**PRODUTIVIDADE DE FEIJÃO-CAUPI CULTIVADO COM ESTIRPES RIZOBIANAS SOB DOSES DE FÓSFORO**

**RESUMO -** A fixação biológica de nitrogênio (FBN) tem se mostrado indispensável para a sustentabilidade da agricultura brasileira, haja vista que o fornecimento de nitrogênio às culturas com baixo custo econômico e redução no impacto ambiental. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência de estirpes rizobianas sob diferentes doses de fósforo, para maximizar o crescimento de feijão-caupi e fixação de azoto, a fim de se obter melhor desempenho agronômico. Os tratamentos foram dispostos em delineamento experimental blocos casualizados sob arranjo fatorial 3 x 6 sendo o primeiro fator composto por duas estirpes de rizóbio e um tratamento sem inoculação e o segundo fator composto por seis doses diferentes de P2O5, com 4 repetições. As doses consistiram de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 kg ha-1 de P2O5 por hectare, aplicadas na semeadura. As características avaliadas foram: clorofila, massa seca da parte aérea, peso de cem sementes, nitrogênio total da parte aérea e 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. De modo geral as duas estirpes testada apresentaram capacidade para nodulação e FBN. Para a cv. BRS Sempre Verde a estirpe mais indicada é INPA 03-11B; para a cv. BRS Vinagre a estirpe BR 3299 foi mais eficiente. A dose de fósforo que condicionou a máxima eficiência agronômica variou de 70 a 110 Kg ha-1. A estirpe BR 3299 condicionou maiores teores de nitrogênio para as duas cultivares.

**Palavras-chave:** fixação biológica,produtividade, *Vigna unguiculata.*

*PRODUCTION OF CAUPI BEANS CULTIVATED WITH RIZOBIAN STYRPES UNDER PHOSPHORUS DOSES*

**ABSTRACT -** Biological nitrogen fixation (BNF) has been shown to be indispensable for the sustainability of Brazilian agriculture, considering the supply of nitrogen to crops with low economic cost and low environmental impact. Thus, the objective of this study was to evaluate the efficiency of rhizobial strains under different doses of phosphorus, to maximize the growth of cowpea and nitrogen fixation, in order to obtain better agronomic performance. The treatments were arranged in a randomized block design under a 3 x 6 factorial arrangement. The first factor was composed of two strains of rhizobium and one treatment without inoculation and the second factor was composed of six doses of P2O5, with 4 replicates. The doses consisted of 0, 30, 60, 90, 120 and 150 kg ha-1 of P2O5 per hectare, applied at sowing. The evaluated characteristics were: chlorophyll, dry shoot mass, weight of one hundred seeds, total shoot nitrogen and productivity. There was a positive interaction of the nitrogen - fixing strains associated with increasing doses of phosphorus in all evaluated characteristics except for one hundred grains of cv. BRS Always Green. In general, the two strains tested showed capacity for nodulation and FBN. For cv. BRS Always Green the most indicated strain is INPA 03-11B; for cv. BRS Vinegar strain BR 3299 was more efficient. The dose of phosphorus that conditioned the maximum agronomic efficiency ranged from 70 to 110 kg ha-1. The BR 3299 strain conditioned higher nitrogen contents for both cultivars.

**Keywords:** Biological fixation, productivity, *Vigna unguiculata*.

**INTRODUÇÃO**

A cultura do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp.) é extremamente rústica, tolerante a altas temperaturas, mediamente resistente à seca e 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, para 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 (FREIRE FILHO et al., 2005; ZILLI et al., 2006). Isto porque em condições de experimento e lavouras com melhor uso de tecnologia, o feijão-caupi tem apresentado alto potencial produtivo, o que no geral não tem sido explorado, um dos fatores responsáveis pela baixa produtividade é a baixa fertilidade natural e dos teores de matéria orgânica dos solos, especialmente em áreas de cerrado (CHAGAS JUNIOR et al., 2010b). As Cepas encontradas nos solos de cerrado ácidos e de baixa fertilidade, devem ser competitivas com a população nativa, sendo assim mais eficientes na FBN, em experimentos conduzidos em condições de campo, mostraram-se aumentos nos rendimentos de grãos em tratamentos inoculados com estirpes de rizóbio selecionados nas condições de clima e solo do cerrado no Sul do Tocantins (CHAGAS JUNIOR et al., 2014a; ROCHA et al., 2018b).

