmente na utilização de algum tipo de inoculação, apresentou maior massa seca radicular e biomassa seca total, assim como, maior diâmetro do caule e altura de planta. Isso demonstra que, com o inóculo via semente, via cobertura ou ambas formas em conjunto (inóculo via semente + reinoculação suplementar), houve um aumento expressivo para estas características, provavelmente por ser uma cultivar mais responsiva à inoculação, em termos de crescimento vegetativo e morfológico, com resultados semelhantes aos obtidos no tratamento com adubação nitrogenada. É comum um material genético de feijão apresentar maior responsividade à inoculação que outro genótipo, com potencialidade para otimizar a FBN e aumentar produtividade de grãos (FONSECA et al., 2013).

As análises dos dados de teores de N foliar revelam que somente a BRS Pitanga com o tratamento que recebeu adubação nitrogenada (T1) apresentou médias inferiores aos demais tratamentos com inoculante, diferindo-se estatisticamente (Figura 4E). No entanto, para a cultivar BRS Valente, no mesmo tratamento T1, os resultados não distinguiram em comparação com os demais tratamentos que receberam inoculação. Isso pode ser melhor explicado pela eficiência de absorção do nutriente de uma determinada cultivar em relação à outra, quando submetida ao tratamento com adubação nitrogenada (SARA et al., 2013). Ou seja, a BRS Pitanga demonstrou resposta inferior ao método para fornecimento de N com disponibilização imediata do nutriente à planta, quando comparada a BRS Valente, logo, resultou em menor absorção e acúmulo do nutriente.



**Figura 4.** Desdobramento para massa seca radicular (A), biomassa seca total (B), diâmetro do caule (C), altura de planta (D) e nitrogênio foliar (E) em função das cultivares de feijão e métodos para fornecimento de nitrogênio. (T1 = convencional, com aplicação de N; T2 = inoculação via semente + reinoculação suplementar via cobertura; T3 = inoculação exclusivamente via semente; T4 = inoculação exclusivamente via cobertura). Letras minúsculas comparam médias das cultivares dentro de cada método para fornecimento de nitrogênio (MFN) e letras maiúsculas comparam médias dos MFN dentro de cada cultivar. Médias seguidas pela mesma letra não difere entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### 4.3. Características agronômicas

O estande final das plantas (EF) não foi influenciado pelos tratamentos utilizados, tampouco entre as ambas as cultivares investigadas. Na semeadura e nos dias seguintes até o estabelecimento da cultura, as condições climáticas foram favoráveis para o bom desenvolvimento do feijoeiro, assim como os tratos culturais e condução do experimento ao longo do ciclo da cultura. Isto justifica o bom estabelecimento da cultura, logo, refletiu no EF satisfatório em todas as parcelas experimentais, com média de 10 plantas por metro linear entre os tratamentos testados.

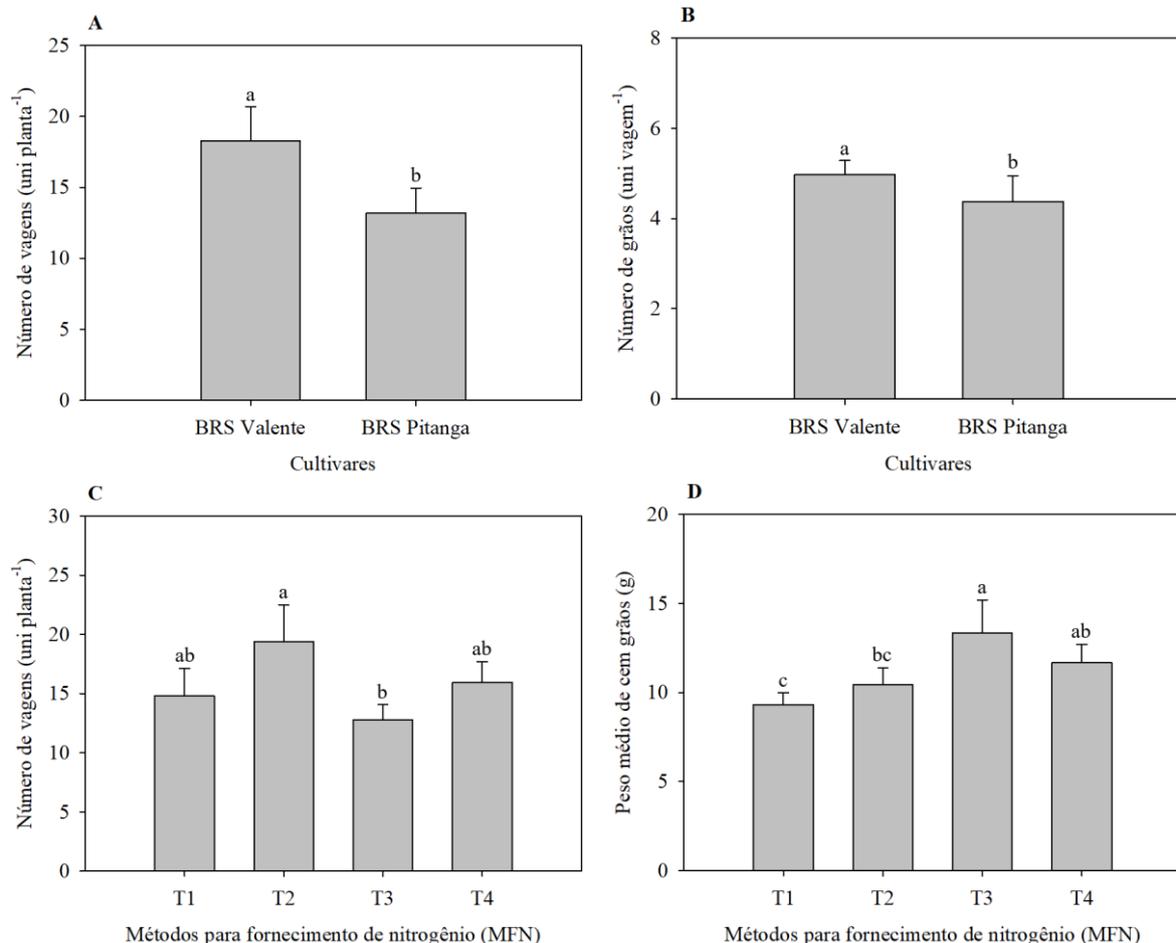
O número de vagens por planta (NVP) e número de grãos por vagem (NGV) foram maiores na cultivar BRS Valente comparada à BRS Pitanga. Enquanto a primeira apresentou valores de 18,2 uni planta<sup>-1</sup> de NVP e 4,9 uni vagem<sup>-1</sup> de NGV, respectivamente, a BRS Pitanga apresentou 13,2 uni planta<sup>-1</sup> de NVP e 4,3 uni vagem<sup>-1</sup> de NGV (Figura 5A e 5B). Resultados contrários ao presente trabalho foram encontrados por Andraus et al. (2016), que encontraram um número de NVP e NGV maior na cultivar BRS Pitanga (21 vagens por planta e 5,4 grãos por vagem) que na cv. BRS Valente (17 vagens por planta e 4,3 grãos por vagem).

