

Feijão caupi inoculado com bactérias associadas à adubação nitrogenada no metabolismo e crescimento da planta.

Cowpea bean inoculated with bacteria associated with nitrogen fertilization in plant metabolism and growth.

Alessandro Carlos Mesquita^{1*}  ; Kécio Emanuel Dos Santos Silva²  ; Lindete Miria Vieira Martins³  ; Polyanna Barbosa da Conceição⁴  ; Raquel Nunes de Carvalho⁵ 

^{1,2,3,4,5} Universidade do Estado da Bahia (UNEB), DTCS/III *corresponding author: amesquita@uneb.br

Recebido 27/05/2022

Aceito 03/09/2023

Publicado: 12/12/2023

Abstract:

The cultivation of cowpea is the food base for small producers in the Northeast region, however, it is necessary to adopt techniques that increase their productivity, since one of the difficulties for producers is the need to use nitrogen fertilizers, because in the soil, there is a low availability of this nutrient. Thus, the use of native caatinga bacteria can help in the process of absorption and assimilation of nitrogen. The objective of this work was to verify the efficiency of the inoculation of rhizobacteria associated with nitrogen fertilization at different dosages. The experimental design used was in randomized blocks in a 9x4 factorial and four replications: T1-without inoculation, T2-with inoculation, T3-with inoculation and dose 10 Kg ha⁻¹ of N, T4- with inoculation and 20 Kg ha⁻¹ of N, T5-with inoculation and 30 Kg ha⁻¹ of N, T6- without inoculation and 60 Kg ha⁻¹ of N, T7-without inoculation and 120 Kg ha⁻¹ of N, T8 - without inoculation and 180 Kg ha⁻¹ of N, and T9-without inoculation and 240 Kg ha⁻¹ of N and four evaluation times (15, 30, 45 and 60 DAS). The variables analyzed were: activity of the enzyme nitrate reductase, plant height, levels of total soluble sugars, levels of reducing sugars, leaf area index, chlorophyll a and b and number of nodules. The association of the bacteria with the dosage of 10 kg ha⁻¹ of N was beneficial for the formation of nodules, the accumulation of fresh mass and the activity of the enzyme nitrate reductase.

Keywords: Biological fixation; Fertilizers; Inoculation seeds.

Resumo:

O cultivo do feijão caupi é a base alimentar para pequenos produtores da região Nordeste, porém, é necessária a adoção de técnicas que elevem sua produtividade, pois uma das dificuldades dos produtores é a necessidade de utilizar fertilizantes nitrogenados, pois no solo, existe uma baixa disponibilidade desse nutriente. Assim, a utilização de bactérias nativas da caatinga pode auxiliar no processo de absorção e assimilação do nitrogênio. O objetivo deste trabalho foi verificar a eficiência da inoculação de rizobactérias associadas à adubação com nitrogênio em diferentes dosagens. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em fatorial 9x4 e quatro repetições:

T1 - sem inoculação, T2 - com inoculação, T3 - com inoculação e dose 10 Kg ha⁻¹ de N, T4 – com inoculação e 20 Kg ha⁻¹ de N, T5 - com inoculação e 30 Kg ha⁻¹ de N, T6 – sem inoculação e 60 Kg ha⁻¹ de N, T7 - sem inoculação e 120 Kg ha⁻¹ de N, T8 - sem inoculação e 180 Kg ha⁻¹ de N, e T9 - sem inoculação e 240 Kg ha⁻¹ de N e quatro épocas de avaliação (15, 30, 45 e 60 DIAS APÓS A SEMEADURA - DAS). As variáveis analisadas foram: atividade da enzima nitrato redutase, altura da planta, teores de açúcares solúveis totais, teores de açúcares redutores, índice da área foliar, clorofila a e b e quantidade de nódulos. A associação da bactéria com a dosagem de 10 Kg ha⁻¹ de N foi benéfica para a formação de nódulos, no acúmulo de massa fresca e atividade da enzima redutase do nitrato.

Palavras-chave: Fixação biológica; Fertilizantes; Inoculação sementes.

1. Introdução

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.)] se constitui em uma importante fonte de proteína de baixo custo para a alimentação humana, principalmente por pequenos produtores das regiões Norte e Nordeste do Brasil, e nos últimos anos tem se expandido para a região Centro-Oeste do país, recebendo uma maior importância econômica (Xavier et al., 2020; Uchôa et al., 2020).

Conhecido popularmente como ‘feijão de corda’ no Nordeste, sua produtividade ainda é extremamente baixa nessa região, com rendimento de 390 kg/ha, enquanto que na região Centro-Oeste que possui um cultivo mais tecnificado obteve produtividade de 1098 Kg/ha (EMBRAPA, 2020).

O aumento da produtividade demanda maior exigência nutricional pela maior extração e exportação de nutrientes pela cultura. Um dos macro elementos essenciais nesse processo é o nitrogênio, obtido em sistemas agrícolas a partir dos minerais presentes no solo. Sabe-se que alguns grupos de pesquisa vêm se dedicando a estudar diferentes aspectos relacionados à Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN) no Semiárido brasileiro, abordando pesquisas sobre a diversidade de rizóbios nativos de solos da região, principalmente os capazes de nodular feijão-caupi (Fernandes Jr. et al., 2012), além de estudos de seleção de estirpes eficientes para inoculação de feijão-caupi (Marinho et al., 2014).

Como os solos da região do semiárido são pobres em matéria orgânica e raramente são utilizados fertilizantes nitrogenados, a FBN tem um papel fundamental na manutenção dos cultivos. Pois, como o feijão caupi é cultivado sem inoculação, a fixação torna-se dependente da simbiose com rizóbios nativos.

Apesar de ser uma leguminosa, capaz de fixar nitrogênio biológico através de cepas nativas, para expressar todo seu potencial produtivo, o feijão é altamente dependente da adubação nitrogenada. Como forma de elevar a produtividade desta cultura, baixar os custos de produção e elevar a renda do produtor rural, vislumbra-se a possibilidade de exploração da fixação biológica de nitrogênio através da adoção da prática de inoculação das sementes com estirpes de bactéria do grupo rizóbio eficientes (Bertoldo et al., 2015). Trabalhos desenvolvidos, especialmente no semiárido nordestino, têm mostrado resultados benéficos com a utilização de inoculantes com estirpes eficientes (Marinho et al., 2014; Marinho et al., 2016; Rocha et al., 2020).

Os inoculantes são produtos que contêm bactérias diazotróficas capazes de capturar o nitrogênio da atmosfera (N₂), transformando-o em amônia (NH₃⁺), sendo assim a forma assimilável pelas plantas, este processo é denominado Fixação Biológica de Nitrogênio (Borges et al., 2019). Essa simbiose entre ribactérias e leguminosas é a interação planta-microorganismos mais estudada em culturas agrícolas, tais como soja, feijão (Poole et al, 2018). A inoculação em leguminosas tornou-se uma alternativa largamente aceita em relação ao uso de fertilizantes sintéticos nitrogenados, devido à adição do nitrogênio na agricultura ser onerosa, além de poluente e ser um nutriente móvel (Robertson; Vitousek, 2009).