Dentre os macros nutrientes essenciais a cultura do feijão caupi o nitrogênio e o fosforo são fundamentais para o desenvolvimento da cultura. A disponibilidade de nutrientes está entre os principais fatores que influenciam a FBN e, dentre os principais nutrientes que influenciam tal processo, cita-se o fósforo (P) (SILVA et al., 2010), devido a sua participação no processo simbiótico (BURITY et al., 2000). Kyei-boahen et al. (2017) avaliando respostas de crescimento e rendimento de feijão caupi com o uso de inoculante e adubação fosfatada verificaram que o uso de P aumentou a eficácia e eficiência da população de bactérias fixadoras de nitrogênio conforme demonstrado pela maior produção de grãos, produção de matéria seca, nodulação e quantidade de N nos grãos. Isto é atribuído ao importante papel do fósforo que auxilia na nodulação, fixação e crescimento de plantas através do desenvolvimento das raízes e aumento de pelos radiculares (NZIGUHEBA et al., 2016).

Portanto, é imprescindível a difusão desta biotecnologia, de baixíssimo custo, para a cultura do feijão-caupi, considerando que a fixação biológica do nitrogênio é um processo ecológico e economicamente vantajoso que pode substituir os fertilizantes nitrogenados.

 No cerrado do Tocantins, entretanto, o uso de inoculantes na cultura do feijão-caupi ainda é muito limitado, necessitando de estudos de avaliação da fixação biológica do nitrogênio nesta cultura e da eficiência agronômica das estirpes de rizóbios nas condições de clima e solo do cerrado no Sul do Tocantins (CHAGAS JUNIOR et al., 2010a).. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência de estirpes rizobianas sob diferentes doses de fósforo, para maximizar o crescimento de feijão-caupi e fixação de azoto, a fim de se obter melhor desempenho agronômico

**MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido, no ano 2016 na estação Experimental da Universidade Federal do Tocantins, campus universitário de Gurupi, Estado do Tocantins, caracterizada pelas coordenadas geográficas (11o43’45’’S e 49o04’07’’W). Segundo o sistema de classificação de Koppen (1948), o clima da região é do tipo mesotérmico com chuvas de verão e inverno seco Aw/As. A (Figura 1), apresenta os dados climatológicos ocorridos na época de execução do estudo.

**“Inserir aqui Figura 1”**

Antecedendo a semeadura, coletou-se uma amostra de solo composta e realizou-se a caracterização física e química, onde foram encontrados os seguintes valores: 2,49 cmolc dm-3 de Ca; 1,45 cmolc dm-3 de Mg; 0,11 cmolc dm-3 de K; 1,24 mg dm-3 de P; 0,00 cmolc dm-3 de Al; 7,58 cmolc dm-3 de CTC; 4,05 cmolc dm-3 de SB; 53% de V; pH 5,53 em água; matéria orgânica 2,12 g dm-3 ; areia 599,61 g kg-1 ; silte 112,13 g kg-1; argila 288,26 g kg-1.

O preparo do solo foi realizado de forma convencional, com uma gradagem (25”) e uma niveladora (16”) e posteriormente o sucamento do solo. Foram conduzidos dois ensaios de campo com feijão-caupi, correspondendo cada ensaio a uma cultivar, com estirpes de rizóbio associadas ou não a seis doses de fósforo, sendo as cultivares avaliadas em ensaios independentes. As cultivares utilizadas foram ‘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 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, formada pelas linhas externas e meio metro da extremidade das linhas centrais.

A semeadura foi manual, no mês de maio com a inoculação das estirpes de rizóbio INPA 03-11B caracterizada como *Bradyrhizobium japonicum.* Obtida junto ao Laboratório de Microbiologia da Universidade Federal de Lavras (Minas Gerais, Brasil)e BR3299. Após crescimento em meio YMA (extrato de levedura, manitol, ágar) por cinco dias, as estirpes utilizadas foram suspensa individualmente em solução salina (0,2% MgSO4) e cada uma dessas suspensões (109 células mL-1) foi inoculada ás sementes uma hora antes do plantio na proporção de 50ml de por kg-1 de semente.

