

PRODUTIVIDADE DE FEIJOEIRO-CAUPI CULTIVADO COM ESTIRPES RIZOBIANAS E DOSES DE FÓSFORO

Manoel Mota dos Santos¹, Valéria França Brito², Evaldo Moraes da Silva²,
Mauro Gomes dos Santos², Hélio Bandeira Barros², Marília Barcelos Souza Lopes^{3*}

SAP 21812 Data do envio: 23/02/2019 Data do aceite: 07/05/2019
Sci. Agrar. Parana., Marechal Cândido Rondon, v. 18, n. 3, jul./set., p. 209-217, 2019

RESUMO - A fixação biológica de nitrogênio tem se mostrado indispensável para a sustentabilidade da agricultura brasileira, devido ao fornecimento de nitrogênio com baixo custo econômico para as culturas e redução no impacto ambiental. Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a eficiência de estirpes rizobianas e doses de fósforo, para maximizar o crescimento de duas cultivares de feijoeiro-caupi e fixação de azoto e obtenção de melhor desempenho agrônomo. O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, em esquema fatorial 3 x 6 (2 estirpes de rizóbio + 1 tratamento sem inoculação x 6 doses de fósforo), contendo 4 repetições. As doses consistiram de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A adubação potássica foi realizada na semeadura, utilizando 60 kg ha⁻¹ de K₂O. O suprimento de água para a cultura foi realizado com irrigação e turno de rega de dois dias, com vazão aproximada de 5 mm. As características avaliadas foram: clorofila realizada aos 45 dias após a semeadura, biomassa seca da parte aérea (g), peso de cem sementes (g), nitrogênio total da parte aérea (dag kg ha⁻¹) e produtividade (kg ha⁻¹). De modo geral as duas estirpes testadas apresentaram capacidade para nodulação e fixação biológica de nitrogênio. A estirpe INPA 03-11B foi a mais indicada para a cv. BRS Sempre Verde e a BR 3299 a mais indicada para a cv. BRS Vinagre de feijoeiro-caupi. A dose de fósforo que condicionou a máxima eficiência agrônomo em feijoeiro-caupi variou de 70 a 110 kg ha⁻¹. Maior teor de nitrogênio para as duas cultivares de feijoeiro foi verificado com a utilização da estirpe BR 3299.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata* (L.) Walp., rizóbio, fixação biológica, produtividade.

PRODUCTION OF CAUPI BEANS CULTIVATED WITH RIZOBIAN STYRPES AND PHOSPHORUS DOSES

ABSTRACT - Biological nitrogen fixation has been shown to be indispensable for the sustainability of Brazilian agriculture, due to the supply of nitrogen with low economic cost to crops and reduction in environmental impact. Given the above, the objective of this study was to evaluate the efficiency of rhizobian strains and phosphorus doses, to maximize the growth of two cowpea cultivars and nitrogen fixation and to obtain better agronomic performance. The experimental design was a randomized complete block in a 3 x 6 factorial scheme (2 rhizobium strains + 1 treatment without inoculation x 6 phosphorus doses), containing 4 replications. The doses consisted of 0, 30, 60, 90, 120 and 150 kg ha⁻¹ of P₂O₅. Potassium fertilization was performed at sowing using 60 kg ha⁻¹ of K₂O. Water supply for the crop was performed with irrigation and two-day watering shift, with approximate flow rate of 5 mm. The characteristics evaluated were: chlorophyll performed 45 days after sowing, shoot dry biomass (g), one hundred seed weight (g), total shoot nitrogen (dag kg ha⁻¹) and yield (kg ha⁻¹). In general the two strains tested showed capacity for nodulation and biological nitrogen fixation. The strain INPA 03-11B was the most suitable for cv. BRS Sempre Verde and BR 3299 the most suitable for cv. BRS Vinagre cowpea. The phosphorus dose that conditioned the maximum agronomic efficiency in cowpea ranged from 70 to 110 kg ha⁻¹. Higher nitrogen content for both bean cultivars was verified with the strain BR 3299.

Keywords: *Vigna unguiculata* (L.) Walp., rhizobia, biological fixation, productivity.

INTRODUÇÃO

A cultura do feijoeiro-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é extremamente rústica, tolerante a altas temperaturas, mediantemente resistente à seca, com boas condições para adaptação, além de apresentar alto teor proteico. Devido ao seu alto valor nutritivo é cultivado

principalmente para a produção de grãos, secos ou verdes e consumo humano (MEDEIROS et al., 2008).

No Brasil, é cultivado basicamente, em regime de subsistência, principalmente por sua adaptação às condições edafoclimáticas, porém apresenta baixa produtividade, devido às condições de cultivos sem adoção de tecnologias avançadas (ROCHA et al., 2012; ZILLI

¹Professor Adjunto, Universidade Federal do Tocantins (UFT), Rua Badejós, Chácaras 69 e 72, Lote 07, Zona Rural - Caixa-Postal 66, Gurupi, TocantinsTO, CEP: 77402-970. E-mail: santosmm@uft.edu.br.

²Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal do Tocantins (UFT), Rua Badejós, Chácaras 69 e 72, Lote 07, Zona Rural - Caixa Postal 66, Gurupi, TocantinsTO, CEP: 77402-970. E-mail: valeria@uft.edu.br.

³Pós-doutoranda em Agronomia, Universidade Federal do Tocantins (UFT), Rua Badejós, Chácaras 69 e 72, Lote 07, Zona Rural - Caixa-Postal 66, Gurupi, TocantinsTO, CEP: 77402-970. E-mail: mariliabarcelosagro@hotmail.com. *Autora para correspondência.

et al., 2006). Isto porque em condições experimentais e lavouras, com melhor uso de tecnologia, o feijoeiro-caupi apresenta alto potencial produtivo, o que no geral não tem sido explorado. Um dos fatores responsáveis pela sua baixa produtividade é a pouca fertilidade natural e dos teores de matéria orgânica no solo, especialmente em áreas de cerrado (CHAGAS JUNIOR et al., 2010b).

As cepas de rizóbios encontradas nos solos de cerrado ácidos e com baixa fertilidade, devem ser competitivas com a população nativa, sendo assim, mais eficientes na fixação biológica de nitrogênio (FBN). Em alguns experimentos conduzidos em condições de campo, pode-se verificar um aumento no rendimento de grãos inoculados com estirpes de rizóbios selecionados, nas condições edafoclimáticas de cerrado, no Sul do Tocantins (CHAGAS JUNIOR et al., 2014a; ROCHA et al., 2018b).

Dentre os macronutrientes essenciais a cultura, o nitrogênio (N) e o fósforo (P) são aqueles considerados fundamentais para o desenvolvimento da cultura. A disponibilidade de nutrientes está entre os fatores que influenciam a FBN e, dentre os principais macronutrientes que influenciam tal processo, pode-se citar o P (SILVA et al., 2010), devido sua participação no processo simbiótico (BURITY et al., 2000).

