



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS URUÇÍ
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA

LUCAS CARVALHO DA SILVA

EFICIÊNCIA DA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO NO FEIJÃO-CAUPI
A BASE DE EXTRATO DE NÓDULOS

URUÇUÍ
2024

LUCAS CARVALHO DA SILVA

**EFICIÊNCIA DA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO NO FEIJÃO-CAUPI
A BASE DE EXTRATO DE NÓDULOS**

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo científico)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Bacharelado em Engenharia
Agrônoma do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Piauí, *Campus Uruçuí*.

Orientador: Prof. Dr. Franklin Eduardo Melo
Santiago.

URUÇUÍ

2024

EFICIÊNCIA DA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO NO FEIJÃO-CAUPI A BASE DE EXTRATO DE NÓDULOS

Lucas Carvalho da Silva¹
Franklin Eduardo Melo Santiago²

RESUMO

A fixação biológica de nitrogênio é essencial para o cultivo do feijão-caupi, reduzindo a necessidade de fertilizantes nitrogenados e promovendo práticas agrícolas sustentáveis. O uso de extratos de nódulos com bactérias nativas do solo, adaptados às condições locais, surge como uma alternativa eficaz aos inoculantes comerciais, estimulando a fixação biológica de nitrogênio. O objetivo do presente estudo foi avaliar o uso de extrato de nódulos como inoculante alternativo para fixação biológica de nitrogênio em cultivares de feijão-caupi. O experimento foi conduzido em vaso na casa de vegetação do Departamento Fazenda Escola do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – Campus Uruçuí, em delineamento inteiramente casualizado, arranjos em esquema fatorial 4 x 3, com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos de quatro fontes de N (controle sem N, inoculante de extrato de nódulos, inoculante comercial, adubação nitrogenada) e três cultivares de feijão-caupi (BRS Tumucumaque, BRS Xiquexique e Pratinha). No início da floração, foram avaliados: número de nódulos por planta, número de nódulos viáveis por plantas, massa seca de nódulos, altura de planta e massa seca da parte aérea. Os resultados mostraram que o extrato de nódulos proporcionou aumentos significativos na nodulação e biomassa, sendo equivalente ou superior às outras fontes de nitrogênio, especialmente para as cultivares BRS Xique-xique e BRS Tumucumaque. A cultivar Pratinha apresentou maior eficiência na massa seca de nódulos. O extrato de nódulos destacou-se como uma alternativa eficiente, promovendo maior nodulação e favorecendo a FBN no feijão-caupi, especialmente nas cultivares Tumucumaque e Xique-xique.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*; Agricultura familiar; Nitrogênio; Inoculante alternativo; Crescimento.

ABSTRACT

Biological nitrogen fixation is essential for the cultivation of cowpea, reducing the need for nitrogen fertilizers and promoting sustainable agricultural practices. The use of nodule extracts with native soil bacteria, adapted to local conditions, emerges as an effective alternative to commercial inoculants, stimulating biological nitrogen fixation. The objective of this study was to evaluate the use of nodule extract as an alternative inoculant for biological nitrogen fixation in cowpea cultivars. The experiment was conducted in pots in the greenhouse of the Department of Farm School at the Federal Institute of Education, Science, and Technology of Piauí – Uruçuí Campus, in a completely randomized design arranged in a 4 x 3 factorial scheme with four replications. The treatments consisted of four nitrogen sources (control without N, nodule

¹ Graduando em Bacharelado em Engenharia Agrônoma pelo Instituto Federal Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI Campus Uruçuí. E-mail: lucasarcanjo421@gmail.com

² Docente, Dr. Orientando do Curso Bacharelado em Engenharia Agrônoma pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI, Campus Uruçuí. Email: franklin.santiago@ifpi.edu.br

extract inoculant, commercial inoculant, nitrogen fertilization) and three cowpea cultivars (BRS Tumucumaque, BRS Xiquexique, and Pratinha). At the beginning of flowering, the following were evaluated: number of nodules per plant, number of viable nodules per plant, dry mass of nodules, plant height, and dry mass of the aerial part. The results showed that the nodule extract led to significant increases in nodulation and biomass, being equivalent or superior to the other nitrogen sources, especially for the cultivars BRS Xique-xique and BRS Tumucumaque. The Pratinha cultivar showed greater efficiency in the dry mass of nodules. The nodule extract stood out as an efficient alternative, promoting greater nodulation and favoring biological nitrogen fixation in cowpea, especially in the Tumucumaque and Xique-xique cultivars.

Keywords: *Vigna unguiculata*; Family farming; Nitrogen; Alternative inoculant; Growth.