Os tratamentos foram dispostos em delineamento experimental blocos casualizados sob arranjo fatorial 3 x 6 sendo o primeiro fator composto por duas estirpes de rizóbio e um tratamento sem inoculação e o segundo fator composto por seis doses de P2O5, com 4 repetições. As doses consistiram de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 kg ha-1 de P2O5 por hectare, aplicadas na semeadura. A fonte de P2O5 utilizada foi o SFS (20% P2O5). A adubação potássica foi realizada utilizando-se 60 kg ha-1 de K2O, na forma de cloreto de potássio, na semeadura. O manejo da cultura consistiu em capinas manuais, conforme a necessidade. O suprimento de água para a cultura foi através da irrigação com turno de rega de dois das, com vazão aproximada de 5mm.

A partir do déimo segundo dia após semeadura as plantas emergidas foram desbastadas, deixando-se 10 plantas por metro linear e população de 200.000 plantas ha-1.

Foi feito a coleta do teor de clorofila total nas folhas em pleno florescimento do feijão caupi sempre realizada pela manhã, através de leituras de índice utilizando-se para um aparelho clorofilômetro marca ClorofiLOG® modelo CFL 1030, operado conforme as instruções do fabricante. Para este aparelho, as unidades de mensuração, denominadas Índice de Clorofila Falker (ICF), são produto de fotodiodos que emitem em 635, 660 e 880 nm. O valor de leitura atribuído à parcela foi representado pela média de 3 folhas trifolioladas/parcela.

Para a determinação da produção de massa seca da parte aérea, o material vegetal foi seco e colocado em estufa de circulação forçada de ar a 65–70ºC durante 72 horas, proveniente das folhas em que foi realizada as leituras de clorofilas. O acúmulo de N na parte aérea foi calculado a partir do teor de N total, analisado por meio do método Kjeldahl, de acordo com a metodologia descrita por Claessen (1997), multiplicado pela massa de matéria seca da parte aérea.

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

**RESULTADO E DISCUSSÃO**

Na Tabela 1 observa-se que houve interação entre os fatores estudados para todas as características avaliadas, tanto para cv BRS Sempre Verde quanto para BRS Vinagre, exceto para a variável peso de cem sementes da cv. Sempre Verde, que não apresentou efeito da interação dos fatores, mas isoladamente o efeito do fator dose foi significativo, já o fator inoculante não foi significativo.

**“Inserir aqui Tabela 1”**

Na característica índice de clorofila (Figura 2 A) cv. BRS Sempre Verde observa-se que o modelo matemático que melhor se ajustou foi o quadrático. Ao analisar o gráfico percebe-se que os dois tratamentos foram superiores ao tratamento 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 bactérias e adubação fosfatada.

**“Inserir aqui Figura 2”**

Observa-se também que na dose 0 kg ha-1 de P2O5 as estirpes estudas condicionaram maiores valores para o índice de clorofila evidenciando ainda mais sua importância para o cultivo de feijão-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 fixação biológica do N2 em feijão-caupi sob diferentes doses e fontes de fósforo solúvel observaram valores menores para índice de clorofila onde só tinha o efeito da bactéria BR 3262 no valor de 32,27. O índice de clorofila é uma característica muito importante, pois por meio dela determina-se a eficiência da planta na absorção da radiação solar pelas folhas (NASCIMENTO, 2011), e quanto maior a eficiência, maior a taxa fotossintética, resultando em maior produtividade de grãos (FRIGO, 2014).

 A função ajustada para a leitura da clorofila revelou os valores de máxima eficiência agronômica 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 na folha, embora para isto tenha exigido dose maior de P2O5 quando comparada com a estirpe INPA 03-11B. Sant’ana et al. (2010) cultivando feijoeiro no Latossolo Vermelho distrófico, em Goiás, encontraram para a cultura, maiores índices de clorofila, em torno de 47,0 nas parcelas adubadas com doses altas de nitrogênio, variando de 60 a 120 kg ha-1. Valores estes, que ficaram abaixo dos encontrados neste experimento usando apenas bactérias fixadoras de nitrogênio comprovando a eficiência da FBN para feijão-caupi BRS Sempre Verde.

Para a cv. BRS Vinagre (Figura 2 B) a interação bactéria e doses de adubação fosfatada apresentou efeito positivo para variável índice de clorofila. O modelo matemático ajustado também foi o quadrático evidenciando a importância do fósforo quando associado às bactérias fixadora de nitrogênio. Ao contrário do observado na cv. BRS Sempre Verde a estirpe que condicionou maior efeito no teor de clorofila na planta, tanto sozinha como associada às doses de fósforo foi a INPA 03-11B.