Kyei-Boahen et al. (2017), avaliando respostas de crescimento e rendimento de feijoeiro-caupi com o uso de inoculante e adubação fosfatada, verificaram que o P aumentou a eficácia e eficiência da população de bactérias fixadoras de nitrogênio, demonstrado pela maior produção de grãos, biomassa seca, nodulação e quantidade de N nos grãos. Isto é atribuído ao importante papel do P, que

auxilia na nodulação, fixação e crescimento de plantas por meio do desenvolvimento do sistema radicular e aumento dos pelos radiculares (NZIGUHEBA et al., 2016).

Portanto, é imprescindível a difusão desta biotecnologia de baixo custo para a cultura do feijoeiro-caupi, considerando que a FBN é um processo ecológico e economicamente vantajoso, podendo no futuro substituir os fertilizantes nitrogenados.

No cerrado do Tocantins, entretanto, o uso de inoculantes na cultura do feijoeiro-caupi ainda é muito limitado, necessitando de estudos futuros de avaliação da FBN nesta cultura e da eficiência agrônômica das estirpes de rizóbios nas condições edafoclimáticas no Sul do Tocantins (CHAGAS JUNIOR et al., 2010a). Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a eficiência de estirpes rizobianas em doses de fósforo, para maximizar o crescimento de feijoeiro-caupi e fixação de azoto, a fim de se obter melhor desempenho agrônômico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental da Universidade Federal do Tocantins (UFT), *Campus* Universitário de Gurupi (TO), sob coordenadas geográficas de 11°43'45"S e 49°04'07"W e altitude de 280 m O clima da região é classificado, segundo Köppen (1948), como Aw/As, mesotérmico, com chuvas de verão e inverno seco. As temperaturas médias, precipitação e umidade relativa ocorridas durante a experimentação são apresentadas na Figura 1 (Dados climatológicos da Estação Meteorológica da UFT/INMET).

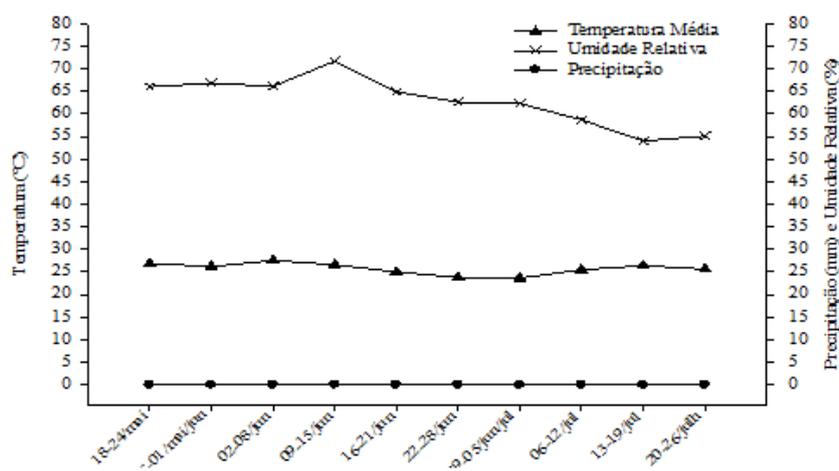


FIGURA 1 - Temperaturas médias, precipitação e umidade, medidas a cada sete dias, no período da realização do experimento, na Estação Experimental da Universidade Federal do Tocantins (UFT), *Campus* Universitário de Gurupi (TO). Fonte: Estação Meteorológica UFT/INMET.

Antecedendo a semeadura, coletou-se uma amostra de solo composta, realizando a caracterização físico-química, onde foram encontrados os valores de 2,49 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de cálcio; 1,45 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de magnésio; 0,11 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de potássio; 1,24 mg dm^{-3} de potássio; 0,00 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de alumínio; 7,58 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de CTC; 4,05 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de SB; 53% de V; pH = 5,53; 2,12 g dm^{-3}

de matéria orgânica; 599,61 g kg^{-1} de areia; 112,13 g kg^{-1} de silte e 288,26 g kg^{-1} de argila.

O preparo do solo foi realizado de forma convencional, com grade (25"), niveladora (16") e posteriormente realizado o sulcamento do solo. Foram conduzidos dois experimentos a campo com feijoeiro-

caupi, onde cada experimento constava de uma cultivar e estirpes de rizóbios associadas ou não a 6 doses de fósforo.

As cultivares utilizadas foram a 'BRS Sempre Verde' e 'BRS Vinagre'. Cada unidade experimental foi constituída de quatro linhas de 5 m de comprimento, espaçadas 0,50 m entre linhas e totalizando uma área de 10 m². Os dados de componentes da produção foram obtidos nas duas linhas centrais, com área útil de 4,0 m², excluindo as bordaduras, formadas pelas linhas externas e 0,5 m da extremidade das linhas centrais.

A semeadura foi manual, realizada em 20 de maio, com a inoculação das estirpes dos rizóbios INPA 03-11B (*Bradyrhizobium japonicum*) e BR 3299, obtidos junto ao Laboratório de Microbiologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Para o preparo das estirpes, utilizou-se o meio de cultura YMA (extrato de levedura, manitol e ágar) (VINCENT, 1970) contendo extrato de levedura, manitol e ágar. As estirpes foram mantidas neste meio por cinco dias, sendo suspensas individualmente em solução salina (0,2% de MgSO₄), onde cada uma das suspensões (10⁹ células mL⁻¹) foi inoculada nas sementes por 1 h, antes do plantio, na proporção 50 mL kg⁻¹ de semente.

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, em esquema fatorial 3 x 6 (2 estirpes de rizóbio + 1 tratamento sem inoculação x 6 doses de fósforo, na forma de P₂O₅), contendo 4 repetições. As doses consistiram de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aplicadas na semeadura. A fonte de fósforo utilizada foi o superfosfato simples SFS (20% de P₂O₅). A adubação potássica foi realizada na semeadura, utilizando 60 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto de potássio. O manejo da cultura consistiu em capinas manuais, conforme a necessidade. O suprimento de água para a cultura foi realizado com irrigação e turno de rega de dois dias, com vazão aproximada de 5 mm.

A partir do décimo segundo dia após a semeadura, as plantas emergidas foram desbastadas, deixando 10 plantas m⁻¹ linear e população de 200 mil plantas ha⁻¹. A avaliação do teor de clorofila total nas folhas foi realizada pela manhã, 45 dias após a semeadura, em pleno florescimento do feijoeiro-caupi, por meio de leituras de índice com clorofilômetro (marca ClorofiLOG[®], modelo CFL 1030). As unidades de mensuração para este aparelho são denominadas índice de clorofila falker (ICF), produtos de fotiodios emitidos em 635, 660 e 880 nm. O valor de leitura atribuído à parcela foi representado pela média de 3 folhas trifolioladas por parcela.