Data de aprovação: 06/12/2024 (data de apresentação do TCC)

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) é um alimento essencial na dieta diária da população de baixa renda do Nordeste do Brasil. Sua relevância se deve ao elevado teor de proteínas e à excelente adaptação às condições de solo e clima da região. Além de ser um importante componente nutricional, sua produção desempenha um papel crucial na geração de renda para a agricultura familiar. Nos estados do Maranhão, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí, o cultivo de feijão-caupi representa entre 98% e 100% da área total destinada ao plantio de feijão (CONAB, 2018; SILVA et al., 2018).

No Brasil, o cultivo do feijão-caupi apresentou avanços significativos em relação à área plantada e à produção nas últimas safras. Na safra 2022/2023, a área total cultivada foi de aproximadamente 1.271,3 mil hectares, com uma produção total de 622,2 mil toneladas e produtividade média nacional de 489 kg/ha (CONAB, 2023). A região Nordeste manteve sua relevância, sendo responsável por 411,8 mil toneladas da produção, enquanto a região Norte contribuiu com 96,8 mil toneladas (CONAB, 2023). Especificamente no estado do Piauí, a área plantada na safra 2022/2023 foi de 193,3 mil hectares, com uma produção de 76,4 mil kg e produtividade de 395,24 kg ha⁻¹ (CONAB, 2023).

O nitrogênio (N) é fundamental para o crescimento vegetal, sendo absorvido como nitrato (NO₃⁻) e amônio (NH₄⁺) (RIBEIRO et al., 2013). Nas leguminosas, o N atmosférico é assimilado por meio da fixação biológica de nitrogênio (FBN), mediada por rizóbios que formam nódulos nas raízes e promovem a troca de nutrientes. Esses nódulos fornecem energia para a nitrogenase, enzima que converte o N em uma forma utilizável pela planta (REIS et al., 2018). A FBN é altamente eficiente no cultivo do feijão-caupi, que, ao ser nodulado, não

necessita de fontes externas de nitrogênio, podendo atingir alta produtividade (RUMJANEK et al., 2000). Adjei-Nsiah et al. (2008) indicam que 50% do nitrogênio necessário para o desenvolvimento do feijão-caupi vem da FBN. A inoculação com estirpes eficientes de rizóbio aumenta a simbiose e a produtividade dos grãos. Dada a alta dependência de fertilizantes nitrogenados e as perdas de nitrogênio no solo, é necessário buscar técnicas que maximizem a eficiência do uso de nitrogênio (MARTINS et al., 2003; HUNGRIA et al., 2006; BONILLA e BOLAÑOS, 2009).

A inoculação é uma alternativa promissora, podendo substituir parcialmente os fertilizantes nitrogenados e contribuir para uma agricultura mais sustentável (FRANCO et al., 2002). Bliss (1993) destaca que, embora a fixação de 50 kg de N por hectare seja baixa, ela representa uma economia significativa, já que, sem a simbiose, seriam necessários 100 kg de fertilizantes. Estudos mostram que a inoculação com estirpes específicas de *Bradyrhizobium*, como BR 3267 e BR 3262, pode substituir totalmente ou parcialmente a adubação nitrogenada, promovendo aumentos de até 30% na produtividade (EMBRAPA, 2006; ZILLI et al., 2008). No entanto, a baixa especificidade do feijão-caupi para certas estirpes e a limitada oferta de inoculantes ainda restringem o uso pleno dessa tecnologia (ZILLI et al., 2008; FILGUEIRAS et al., 2009). Rumjanek et al. (2017) ressaltam as dificuldades relacionadas à produção e distribuição de inoculantes bacterianos, que precisam manter parâmetros de qualidade, como viabilidade celular e pureza. Além disso, muitos agricultores desconhecem os benefícios dessa tecnologia.

A inoculação com extratos de nódulos, utilizando bactérias nativas adaptadas às condições locais, tem sido investigada como uma alternativa viável aos inoculantes comerciais. Estudos da Embrapa Agrobiologia demonstram a eficiência do uso desses extratos, com aumentos de até 64% no número de nódulos e resultados semelhantes aos obtidos com inoculantes comerciais (EMBRAPA, 2023; RUMJANEK et al., 2017). O preparo do extrato envolve homogeneizar nódulos com água sem cloro, resultando em um líquido rico em microrganismos benéficos. Além disso, esses extratos podem ser produzidos localmente, reduzindo os custos e promovendo práticas agrícolas sustentáveis, especialmente em regiões com recursos limitados (EMBRAPA, 2016; ALCÂNTARA et al., 2016).

Nesse contexto, o objetivo do presente estudo é avaliar a eficiência do uso de extrato de nódulos como inoculante alternativo para fixação biológica de nitrogênio em cultivares de feijão-caupi.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização da área experimental

A pesquisa foi conduzida em vaso na casa de vegetação do Departamento Fazenda Escola do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, localizada no município de Uruçuí, mesorregião do Cerrado do Sudoeste do Estado do Piauí (7°16'42.6"S 44°30'22.7"W e altitude de 359 m).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, caracterizado como tropical, com chuvas no verão e seca no inverno. A temperatura média anual é de 26,8 °C, e a precipitação média anual é de 999 mm (CLIMATEDATA, 2024). O solo foi identificado como Latossolo Amarelo Distrófico (ARAÚJO et al., 2010), de textura argilosa.