A explicação mais cabível para detecção de divergência entre as cultivares estudadas, está relacionado a questão da variável NVP ser mais influenciada pelos fatores ambientais. No período da colheita ocorreu maiores precipitações pluviométricas (Figura 1), dificultando a realização da colheita manual, principalmente da cultivar BRS Pitanga, no que lhe concerne, apresentou maior suscetibilidade ao acamamento, apesar de ambas as cultivares estudadas possuírem o mesmo hábito e tipo de crescimento. Quando isto ocorre no estágio de maturação, a planta entra em contato com o solo, com as vagens adquirindo umidade. Consequentemente, prejudica-se a qualidade das mesmas, explicando assim os resultados inferiores para a variável de NVP para a cultivar BRS Pitanga. Borges (2007) corrobora com esta discussão, quando realizou uma avaliação e atribuiu notas de acamamento para genótipos de feijoeiro comum em diferentes ambientes. O autor supracitado destacou que a BRS Pitanga, nas condições da safra das águas, apresentou maior suscetibilidade ao acamamento que a BRS Valente. Já o NGV, por sua vez, possui uma maior interferência da parte genética dos genótipos de feijoeiro, o que leva a deduzir que para a cultivar BRS Valente, houve um maior número de grãos nas vagens, devido o seu potencial genético de formação dos grãos (PÚBLIO JÚNIOR et al., 2018).

Em relação aos métodos para fornecimento de nitrogênio, o tratamento T2 (inoculação via semente + reinoculação suplementar via cobertura) e T3 (inoculação exclusivamente via semente), apresentaram os maiores resultados, na devida ordem, para NVP (Figura 5C) e peso médio de cem grãos (P100G) (Figura 5D), com resultados de 19,4 uni planta<sup>-1</sup> no NVP e 13,3

g no P100G. Vale destacar também que o T4 (inóculo exclusivamente via cobertura), não apresentou diferença estatística em NVP e P100G para os tratamentos citados anteriormente. Seja com inóculo apenas via semente ou via cobertura, assim como, por cobertura via suplementação a inoculação da semente (reinoculação), fica claro que a prática de inoculação proporciona um aumento nas características agrônômicas do feijoeiro comum, o que vêm de encontro aos resultados obtidos por Oliveira et al. (2017) e Aserse et al. (2020), que evidenciaram melhorias nos componentes agrônômicos do feijoeiro comum quando utilizado a inoculação rizobial.

Acreditava-se que o feijoeiro comum era uma leguminosa com baixo potencial fixador de nitrogênio atmosférico, devido às características genéticas do genótipo, bem como, às condições do solo e do ambiente (YADEGARI e RAHMANI, 2010). No entanto, foi possível averiguar no presente trabalho, que a utilização da inoculação com bactéria *R. tropici* fixadora de N, traz uma maior eficiência na FBN, o que reflete nos componentes agrônômicos da cultura.



**Figura 5.** Valores médios dos componentes agrônômicos do feijoeiro. Número de vagens por planta (A) e número de grãos por vagem (B) das cultivares BRS Valente e BRS Pitanga. Número de vagens por planta (C) e peso médio de cem grãos (D) em função dos métodos para fornecimento de nitrogênio: T1 = convencional, com aplicação de N; T2 = inoculação via semente + reinoculação suplementar via cobertura; T3 = inoculação exclusivamente via semente; T4 = inoculação exclusivamente via cobertura. Médias seguidas pela mesma letra não difere entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