Para a produção de biomassa seca da parte aérea, o material vegetal foi seco e colocado em estufa de circulação forçada de ar a 65-70°C durante 72 h, proveniente das folhas utilizadas nas leituras de clorofilas. O acúmulo de N na parte aérea foi calculado a partir do teor de N total, analisado pelo método Kjeldahl, de acordo com metodologia descrita por Claessen (1997), multiplicado pela biomassa seca da parte aérea.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, por meio do teste F e quando significativas utilizou-se a regressão. A seleção dos modelos foi baseada na significância dos betas e no maior coeficiente de determinação (R²). Para plotagem dos gráficos utilizou-se o programa Sigma Plot (versão 10.0) e para os dados estatísticos o programa computacional Sisvar (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 pode-se observar interação significativa entre as estirpes rizobianas e doses de P para todas as características avaliadas, tanto para cv. BRS Sempre Verde quanto para a BRS Vinagre, exceto para o peso de cem sementes da cv. BRS Sempre Verde, que apresentou efeito isolado apenas para doses de P.

TABELA 1 - Resumo da análise de variância para as características avaliadas do feijoeiro-caupi, cultivares BRS Sempre Verde e BRS Vinagre, em função das estirpes rizobianas submetidas ou não a doses de fósforo.

Experimento 1: cultivar BRS Sempre Verde						
FV	GL	CLOR (ICF)	BSPA (g)	P100 (g)	NT (dag ha ⁻¹)	PROD (kg ha ⁻¹)
Quadrados médios						
Bloco	3	6,5010	0,1656	0,3248	0,0327	189,5782
Estirpes rizobianas (ER)	2	77,4849	57,4599	2,2940 ^{ns}	0,0778**	10321,60**
Doses de P (DP)	5	52,6212	2266,5581**	22,9842**	0,4805**	213891,66
ER x DP	10	8,2236**	127,1832**	1,0320 ^{ns}	0,0616**	7917,50**
Resíduo		2,3391	2,0023	3,0720	0,0022	1289,21
Médias		48,7852	65,0826	18,5258	1,6920	625,36
CV(%)		3,14	2,17	9,46	2,80	5,74
Experimento 1: cultivar BRS Vinagre						
Bloco	3	0,3154	5,1923	0,0520	0,0123	116,2128
Estirpes rizobianas (ER)	2	15,1427**	782,4919**	30,5698**	2,2297**	98690,3406**
Doses de P (DP)	5	50,5868**	2892,1061**	14,9943**	0,7562**	174259,9065**
ER x DP	10	4,5848**	56,6482**	1,5824**	0,0902**	6774,0351**
Resíduo		0,2517	0,113295	0,2094	0,0065	351,4707
Médias		42,4847	49,3626	14,3654	1,8827	369,3395
CV(%)		1,18	6,82	3,61	4,30	5,08

CLOR = clorofila, BSPA = biomassa seca da parte aérea, P100 = peso de cem sementes, NT = nitrogênio total, PROD = produtividade, ** = significativo a 1% de probabilidade de erro, * = significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste F, ^{ns} = não significativo.

No índice de clorofila (Figura 2A) da cv. BRS Sempre Verde observou-se que, o modelo matemático que melhor se ajustou foi aquele quadrático. Os dois tratamentos foram superiores à testemunha, exceto na dose 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅. De modo geral a associação das bactérias às doses crescentes de fósforo foi superior quando comparado ao tratamento sem bactéria (S/B), demonstrando haver efeito sinérgico da interação entre as bactérias e a adubação fosfatada.

Na ausência de P₂O₅ as estirpes estudadas condicionaram maiores valores para o índice de clorofila, evidenciando ainda mais sua importância para o cultivo de

feijoeiro-caupi, com valores estimados de 48,30 e 46,60 unidades para as estirpes BR 3299 e INPA 03-11B, respectivamente. Silva et al. (2010) avaliando a FBN em feijoeiro-caupi sob doses e fontes de fósforo solúvel, verificaram valores menores para índice de clorofila e efeito da bactéria BR 3262 no valor de 32,27. O índice de clorofila é uma característica muito importante a ser avaliada, pois com ela pode-se determinar a eficiência da planta na absorção da radiação solar pelas folhas (NASCIMENTO et al., 2011). Quanto maior a eficiência, maior a taxa fotossintética, resultando em maior produtividade dos grãos (FRIGO et al., 2014).

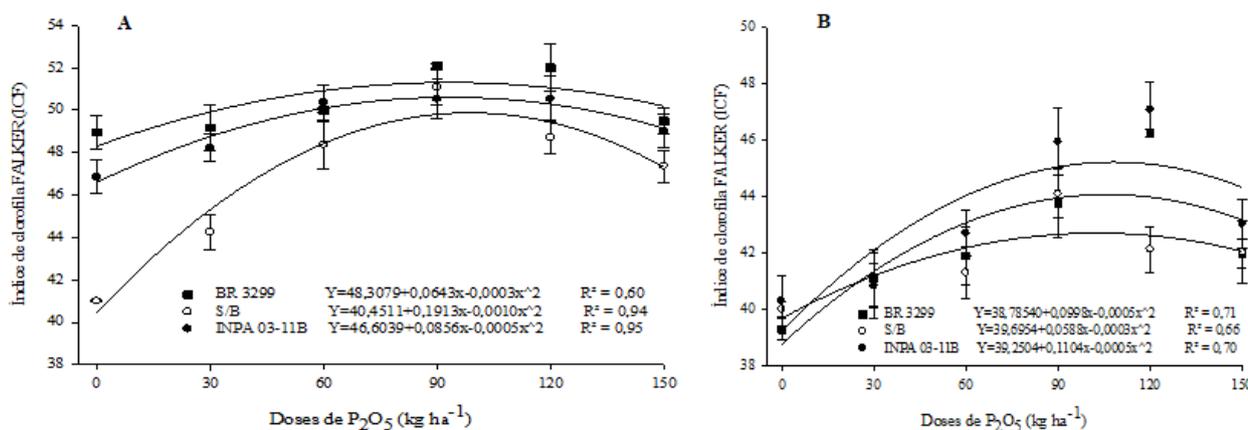


FIGURA 2 - Índice de clorofila do feijoeiro-caupi cultivar BRS Sempre Verde (A) e BRS Vinagre (B) em função das estirpes rizobianas associadas às doses crescentes de P₂O₅, no município de Gurupi (TO). Teste F (1% de probabilidade de erro).