2.2. Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, arranjado em esquema fatorial 4 x 3, com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos de quatro fontes de N (controle sem N, inoculante de extrato de nódulos, inoculante comercial, adubação nitrogenada - 100 kg ha⁻¹) e três cultivares de feijão-caupi (Pratinha, BRS Tumucumaque e BRS Xiquexique).

2.3. Obtenção do extrato de nódulos

O extrato de nódulos foi preparado conforme o Comunicado Técnico da Embrapa (ALCANTARA et al., 2019). Inicialmente foi formado um banco de nódulos de cada cultivar de feijão-caupi, onde foram semeadas 36 sementes em 9 vasos de 8 kg para cada cultivar, e os nódulos foram coletados entre 30 e 35 dias após a semeadura, no pico de nodulação. Após a coleta, os nódulos foram lavados, triturados em água e filtrados. O extrato resultante de cada cultivar de feijão-caupi foi usado para inocular as sementes, que ficaram imersas por 10 minutos e secas por 1 hora. A quantidade de extrato é calculada para que 500 ml inoculam 800 g de sementes, que devem ser imersas no extrato por 10 minutos e secas à sombra por 1 hora.

2.4. Cultivo e condução da cultura

O solo utilizado no experimento foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico, textura média, coletado em área de mata nativa, na profundidade de 40 a 60 cm. O solo foi seco, destorroado, peneirado e acondicionado em vasos de 5 dm⁻³. A calagem foi realizada para elevar a saturação por base a 80%, com aplicação de 5,2 g calcário dolomítico FILLER por vaso com

PRNT de 99%, com 30 dias de antecedência da semeadura.

A semeadura foi realizada utilizando três sementes por vaso, com posterior desbaste aos dez dias após a emergência, mantendo-se duas plantas por vaso. As sementes foram inoculadas com o BiomaBrady – Líquido, formulado com as estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080 de *Bradyrhizobium japonicum*, que apresenta densidade de 1,03 g ml⁻¹ e garantia de 7,2 x 10⁹ células viáveis ml⁻¹. A inoculação foi realizada de acordo com a recomendação do fabricante, com a dose de 50 ml ha⁻¹, o equivalente a utilização de 1ml/ 1kg de sementes.

Concomitantemente a semeadura, foram realizadas as aplicações de 220 mg kg⁻¹ de superfosfato simples (P₂O₅) e 300 mg kg⁻¹ de cloreto de potássio (K₂O) em todas as parcelas, e 448 mg kg⁻¹ de ureia (N), nos tratamentos com adubação nitrogenada. Realizou-se a irrigação diariamente mantendo a umidade a 60% do volume total de poros, além do monitoramento de pragas e doenças.

2.5. Avaliações

As plantas foram avaliadas 35 dias após a semeadura (DAS), garantindo a integridade durante a remoção do substrato e a limpeza das raízes. As variáveis avaliadas foram: número de nódulos por planta, número de nódulos viáveis por plantas, massa seca de nódulos, altura de planta e massa seca da parte aérea: determinada após secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 ± 5°C por 72 horas, e o número de nódulos: determinado pela contagem de nódulos com diâmetro igual ou superior a 2 mm.

2.6. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (p<0,05) e os valores médios foram comparados pelo teste de Scott-Knott, utilizando o software estatístico R 3.2.3 (R Core Team, 2018).

3 RESULTADOS

3.1. Efeito do extrato de nódulos na nodulação

Todas as cultivares de feijão-caupi responderam positivamente a aplicação do extrato de nódulos quanto a nodulação (Figura 1A). A cultivar Pratinha quando inoculada com N-Ext aumentou o número de nódulos em 93% e 396% em relação aos tratamentos N-Com e N-Fert, respectivamente (Figura 1A). Na cultivar Tumucumaque a inoculação promoveu aumento do número nódulos quando inoculada com N-Ext, e foi superior em 140% e 596% aos tratamentos N-Com e N-Fert, respectivamente (Figura 1A). Já na cultivar Xique-xique os maiores número

de nódulos foram obtidos nos tratamentos N-Ext e N-Com, que foram em 5% e 411% superiores aos tratamentos Controle e N-Fert, respectivamente (Figura 1A).