Isto pode estar relacionado a característica do genótipo de feijão-caupi, ou seja, para esta cultivar nesta característica, índice de clorofila a estirpe INPA 03-11B mostrou melhor capacidade nodulífera em relação a BR 3299. Os valores estimados para o índice de clorofila pela equação para dose de máxima eficiência agronômica 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 diferentes biofertilizantes e modos de aplicação na nodulação do feijão-caupi encontraram valores semelhantes ao encontrado neste trabalho para o índice de clorofila e ao comparar o tratamento contendo N mineral e a testemunha (somente inoculado) não observaram diferença, demonstrando que a somente a fixação biológica pode fornecer nitrogênio suficiente para as plantas de caupi.

Em relação à massa seca da parte aérea na cv. Sempre Verde (Figura 3 A), observa-se que ocorreu efeito positivo da interação dos fatores inoculação e doses, no entanto verificou-se que a estirpe INPA 03-11B foi a que destacou-se em relação ao tratamento testemunha (S/B) e a estirpe BR 3299. A maior produção de massa seca da parte aérea estimada para máxima eficiência agronômica foi de 77,28 na dose 109,03 kg ha-1 de P2O5. Frigo (2014) avaliando feijão-caupi submetido à inoculação com rizóbio e cultivado em latossolo do Cerrado matogrossense encontrou valores inferiores a estes 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) verificaram também maiores valores de massa seca da parte aérea para os tratamentos que continuam inoculante comparados ao tratamento testemunha sem inoculante.

**“Inserir aqui Figura 3”**

Na cv. BRS Vinagre (Figura 3 B) observa-se que a estirpe BR 3299 foi superior ao tratamento testemunha (S/B) e a estirpe INPA03-11B que já é recomendada para a cultura do feijão-caupi. O modelo matemático que melhor se ajustou as curvas de regressão para as estirpes BR3299 e INPA 03-11B foi o quadrático, as funções ajustadas demonstraram valores de máxima eficiência agronômica de 69,04 e 53,84g de massa seca na parte aérea nas doses 114,66 e 150 kg ha-1 de P2O5, respectivamente.

Isso representa incremento de 28,23% da estirpe BR 3299 em relação a INPA 03-11B, além de apresentar economia de 35,34 Kg ha-1 de P2O5. A distribuição de massa seca na planta é uma variável que permite discutir um processo pouco estudado, que é a translocação de fotoassimilados, e que em muitos casos facilitam a compreensão da resposta das plantas em termos de produtividade (BENINCASA, 2003). Segundo Gualter et al. (2011), as bactérias fixadoras de nitrogênio podem contribuir de forma significativa com maior fornecimento de N para a planta e, consequentemente, com aumento de massa seca da planta.

O peso de cem sementes na cv. BRS Sempre Verde não ocorreu efeito da interação das estirpes de bactérias fixadoras de nitrogênio com as doses, porém ocorreu efeito isolado do fator dose como mostra a (Figuara 4 A).

**“Inserir aqui Figura 4”**

No peso de 100 sementes observou efeito quadrático para a curva de regressão. A partir do modelo matemático obteve-se a dose de P2O5 com máxima eficiência agronômica de 19,95g obtida na dose de 84,6kg ha-1 de P2O5 para o tratamento testemunha sem bactéria (S/B) (Figura 4 A). Rosal (2013) avaliando doses de fósforo e zinco na cultura do feijão-caupi encontrou valores estimados para peso de 100 sementes superiores a este, 20,4g, porém obtido com uma dose maior 110 kg ha-1 de P2O5. Já Zucareli et al. (2011), Nascente et al. (2014) não encontraram diferenças significativas com o incremento das doses de P via solo sobre o peso de cem sementes.

Na cv. BRS Vinagre para peso de 100 sementes (Figura 4 B) verificou-se resposta quadrática para a interação doses de fósforo e bactérias na qual a estirpe BR 3299 condicionou maior peso de cem sementes quando comparado ao tratamento testemunha (S/B) e a estirpe INPA 03-11B, a partir do modelo de regressão adotado verificou-se que o peso de cem sementes estimado para máxima eficiência agronômica foi de 16,47 e 13,72g, obtido com as doses de 72,5 e 101,5 kg ha-1 de P2O5 respectivamente para BR 3299 e INPA 03-11B.