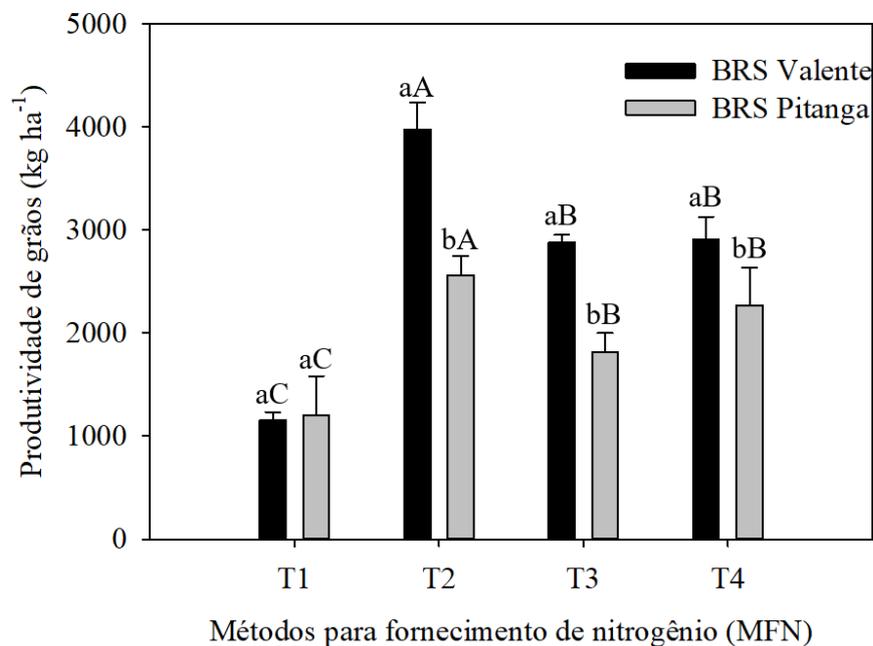
A cultivar BRS Valente apresentou maior produtividade de grãos comparada à BRS Pitanga (Figura 6). Resultados expressivos foram observados na referida cultivar, principalmente, quando utilizado os tratamentos com inoculação via semente + reinoculação suplementar via cobertura (T2) ( $3.976 \text{ kg ha}^{-1}$ ), seguido da inoculação exclusivamente via cobertura (T4) ( $2.904 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e da inoculação exclusivamente via semente (T3) ( $2.879 \text{ kg ha}^{-1}$ ), os quais (T3 e T4) não apresentaram diferença estatística entre si. A BRS Pitanga, apresentou um desempenho inferior a BRS Valente, no entanto, quando observado isoladamente os aspectos de produtividade da cultivar mencionada, o tratamento com aplicação de N na forma de fertilizante (T1) foi abaixo dos resultados para os demais tratamentos com inoculação, resultando em valores de  $1.201 \text{ kg ha}^{-1}$  no tratamento T1,  $2.563 \text{ kg ha}^{-1}$  no T2,  $1.813 \text{ kg ha}^{-1}$  no T3 e  $2.268 \text{ kg ha}^{-1}$  no T4 (Figura 6). Independente da cultivar, a inoculação proporcionou melhores resultados que a adubação com ureia, na produtividade de grãos, principalmente quando utilizado a inoculação via cobertura como suplementar ao inóculo via semente. Isto denota resposta positiva da planta ao inóculo, apesar da capacidade de resposta inferior da cultivar BRS Pitanga em termos de produtividade.

Ao observar somente à inoculação via semente + reinoculação via cobertura (T2) para ambas as cultivares de forma isolada, pode-se observar um aumento de  $2.827 \text{ kg ha}^{-1}$  na produtividade de grãos da cultivar BRS Valente comparado à adubação nitrogenada. Para a BRS Pitanga, este incremento foi na ordem de  $1.362 \text{ kg ha}^{-1}$ . Em valores absolutos, a BRS Valente sobressaiu a BRS Pitanga em valores de produção, quando observados os métodos para fornecimento de nitrogênio T1 (adubação nitrogenada) e T2 (reinoculação). Destaque para a suplementação do inóculo via semente com a reinoculação via cobertura, a qual apresentou melhores respostas na produtividade do feijoeiro em relação à utilização de adubação nitrogenada.

Para os tratamentos que receberam aplicação do inóculo somente via semente, o ganho na produtividade foi de  $1.730 \text{ kg ha}^{-1}$  para BRS Valente e  $612 \text{ kg ha}^{-1}$  para BRS Pitanga, em relação a adubação nitrogenada. A mesma comparação, no tratamento com inóculo via cobertura, houve um incremento de  $1.755$  e  $1.067 \text{ kg ha}^{-1}$  para as cultivares BRS Valente e BRS Pitanga, respectivamente. Para Samago et al. (2018), os inoculantes de rizóbio são uma fonte de nitrogênio, mais acessíveis que os fertilizantes químicos. Some-se a isto ao custo, que no caso dos inoculantes, é mais razoável, pode-se aumentar acentualmente a produção de grãos para agricultores com recursos limitados.

Resultados semelhantes ao descrito no presente trabalho foram encontrados para soja, mediante a otimização da FBN, com suplementação da reinoculação via cobertura aplicada diretamente no solo. A prática pôde suprir a demanda por N da cultura, e refletiu positivamente

na produtividade de grãos da soja cultivada em campo (MORETTI et al., 2018). Estes autores verificaram também, que as pulverizações suplementares do rizóbio em diferentes estádios de desenvolvimento da soja (V1, V3, V6, R1 e R3), resultaram em aumentos adicionais, respectivamente as aplicações realizadas nos referidos estádios fenológicos da cultura, de 12, 13, 11, 7 e 6% na produtividade de grãos, em comparação com o tratamento controle, fertilizado com nitrogênio. Este aumento na produtividade de grãos, observado também no presente trabalho, pode ser alcançado com inoculações adicionais (reinoculação suplementar) de bactéria fixadora de  $N_2$ . Isto demonstra um efeito satisfatório para o uso de inoculantes aplicados em cobertura, complementando o inóculo exclusivamente via semente, no cultivo do feijoeiro, otimizando o processo de FBN e, conseqüentemente, aumentando a produtividade da cultura.