Sabe-se, porém, que as populações de microrganismos no solo podem ser afetadas pelas práticas de manejo do solo, aplicação de insumos, entre outros, diminuindo a sua eficiência na inoculação (Jacobsen; Hjelmsø, 2014). Segundo Leal et al. (2021), os autores relatam que o solo com o consórcio gliricídia, laranja e banana apresenta uma maior população de microrganismos proporcionando uma maior biodiversidade, além de ajudar no fornecimento de nitrogênio para as espécies.

Altos teores de nitrogênio podem interferir na eficácia da nodulação das BFN, por isso necessário saber até que ponto a concentração de nitrogênio no solo pode ser eficiente em conjunto com a inoculação de rizóbios. Ao avaliar a utilização de bactérias associadas à adubação nitrogenada, Galindo et al. (2020) demonstrou o aumento da produção de feijoeiro.

O estudo da interação entre o nitrogênio aplicado e a inoculação com rizóbios no feijoeiro pode contribuir para o aumento da eficiência no uso de nutrientes e na produtividade, além da redução nos custos de produção e nos impactos ambientais, decorrentes dos efeitos deletérios do excesso desse mineral no ambiente (Ramires et al., 2018).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as taxas de crescimento e produção do feijão caupi inoculados com rizobactérias, associado a diferentes doses de nitrogênio, no Submédio São Francisco.

2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais - DTCS, Campus III, da Universidade do Estado da Bahia – UNEB, no município de Juazeiro-BA (latitude 9°25'436" S, longitude 40°32'14" W e altitude 384m) no ano de 2021. O clima da região é quente, semiárido, com média de temperatura e umidade relativa de 26,3°C e 60%, respectivamente.

O solo utilizado foi coletado no campo experimental da Universidade e colocado em vasos de 8 L. O plantio foi realizado através da semeadura direta, com quatro sementes por vasos, para que pudesse ser realizada a coleta de uma planta nos tempos programados. A cultivar utilizada foi a BRS Pujante.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em fatorial 9X4 com quatro repetições, sendo constituídos pelos tratamentos: T1 - sem inoculação; T2 - com inoculação; T3 - com inoculação e dose 10 Kg ha⁻¹ de N; T4 - com inoculação e 20 Kg ha⁻¹ de N; T5 - com inoculação e 30 Kg ha⁻¹ de N; T6 - sem inoculação e 60 Kg ha⁻¹ de N; T7 - sem inoculação e 120 Kg ha⁻¹ de N; T8 - sem inoculação e 180 Kg ha⁻¹ de N; T9 - sem inoculação e 240 Kg ha⁻¹ de N e as épocas de avaliação constituídas por: 15, 30, 45 e 60 dias após a semeadura – DAS.

A análise de crescimento foi realizada a cada 15 dias após o plantio (15, 30, 45, e 60 DAS), sendo avaliadas as seguintes características: altura da planta (régua milimetrada), diâmetro do colo (paquímetro), comprimento e largura da folha (régua milimetrada). Ao final do experimento, foi obtido através de pesagem em balança analítica, o peso da massa fresca e o peso seco, da parte aérea e radicular respectivamente.

As leituras dos índices de clorofila a e b foram feitas utilizando-se duas folhas/planta, com auxílio do clorofilômetro da marca comercial ClorofiLOG® modelo CFL 1030, produzido pela Falker automação agrícola (FALKER, 2008).

O índice de área foliar foi obtido utilizando-se o medidor de área foliar portátil, modelo CI-203 (marca CID Bio-Science).

A atividade da enzima nitrato redutase no tecido radicular e foliar foi determinada pelo método descrito por Klepper et al. (1971) e modificado por Harper e Hageman (1972) a cada 15 dias após a semeadura.

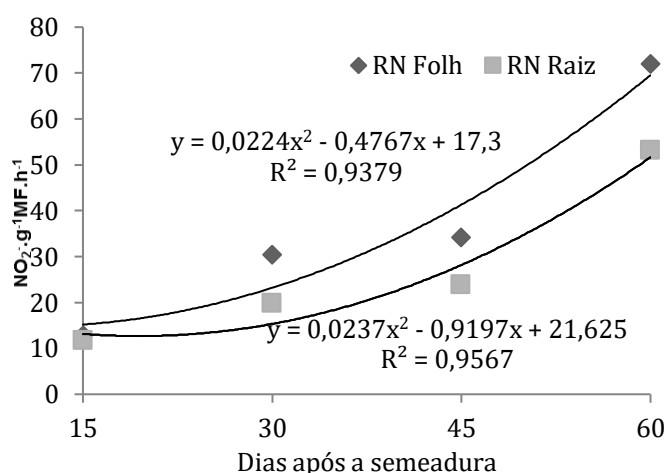
Aos 60 dias após a semeadura foram determinados os parâmetros bioquímicos: Açúcares Solúveis Totais (AST), Açúcares Redutores (AR), pelo método descrito por Yemm e Willis (1954) e Miller (1959).

Os dados referentes às variáveis mensuradas foram submetidos à análise de variância e se significativo aplicado o teste de comparação de médias (Tukey, $p < 0,05$), utilizando-se do programa Sisvar versão 5.6 (Ferreira, 2011).

3. Resultados e Discussão

Ao avaliar a atividade enzimática da redutase do nitrato (RN) (Figura 1), observou-se que a atividade da enzima na raiz foi inferior à obtida no tecido foliar ao longo dos 60 dias de cultivo da cultura do feijão. Essa preferência pelo tecido foliar também foi observada por Santos et al. (2017), ao inocular bactérias diazotróficas.

Figura 1. Atividade da enzima nitrato redutase no tecido foliar e radicular em feijão-caupi inoculados com rizobactérias no Submédio do Vale São Francisco, Juazeiro-Ba, 2022.



Botelho e seus colaboradores (2020), explicam que parte do nitrogênio encontrado no solo é absorvido pelas raízes na forma de nitrato, podendo ser reduzido, armazenado nos vacúolos ou translocado para a parte aérea, onde ocorrerá a redução ou armazenamento nos vacúolos foliares.

De acordo com Santos et al. (2017), altas taxas da enzima NR é um indicador positivo, pois é a primeira enzima envolvida na redução do nitrogênio absorvido como nitrato (NO_3^-) para nitrito (NO_2^-), que é reduzido a amônio (NH_4^+), levando assim à assimilação de nitrogênio pela planta. Desta forma, uma maior atividade NR pode indicar uma maior taxa de assimilação de N ao longo do tempo pelas plantas.