Isso representa um aumento de 20% em relação a estirpe INPA 03-11B, com uma dose de 29 kg ha-1 de P2O5 a menos. Resultado semelhante foi encontrado por Gualter, (2011) avaliando o efeito da inoculação com diferentes estirpes de rizóbio na nodulação, fixação biológica de nitrogênio e na produtividade em feijão-caupi onde a estirpe BR3299 foi superior a INPA 03-11B condicionando maior peso de 100 sementes corroborando com estes resultados. Silva et al. (2011), estudando o efeito da inoculação e adubação mineral na cultura do feijão-caupi em latossolos da amazônia oriental verificou que não houve efeito da interação inoculante, adubação fosfata e potássica no peso de cem sementes.

Na cv. BRS Sempre Verde para característica nitrogênio total (Figura 5 A) observa-se o comportamento quadrático para as curvas de regressão, verifica-se o efeito positivo da interação bactérias e a adubação fosfatada evidenciando o efeito que o fósforo promove no processo de simbiose, onde os menores valores observados foram na dose 0 kg ha-1 de P2O5. Porém, verifica-se que o tratamento testemunha (S/B) também proporcionou incremento para a característica avaliada, demonstrando que tanto as bactérias introduzidas como as nativas promoveram o acúmulo de nitrogênio na massa seca da parte aérea, demonstrando que para esta cultivar tanto as estirpes testadas como nativas foram capazes de nodular feijão caupi.

**“Inserir aqui Figura 5”**

Chagas junior et al. (2014c) avaliando a eficiência da inoculação combinada de rizóbio e trichoderma em diferentes cultivares de feijão-caupi verificar também verificaram teor de nitrogênio no tratamento testemunha sem inoculação, porém, as estirpes utilizadas INPA 03-11 e UFLA 03-84 foram superiores ao tratamento testemunha**.** 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 feijão-caupi, leguminosa considerada promíscua (LIMA et al., 2006; MELLONI et al., 2006).

O modelo matemático que melhor se ajustou a todas as curvas foi o quadrático, o maior teor de nitrogênio total acumulado na massa seca da parte aérea estimado para máxima eficiência agronômica foi 1,87 dag kg-1 na dose 105,87 Kg ha-1 de P2O5 para o tratamento testemunha (S/B) e de 1,83 nas doses 96,35 e 132,63 Kg ha-1 de P2O5 para as 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, porque conseguiu o mesmo teor em uma dose menor de P2O5 representando economia de 37,65%. De modo geral as estirpes testadas condicionaram maior teor de nitrogênio, exceto na dose 120 Kg ha-1 de P2O5 em que o tratamento testemunha (S/B) foi superior às estirpes testadas. Segundo Costa et al. (2011), o processo de FBN é também influenciado pelas características genotípicas do macro e microssimbionte, refletindo nas diferentes respostas em relação à faixa hospedeira, especificidade e eficiência simbiótica.

Para cv. BRS Vinagre (Figura 5 B), todos os tratamentos foram superiores a testemunha (S/B) condicionando maior teor de nitrogênio na massa seca da parte aérea observou-se também o efeito da interação sendo positivo para os diferentes níveis de fósforo adicionados ao solo, onde o menor valor foi observado para dose 0 kg ha-1 de P2O5 evidenciando a importância do P para o processo de simbiose, devido à sua importância para o estabelecimento de nodulação e fixação biológica de nitrogênio (SILVA et al, 2010). Amaral et al. ( 2013) avaliando a produtividade e nodulação de feijão-caupi inoculado em função de fósforo e potássio, verificaram também a interação das diferentes doses de P2O5 associada a rizóbio.

O modelo matemático que mais se ajustou a todas as curvas foi o quadrático. Por meio da derivação do modelo obteve-se que a máxima eficiência agronômica para a variável teor de nitrogênio na massa seca da parte aérea foi 2,23 e 2,42 dag kg-1 resultante da aplicação de 96,20 e 167 kg ha-1 de P2O5 para as estirpes BR 3299 e INPA 03-11B, respectivamente. Apesar da estirpe INPA03-11B ter condicionado maior teor de nitrogênio ela precisou de uma dose 73,6% a mais que a estirpe BR 3299, ou seja, para esta característica a BR 3299 é a indicada, pois condicionou teor de N na massa seca das folhas com dose mais econômica.

Diferentemente da cv. BRS Sempre Verde os tratamentos contendo as bactérias foram superiores ao tratamento testemunha para todos os níveis de P2O5 corroborando com o fato de existir uma especificidade inerente também à planta hospedeira em relação ao microssibionte no processo de simbiose.