A função ajustada para a leitura da clorofila revelou os valores de máxima eficiência agrônômica estimados de 51,75 e 50,26 unidades, nas doses 107,16 e 85,6 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para as estirpes BR3299 e INPA 03-11B, respectivamente. Isto indica que a estirpe BR3299 proporcionou maiores teores de clorofila nas folhas, embora para isto tenha exigido uma maior dose de P₂O₅ quando comparada com a estirpe INPA 03-11B. Sant'Ana et al. (2010) cultivando feijoeiro-caupi em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, em Goiás, encontraram maiores índices de clorofila (em torno de 47,0) nas parcelas adubadas com altas doses de nitrogênio, variando de 60 a 120 kg ha⁻¹. Os valores encontrados por estes pesquisadores ficaram abaixo do presente experimento, usando apenas bactérias fixadoras de nitrogênio, comprovando assim a eficiência da FBN para feijoeiro-caupi cv. BRS Sempre Verde.

Para a cv. BRS Vinagre (Figura 2B) a interação estirpe rizobiana e doses de P₂O₅ apresentou significância para o índice de clorofila. O modelo matemático ajustado também foi o quadrático, evidenciando a importância do fósforo quando associado às bactérias fixadoras de nitrogênio. Ao contrário do observado na cv. BRS Sempre Verde, a estirpe que condicionou maior efeito no teor de clorofila na planta foi a INPA 03-11B. Isto pode estar relacionado a característica do genótipo de feijoeiro-caupi, ou seja, para esta cultivar a estirpe INPA 03-11B se

mostrou com melhor capacidade nodulífera em relação a BR 3299. Os valores estimados para o índice de clorofila pela equação para dose de máxima eficiência agrônômica foram 43,75 e 45,35 nas doses 99,7 e 110,5 para as estirpes BR 3299 e INPA 03-11B, respectivamente.

Benício et al. (2012) avaliando os efeitos de biofertilizantes e modos de aplicação na nodulação do feijoeiro-caupi encontraram valores semelhantes ao encontrado no presente trabalho para o índice de clorofila. Ao comparar o tratamento contendo N mineral e a testemunha (somente inoculado) os autores não observaram diferença estatística, demonstrando que, somente a fixação biológica pode fornecer nitrogênio suficiente para as plantas desta espécie.

Em relação a biomassa seca da parte aérea na cv. Sempre Verde (Figura 3A), observou-se interação significativa entre estirpes rizobianas e doses de fósforo. No entanto, a estirpe INPA 03-11B foi aquela que se destacou em relação a testemunha (S/B). Maior produção de biomassa seca da parte aérea estimada para máxima eficiência agrônômica foi de 77,28 na dose 109,03 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Frigo et al. (2014) avaliando plantas de feijoeiro-caupi submetido à inoculação com rizóbio e cultivadas em LATOSSOLO do Cerrado Matogrossense encontrou baixos valores para o tratamento contendo adubação nitrogenada. Isto demonstra a importância e eficiência da

simbiose entre a cultura e a bactéria fixadora de nitrogênio. Chagas Junior et al. (2014b) também verificaram maiores valores de biomassa seca da parte aérea para os tratamentos que continuam inoculante comparados ao tratamento testemunha.

Na cv. BRS Vinagre (Figura 3B) observa-se que as estirpes BR 3299 e a INPA03-11B (atualmente já recomendada para a cultura do feijoeiro-caupi) foram superiores ao tratamento testemunha (S/B). O modelo matemático que melhor se ajustou as curvas de regressão para as duas estirpes foi o quadrático, onde as funções ajustadas demonstraram valores de máxima eficiência agrônômica de 69,04 e 53,84g de biomassa seca na parte

aérea nas doses 114,66 e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente.

Isso representa um incremento de 28,23% da estirpe BR 3299 em relação a segunda estirpe, além de apresentar economia de 35,34 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A distribuição de biomassa seca na planta permite discutir um processo pouco estudado, que é a translocação de fotoassimilados, e que em muitos casos facilita a compreensão da resposta das espécies vegetais em termos de produtividade (BENINCASA, 2003). Segundo Gualter et al. (2011), as bactérias fixadoras de nitrogênio podem contribuir de forma significativa com um maior fornecimento de N e, conseqüentemente, com aumento da biomassa seca da planta.

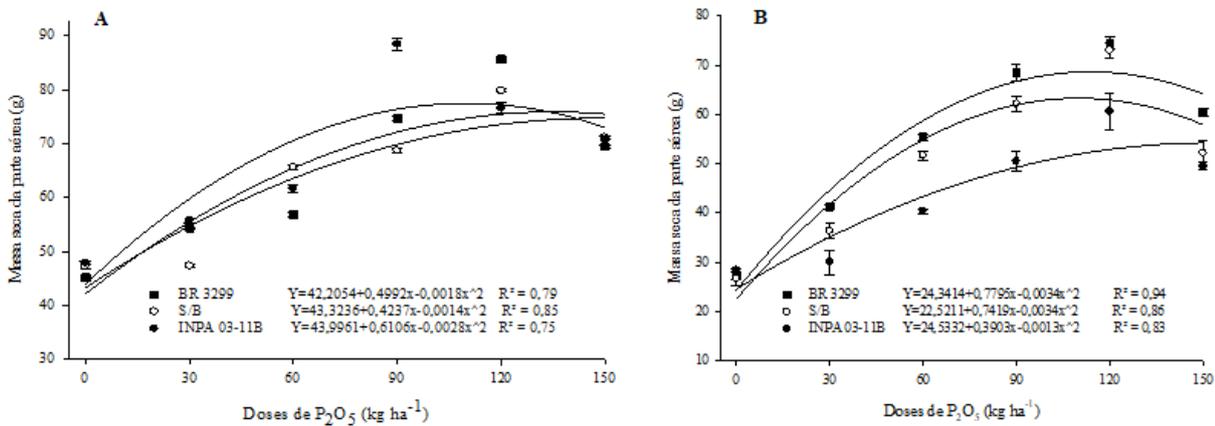


FIGURA 3 - Biomassa seca da parte aérea do feijoeiro-caupi cultivar BRS Sempre Verde (A) e BRS Vinagre (B) em função das estirpes rizobianas associadas às doses crescentes de P₂O₅, no município de Gurupi (TO). Teste F (1% de probabilidade de erro).

Para o peso de 100 sementes na cv. BRS Sempre Verde não foi verificada interação significativa entre os fatores estudados, ocorrendo efeito isolado da dose de P₂O₅ (Figura 4A). A partir do modelo matemático obteve-se a dose de P₂O₅ com máxima eficiência agrônômica de 19,95g obtida na dose de 84,6kg ha⁻¹ para o tratamento testemunha (S/B). Rosal (2013) avaliando doses de fósforo

e zinco na cultura do feijoeiro-caupi encontrou valores superiores aqueles encontrados no presente trabalho, porém obtidos com uma dose maior de P₂O₅ (110 kg ha⁻¹). Zucareli et al. (2011) e Nascente et al. (2014) não encontraram diferenças significativas com o incremento das doses de P via solo sobre o peso de cem sementes na cultura do feijoeiro.