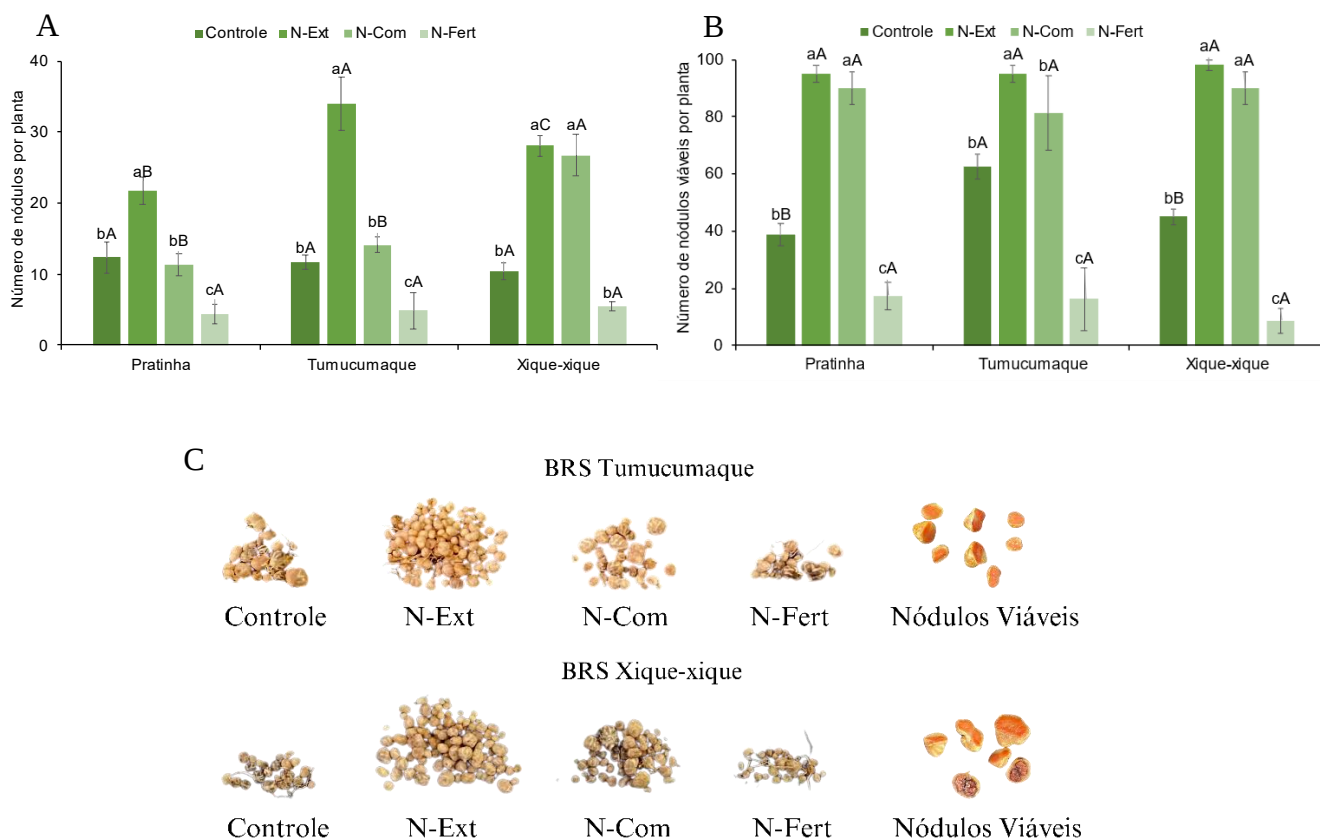


Figura 1 – Número de nódulos (A) e número de nódulos viáveis (B) de cultivares de feijão-caupi em função de diferentes fontes de nitrogênio. Comparativo visual do número de nódulos e nódulos viáveis das cultivares sob diferentes fontes de N (C). Tratamentos: Controle (sem aplicação de N). N-Ext (inoculante a base de extrato de nódulos). N-Com (inoculante comercial). N-Fert (fertilizante mineral). Diferentes letras minúsculas acima da coluna indicam diferença significativa entre as fontes de N, letras maiúsculas indicam diferença significativa entre cultivares. ($p < 0,05$).

Para o número de nódulos viáveis as cultivares de feijão-caupi apresentaram resultados variados em relação as diferentes fontes de N (Figura 1B). Na cultivar Tumucumaque a inoculação com o extrato de nódulos (N-Ext) promoveu aumento do número nódulos, e foi superior em 16% e 484% aos tratamentos N-Com e N-Fert, respectivamente (Figura 1B). Por outro lado, na cultivar Pratinha o N-Ext promoveu nodulação semelhante ao N-Com, e foram maiores em 442% e 145% aos tratamentos N-Fert e Controle, respectivamente (Figura 1B). Da mesma maneira, na cultivar Xique-xique o maior número de nódulos foi obtido nos tratamentos N-Ext e N-Com, e foram superiores em 1021% e 118% em relação aos tratamentos N-Fert e Controle (Figura 1B).