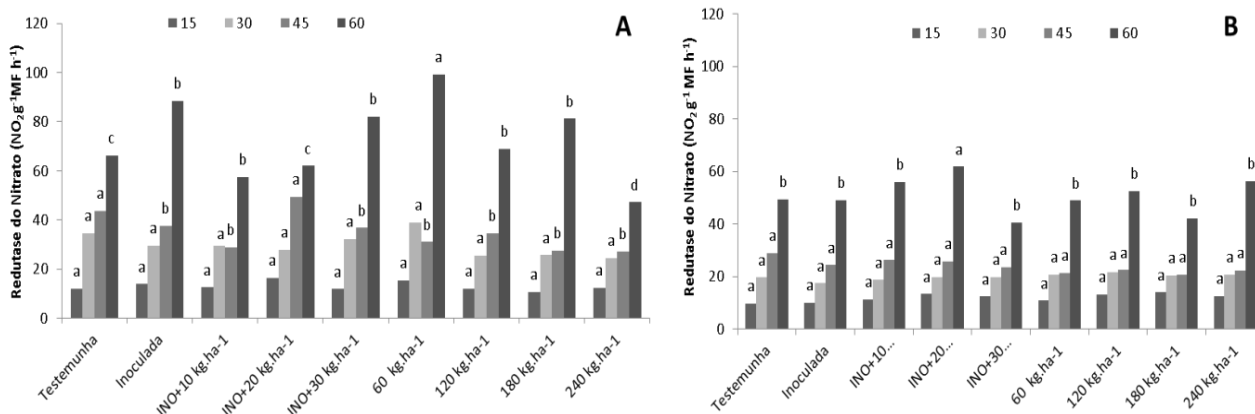
Corroborando com esse estudo, Lee et al. (2020), também demonstrou que a inoculação de bactérias pode aumentar a atividade das enzimas metabolizadoras de nitrogênio em plantas, levando à redução do uso de fertilizantes de nitrogênio na agricultura e ajudando a lidar com a poluição ambiental relacionada aos fertilizantes.

Ao longo do período de avaliação, verifica-se o incremento da atividade da enzima nitrato redutase tanto no tecido foliar como no radicular, apresentando a sua atividade máxima aos 60 dias após a semeadura (Figura 1). Esse comportamento pode ser explicado pela melhor assimilação de nitrogênio na planta, uma vez que a atividade da enzima é proporcional a sua eficiência na absorção.

Ao analisarmos os resultados da interação entre os fatores avaliados (Figura 2), podemos verificar que a atividade da enzima nitrato redutase no tecido foliar (Figura 2A) aumentou em todos os tratamentos avaliados conforme o decorrer dos dias após a semeadura, entretanto, quando se avalia os tratamentos dentro de cada época avaliada, representada pela letra minúscula, verifica-se que os tratamentos aplicados e avaliados aos 15 e 30 DAS não diferiram entre si com relação a atividade da enzima. Já aos 45 DAS, a testemunha e o tratamento com inoculação + 20 Kg.ha⁻¹ foram os tratamentos superiores com relação à atividade da enzima, e aos 60 DAS, a adubação nitrogenada de

60 Kg·ha⁻¹ sem a presença das bactérias destacou-se, superando todos os outros tratamentos estudados.

Figura 2. Atividade da enzima nitrato redutase no tecido foliar (A) e no tecido radicular (B) em feijão-caupi inoculados com rizobactérias associado a diferentes doses de nitrogênio no Submédio do Vale São Francisco (Testemunha - sem inoculação; Inoculada; Inoculação + dose 10 Kg ha⁻¹ de N; Inoculação + 20 Kg ha⁻¹ de N; Inoculação + 30 Kg ha⁻¹ de N; Sem inoculação + 60 Kg ha⁻¹ de N; T7 - Sem inoculação + 120 Kg ha⁻¹ de N; Sem inoculação + 180 Kg ha⁻¹ de N; Sem inoculação + 240 Kg ha⁻¹ de N), ao longo do tempo (15, 30, 45 e 60 DAS), Juazeiro-BA, 2022.

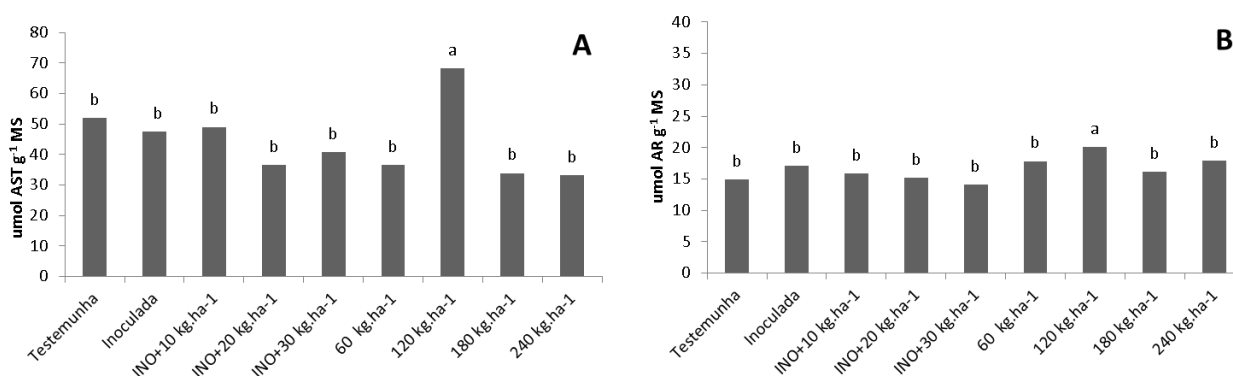


Ao analisarmos a atividade da enzima RN no tecido radicular, pode-se observar que ocorreu diferença entre os tratamentos somente na época de 60 DAS (Figura 2B), sendo que o tratamento com inoculação + 20 Kg·ha⁻¹ destacou-se dos demais.

Ao avaliar os parâmetros bioquímicos envolvidos no processo de assimilação do carbono, via fotossíntese da planta, que culminam com a assimilação em carboidratos, podemos verificar que houve diferença estatística apenas de forma isolada, pela influência dos tratamentos aplicados.