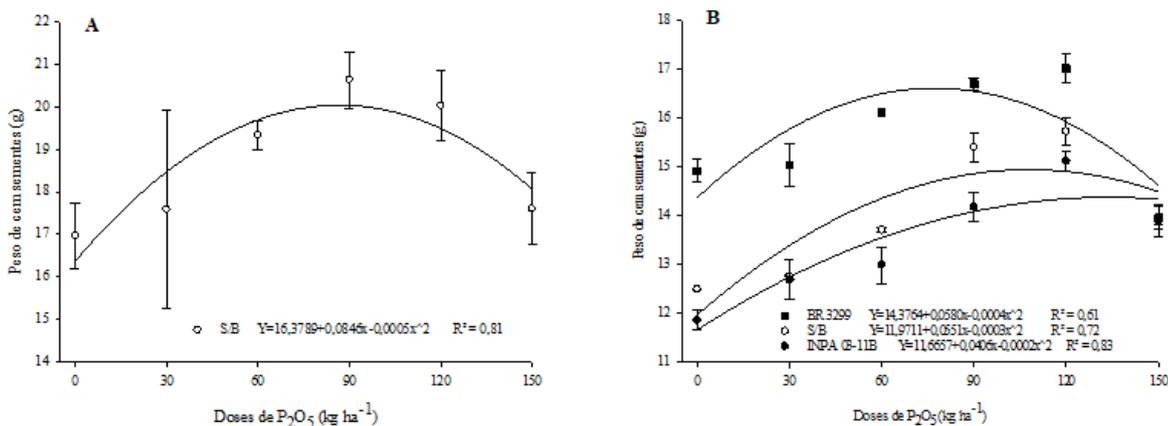


FIGURA 4 - Peso de 100 sementes do feijoeiro-caupi cultivar BRS Sempre Verde (A) e BRS Vinagre (B) em função das estirpes rizobianas associadas às doses crescentes de P₂O₅, no município de Gurupi (TO). Teste F (1% de probabilidade de erro).

Para o peso de 100 sementes da cv. BRS Vinagre verificou-se resposta quadrática para a interação dos fatores, onde a estirpe BR 3299 condicionou maior biomassa, quando comparado ao tratamento testemunha (S/B) (Figura 4B). Para a estirpe INPA 03-11B, a partir do modelo de regressão adotado, verificou-se que o peso de cem sementes estimado para máxima eficiência agrônômica foi 13,72 g, obtido com a dose 101,5 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Resultados semelhantes foram encontrados por Gualter et al. (2011) avaliando o efeito da inoculação com estirpes de rizóbio na nodulação, fixação biológica de nitrogênio e produtividade em feijoeiro-caupi, observaram uma superioridade da estirpe BR3299 para a INPA 03-11B, condicionando maior peso de 100 sementes. Silva et

al. (2011), estudando o efeito da inoculação e adubação mineral na cultura em LATOSSOLO da Amazônia Oriental, não verificaram interação significativa para adubação fosfata e potássica.

Na Figura 5A (cv. BRS Sempre Verde) observa-se o comportamento quadrático para as curvas de regressão, com interação significativa entre os fatores para o nitrogênio total, evidenciando assim o efeito que o fósforo promove no processo de simbiose. Porém, o tratamento testemunha (S/B) também proporcionou incremento para a característica avaliada, demonstrando que, tanto a bactéria introduzida como a nativa promoveram um acúmulo de nitrogênio na biomassa seca da parte aérea.

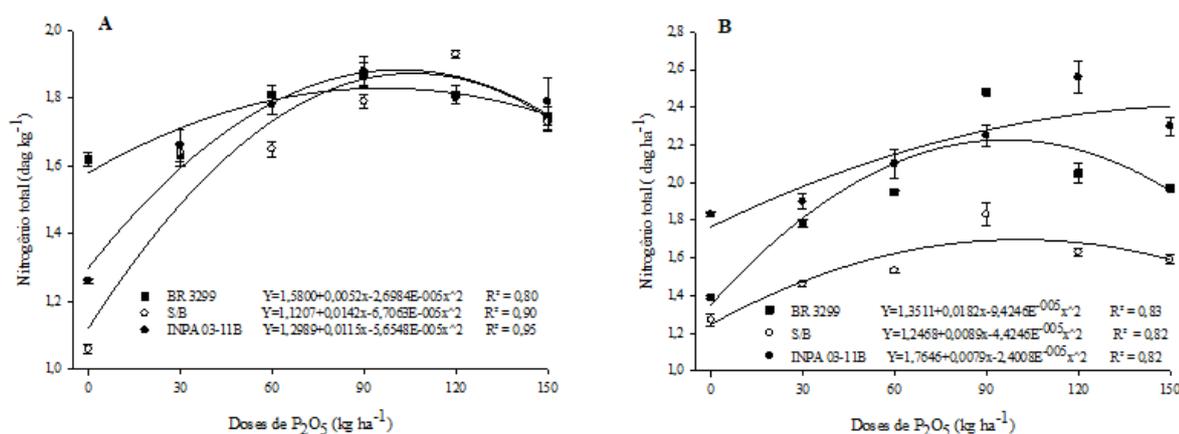


FIGURA 5 - Nitrogênio total do feijoeiro-caupi cultivar BRS Sempre Verde (A) e BRS Vinagre (B) em função das estirpes rizobianas associadas às doses crescentes de P₂O₅, no município de Gurupi (TO). Teste F (1% de probabilidade de erro).

Chagas Junior et al. (2014c) avaliando a eficiência da inoculação combinada de rizóbio e trichoderma em cultivares de feijoeiro-caupi observaram um alto teor de nitrogênio no tratamento testemunha (sem inoculação), com a utilização das estirpes INPA 03-11 e UFLA 03-84. A presença de teor de nitrogênio no tratamento sem inoculante e sem N mineral comprova a capacidade da população nativa em estabelecer a simbiose com leguminosas, como por exemplo, o feijoeiro-caupi (LIMA et al., 2006; MELLONI et al., 2006).

O modelo matemático que melhor se ajustou a todas as curvas foi o quadrático, onde maior teor de NT acumulado na BSPA estimado para máxima eficiência agrônômica foi 1,87 dag kg⁻¹ para 105,87 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (S/B) e 1,83 para 96,35 e 132,63 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (estirpes BR 3299 e INPA 03-11B, respectivamente).