Para a característica produtividade na cv. BRS Sempre Verde (Figura 6 A) observa-se que ocorreu interação das estirpes fixadoras de nitrogênio com as doses crescentes de fósforo. Kyei-Boahen et al. (2017) avaliando rendimento e crescimento de feijão caupi inoculado e fertilizado com fósforo em diferentes ambientes verificaram também interação entre o rizóbio e as doses crescentes de fósforo corroborando com este trabalho.

**“Inserir aqui Figura 6”**

Comparando os tratamentos estudados, na dose 0 kg ha-1 de P2O5 observa-se que estirpe BR 3299 foi superior. Apresentando incremento de 21% quando comparando com o tratamento testemunha e de 25% quando comparado à estirpe INPA 03-11B, isso comprova a sua eficiência e capacidade nodulífera em relação a esta cultivar. Neto et al. (2013) avaliando a compatibilidade do tratamento de sementes de feijão-caupi com fungicidas e inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium*  verificaram em seu experimento que não houve incrementos de produtividade decorrentes da inoculação diferentemente dos resultados encontrado neste estudo.

Os valores estimados para máxima eficiência agronômica dos tratamentos foram 748, 720 e 746 kg ha‑1 nas doses 97,09; 105,88 e 113,49 kg ha-1 de P2O5 para estirpe BR 3299, tratamento (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 dose menor 97,09 Kg ha-1 de P2O5. Esses valores corroboram os encontrados por Chagas Junior et al. (2014b) avaliando a eficiência da inoculação combinada de rizóbio e *Trichoderma* spp. em diferentes cultivares de feijão-caupi dentre elas a cv. BRS Sempre Verde. Uma característica importante do feijão-caupi é sua capacidade de estabelecer simbiose com bactérias do grupo rizóbio, que realizam a fixação biológica de nitrogênio (FBN), o que possibilita a obtenção de produtividades superiores a 2.000 kg ha‑1 sem a aplicação de fertilizantes nitrogenados, em diversas regiões do Brasil, como o Nordeste (MARTINS et al., 2003), o Norte (MELO e ZILLI, 2009). Estes valores de produtividade estão abaixo dos encontrados para estas regiões. No entanto, estão acima das médias destas regiões, onde a cultura apresenta baixa produtividade média (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 6 B) observa-se também que ocorreu interação entre as estirpes e doses crescentes de fósforo, porém, 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 tratamento testemunha e a estirpe BR3299, apresentando incremento estimado de 144% em relação a testemunha e 26% em relação a estirpe BR 3299 para produtividade. É bem notório que esse processo de FBN depende da interação entre planta hospedeira, a bactéria do gênero rizóbio, além do solo e o clima (SCHWENGBER et al., 2010).

O modelo polinomial que melhor se ajustou ao comportamento da variável produtividade, em função da interação bactérias e doses de P, foi o quadrático. A partir do modelo pode se estimar os valores das doses para máxima eficiência agronômica que foi 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 feijão-caupi para estirpe BR 3299, testemunha (S/B) e INPA 03-11B, respectivamente.

Pode se observar que a estirpe INPA 03-11B proporcionou maior produtividade com uma dose menor. Estes valores diferem dos encontrados por Coutinho et al. (2014) que foi de 912 kg ha-1, porém com dose de 181,9% a mais do que a utilizada neste trabalho. Lacerda et al. (2004), em ensaio conduzido no município de Perdões, MG, utilizando a cultivar de feijão-caupi BR 14 Mulato, verificaram rendimento de grãos de 1.341 kg ha-1 para o tratamento inoculado com a cepa INPA 03 11B. Segundo Sousa (2011), a inoculação do feijão-caupi com INPA 03 -11B possibilitou o rendimento de grãos, em ensaio de campo, promovendo incremento de mais de 35%, comparada à produtividade sem N-mineral e sem inoculante, apresentando-se como alternativa de baixo custo.

Neste trabalho foi observado o incremento de 144%. Segundo Rocha (2018a) as doses de P proporcionam maior simbiose, possivelmente, porque o fósforo ajuda no desenvolvimento radicular e na formação dos nódulos, o que aumenta os locais de infecção para o rizóbio, que disponibiliza nitrogênio para a planta e, por conseguinte consegue absorver mais fósforo também, o que melhora a nutrição da planta, refletindo assim numa maior produtividade de grãos. 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.

**CONCLUSÕES**

De modo geral as duas estirpes testada apresentaram capacidade para nodulação e FBN.