Para a massa seca de nódulos, a cultivar Pratinha quando inoculada com N-Ext aumentou o número de nódulos em 46% e 117% relação aos tratamentos N-Com e Controle, respectivamente (Figura 2). Da mesma forma, na cultivar Tumucumaque a inoculação com extrato de nódulos (N-Ext) promoveu aumento do número nódulos superior em 200% e 180% aos tratamentos N-Com e Controle, respectivamente (Figura 2). Já na cultivar Xique-xique o maior número de nódulos foi obtido nos tratamentos N-Ext e N-Com, que foram superiores em 88% em relação aos tratamentos Controle (Figura 2). Para todas as cultivares de feijão-caupi o tratamento N-Fert inibiu a nodulação.

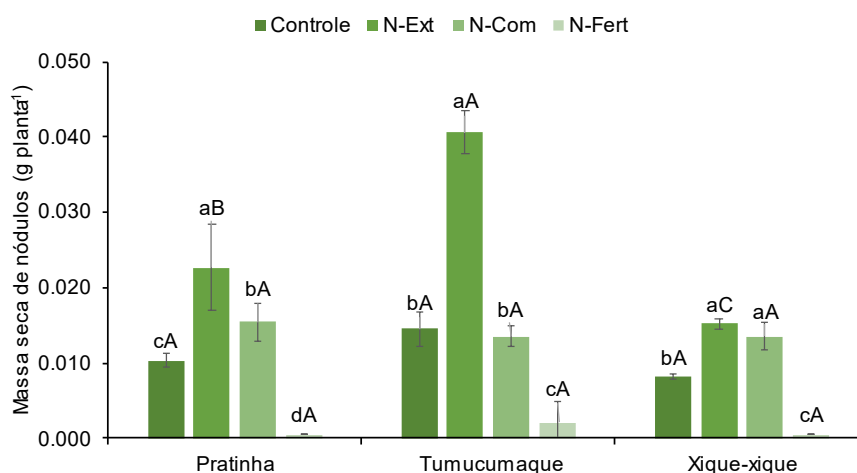


Figura 2 - Massa seca de nódulos de cultivares de feijão-caupi em função de diferentes fontes de nitrogênio. Tratamentos: Controle (sem aplicação de N. N-Ext (inoculante a base de extrato de nódulos). N-Com (inoculante comercial). N-Fert (fertilizante mineral). Diferentes letras minúsculas acima da coluna indicam diferença significativa entre as fontes de N, letras maiúsculas indicam diferença significativa entre cultivares. ($p < 0,05$).

3.2. Efeito do extrato de nódulos no crescimento e desenvolvimento inicial

As cultivares de feijão-caupi apresentaram respostas distintas para a altura de planta em função das diferentes fontes de N (Figura 3A). A cultivar Xique-xique quando inoculada com o extrato de nódulos, obteve altura superior em 13% e 10% aos tratamentos N-Com, N-Fert, respectivamente (Figura 3A). Na cultivar Tumucumaque a altura de plantas do tratamento N-Ext foi maior em 6% e 11% aos tratamentos N-Com e N-Fert, respectivamente, porém foi semelhante ao tratamento Controle (Figura 3A). Já na cultivar Pratinha a aplicação do extrato de nódulos obteve maior altura de plantas em 5% e 12% em relação aos tratamentos N-Com e Controle, porém foi semelhante ao tratamento N-Fert (Figura 3A).