Apesar destes tratamentos terem condicionado o mesmo teor de nitrogênio, a estirpe BR-3299 foi mais eficiente que a INPA03-11B, obtendo o mesmo teor em uma dose menor de P₂O₅, representando uma economia de 37,65%. Segundo Costa et al. (2011), o processo de FBN pode ser influenciado pelas características genotípicas do macro e microsimbionte, refletindo nas diversas respostas em relação à faixa hospedeira, especificidade e eficiência simbiótica.

Para a cv. BRS Vinagre, todos os tratamentos foram superiores a testemunha (S/B), condicionando maior teor de nitrogênio na BSPA (Figura 5B), com efeito positivo da interação para os níveis de fósforo adicionados ao solo. Menor valor foi observado na ausência de P₂O₅, evidenciando a importância do P para o processo de simbiose, devido sua importância no estabelecimento de nodulação e FBN (SILVA et al., 2010). Amaral et al. (2013) avaliando a produtividade e nodulação de feijoeiro-caupi inoculado em função de fósforo e potássio, também verificaram a interação de doses de P₂O₅ associadas ao rizóbio.

Por meio da derivação do modelo obteve-se máxima eficiência agrônômica para o teor de nitrogênio na BSPA de 2,23 e 2,42 dag kg⁻¹, resultante da aplicação de 96,20 e 167 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (estirpes BR 3299 e INPA 03-11B, respectivamente). Diferentemente da cv. BRS Sempre Verde, os tratamentos contendo as bactérias foram superiores ao S/B para todos os níveis de P₂O₅, pelo fato de existir uma especificidade inerente também à planta hospedeira em relação ao microsimbionte no processo de simbiose.

Para a produtividade na cv. BRS Sempre Verde observa-se interação das estirpes significativa entre os fatores estudados (Figura 6A). Kyei-Boahen et al. (2017)

avaliando o rendimento e crescimento de feijoeiro-caupi inoculado e fertilizado com fósforo em ambientes, também verificaram interação entre o rizóbio e as doses crescentes de fósforo. Comparando os tratamentos estudados, na dose 0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ observa-se que a estirpe BR 3299 foi superior, com incremento de 21% quando comparado com o S/B e 25% quando comparado à estirpe INPA 03-

11B. Isso comprova sua eficiência e capacidade nodulífera em relação a esta cultivar. Neto et al. (2013) avaliando a compatibilidade do tratamento de sementes de feijoeiro-caupi com fungicidas e inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium*, verificaram que não houve incrementos de produtividade decorrentes da inoculação.

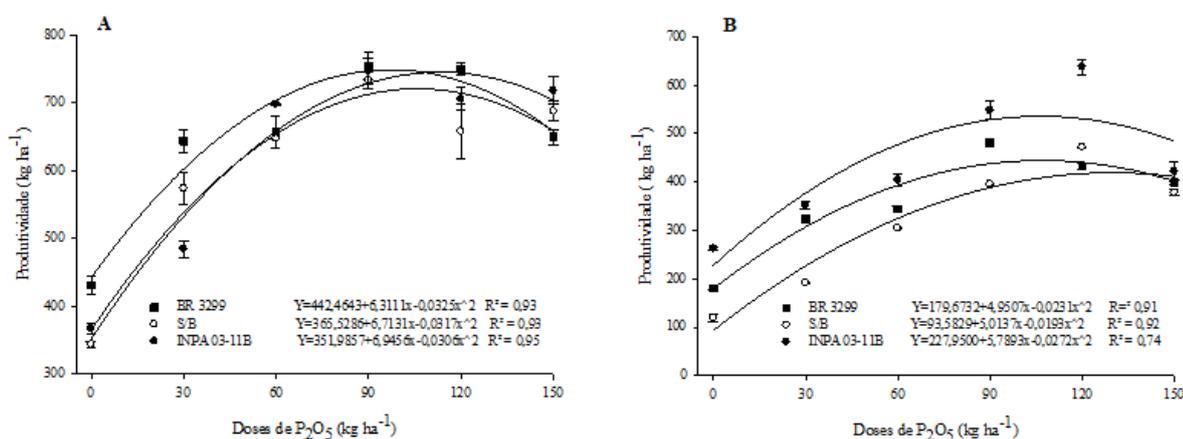


FIGURA 6 - Produtividade do feijoeiro-caupi cultivar BRS Sempre Verde (A) e BRS Vinagre (B) em função das estirpes rizobianas associadas às doses crescentes de P₂O₅, no município de Gurupi (TO). Teste F (1% de probabilidade de erro).

Os valores estimados para máxima eficiência agrônômica dos tratamentos foram 748, 720 e 746 kg ha⁻¹ nas doses 97,09; 105,88 e 113,49 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (estirpe BR 3299, S/B e INPA 03-11B, respectivamente). Apesar de não haver diferença muito grande entre os tratamentos, a estirpe BR 3299 condicionou maior produtividade com a menor dose de P₂O₅ (97,09 kg ha⁻¹). Esses valores corroboram Chagas Junior et al. (2014b), que, trabalhando com cultivares de feijoeiro-caupi, verificaram a eficiência da inoculação combinada de rizóbio e *Trichoderma* spp.

Uma característica importante do feijoeiro-caupi é sua capacidade de estabelecer simbiose com bactérias do grupo rizóbio, que realizam a FBN, o que possibilita a obtenção de produtividade superior a 2.000 kg ha⁻¹, sem a aplicação de fertilizantes nitrogenados, em diversas regiões do Brasil, como Nordeste (MARTINS et al., 2003) e Norte (MELO e ZILLI, 2009). Estes valores de produtividade estão abaixo daqueles registrados para o país, porém, acima da média para a região Norte, onde a cultura apresenta baixa produtividade (300 kg ha⁻¹), o que é atribuído, entre outros fatores, à baixa disponibilidade de nutrientes no solo, principalmente o N (XAVIER et al., 2007).

Para cv. BRS Vinagre (Figura 6B) observa-se também que ocorreu interação entre os fatores estudados, diferentemente do observado para cv. BRS Sempre Verde. Ao comparar os tratamentos na dose 0 kg ha⁻¹ de P₂O₅, a estirpe INPA 03-11B foi superior ao S/B (144%) e a estirpe BR 3299 (26%). Nota-se que o processo de FBN depende da interação entre a planta hospedeira, bactéria do gênero rizóbio e condições edafoclimáticas (SCHWENGBER et al., 2010).

O modelo polinomial que melhor se ajustou ao comportamento da produtividade, em função da interação

dos fatores, foi o quadrático. Os valores das doses para máxima eficiência agrônômica foram 107,15; 129,9 e 106,42 kg ha⁻¹ de P₂O₅, com produtividade de 444,92; 419,29 e 536,01 kg h⁻¹ de feijoeiro-caupi (estirpe BR3299, S/B e INPA 03-11B, respectivamente).