Para a cv. BRS Sempre Verde a estirpe mais indicada é INPA 03-11B; para a cv. BRS Vinagre a estirpe BR 3299 foi mais eficiente.

A dose de fósforo que condicionou a máxima eficiência agronômica variou de 70 a 110 Kg ha-1.

A estirpe BR 3299 condicionou maiores teores de nitrogênio para as duas cultivares.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AMARAL, F.H.C.; NOBREGA, J.C.A.; MARTINS, R.N.L.; SILVA, A.F.T.; COSTA, E.M.; NOBREGA, R.S.A.; FILHO, J.F.L.; DIÓGENES, L.C.; PACHECO, L.P. Productivity and Nodulation Cowpea Inoculated in Function of Phosphorus and Potassium. **Journal of Agricultural Science**,  Cambridge, v.5, n.11, p.86-92, 2013.

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

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas** - noções básicas. 2.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**, Brasília, v.35, n.4, p.801-807, 2000.

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

CHAGAS JÚNIOR, 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**, Maringá, 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 (Online)**, Mossoró, 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 agronômica de estirpes de rizóbio inoculadas em feijão-caupi no Cerrado, Gurupi- TO. **Revista Ciência Agronômica,** Fortaleza, v.41, n.1 p.709-714, 2010a.

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**, Lisboa, 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 agronômica de estirpes de rizóbio inoculadas em feijão caupi no Cerrado, Gurupi-To. **Revista Ciência Agrônomica,** Fortaleza, 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 Agronômica**, Fortaleza, v.42, n.1, p.1-7, 2011.

COUTINHO, P.W.R.; SILVA, D.M.S.; SALDANNHA, E.C.M.; OKUMURA, R.S; JUNIOR, M.L.S. Doses de fósforo na cultura do feijão-caupi na região nordeste do estado do Pará. **Revista Agro@mbiente,** Boa Vista, v.8, n.1, p.66-73, 2014.

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

FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J.A; RIBEIRA, A. Feijão caupi:avanços tecnológicos. Brasília**: Embrapa Informações Tecnológicas**, 2005, p.519.

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 Researc**h, Lagos, 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 agronômica de estirpes de rizobio em feijão-caupi cultivado na região da Pré-Amazonia maranhense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v. 46, n. 3, p. 303-308, 2011.

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

KYEI-BOAHEN, S.; SAVALA, C.E.N.; CHIIKOYE, D.; ABAIDOO, R. Growth and yield responses of cowpea to inoculation and phosphorus fertilization in different environments. **Frontiers in plant science**, Melboune, 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**, Viçosa, 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**, Brasília, 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**, Amesterdã, 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**, Mossoró, v.21, n.5, p.202-206, 2008.

MELLONI, R.; MOREIRA, F.M.S.; NÓBREGA, R.S.A.; SIQUEIRA, J.O de. 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**, Viçosa, 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**, Brasília, 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**, Londrina, 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 (Impresso),** Campina Grande, v.15, p.853-860, 2011.

NETO, M.L.S.; SMIDERLE, O.J.; SILVA, K.;, FERNANDES JÚNIOR, P.I. XAVIER, G.R.; ZILLI, J.E.Compatibilidade do tratamento de sementes de feijao-caupi com fungicidas e inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium.* **Pesquisa Agropecuaria Brasileira,** Brasília, 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**](https://link.springer.com/journal/10705)**,** Amesterdã, v.104, n.3, p.321–340, 2016.

ROCHA, W. S. ; SANTOS, M. G. ; SAKAI, T. R. P. ; SILVA, T. A. ; FIDELIS, R. R. ; SANTOS, Manoel Mota dos . ACÚMULO DE BIOMASSA EM FUNÇÃO DE DOSES DE FÓSFORO E INOCULAÇÃO DE RIZÓBIO EM FEIJÃO-CAUPI. CULTURA AGRONOMICA (UNESP. ILHA SOLTEIRA), v. 27, 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 à doses de fósforo. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias,** Guarapuava, v. 11, n.5, p. 93-100, 2018b.

ROSAL, C.J.S.de. **Doses de fósforo e zinco na cultura do feijão-caupi**. 2013. 48p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal ) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciêcias 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 Agropecuaria Tropical**, Goiânia, 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 farinheira. **Revista emAgronegócios e Meio Ambiente**, Maringá, 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,** Uberlândia, 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**, Mossoró, 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,** Uberlândia, v.10, n.2, p.37-54, 2011.