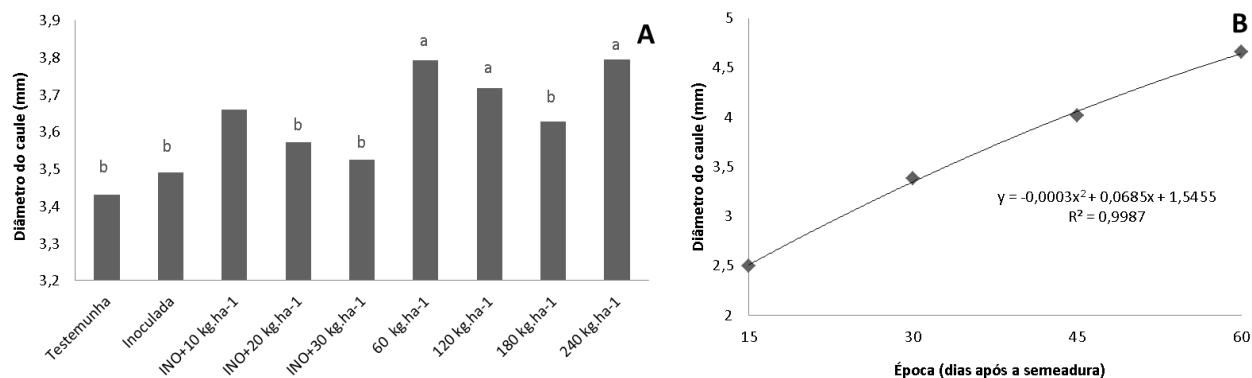
Com relação aos açúcares solúveis totais (AST) e açúcares redutores (AR) (Figura 3A, 3B), é possível verificar que o T7 (sem inoculante + dose de 120 Kg ha⁻¹ de N) apresentou maior teor desses açúcares solúveis totais no tecido foliar.

Figura 3. Teores de açúcares solúveis totais (AST) (A) e açúcares redutores (AR) (B) no tecido foliar de feijão caupi inoculados com rizobactérias, associado a diferentes doses de nitrogênio, no Vale do Submédio São Francisco. (Testemunha - sem inoculação; Inoculada; Inoculação + dose 10 Kg ha⁻¹ de N; Inoculação + 20 Kg ha⁻¹ de N; Inoculação + 30 Kg ha⁻¹ de N; Sem inoculação + 60 Kg ha⁻¹ de N; T7 - Sem inoculação + 120 Kg ha⁻¹ de N; Sem inoculação + 180 Kg ha⁻¹ de N; Sem inoculação + 240 Kg ha⁻¹ de N), Juazeiro-Ba, 2022.



Com relação a variável diâmetro do caule, verificou-se significância de forma isolada, em relação às doses (Figura 4A) e as épocas (Figura 4B). Não houve resultado significativo em relação à interação desses fatores.

Figura 4. Diâmetro do caule em feijão caupi inoculados com rizobactérias associado a diferentes doses de nitrogênio (A) e em diferentes épocas (B) no Submédio do Vale São Francisco, Juazeiro-Ba, 2022.



Na Figura 4A, a inoculação + 10 Kg·ha⁻¹, a adubação nitrogenada de 60 Kg·ha⁻¹, 120 Kg·ha⁻¹ e 240 Kg·ha⁻¹ apresentaram desempenhos superiores quanto ao diâmetro do caule.

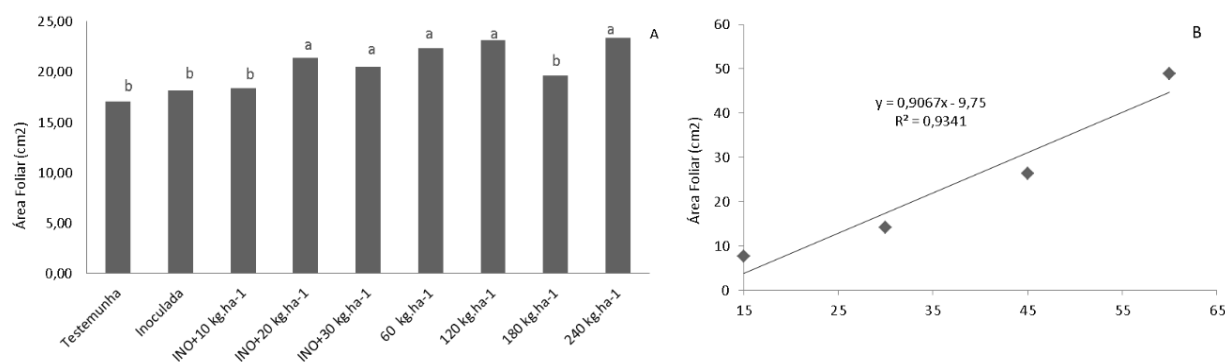
O diâmetro do feijão em uma menor dosagem (10 Kg·ha⁻¹) associada à inoculação foi significativamente similar às adubações nitrogenadas (em maiores ou menores concentrações) (Figura 4A).

Além disso, foi constatado um efeito linear no diâmetro do caule em feijão inoculado com bactérias (Figura 4B). Esses resultados demonstram que a inoculação da bactéria associada com 10 Kg·ha⁻¹ promoveu o aumento no diâmetro do caule ao longo dos 60 DAS. Sousa et al. (2018) também obtiveram maiores valores de diâmetro do caule em feijão variedade Manteiguinha quando inoculados com bactérias, fortalecendo o conceito de eficiência da inoculação.

O desenvolvimento inicial das plantas de feijão comum que dependem do nitrogênio simbiótico (N) pode ser limitado quando a fixação ativa do N₂ é retardada. Assim, o crescimento adequado da planta com inoculação de rizóbio pode requerer N mineral suplementar, que por sua vez pode inibir a simbiose (Zoffoli et al., 2021).

Assim como aconteceu com o diâmetro do caule, o índice de área foliar também apresentou significância em relação aos tratamentos doses (Figura 5A) e as épocas (Figura 5B), porém não houve resultado significativo em relação à interação desses fatores.

Figura 5. Índice de área foliar em feijão caupi inoculados com rizobactérias associado a diferentes doses de nitrogênio (A) e em diferentes épocas (B) no Submédio do Vale São Francisco, Juazeiro-Ba, 2022

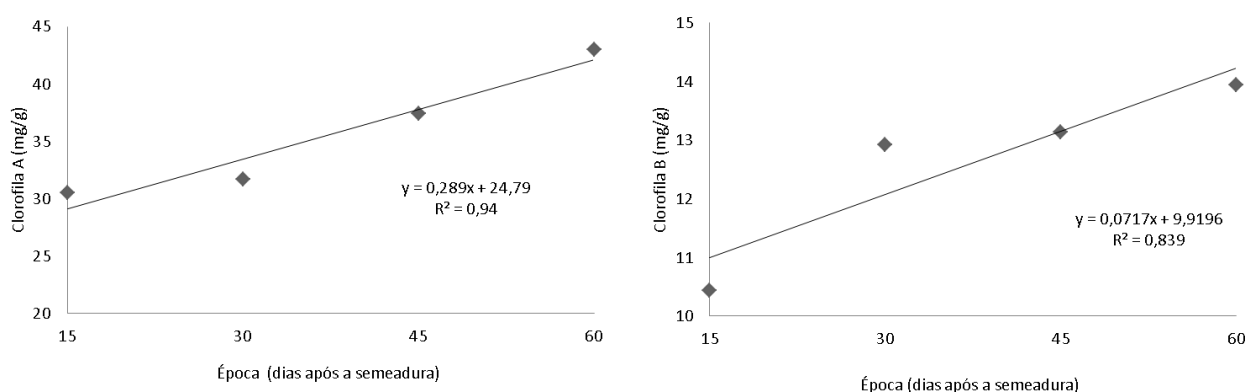


A inoculação das sementes associada às dosagens de 20 e 30 Kg·ha⁻¹ N, e os tratamentos com somente adubações nitrogenadas de 60, 120 e 240 Kg·ha⁻¹ N, proporcionaram os maiores índices de área foliar (Figura 5A).