**Figura 6.** Desdobramento para produtividade de grãos em função das cultivares e dos métodos para fornecimento de nitrogênio. T1 = convencional, com aplicação de N; T2 = inoculação via semente + reinoculação suplementar via cobertura; T3 = inoculação exclusivamente via semente; T4 = inoculação exclusivamente via cobertura). Letras minúsculas comparam médias das cultivares dentro de cada método para fornecimento de nitrogênio (MFN) e letras maiúsculas comparam médias dos MFN dentro de cada cultivar. Médias seguidas pela mesma letra não difere entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os dados mais recentes de produtividade nacional do feijão comum preto, demonstram que no presente estudo, em todos os tratamentos utilizados algum tipo de inoculação, a produtividade da BRS Valente (T2 - 3.976; T3 - 3.879; e T4 - 2.904 kg ha<sup>-1</sup>) foi superior à média nacional de produtividade para este grupo de feijão (CONAB, 2019), que foi de 1.626 kg ha<sup>-1</sup> na safra 2018/2019. Somente o tratamento com fertilização mineral de N (T1) para a cultivar mencionada, resultou em média inferior a nacional aqui descrita (1.149 kg ha<sup>-1</sup>). A partir desse dado de produtividade de grãos no cenário nacional, é possível constatar, na devida

ordem dos tratamentos T2, T3 e T4, que houve um acréscimo de 144, 77 e 78% na produtividade de grãos da BRS Valente, quando comparado com a produtividade nacional de feijão comum preto.

É importante destacar que os dados médios de produção nacional para a cultura do feijoeiro, consideram todos os níveis tecnológicos de produção, e por este motivo, as produtividades que não utilizam recomendações tecnológicas adequadas para o cultivo do feijoeiro, como sementes certificadas, plantio direto, irrigação, manejo integrado de pragas e doenças, etc., faz com que a média da produtividade tende a decrescer (SILVEIRA et al., 2015). Desta maneira, é relevante que se faça comparações com trabalhos científicos, cujas condições e tecnologias utilizadas, proporcionam ao feijoeiro expressar seu real potencial produtivo.

Assim, segundo a Embrapa (2002), a produtividade média de grãos da BRS Valente, em 10 estados brasileiros, é de 3.342 kg ha<sup>-1</sup> e 2.324 kg ha<sup>-1</sup> na Região Sul. Já para a BRS Pitanga, a produtividade de grãos para Goiás e o Distrito Federal, na safra das “águas”, é de 2.282 kg ha<sup>-1</sup> (EMBRAPA, 2004). Porém, estudos mais recentes demonstram uma menor produtividade para ambas as cultivares citadas, a exemplo de Fernandes et al. (2015), que ao avaliar o crescimento e a produção de cultivares de feijão comum, de diferentes tipos comerciais de grão, em sistema orgânico de produção, obtiveram produtividade de grãos para a BRS Valente e BRS Pitanga de 1.927 e 1.529 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Frisa-se que no presente trabalho, os tratamentos que receberam algum tipo de inoculação com rizóbio, as menores produtividades foram obtidas para as cultivares BRS Valente e BRS Pitanga no tratamento T3 (inóculo exclusivamente via semente), com valores de 2.879 e 1.813 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, demonstrando patamares de produtividades superiores aos encontrados pelos autores supracitados, para as mesmas cultivares estudadas.

#### **4.4. Correlação de Pearson e análise de trilha**

A determinação do coeficiente de Pearson revelou boa concordância na direção e na magnitude das correlações para a maioria dos pares das características avaliadas. A magnitude entre as variáveis avaliadas, quando significativas, variou de -0,68 a 0,95 (Tabela 3). A maior correlação positiva foi entre as variáveis N e PROD com grau de correlação de 0,95, o que confirma a importância deste nutriente no metabolismo vegetal, com grande influência na capacidade fotossintética e na produtividade de grãos (BERNARDES et al., 2014). Inversamente, a maior correlação negativa foi entre BIO e MSPV (-0,68). Ou seja, quanto maior for o acúmulo de biomassa seca nos órgãos não reprodutivos (raiz, ramos e folhas), principalmente no estágio de formação das vagens e enchimento de grãos, menor será a

alocação das reservas nos órgãos reprodutivos (vagens), pois, no estágio R<sub>6</sub> ou no início da formação de grãos, a maior parte dos assimilados é translocado para os frutos (ANDRADE et al., 2009). E isso resultará na redução da produtividade do feijoeiro comum, visto que a massa seca de vagens (MSV) e a massa seca por vagem (MSPV) apresentou elevada correlação com a produtividade de grãos (0,62 e 0,87 respectivamente).

O número de nódulos (0,79), nitrogênio foliar (0,95), massa seca foliar (0,74), massa seca de vagens (0,62), massa seca por vagem (0,87), área foliar (0,75), número de vagens por planta (0,55) e o peso médio de 100 grãos (0,55) foram as características que apresentaram coeficiente de correlação positiva e significativa com a produtividade de grãos. Deste modo, é possível pressupor que a maior produtividade do feijoeiro comum, independentemente do tratamento utilizado, é devido à característica de nodulação, teor de N foliar, acúmulo de massa seca nas folhas e nas vagens, assim como, a formação de vagens em maior número e acúmulo de massa nos grãos. Estes resultados vem de acordo com os encontrados por Leal et al. (2019), Jiang et al. (2020) e Flores et al. (2018).