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,** Mossoró, v.20, n.4, p.01-09, 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**, Brasília, 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 Agronômica**, Fortaleza, v.42, n.1, p.32-38, 2011.

**TABELA 1** -Resumo da análise de variância para as variáveis estudadas do feijão-caupi, BRS Sempre e BRS Vinagre, em função das estirpes rizobianas submetidas ou não a seis doses de fósforo em campo. Gurupi – Tocantins, ano 2016.

|  |
| --- |
| Quadrado Médio |
| F.V. | GL | CLOR (ICF) | MSPA (g) | P100(g) | NT (Dag ha-1) | PROD. (Kg ha-1) |
| Ensaio 1: cv BRS Sempre Verde |
| Bloco | 3 | 6,5010 | 0,1656 | 0,3248 |  0,0327 | 189,5782 |
| Inoculante (I) | 2 | 77,4849\*\* | 57,4599\*\* | 2,2940ns |  0,0778\*\* | 10321,60\*\* |
| Doses P(D) | 5 | 52,6212\*\* | 2266,5581\*\* | 22,9842\*\* |  0,4805\*\* | 213891,66\*\* |
| I x D | 10 | 8,2236\*\* | 127,1832\*\* | 1,0320ns |  0,0616\*\* | 7917,50\*\* |
| Resíduo |  | 2,3391 | 2,0023 | 3,0720 |  0,0022 | 1289,21 |
| Média |  | 48,7852 | 65,0826 | 18,5258 |  1,6920 | 625,36 |
| CV |  | 3,14 | 2,17 | 9,46 | 2,80 | 5,74 |
| Ensaio 2: cv vinagre |
| Bloco | 3 | 0,3154 | 5,1923 | 0,0520 | 0,0123 | 116,2128 |
| Inoculante (I) | 2 | 15,1427\*\* | 782,4919\*\* | 30,5698\*\* | 2,2297\*\* | 98690,3406\*\* |
| Doses P (D) | 5 | 50,5868\*\* | 2892,1061\*\* | 14,9943\*\* | 0,7562\*\* | 174259,9065\*\* |
| I x D | 10 | 4,5848\*\* | 56,6482\*\* | 1,5824\*\* | 0,0902\*\* | 6774,0351\*\* |
| Resíduo |  | 0,2517 | 0,113295 | 0,2094 | 0,0065 | 351,4707 |
| Média |  | 42,4847 | 49,3626 | 14,3654 | 1,8827 | 369,3395 |
| CV |  | 1,18 | 6,82 | 3,61 | 4,30 | 5,08 |

 CLOR - clorofila, MSPA - massa seca da parte aérea, P100 – peso de cem sementes, NT – nitrogênio total e PROD – produtividade, ns não significativo; \*\* significativo para P ≤ 0,01; \*significativo para P ≤ 0,05 pelo teste F.

****

**Figura 1.** Temperatura média, umidade e precipitação, medidas a cada sete dias, no período da realização do experimento, no ano 2016, no município de Gurupi- TO. Fonte: Estação meteorológica UFT/INMET



**FIGURA 2 -** Índice de clorofila do feijão-caupi, BRS Sempre Verde (A) e BRS Vinagre (B) em função das bactérias associadas às doses crescentes de P2O5, no município de Gurupi- TO, no ano 2016. Teste F (P≤0,01).



**FIGURA 3 -** Massa seca da parte aére do feijão-caupi, BRS Sempre Verde (A) e BRS Vinagre (B), em função das bactérias associadas às doses crescentes de P2O5, no município de Gurupi- TO, no ano 2016. Teste F (P≤0,01).



**FIGURA 4 -** Peso de 100 sementes do feijão-caupi, BRS Sempre Verde (A) e BRS Vinagre (B), em função das bactérias associadas às doses crescentes de P2O5, no município de Gurupi- TO, no ano 2016. Teste F (P≤0,01).



**FIGURA 5-** Nitrogênio total do feijão-caupi, BRS Sempre Verde (A) e BRS Vinagre (B), em função das bactérias associadas às doses crescentes de P2O5, no município de Gurupi- TO, no ano 2016. Teste F (P≤0,01).



**FIGURA 6 -** Produtividade do feijão-caupi, BRS Sempre Verde (A) e BRS Vinagre (B), em função das bactérias associadas às doses crescentes de P2O5, no município de Gurupi- TO, no ano 2016. Teste F (P≤0,01).