Além disso, observou-se o aumento no índice de área foliar ao longo do desenvolvimento do feijão caupi inoculado com bactérias, apresentando média máxima de 48,90 cm² aos 60 dias após a semeadura (Figura 5B).

A Figura 6 apresenta os teores de clorofila A e B em feijão caupi inoculados com rizobactérias.

Figura 6. Teor de clorofila A e B em feijão caupi inoculados com rizobactérias, associado a diferentes doses de nitrogênio no Submédio do Vale São Francisco, Juazeiro-Ba, 2022.

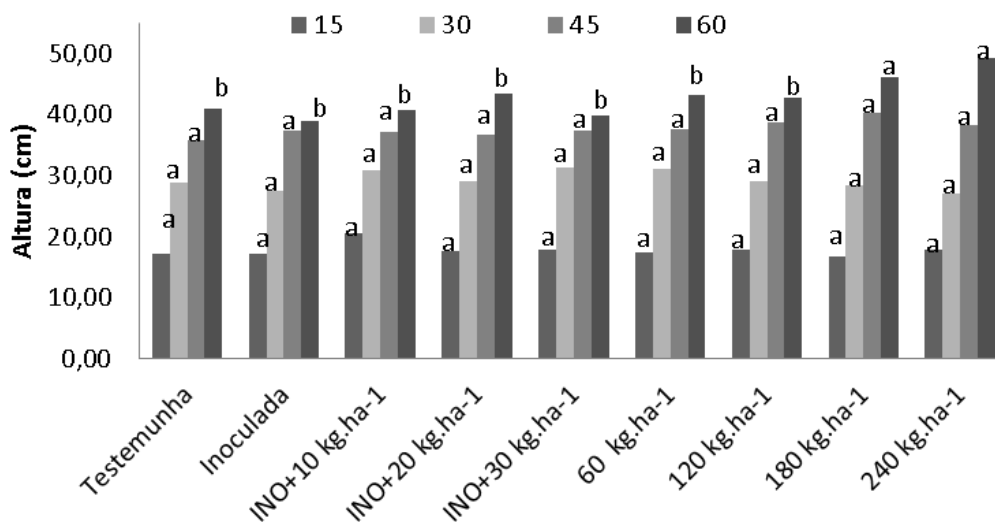


Os teores de clorofila diferiram em comportamento ao longo do período de avaliação. O teor de clorofila A se manteve constante aos 15 3 45 DAS com tendência de elevação aos 45 e 60 DAS, representada pela equação quadrática (Figura 6A), enquanto o teor de clorofila B foi representado por um aumento linear ao longo dos dias avaliados (Figura 6B).

Na presença de doses maiores de nitrogênio, são esperadas maiores quantidades de clorofila. Maiores valores de clorofila encontrados em diversas culturas demonstram correlação positiva com a quantidade de nitrogênio, podendo este ser apontado como um índice adequado para avaliar os teores de nitrogênio nas plantas (Pôrto *et al.*, 2014). Além disso, os pigmentos fotossintéticos são utilizados para estimar o potencial fotossintético das plantas, e consequentemente, a sua produtividade, visto que moléculas de clorofila são pigmentos responsáveis pela captura de luz usada na fotossíntese e, consequentemente, estão relacionadas com crescimento e adaptabilidade das plantas aos diferentes ambientes. É importante lembrar que para ocorrer a síntese de clorofila, o nitrogênio é necessário (Taiz *et al.*, 2017).

Ao avaliar a altura da planta, foi verificada a interação entre os fatores, porém, ao observarmos os resultados, verifica-se que os tratamentos aplicados e avaliados aos 15, 30 e 45 DAS não diferiram entre si (Figura7).

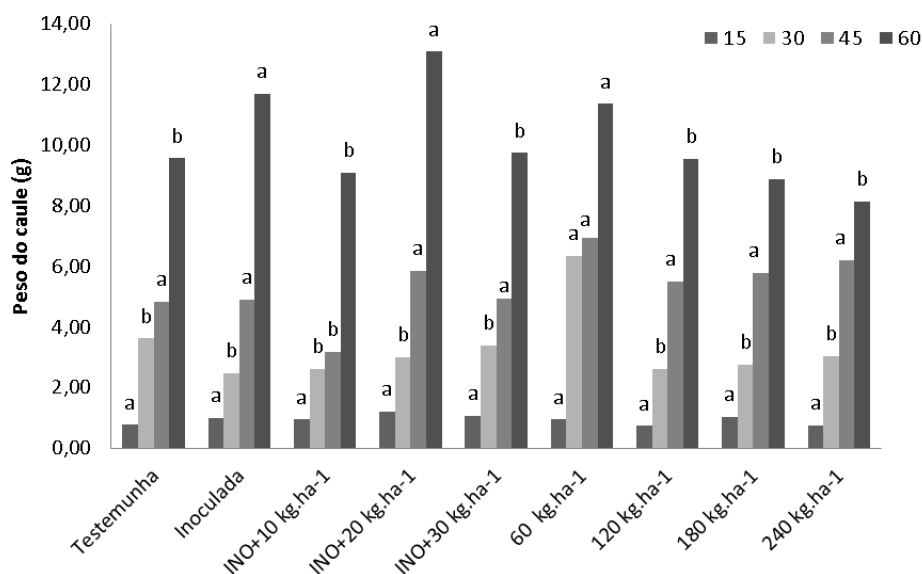
Figura 7. Altura das plantas do feijão caupi inoculados com rizobactérias associado a diferentes doses de nitrogênio, no Vale do Submédio São Francisco, Juazeiro-Ba, 2022



Porém, aos 60 DAS, os tratamentos com adubação nitrogenada de 180 Kg.ha⁻¹ N e 240 Kg.ha⁻¹ N foram superiores em relação aos demais tratamentos, demonstrando que a adubação nitrogenada contribuiu para o melhor desenvolvimento vegetativo do feijão caupi. Esse desempenho também foi observado no trabalho de Sousa et al. (2018) com feijão caupi cultivar Manteiguinha, onde os maiores valores de comprimento da parte aérea foram obtidos com a adubação nitrogenada, superando a inoculação.

Os resultados de peso seco do caule de feijão caupi inoculado com rizobactérias associado a diferentes doses de nitrogênio encontram-se na Figura 8.