O estudo de correlações é uma medida de associação em pares que, segundo Cabral et al. (2011), não permite concluir sobre a relação de causas e efeitos. Por isso procedeu-se à análise de trilha, que investiga a relação de causa e efeito entre variáveis explicativas sob uma variável principal. O diagnóstico de multicolinearidade revelou um grau próximo a severo, segundo os critérios citados por Cruz e Carneiro (2003). Portanto, prosseguiu-se a análise a partir da escolha do coeficiente *K* igual a 0,04, o que permitiu uma correção das distorções dos dados ao inverter a matriz. Isto denota maior confiabilidade nas interpretações de causa e efeito entre as características estudadas (AMORIM et al., 2008).

**Tabela 3.** Coeficientes de correlação de Pearson para as características avaliadas, independentemente do tratamento utilizado. Ipameri, UEG, 2020.

	NN	MSN	MSPN	N	BIO	MSR	MSC	MSF	MSV	MSPV	DC	AP	CR	AF	NVP	NGV	P100G	EF	PROD	
NN	1,00																			
MSN	0,66**	1,00																		
MSPN	-0,19	0,55**	1,00																	
N	0,25	0,35*	0,22	1,00																
BIO	0,52**	0,61*	0,20	-0,13	1,00															
MSR	0,41*	0,53**	0,30	0,08	0,72**	1,00														
MSC	0,43*	0,57**	0,21	-0,19	0,90**	0,58**	1,00													
MSF	0,56**	0,55**	0,13	-0,03	0,90**	0,74**	0,74**	1,00												
MSV	-0,27	-0,16	0,12	0,20	-0,43*	-0,25	-0,48**	-0,29	1,00											
MSPV	-0,32	-0,31	-0,02	0,16	-0,68**	-0,48**	-0,66**	-0,49**	0,89**	1,00										
DC	0,49**	0,57**	0,28	-0,15	0,82**	0,81**	0,70**	0,84**	-0,37*	-0,55**	1,00									
AP	0,33	0,39*	0,09	-0,20	0,77**	0,58**	0,72**	0,71**	-0,51**	-0,64**	0,70**	1,00								
CR	0,30	0,26	0,04	0,09	0,34	0,48**	0,22	0,42*	-0,10	-0,22	0,40*	0,08	1,00							
AF	0,07	0,03	-0,02	0,08	-0,04	-0,06	-0,08	0,04	0,39*	0,52**	-0,02	-0,15	-0,01	1,00						
NVP	0,02	-0,15	-0,22	0,21	-0,47**	-0,35*	-0,46**	-0,40*	0,37*	0,43*	-0,46**	-0,36*	-0,37*	0,14	1,00					
NGV	0,48*	-0,34	0,13	-0,04	-0,39*	-0,33	-0,32	-0,42*	0,16	0,28	-0,38*	-0,40*	-0,23	0,0	0,39*	1,00				
P100G	0,13	0,24	0,25	0,34	0,04	-0,02	0,05	0,10	0,13	0,08	0,06	0,08	0,08	0,02	-0,31	0,25	1,00			
EF	-0,19	-0,08	0,11	-0,10	-0,19	-0,34	-0,10	-0,26	0,31	0,43	0,14	-0,25	-0,16	0,23	-0,18	0,11	0,28	1,00		
PROD	0,79*	0,23	0,10	0,95**	-0,18	-0,06	-0,25	0,74*	0,62*	0,87*	-0,26	-0,40	-0,01	0,75*	0,55*	0,12	0,55*	-0,44*	1,00	

NN = número de nódulos por planta, MSN = massa seca de nódulos, MSPN = massa seca por nódulos, N = teor de nitrogênio foliar, BIO = biomassa seca total, MSR = massa seca radicular, MSC = massa seca caulinar, MSF = massa seca foliar, MSV = massa seca de vagens, MSPV = massa seca por vagem, DC = diâmetro do caule, AP = altura de planta, CR = comprimento da raiz, AF = área foliar, NVP = número de vagens por planta, NGV = número de grãos por vagem, P100G = peso médio de 100 grãos, EF = estande final e PROD = produtividade de grãos. FV = fonte de variação, GL = Grau de Liberdade e CV = Coeficiente de Variação. \* e \*\* significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Para demonstrar os efeitos diretos e indiretos das variáveis independentes, utilizou-se um diagrama em cadeia, com o relacionamento dos caracteres secundários sobre a característica principal produtividade de grãos (PROD) (Figura 7). No intuito de evitar sobreposições na plotagem do diagrama, agruparam-se as variáveis em quatro grupos: nodulação, biomassa, características morfológicas e componentes agronômicos. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) equivalente a 92,2% e o efeito residual (0,0219) obtidos, indicam que as variáveis explicativas determinaram, quase que totalmente, a variação da variável básica (PROD).