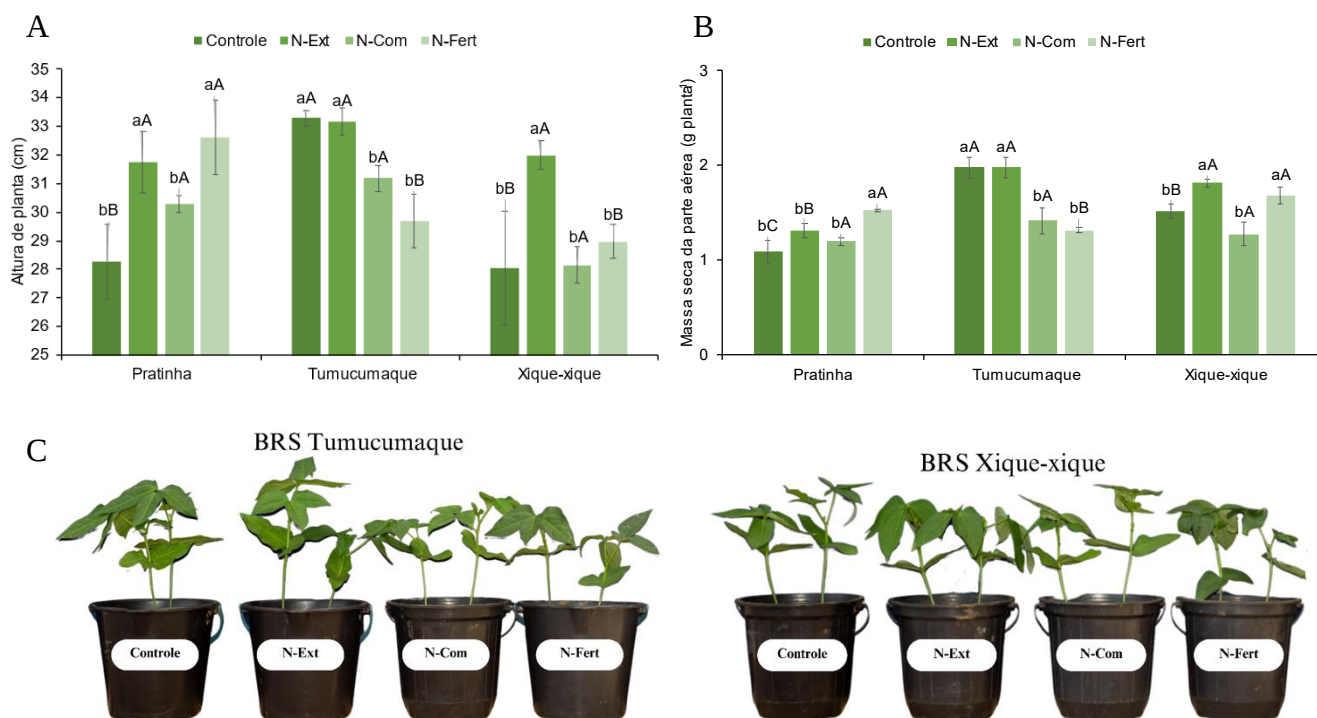


Figura 3. Altura de plantas de cultivares (a) e Massa seca da parte aérea (b) de feijão-caupi em função de diferentes fontes de nitrogênio. Comparativo visual do crescimento inicial das cultivares Tumucumaque e Xique-xique sob diferentes fontes de N (C). Tratamentos: Controle (sem aplicação de N). N-Ext (inoculante a base de extrato de nódulos). N-Com (inoculante comercial). N-Fert (fertilizante mineral). Diferentes letras minúsculas acima da coluna indicam diferença significativa entre as fontes de N, letras maiúsculas indicam diferença significativa entre cultivares ($p < 0,05$).

Para a produção de massa seca da parte aérea, a cultivar Xique-xique quando inoculada com o extrato de nódulos, obteve valores de biomassa superior em 42% e 20% em relação aos tratamentos N-Com e Controle, respectivamente, e semelhante ao tratamento N-Fert (Figura 3B). Na cultivar Tumucumaque a inoculação com N-Ext foi superior aos tratamentos N-Com e N-Fert em 39% e 50%, respectivamente, porém foi semelhante ao tratamento Controle (Figura 3B). Já a cultivar Pratinha obteve maior produção de biomassa no tratamento N-Fert, não havendo diferença entre os tratamentos N-Ext, N-Com e Controle (Figura 3B). Os resultados evidenciam uma considerada variação genotípica da cultura para a produção de biomassa em função das fontes de N.

4. DISCUSSÃO

Um dos maiores desafios para os pequenos produtores rurais consolidarem o uso da FBN na cultura do feijão-caupi é a disponibilidade e o acesso a inoculantes específicos. Nesse

sentido, avaliamos a produção e eficiência de um inoculante alternativo a base de extrato de nódulos na nodulação e crescimento inicial de diferentes cultivares de feijão-caupi (Figura 1, 2, 3).

Os resultados relacionados à nodulação também reforçam o papel positivo do extrato de nódulos. Observou-se que, em todas as cultivares, o N-Ext promoveu um maior número de nódulos viáveis em comparação aos tratamentos N-Com e N-Fert. A cultivar Pratinha, por exemplo, registrou um aumento de 442% e 145% no número de nódulos viáveis em relação a N-Com e N-Fert, respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos para as cultivares Tumucumaque e Xique-xique, que também mostraram maior nodulação com o uso do N-Ext. De acordo com o estudo de Yagi et al. (2015), a inoculação de sementes com *Rhizobium freirei* demonstrou ser mais eficiente do que a adubação nitrogenada para algumas cultivares de feijão em relação à nodulação e à produtividade. Cultivares como Rio Tibagi, BRS Esplendor, BRS Pontal e IPR Uirapuru apresentaram maior eficiência relativa quando inoculadas, comparadas à adubação nitrogenada. Além disso, a adubação nitrogenada foi prejudicial para a nodulação de cultivares como BRS Esplendor e Carioca, especialmente em condições de baixa disponibilidade hídrica. Esses resultados sugerem que o uso da fixação biológica de nitrogênio por meio da inoculação pode ser uma alternativa viável e sustentável, reduzindo a dependência de fertilizantes químicos e favorecendo a eficiência simbiótica.