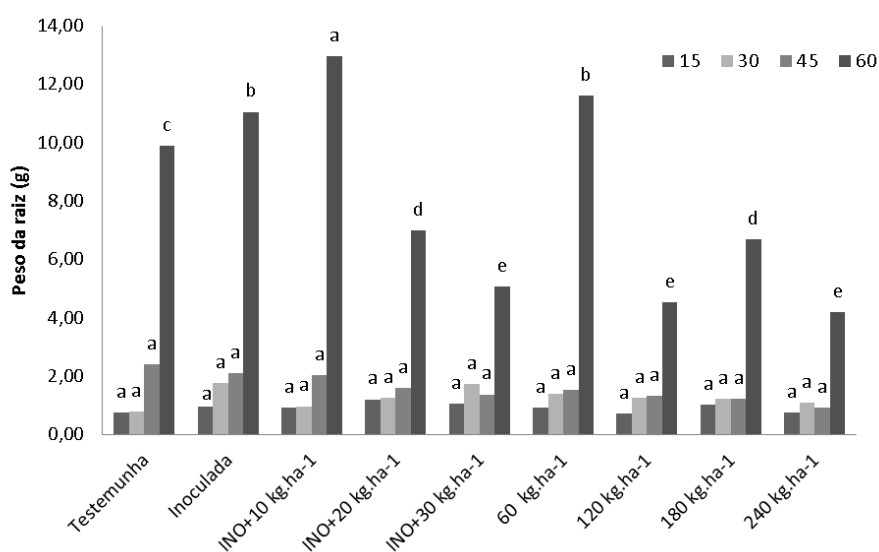
Figura 8. Peso seco do caule de feijão caupi inoculado com rizobactérias associado a diferentes doses de nitrogênio no Submédio do Vale São Francisco, Juazeiro-Ba, 2022



Aos 60 DAS, o tratamento com apenas inoculação das sementes, o tratamento inoculado + 20 Kg·ha⁻¹ e a adubação nitrogenada de 60 Kg·ha⁻¹ tiveram respostas semelhantes e superiores aos demais tratamentos aplicados. Conforme Leal et al. (2021), os efeitos no aumento do peso seco do caule podem ser advindos da captação dos nutrientes necessários pela planta para o seu crescimento. Desse modo, nas condições desse estudo, é possível afirmar que os tratamentos citados, em especial o tratamento inoculado + 20 Kg·ha⁻¹, proporcionaram um ambiente adequado para as plantas, garantindo com que a absorção dos nutrientes ocorresse em quantidades proporcionais às necessidades para o seu pleno desenvolvimento.

O mesmo comportamento observado para o peso seco do caule (Figura 8) foi também observado para o peso seco da raiz (Figura 9). Aos 15, 30 e 45 DAS não apresentaram diferenças significativas entre as variáveis avaliadas. No entanto, aos 60 DAS, foram observadas diferenças entre os tratamentos.

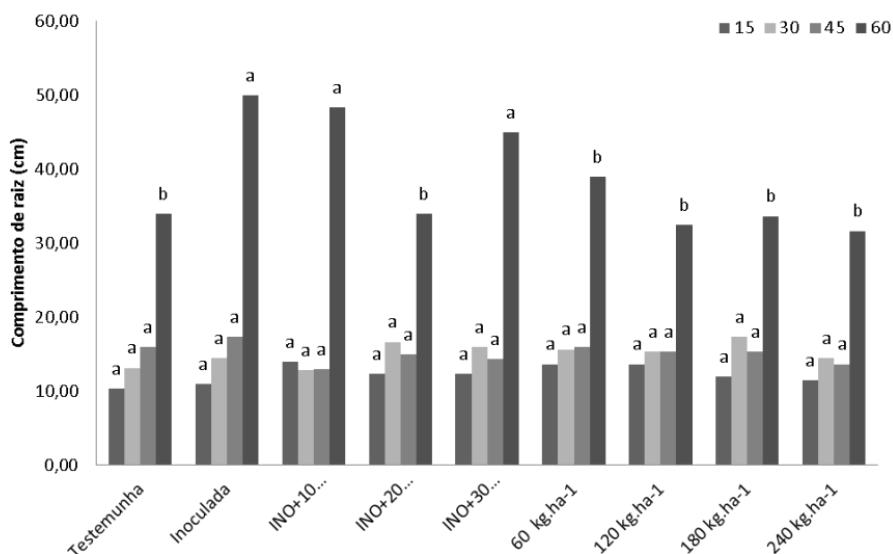
Figura 9. Peso seco da raiz de feijão caupi inoculado com rizobactérias associado a diferentes doses de nitrogênio, aos 15, 30, 45 e 60 DAS, no Submédio do Vale São Francisco, Juazeiro-Ba, 2022.



Aos 60 DAS, o tratamento com inoculação associado a 10 Kg·ha⁻¹ apresentou resultado superior em comparação aos demais tratamentos estudados, com peso médio de 12,96 g, o que equivale a um aumento de 17,17% e 11,61% em relação aos tratamentos com a adubação nitrogenada mínima de 60 Kg·ha⁻¹ e inoculação, respectivamente (Figura 9). Esses resultados reforçam a ideia de que a inoculação de bactérias com a adubação nitrogenada em concentrações reduzidas apresenta mais efeitos benéficos ao peso seco da raiz e do caule do que quando são conduzidos isoladamente. Nesse estudo, observou-se comportamento diferente em comparação as plantas não inoculadas. O aumento progressivo da dosagem de nitrogênio associado à inoculação reduziu o peso seco da raiz, contribuindo para que o tratamento testemunha (sem inoculação) fosse superior aos tratamentos com inoculação associado à adubação de 20 e 30 Kg·ha⁻¹ de N (Figura 9). Desse modo, fortalecendo o conceito de que a inoculação com uma adubação incorreta pode comprometer o peso seco da raiz, ao passo que a utilização de uma dosagem correta (considerada a de 10 Kg·ha⁻¹ N) pode potencializar a produção de peso seco.

Novamente, o mesmo comportamento relatado nas Figuras 8 e 9 respectivamente ao peso seco do caule e raiz, foi observado para o comprimento da raiz. Nas avaliações realizadas aos 15, 30 e 45 DAS, não houve diferença significativa entre as variáveis estudadas para o comprimento da raiz, porém aos 60 DAS houve interação significativa entre as doses e as épocas (Figura 10).