No diagrama de trilha, setas unidirecionais indicam a influência direta de cada variável explicativa sobre a variável básica e as setas bidirecionais mostram interdependência dos componentes explicativos e determinam a trilha representativa do efeito indireto sobre a variável básica. Desta forma, analisando os efeitos diretos das características, nota-se que o número de nódulos com coeficiente de trilha igual a 0,8973, massa seca de nódulos (0,9015), teor de nitrogênio foliar (0,9439) (Figura 7A), biomassa seca total (0,7311), massa seca foliar (0,9367) (Figura 7B), área foliar (0,8073) (Figura 7C) e o número de vagens por planta (0,8919) (Figura 7D), apresentaram o maior valor de efeito direto sob a PROD das cultivares de feijoeiro comum. Isto demonstra uma concordância entre o coeficiente de trilha e o de correlação de Pearson, o que evidencia grande contribuição dessas variáveis explicativas para a PROD (CABRAL et al., 2011).

Dentre as características de nodulação, pode-se observar que a maior contribuição indireta sobre a PROD, foi verificada para a massa seca por nódulos via número de nódulos por planta (0,8992), que diretamente apresentou pouco efeito com coeficiente de trilha igual a 0,3534. Destaca-se também que, a massa seca de nódulo, passando por teor de nitrogênio foliar (0,7264), contribuiu fortemente para a PROD (Figura 7A). Deste modo, é possível afirmar que, a massa seca dos nódulos possui efeito direto no número de nódulos por planta e no teor de nitrogênio foliar, por conseguinte, influência indiretamente a PROD. Este resultado serve como um excelente parâmetro para demonstrar a resposta do feijoeiro à nodulação por meio da FBN, com efeito significativo na produtividade.

Quando é observado as variáveis de biomassa, os resultados demonstram uma relação indireta sobre a PROD, das variáveis massa seca caulinar (0,9402) e massa seca foliar (0,7630), passando por biomassa seca total (Figura 7B). Vale destacar que nesta análise, a massa seca de vagens foi incluída na biomassa seca total, o que pode explicar a influência da BIO diretamente na produtividade, pois, anteriormente, esta variável (MSV) demonstrou alta correlação com a PROD.

O diâmetro do caule influenciou indiretamente a produtividade, através da área foliar, com coeficiente de trilha de 0,4407. Nas observações dos componentes agronômicos (Figura

7D), não foram constatados efeitos relevantes das variáveis de forma indireta. Zilio et al. (2011) também verificaram pouco efeito indireto entre os componentes de rendimento na produtividade de genótipos crioulos de feijão comum, com valores de coeficiente de trilha inferiores a 0,5000. Vale destacar que o estande final de plantas (EF) tem efeito direto negativo (-0,5530) com a PROD e indiretamente (-0,7708) com o NVP, o que pode estar evidenciando que o aumento na densidade de semeadura acarreta diminuição na produção devido à alta competitividade entre as plantas (BARILI et al., 2011). Por outro lado, as plantas de feijoeiro têm a capacidade de compensação do espaço de forma que o peso médio dos grãos torna-se maior, mesmo sobre alta população, e isto pode ser evidenciado na relação direta positiva do EF sobre P100G (0,5837).

A produtividade de grãos é uma característica complexa, resultante da expressão e da associação de diferentes componentes (AMORIM et al., 2008). Assim, via de regra, é importante destacar as características que mais influenciaram indiretamente a PROD. Portanto, com base nos resultados do presente trabalho, para aumentar a PROD, devem ser considerados o uso de técnicas que possibilitam o aumento da nodulação, das características de biomassa e morfológicas das plantas de feijoeiro comum, e não somente as características de interesse que compõem os componentes agrônômicos. Pois, dentre as variáveis explicativas de nodulação, a massa seca de nódulos e massa seca por nódulo que mediante o teor de nitrogênio foliar e o número de nódulos, respectivamente, influenciaram a PROD; a massa seca caulinar e foliar, mediante a biomassa seca total, também apresentou elevada interferência sobre a PROD; e o diâmetro do caule, por meio da área foliar, apresentou maior contribuição para a PROD.

Baseado na correlação e análise de trilha, é possível inferir que, as características de número de nódulos por planta, massa seca de nódulos, teor de nitrogênio foliar, biomassa seca total, massa seca foliar, área foliar, diâmetro do caule, número de vagens por planta e peso médio de 100 grãos, de forma direta ou indiretamente, apresentaram efeito sobre a produtividade do feijoeiro. Isto explica o resultado obtido no presente trabalho para maiores produtividades de grãos nos tratamentos em que foi utilizado algum tipo de inoculação com rizóbio, visto que na maior parte dessas variáveis, principalmente quando utilizado a inoculação via semente + reinoculação suplementar via cobertura, apresentaram resultados significativos e superiores, quando comparado com o tratamento que recebeu adubação nitrogenada.



é uma técnica que demonstra resultados promissores para a otimização da FBN na cultura do feijoeiro. Com base nesses resultados, sugere-se a realização de futuros experimentos em casa de vegetação e a campo, para avaliar os efeitos destes tratamentos em diferentes estádios fenológicos e doses da aplicação da inoculação via cobertura na cultura do feijão, e até mesmo a comparação da aplicação do inoculante em cobertura feita via solo ou foliar.

## 5. CONCLUSÕES

A técnica de inoculação, independentemente da forma de aplicação, favorece os aspectos agronômicos e morfológicos do feijoeiro comum.

A cultivar de feijoeiro BRS Valente propicia melhores respostas à inoculação.

A inoculação via semente combinado com reinoculação suplementar via cobertura proporciona incremento de 2.827 kg ha<sup>-1</sup> na produtividade de grãos do feijão pertencente à cultivar BRS Valente, em relação a adubação nitrogenada mineral.