Outro estudo realizado por Silva et al. (2012), mostrou que o uso de extrato de nódulos através da inoculação com a estirpe *Bradyrhizobium sp.* BR 3267 se mostrou mais eficiente na nodulação e na fixação biológica de nitrogênio (FBN) em feijão-caupi do que o uso de fertilizantes nitrogenados. O estudo demonstrou que a aplicação de uma taxa de $6,65 \times 10^7$ células/grama de semente resultou em aumento significativo na nodulação e no acúmulo de nitrogênio, superando os resultados obtidos com o uso de fertilizantes nitrogenados. Essa prática não apenas promoveu maior eficiência na absorção de nitrogênio pelas plantas, mas também destacou seu potencial para reduzir a dependência de fontes químicas de nitrogênio, favorecendo a sustentabilidade agrícola.

Matoso (2014), destaca que a eficiência da simbiose no processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) está mais associada ao tamanho e à massa dos nódulos do que ao número total de nódulos. Nódulos maiores (> 2 mm) foram apontados como mais eficientes, contribuindo significativamente para o acúmulo de nitrogênio na parte aérea e para o crescimento da planta. Por outro lado, nódulos pequenos e muito pequenos podem agir como "drenos" de recursos da planta, sem um retorno proporcional em termos de fixação de

nitrogênio. Dessa forma, práticas que promovam a formação de nódulos grandes e eficientes podem superar o desempenho de fertilizantes nitrogenados no crescimento do feijoeiro.

Esses achados estão em consonância com o estudo de Souza (2022), que evidencia a superioridade do N-Ext na promoção da nodulação, em especial nas cultivares Xique-xique e Pratinha. O autor ressalta que o inoculante à base de nódulos foi mais eficaz do que o inoculante comercial, sugerindo que as estirpes nativas possuem alta competitividade e estão bem adaptadas às condições locais. Souza também destacou que o controle, sem aplicação de N, apresentou nodulação considerável, reforçando a presença de população rizobiana nativa eficiente no solo da região de Uruçuí.

No que se refere à massa seca de nódulos, os resultados atuais demonstram que o N-Ext promoveu incrementos significativos. A cultivar Pratinha, por exemplo, apresentou massa de nódulos 46% e 117% superior ao N-Com e similar ao N-Fert. Souza (2022) observou comportamento similar, destacando que o extrato de nódulos proporcionou ganhos na biomassa nodular em comparação ao inoculante comercial e à adubação convencional.

A inibição da nodulação pelo uso de fertilizantes nitrogenados (N-fert) é amplamente documentada e ocorre devido à competição entre o nitrogênio mineral presente no solo e o nitrogênio fixado biologicamente (N_2). Esse fenômeno resulta de fatores fisiológicos e bioquímicos que afetam a interação simbiótica entre plantas e rizóbios. A presença de altas concentrações de nitrogênio mineral reduz a produção de moléculas sinalizadoras pelas raízes das plantas, como os flavonoides, que estimulam a nodulação. Além disso, o nitrogênio disponível suprime a necessidade de estabelecer a relação simbiótica, diminuindo o número de nódulos e, conseqüentemente, a fixação biológica de nitrogênio (FBN). Esse mecanismo reflete uma estratégia da planta para economizar energia, já que a formação e manutenção de nódulos simbióticos demanda recursos energéticos significativos (MATOSO, 2014; SILVA et al., 2012; YAGI et al., 2015).

Portanto, a eficiência do inoculante à base de extrato de nódulos, conforme observado nos resultados apresentados, reforça a capacidade desse produto em substituir fertilizantes minerais. O uso de N-Ext não apenas atende às necessidades nutricionais da cultura, mas também oferece uma solução econômica e ambientalmente sustentável. Isso é particularmente relevante para pequenos produtores, que enfrentam dificuldades na aquisição de fertilizantes tradicionais.

Outro ponto importante é a especificidade simbótica entre rizóbios e genótipos de feijão-caupi. As respostas variáveis entre as cultivares reforçam uma interação genética. A adaptação das estirpes nativas presentes no extrato de nódulos é apontada como um fator crítico para o

sucesso da fixação biológica de nitrogênio (SILVA, 2024). As cultivares que mais se destacaram foram a Xique-xique e Tumucumaque.

Os resultados apresentados destacam o efeito positivo da utilização do extrato de nódulos (N-Ext) sobre o crescimento inicial das cultivares de feijão-caupi. Observou-se que o N-Ext promoveu um aumento significativo na altura das plantas em comparação aos tratamentos com inoculante comercial (N-Com) e fertilizante nitrogenado (N-Fert). Por exemplo, a cultivar Xique-xique apresentou altura superior com N-Ext, alcançando incrementos de 13% e 10% em relação aos tratamentos N-Com e N-Fert, respectivamente. Resultados semelhantes foram verificados na cultivar Tumucumaque, que também respondeu positivamente ao N-Ext, superando as demais fontes de nitrogênio em 6% e 11%.