Figura 10. Comprimento da raiz de feijão caupi inoculado com rizobactérias associado a diferentes doses de nitrogênio no Submédio do Vale São Francisco, Juazeiro-Ba, 2022

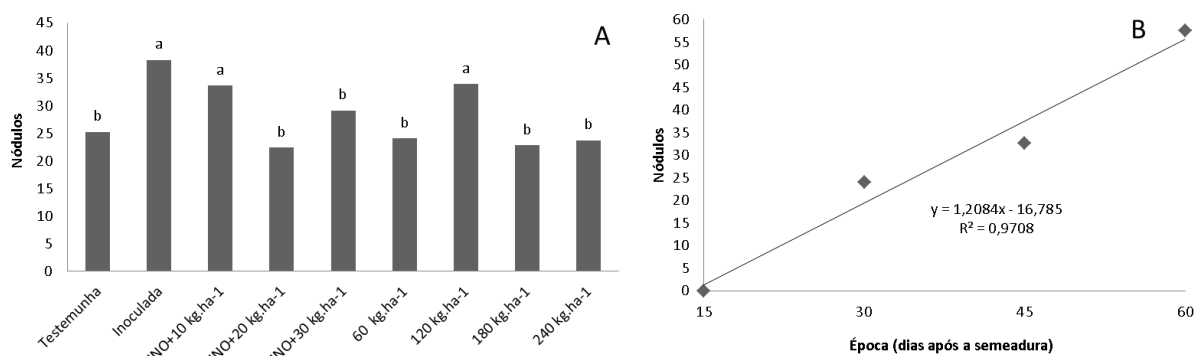


Aos 60 DAS, o tratamento somente inoculado, o tratamento os tratamentos com inoculação associado a 10 Kg·ha⁻¹ e com inoculação associado a 30 Kg·ha⁻¹ foram considerados superiores em relação aos demais tratamentos, ao apresentar comprimento médio da raiz de 50 cm, 48,33 cm e 45 cm, respectivamente.

Além disso, observou-se que os tratamentos onde se realizou a associação da adubação nitrogenada com a inoculação, exceto o tratamento com inoculação + 20 Kg·ha⁻¹, proporcionou maior comprimento de raiz quando comparado as diferentes dosagens de nitrogênio utilizadas individualmente (Figura 10). Esse resultado corrobora com o de Reis et al. (2018), avaliando inoculante alternativo em feijão cultivar Manteiguinha, em que os autores também perceberam que o tratamento inoculação com raízes + adubação nitrogenada em cobertura proporcionou maior comprimento radicular quando comparado ao tratamento apenas com adubação nitrogenada em cobertura. O uso da inoculação de raízes mais a adubação nitrogenada potencializou o crescimento radicular no feijão caupi, uma vez que a interação simbiótica de rizóbios proporciona o aumento na mobilização e disponibilidade de nutrientes e, portanto, um incremento significativo das raízes.

Com relação ao efeito da inoculação das bactérias nas sementes do feijoeiro e sua semeadura em solo com diferentes quantidades de nitrogênio, é possível observar na Figura 11, a resposta em relação ao número de nódulos apresentados.

Figura 11. Números de nódulos em planta feijão caupi inoculados com rizobactérias, associado a diferentes doses de nitrogênio, no Submédio São Francisco, Juazeiro-Ba, 2022



Houve maior número de nódulos no tratamento inoculado, seguido pelos tratamentos inoculados associados à dose de 10 Kg.ha⁻¹ de N (Figura 11 A). Em contrapartida, Zoffoli et al. (2021), mostraram que o número de nódulos foi muito maior nas plantas inoculadas do que nas que receberam inoculação e adubação nitrogenada.

Para o tratamento inoculado associado à dose de 10 Kg.ha⁻¹ de N, a formação de nódulos pode ter sido beneficiada pela inoculação associada à dose mínima de nitrogênio. O menor número de nódulos obtido em doses maiores de adubação nitrogenada deve-se a inibição no processo de formação de nódulos. O tratamento com 240 Kg.ha⁻¹ de N, correspondente ao tratamento com maior dose de nitrogênio, apresentou o menor número de nódulos.

O tratamento sem inoculação obteve valores superiores de nodulação quando comparada aos tratamentos com inoculação ou adubação nitrogenada. Sugere-se que o solo coletado já possuía uma quantidade suficiente de bactérias proveniente de cultivos anteriores. Por outro lado, Bandeira et al. (2018), demonstrou que a inoculação de feijão caupi mostrou-se mais eficiente para elevar as características da cultura do que sem inoculação. No entanto, para o feijão caupi, não existem informações conclusivas sobre o número mínimo de nódulos necessários para garantir bom desempenho da FBN.

Houve um aumento linear do número de nódulos (Figura 11 B) conforme o desenvolvimento do feijoeiro. Ao contrário de estudos obtidos por Zoffoli et al. (2021), em que o número de nódulos aumentou entre 14 e 28 DAT e permaneceu estável depois desse período.

4. Conclusão

A inoculação das bactérias associadas com baixas dosagens de nitrogênio, promoveu um ganho na nodulação da raiz, um maior comprimento e ganho de massa no sistema radicular, porém, não refletiu em ganho na altura da planta, no diâmetro do caule e no teor de clorofila.

A atividade da enzima redutase do nitrato foi superior no tecido foliar em comparação com o sistema radicular ao longo do ciclo da cultura, com maior expressão aos 60 DAS e com resposta similar quando na presença de baixas dosagens de nitrogênio associado a bactéria em comparação com os demais tratamentos.

A aplicação da dosagem de 120 Kg ha⁻¹ de N proporcionou o maior acúmulo de açúcares (glicose e sacarose) disponível para o metabolismo da planta.

Referências

- Bandeira, A. D. S.; Castro Filho, M. N. D.; Amaral, M. C. A.; Menezes, A. T.; Oliveira, C. C.; Morais, O. M. Avaliação da produtividade de feijão-caupi com e sem inoculação. **Cadernos de Agroecologia**, Pernambuco, v. 13, n. 1, 2018.
- Bertoldo, J.G.; Pelisser, A.; Silva, R.P.; Favreto, R.; Oliveira, L.A.D. Alternativas na fertilização de feijão visando a reduzir a aplicação de N-ureia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 3, p. 348-355, 2015.
- Borges, C. S., De Sá, E. S., Muniz, A. E. T., Osorio Filho, B. D. Potential use of rhizobium for vegetable crops growth promotion. **African Journal of Agricultural Research**, v. 14(8), p. 477-483, 2019.
- EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Dados de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) e de arroz (*Oryza sativa* L.), estratificados por safras e sistema de plantio, no Brasil, Regiões e Estados da Federação**. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em 15 jun. 2020.
- Fernandes Jr, P. I.; Silva Jr, E. B.; Silva Jr, S.; Santos, C. E. R. S.; Oliveira, P. J.; Rumjanek, N. G.; Martins, L. M. V.; Xavier, G. R. Performance of polymer compositions as carrier to cowpea

rhizobial inoculant formulations: survival of rhizobia in preinoculated seeds and field efficiency.

African Journal of Biotechnology, v. 11, p. 2945-2951, 2012.

Fernandes, M. C. N.; Botelho, F. B. S.; de Souza, K. R. D.; Pereira, G. C.; da Silva, C. S. C.; Castro, D. G. Atividade da enzima nitrato redutase em arroz de terras altas sob condições de estresse hídricos. **Nativa**, v. 8, n. 4, p. 484-489, 2020.