A adubação nitrogenada com 20 e 40 kg ha<sup>-1</sup> de ureia na base e em cobertura feita no estágio V<sub>4</sub>, respectivamente, pode ser substituída em sua totalidade, por práticas envolvendo a inoculação via semente e via cobertura, sem perdas na produtividade da cultura de feijão.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, E. P. et al. Correlações e análise de trilha em girassol. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 307-316, 2008.
- ANDRADE, C. A. B. et al. Produtividade, crescimento e partição da matéria seca em duas cultivares de feijão. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 683-688, 2009.
- ANDRAUS, M. P. et al. Differences in nodulation and grain yield on common bean cultivars with different growth cycles. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n. 9, p. 1148-1161, 2016.
- ANDREOLA, F. et al. A cobertura vegetal de inverno e a adubação orgânica e, ou, mineral influenciando a sucessão feijão/milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 867-874, 2000.
- ASERSE, A. A. et al. Rhizobial inoculation improves drought tolerance, biomass and grain yields of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and soybean (*Glycine max* L.) at Halaba and Boricha in Southern Ethiopia. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 66, n. 4, p. 488-501, 2020.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **Experimentação agrônômica & AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos**. Jaboticabal: FUNESP. 2015, 396p.
- BARILI, L. D. Correlação fenotípica entre componentes do rendimento de grãos de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 4, p. 1263-1274, 2011.
- 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**, v. 34, n. 4, p. 1443-1450, 2013.
- BARROS, R. L. N. et al. Growth and yield of common bean as affected by seed inoculation with *Rhizobium* and nitrogen fertilization. **Experimental Agriculture**, v. 54, n. 1, p. 16-30, 2016.
- BERNARDES, T. G. et al. Resposta do feijoeiro de outono-inverno a fontes e doses de nitrogênio em cobertura. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 2, p. 458-468, 2014.
- BORGES, M. H. C. **Avaliação agrônômica, estabilidade e adaptabilidade de genótipos de feijoeiro comum**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Uberlândia. 2007, 103 p.
- BORGES, P. R. S. et al. Distribuição de massa seca e rendimento de feijão-caupi inoculadas com rizóbio em Gurupi-TO. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 1, p. 37-44, 2012.
- CABRAL, P. D. S. et al. Análise de trilha do rendimento de grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e seus componentes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 132-138, 2011.
- CARDOSO, M. R. D. et al. Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. **Acta Geográfica**, v. 8, n. 16, p. 40-55, 2014.

CHAVES, J. S. et al. Produtividade do feijão-caupi sob inoculação em área alterada no estado de Roraima – Brasil. **Nucleus**, v. 15, n. 2, p. 319-324, 2018.

CHEKANAI, V. et al. Response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to nitrogen, phosphorus and thizobia inoculation across variable soils in Zimbabwe. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 266, p. 167-173, 2018.

COELHO, C. M. M. et al. Diversidade genética em acessos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência Rural**, v. 37, n. 5, p. 1241-1447, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Feijão. Análise mensal, 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 20 de abr. 2020.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Métodos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, v. 2, 2003. 585 p.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **BRS Pitanga**: nova cultivar de feijoeiro comum do grupo comercial roxinho. 2004. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/213632/brs-pitanga-nova-cultivar-de-feijoeiro-comum-do-grupo-comercial-roxinho>>. Acesso em: 23 de abr. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **BRS Valente**: feijão preto. 2002. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/217194/brs-valente-feijao-preto>>. Acesso em: 23 de abr. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Linha do tempo**: fixação biológica de nitrogênio (FBN). 2020. Disponível em: <[https://sistemas.sede.embrapa.br/40anos/index.php/linha\\_do\\_tempo/historia/9](https://sistemas.sede.embrapa.br/40anos/index.php/linha_do_tempo/historia/9)>. Acesso em: 22 de abr. 2020.

FERNANDES JUNIOR, P. I.; REIS, V. M. **Algumas limitações à fixação biológica de nitrogênio em leguminosas**. Seropédica: Embrapa Agroecologia, 2008. 33p.

FERNANDES, R. C. et al. Desempenho de cultivares de feijoeiro-comum em sistema orgânico de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 9, p. 797-806, 2015.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

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

FLORES, R. A. et al. Common bean productivity following diverse boron applications on soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 49, n. 6, p. 725-734, 2018.

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

GAUDINIER, A. et al. Transcriptional regulation of nitrogen-associated metabolism and growth. **Nature**, v. 563, n. 7730, p. 259-280, 2018.

GOOGLE EARTH. **Google Earth Pro**. 2019. Disponível em: <<https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>>. Acesso em: 17 de abr. 2020.

GOPALAKRISHNAN, S. et al. Plant growth promoting rhizobia: challenges and opportunities. **3 Biotech**, v. 5, n. 4, p.355-377, 2015.

GUIMARÃES, V. F.; BATTISTUS, A. G.; SOUZA, A. K. P.; BULEGON, L. G.; OFFEMANN, L. C.; INAGAKI, A. M. Bactérias promotoras de crescimento vegetal: da FBN à regulação hormonal, possibilitando novas aplicações. In.: ZAMBOM, M. A.; KUHN, O. J.; SILVA, N. L. S.; STANGARLIN, J. R.; NUNES, R. V.; FULBER, V. M.; EYNG, C. (Org.). **Ciências Agrárias: ética do cuidado, legislação e tecnologia na agropecuária**. Marechal Cândido Rondon: UNIOESTE, 2017. Cap. 11, p. 192-212.

HIOLANDA, R. et al. Desempenho de genótipo de feijão carioca no Cerrado Central do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, p. 815-824, 2018.