A estirpe INPA 03-11B proporcionou maior produtividade com uma menor dose de P. Estes valores diferem dos encontrados por Coutinho et al. (2014) que foi 912 kg ha⁻¹, porém com dose de 181,9% a mais de P. Lacerda et al. (2004), em ensaio conduzido no município de Perdões (MG), utilizando a cultivar de feijoeiro-caupi BR14 Mulato, verificaram rendimento de grãos de 1.341 kg ha⁻¹ para o tratamento inoculado com INPA 03-11B. Segundo Sousa e Moreira (2011), a inoculação do feijoeiro-caupi com INPA 03-11B possibilitou o rendimento de grãos, em ensaio de campo, promovendo incremento de mais de 35%, quando se comparou a produtividade, sem N-mineral e inoculante, podendo ser considerada uma alternativa de baixo custo.

Segundo Rocha et al. (2018a) as doses de P proporcionam maior simbiose, possivelmente, porque o fósforo ajuda no desenvolvimento radicular e formação dos nódulos, aumentando assim os locais de infecção para o rizóbio, disponibilizando o nitrogênio para a planta, absorvendo mais fósforo, melhorando a nutrição da planta e refletindo em maior produtividade. Ocorreu interação positiva das estirpes fixadoras de nitrogênio associadas as doses crescentes de fósforo em todas as características avaliadas, exceto para massa de cem grãos da cv. BRS Sempre Verde.

Tem em vista a importância da fixação biológica de nitrogênio, tanto âmbito econômico e ambiental, destaca-se a importância da continuidade de trabalhos

Produtividade de feijoeiro-caupi...

SANTOS, M. M. et al. (2019)

como esse para chegar a uma fixação de nitrogênio tão eficiente quanto o da cultura da soja.

CONCLUSÕES

De modo geral as duas estirpes testadas apresentaram capacidade para nodulação e fixação biológica de nitrogênio.

A estirpe INPA 03-11B foi a mais indicada para a cv. BRS Sempre Verde e a BR 3299 a mais indicada para a cv. BRS Vinagre de feijoeiro-caupi.

A dose de fósforo que condicionou a máxima eficiência agrônômica em feijoeiro variou de 70 a 110 kg ha⁻¹.

Maior teor de nitrogênio para as duas cultivares de feijoeiro-caupi foi verificado com a utilização da estirpe BR 3299.

REFERÊNCIAS

AMARAL, F.H.C.; NOBREGA, J.C.A.; MARTINS, R.N.L.; SILVA, A.F.T.; COSTA, E.M.; NÓBREGA, R.S.A.; LUSTOSA FILHO, J.F.; DIÓGENES, L.C.; PACHECO, L.P. Productivity and nodulation cowpea inoculated in function of phosphorus and potassium. **Journal of Agricultural Science**, v.5, n.11, p.86-92, 2013.

BENÍCIO, L.P.F.; OLIVEIRA, V.A.; REIS, A.F.B.; CHAGAS JÚNIOR, A.F.; LIMA, S.O. Efeitos de diferentes biofertilizantes e modos de aplicação na nodulação do feijão-caupi. **Revista Tropica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v.6, n.3 p.111-119, 2012.

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas - noções básicas**. 2a. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.

BURITY, H.A.; LYRA, M.C.C.P.; SOUZA, E.S. Efetividade da inoculação com rizóbio e fungos micorrízicos arbusculares em mudas de sabiá submetidas a diferentes níveis de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.4, p.801-807, 2000.

CLAESSEN, M.E.C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2a. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 1997. 212p. (Documentos, n.1).

CHAGAS JUNIOR, A.F.; OLIVEIRA, L.A.; OLIVEIRA, A.N.; WILLERDING, A.L. Capacidade de solubilização de fosfatos e eficiência simbiótica de rizóbios isolados de solos da Amazônia. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.32, n.2, p.359-366, 2010a.

CHAGAS JUNIOR, A.F.; OLIVEIRA, A.G.; SANTOS, G.R.; REIS, A.F.B.; CHAGAS, L.F.B. Promoção de crescimento em feijão-caupi inoculado com rizóbio e *Trichoderma* spp. no cerrado. **Revista Caatinga**, v.27, n.3, p.190-199, 2014a.

CHAGAS JUNIOR, A.F.; RAHMEIER, R.; FIDELIS, R.R.; SANTOS, G.R.; CHAGAS, L.F.B. Eficiência agrônômica de estirpes de rizóbio inoculadas em feijão-caupi no Cerrado, Gurupi-TO. **Revista Ciência Agrônômica**, v.41, n.1, p.709-714, 2010b.

CHAGAS JUNIOR, A.F.; OLIVEIRA, A. G.; REIS, H.B.; SANTOS, G.R.; CHAGAS, L.F.B.; MILLER, L.O. Eficiência da inoculação combinada de rizóbio e *Trichoderma* spp. em diferentes cultivares de feijão-caupi

(*Vigna unguiculata*) no cerrado (Savana Brasileira). **Revista de Ciências Agrárias**, v.37, n.1, p.20-28, 2014b.

CHAGAS JUNIOR, A.F.; RAHMEIER, W.; FIDELIS, R.R.; SANTOS, G.R.; CHAGAS, L.F.B. Eficiência agrônômica de estirpes de rizóbio inoculadas em feijão caupi no Cerrado, Gurupi-To. **Revista Ciência Agrônômica**, v.41, n.4, p.709-7014, 2010c.

COSTA, E.M.; NÓBREGA, R.S.A.; MARTINS, L.V.; AMARAL, F.H.C.; MOREIRA, F.M.S. Nodulação e produtividade de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. por cepas de rizóbio em Bom Jesus, PI. **Revista Ciência Agrônômica**, v.42, n.1, p.1-7, 2011.

COUTINHO, P.W.R.; SILVA, D.M.S.; SALDANHA, E.C.M.; OKUMURA, R.S.; SILVA JUNIOR, M.L. **Revista Agro@mbiente**, v.8, n.1, p.66-73, 2014.

FERREIRA, D.F. SISVAR: a computer statistic alanalysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

FRIGO, G.R.; GUIMARAES, S.L.; SILVA, E.M.B.; POLIZEL, A.C. The inoculation of cowpea culture with rhizobial lineage in Brazilian Cerrado Region. **African Journal of Microbiology Research**, v.8, n.34, p.3150-3156, 2014.

GUALTER, R.M.R.; BODDEY, R.M.; RUMJANEK, N.G.; FREITAS, A.C.R.; XAVIER, G.R. Eficiência agrônômica de estirpes de rizóbio em feijão-caupi cultivado na região da Pré-Amazônia maranhense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.3, p. 303-308, 2011.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 479p.