Galindo, F. S.; Teixeira Filho, M.; Silva, E. C. D.; Buzetti, S., Fernandes, G. C.; Rodrigues, W. L. Viabilidade técnica e econômica da coinoculação com *Azospirillum brasilense* e *Bradyrhizobium* e doses de nitrogênio no feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n. 5, p. 304-311, 2020.

Jacobsen, C.S. & Hjelmsø, M. H. (2014). Agricultural soils, pesticides and microbial diversity, **Cur. Op. Biot.** 27, 1520.

Leal, V. de C.; de Oliveira, N. F.; Ramos, R. A.; da Silva Souza, I. J.; Carvalho, M., Júnior, P. I. F.; ... & Martins, L. M. V. A influência da salinidade na simbiose de microrganismos benéficos: o caso do feijão caupi. **Agroecologia: métodos e técnicas para uma agricultura sustentável**, v. 3, p. 182-192, 2021.

Leal, M. L. A.; Chaves, J. S.; Silva, J. A.; Silva, L. S.; Soares, R. B.; Nascimento, J. P. S.; Matos, S. M.; Junior, D. L. T.; Netp. A. F. B. Efeito dos sistemas de manejo e do uso do solo na população de microrganismos do solo. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, e21910917966, 2021.

Lee, S.; Trinh, C. S.; Lee, W. J.; Jeong, C. Y.; Truong, H. A.; Chung, N.; ... Lee, H. *Bacillus subtilis* strain L1 promotes nitrate reductase activity in Arabidopsis and elicits enhanced growth performance in Arabidopsis, lettuce, and wheat. **Journal of plant research**, v. 133, n. 2, p. 231-244, 2020.

Marinho, R. de C. N.; Ferreira, L. de V. M.; Silva, A. F. da; Martins, L. M. V.; Nóbrega, R. S. A.; Fernandes Júnior, P. I. Symbiotic and agronomic efficiency of new cowpea rhizobia from Brazilian Semi-Arid. **Bragantia**, Campinas, v. 76, n. 2, p. 273-281, 2017.

Marinho, R. C. N.; Nóbrega, R. S. A.; Zilli, J. E.; Xavier, G. R.; Santos, C. A. F.; Aidar, S. T.; Martins, L. M. V.; Fernandes, P. I. Field performance of new cowpea cultivars inoculated with efficient nitrogen-fixing rhizobial strains in the Brazilian Semiarid. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 395- 402, 2014.

Oliveira, A. P. S.; Sousa, C. M.; Ferreira, E. P. de B. Desempenho do feijoeiro-comum inoculado com rizóbio em resposta a diferentes plantas de cobertura e épocas de dessecação. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 3, 2017.

Oliveira, F. C.; Benett, C. G. S.; Benett, K. S. S.; da Silva, L. M.; do Carmo Vieira, B. Diferentes doses e épocas de aplicação de zinco na cultura da soja. **Journal Of Neotropical Agriculture**, v. 4, n. 5, p. 28-35, 2017.

Poole, P.; Ramachandran, V.; Terpolilli, J. Rhizobia: from saprophytes to endosymbionts. **Nature Reviews Microbiology**, v. 16, n. 5, p. 291, 2018.

Pôrto, M. L. A.; Puiatti, M.; Fontes, P. C. R.; Cecon, P. R.; Alves, J. C. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio na cultura do pepino japonês em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v.32, p.292-296, 2014.

Ramires, R. V.; Silva Brasil, M. da; Lima, S. F. de; Simon, C. A.; Alvarez, R. D. C. F.; Contardi, L. M. Inoculação com rizóbio associado ao manejo de nitrogênio em feijão comum. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 14, n. 1, p. 49-57, 2018.

Reis, V. R. R.; Souza, L. R. S.; Vieira, G. L. S.; Coelho, K. B. S.; dos Santos Carmo Filho, A.; Silva, M. R. M. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 4, p. 466-471, 2018.

Robertson, G. P., Vitousek, P. M. Nitrogen in agriculture: balancing the cost of an essential resource. **Annual review of environment and resources**, v. 34, p. 97-125, 2009.

Rocha, H. G. da S.; Castro, H. de S.; Freitas, J. R. B. RESPOSTA DE FEIJÃO-CAUPI À INOCULAÇÃO COM ESTIRPE DE RIZÓBIO. **Revista Mundi Meio Ambiente e Agrárias**, Paranaguá, v. 4, n. 2, 2019.

Santos, S. G.; da Silva Ribeiro, F., da Fonseca, C. S., Pereira, W., Santos, L. A., & REIS, V. M. Development and nitrate reductase activity of sugarcane inoculated with five diazotrophic strains. **Archives of Microbiology**, v. 199, n. 6, p. 863-873, 2017.

Sousa, W. N.; Brito, N. F.; Santos, F. C.; Barros, I. B.; de Sousa, J. T. R.; de Freitas Sia, E.; Reis, I. M. S. Resposta do feijão-caupi à inoculação de *bradyrhizobium Japonicum*, adubação nitrogenada e nitrogênio do solo. **Revista Agroecossistemas**, v. 10, n. 2, p. 298-308, 2018.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I.; Murphy, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

Uchôa, M. R.; Bastos, R. L. G.; Albiero, D.; Fernandes, F. R. B. Influência da rotação de trabalho de uma trilhadora estacionária na qualidade do feijão Caupi. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 4, p.19678- 19688, 2020.

Xavier, F. A. M. de S.; Moraes, J. G. L.; Silva, M. L. S.; Matos Neto, R. B. DE; Firmino, D. DE O.; Marques, G. V.; Bleicher, E. Comportamento de genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp., Fabaceae) sob infestação de *Empoasca* sp. (Hemiptera: Cicadellidae) e *Liri-omyza* sp. (Diptera: Agromyzidae) em Redenção, Ceará, Brasil. **Paubrasilia**, Porto Seguro, v. 3, n. 1, 2020.

Zoffoli, B. C.; Brito, L. F.; Stralioatto, R.; Araújo, A. P. D. Early nitrogen supplementation stimulates the nodulation and growth of common bean plants inoculated with rhizobium. **Acta Scientiarum**. Agronomy, v. 43, 2021.

Author contribution:

Alessandro Carlos Mesquita: Conceituação, Metodologia, Administração do projeto, Escrita – Revisão e Edição

Lindete Miria Vieira Martins: Conceituação, Metodologia, Escrita – Revisão e Edição

Kecio Emanuel Dos Santos Silva: Curadoria de Dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Escrita – Primeira Redação

Polyanna Barbosa da Conceição: Curadoria de Dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Escrita – Primeira Redação

Raquel Nunes de Carvalho: Curadoria de Dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Escrita – Primeira Redação

Acknowledgment:

Universidade do Estado da Bahia - UNEB

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

Associate Editor

Arinaldo Pereira da Silva

ORIGINAL ARTICLE