JIANG, Y. et al. Evaluation of beneficial and inhibitory effects of nitrate on nodulation and nitrogen fixation in common bean (*Phaseolus vulgaris*). **Legume Science**, v. 45, p. 1-11, 2020.

KNUPP, A. M. et al. Variability of nodulation traits in Andean and Mesoamerican common bean gene pools. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 4, p. 252-260, 2017.

LEAL, F. T. Use efficiency and responsivity to nitrogen of common bean cultivars. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, p. 1-13, 2019.

MA, A. et al. Mitigation of ammonia volatilization and nitrate leaching via loss control urea triggered H-bond forces. **Scientific Reports**, v. 9, p. 1-9, 2019.

MARTIN, T. N. et al. Uso do software ImageJ na estimativa de área foliar para a cultura do feijão. **Interciencia**, v. 38, n. 12, p. 843-848, 2013.

MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; CUNHA, M. H. **20 perguntas e respostas sobre fixação biológica de nitrogênio**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010. 17p.

MOREIRA, L. P. et al. Nodulation, contribution of biological N<sub>2</sub> fixation, and productivity of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) inoculated with rhizobia isolates. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 6, p. 644-651, 2017.

MORETTI, L. G. et al. Can additional inoculations increase soybean nodulation and grain yield? **Agronomy Journal**, v. 110, n. 2, p. 715-721, 2018.

MUS, F. et al. Exploring the alternatives of biological nitrogen fixation. **Metalomics**, v. 10, p. 523-538, 2018.

NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH (NIH). **Image Processing and Analysis in Java**. 2011. Disponível em: <<https://imagej.nih.gov/ij/>>. Acesso em: 25 de abr. 2020.

OLIVEIRA, C. A. B. et al. Inoculação com *Rhizobium tropici* e adubação foliar com molibdênio na cultura do feijão comum. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 1, p. 43-50, 2017.

OLIVEIRA, H. C. **Fixação biológica de nitrogênio em feijão comum**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília, DF. Embrapa Arroz e Feijão, 2014. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1935586/fixacao-biologica-de-nitrogenio-em-feijao-comum>>. Acesso em: 21 de abr. 2020.

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

PÚBLIO JÚNIOR, E. et al. Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-frade. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, p. 806-814, 2018.

RABELO, A. C. R. et al. Adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 15, n. 1, p. 825-841, 2017.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; VENEGAS, V. H. A. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. 5ª Aproximação. Viçosa: SBCS, 1999. 359p.

SAMAGO, T. Y. et al. Grain yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties is markedly increased by rhizobial inoculation and phosphorus application in Ethiopia. **Symbiosis**, v. 75, p. 245-255, 2018.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília: Embrapa, 2018. 355p.

SANTOS, L. A. et al. Crescimento, índices fisiológicos e produtividade de cultivares de feijoeiro sob diferentes níveis de adubação. **Revista Ceres**, v. 62, n. 1, p. 107-116, 2015.

SARA, S. et al. Effects of seeds inoculation by *Rhizobium strains* on chlorophyll content and protein percentage in common bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). **International Journal of Biosciences**, v. 3, n. 3, p. 1-8, 2013.

SILVA, F. C. D. S. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Rio de Janeiro: EMBRAPA SOLOS, 2009.

SILVA, M. L. S. et al. Influência do nitrogênio e enxofre na produção do feijoeiro. **Revista Agroambiental**, v. 9, n. 3, p. 11-22, 2017.

SILVA, V. S. G. et al. Systems of land use affecting nodulation and growth of tree legumes in different soils of the Brazilian semiarid area. **African Journal of Agricultural**, v. 11, n. 40, p. 3966-3974, 2016.

SILVEIRA, M. A. et al. Estratégias de comercialização do feijão produzido por agricultores familiares: um estudo de caso na região Leste do Estado de Goiás. **Conjuntura Econômica Goiana**, v. 30, p. 37-54, 2014.

SILVEIRA, M. A. et al. Produção de feijão nos sistemas de plantio direto e convencional no município de Água Fria de Goiás (GO). **Conjuntura Econômica Goiana**, v. 32, p. 63-76, 2015.

SOUZA, S. S. et al. Cultivares de feijoeiro irrigado em função de doses de nitrogênio em cobertura. **Nucleus**, v. 16, n. 1, p. 85-95, 2019.

SYSTAT SOFTWARE. 2006. **Inc. For windows, version 10.0. SigmaPlot**. Chicago, Illinois.

TEIXEIRA, C. M. et al. A. Produtividade e teores foliares de nutrientes do feijoeiro sob diferentes palhadas e doses de nitrogênio em semeadura direta. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 123-130, 2008.

TOZLU, E. et al. Effect of some plant growth promoting bacteria on yield components of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Aras 98). **Journal of the Agricultural Faculty**, v. 43, n. 2, p. 101-106, 2012.

VALADÃO, F. C. A. et al. Inoculação das sementes e adubações nitrogenada e molíbdica do feijoeiro-comum, em Rolim de Moura, RO. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 4, p. 741-748, 2009.

YADEGARI, M.; RAHMANI, H. A. Evaluation of bean (*Phaseolus vulgaris*) seeds inoculation with *Rhizobium phaseoli* and plant growth promoting *Rhizobacteria* (PGPR) on yield and yield components. **African Journal of Agricultural Research**, v. 5, n. 9, p. 792-799, 2010.

ZILIO, M. et al. Contribuição dos componentes de rendimento na produtividade de genótipos crioulos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 429-438, 2011.