KYEI-BOAHEN, S.; SAVALA, C.E.N.; CHIKOYE, D.; ABAIDOO, R. Growth and yield responses of cowpea to inoculation and phosphorus fertilization in different environments. **Frontiers in Plant Science**, v.8, n.646, p.1-8, 2017.

LACERDA, A.M.; MOREIRA, F.M.S.; ANDRADE, M.J.B.; SOARES, A.L.L. Efeito de estirpes de rizóbio sobre a nodulação e produtividade do feijão caupi. **Revista Ceres**, v.51, n.293, p.67-82, 2004.

LIMA, A.S.; PEREIRA, J.P.A.R.; MOREIRA, F.M.S. Diversidade fenotípica e eficiência simbiótica de estirpes de *Bradyrhizobium* spp. de solos da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.11, p.1095-1104, 2005.

MARTINS, L.M.V.; XAVIER, G.R.; RANGEL, F.W.; RIBEIRO, J.R.A.; NEVES, M.C.P.; MORGADO, L.B.; RUMJANEK, N.G. Contribution of biological nitrogen fixation to cowpea: a strategy for improving grain yield in the Semi-Arid Region of Brazil. **Biology and Fertility of Soils**, v.38, n.6, p.333-339, 2003.

MEDEIROS, R.; SANTOS, V.; ARAÚJO, A.; FILHO, C.O. Estresse salino sobre a nodulação em feijão-caupi. **Revista Caatinga**, v.21, n.5, p.202-206, 2008.

Produtividade de feijoeiro-caupi...

SANTOS, M. M. et al. (2019)

- MELLONI, R.; MOREIRA, F.M.S.; NÓBREGA, R.S.A.; SIQUEIRA, J.O. Eficiência e diversidade fenotípica de bactérias diazotróficas que nodulam caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] e feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em solos de mineração de bauxita em reabilitação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.2, p.235 -246, 2006.
- MELO, S.R.; ZILLI, J.E. Fixação biológica de nitrogênio em cultivares de feijão-caupi recomendadas para o Estado de Roraima. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.9, p.1177-1183, 2009.
- NASCENTE, A.S.; COBUCCI, T.; SOUSA, D.M.G.; LIMA, D.P. Adubação fosfatada no sulco e foliar afetando a produtividade de grãos do feijoeiro comum. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, n.3, p.1231-1240, 2014.
- NASCIMENTO, S.P.; BASTOS, E.A.; ARAÚJO, E.C.E.; FREIRE FILHO, F.R.; SILVA, E.M. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.1, p.853-860, 2011.
- SILVA NETO, M.L.; SMIDERLE, O.J.; SILVA, K.; FERNANDES JÚNIOR, P.I.; XAVIER, G.R.; ZILLI, J.E. Compatibilidade do tratamento de sementes de feijão-caupi com fungicidas e inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.1, p.80-87, 2013.
- NZIGUHEBA, G.; ZINGORE, S.; KIHARA, J.; MERCKX, R.; NJOROGE, S.; OTINGA, A. Phosphorus in smallholder farming systems of sub-Saharan Africa: implications for agricultural intensification. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.104, n.3, p.321-340, 2016.
- ROCHA, M.M.; ANDRADE, F.N.; GOMES, R.L.F.; FREIRE FILHO, F.R.; RAMOS, S.R.R.; RIBEIRO, V.Q. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-caupi quanto à produção de grãos frescos, em Teresina-PI. **Revista Científica Rural**, v.14, n.1, p.40-55, 2012.
- ROCHA, W.S.; SANTOS, M.G.; SAKAI, T.R.P.; SILVA, T.A.; FIDELIS, R.R.; SANTOS, M.M. Acúmulo de biomassa em função de doses de fósforo e inoculação de rizóbio em feijão-caupi. **Cultura Agrônômica**, v.27, n.2, p.273-286, 2018a.
- ROCHA, W.S.; SANTOS, M.G.; OLIVEIRA, N.S.; BARROS, H.B.; SANTOS, M.M. Desenvolvimento do feijão-caupi em sistema de várzea submetido as doses de fósforo. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.11, n.5, p.93-100, 2018b.
- ROSAL, C.J.S. **Doses de fósforo e zinco na cultura do feijão-caupi**. 2013. 48p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013.
- SANT'ANA, E.V.P.; SANTOS, A.B.; SILVEIRA, P.M. Adubação nitrogenada na produtividade, leitura spad e teor de nitrogênio em folhas de feijoeiro. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, n.4, p.491-496, 2010.
- SCHWENGBER, J.A.M.; SILVA, F.F.; SMIDERLE, O.J.; SCHWENGBER, D.R. Nodulação do feijão-caupi em função da aplicação de três águas de farinha. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.3, n.2, p.135-146, 2010.
- SILVA, E.F.L.; ARAÚJO, A.S.F.; SANTOS, V.B.; NUNES, L.A.P.L.; CARNEIRO, R.F.V. Fixação biológica do N₂ em feijão-caupi sob diferentes doses e fontes de fósforo solúvel. **Bioscience Journal**, v.26, n.3, p.394-402, 2010.
- SILVA, R.T.L.; ANDRADE, D.P.; MELO, E.C.; PALHETA, E.C.V.; GOMES, M.A.F. Inoculação e adubação mineral da cultura do feijão-caupi em latossolos da Amazônia oriental. **Revista Caatinga**, v.24, n.4, p.152-156, 2011.
- SOUSA, P.M.; MOREIRA, F.M.S. Potencial econômico da inoculação de rizóbios em feijão-caupi na agricultura familiar: um estudo de caso. **Em Extensão**, v.10, n.2, p.37-54, 2011.
- VINCENT, J.M. **Manual for the practical study of root nodule bacteria**. Oxford: Blackwell, p.164, 1970.
- XAVIER, G.R.; MARTINS, L.M.; RUMJANEK, N.G.; NEVES, M.C.P. Tolerância de rizóbio de feijão-caupi à salinidade e à temperatura em condição *in vitro*. **Revista Caatinga**, v.20, n.4, p.1-9, 2007.
- ZILLI, J.E.; VALICHESKI, R.R.; RUMJANEK, N.G.; ARAÚJO, J.L.S.; FREIRE FILHO, F.R.; NEVES, M.C.P. Caracterização e avaliação da eficiência simbiótica de estirpes de *Bradyrhizobium* em caupi nos solos de cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.5, p.811-818, 2006.
- ZUCARELI, C.; PRANDO, A.M.; RAMOS JÚNIOR, E.U.; NAKAGAWA, J. Fósforo na produtividade e qualidade de sementes de feijão Carioca Precoce cultivado no período das águas. **Revista Ciência Agrônômica**, v.42, n.1, p.32-38, 2011.