A eficiência do inoculante à base de extrato de nódulos para suprir a necessidade de nitrogênio nas plantas, demonstrada no estudo de Souza (2022), é evidente, uma vez que o produto se mostrou capaz de equiparar ou até superar os efeitos do fertilizante nitrogenado. A cultivar Xique-xique, por exemplo, apresentou desempenhos superiores com o N-Ext, atingindo altura semelhante à adubação nitrogenada e superior à obtida com N-Com. O crescimento também foi semelhante em outras cultivares, como a Pratinha, destacando a eficiência biológica do extrato. Além disso, o N-Ext resultou em incrementos significativos na biomassa, com a cultivar Xique-xique mostrando aumentos de 42% e 20% em relação aos tratamentos N-Com e Controle, respectivamente, e a cultivar Tumucumaque teve incrementos de 39% e 50%. Em culturas crioulas, como Pratinha e Verdinha, o N-Ext não só superou o desempenho de N-Com, mas se equiparou à adubação nitrogenada, evidenciando o potencial do extrato para promover o acúmulo de biomassa de forma significativa.

Os dados apresentados demonstram o impacto positivo do uso do extrato de nódulos (N-Ext) na fixação biológica de nitrogênio e no crescimento do feijão-caupi. A cultivar Pratinha obteve uma massa de nódulos 46% maior que o N-Com e 117% superior ao N-Fert, enquanto a Xique-xique alcançou incrementos de 13% na altura e 42% na biomassa em relação ao N-Com. Além disso, cultivares como Tumucumaque mostraram aumento de até 50% na biomassa em relação ao controle. Esses resultados destacam o N-Ext como uma alternativa eficaz e sustentável para a substituição de fertilizantes químicos, promovendo a produtividade das plantas e reduzindo os custos de produção para pequenos agricultores. Portanto, além de ser tecnicamente eficaz, o extrato representa uma alternativa economicamente acessível, promovendo a redução da dependência de fertilizantes nitrogenados e contribuindo para práticas agrícolas mais sustentáveis.

5. CONCLUSÃO

1. O uso do extrato de nódulos aumentou a nodulação do feijão-caupi, sendo superior ao inoculante comercial e à adubação nitrogenada, em algumas cultivares.
2. As cultivares Tumucumaque e Xique-xique apresentaram maiores nodulação com a aplicação do extrato de nódulos.
3. O extrato de nódulos mostrou-se eficiente e viável como inoculante alternativo para promover a FBN no feijão-caupi.

REFERÊNCIAS

- ADJEI-NSIAH, S. et al. Farmers' agronomic and social evaluation of productivity, yield and N₂-fixation in different cowpea varieties and their subsequent residual N effects on a succeeding maize crop, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 80, p. 199-209, 2008.
- ALCANTARA, R. M. C. M. de; SILVA, F. R. da; PIRES, L. L.; SILVA, T. H. da C.; CARVALHO, T. B. S. Inoculante de extrato de nódulos como alternativa para inoculação de feijão-caupi. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2019. 9 p. (Embrapa Meio-Norte. Comunicado técnico, 252).
- ALCANTARA, R. M. C. M.; XAVIER, G. R.; RUMJANEK, N. G.; ROCHA, M. M.; CARVALHO, J.S. Eficiência simbiótica de progenitores de cultivares brasileiras de feijão-caupi. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v.45, n.1, p. 1- 9, 2014.
- ALCÂNTARA, R. M. C. M. de; FERREIRA, M. S. de S.; MENDES, C. de M.; RUMJANEK, N. G. Inoculante de extrato de nódulos na cultura do feijão-caupi: uma alternativa para inoculação. Embrapa Meio-Norte, Teresina, 2016. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/155599/1/pagina-00035.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2024.
- ALMEIDA, A. L. G; ALCÂNTARA, M. C. M; NÓBREGA, S. A; LEITE, F. C.; SILVA, A. L. Produtividade do feijão-caupi cv BR 17 Gurguéia inoculado com bactérias diazotróficas simbióticas no Piauí. *Revista Brasileira de Ciência Agrícola*, Recife, v.5, n.3, p.364-369, 2010.
- ARAÚJO, F. S., SALVIANO, A. A. C., LEITE, L. F. C., SOUZA, Z. M. D. and SOUSA, A. C. M. D. Physical quality of a yellow latossol under integrated crop-livestock system. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 3, p. 717-723, 2010.
- BATISTA, E.R; GUIMARAES, S.L.; BONFIM-SILVA, E.M.; SOUZA, A.C.P. Combined inoculation of rhizobia on the cowpea development in the soil of Cerrado. *Revista de Ciência Agronômica*, Fortaleza, v.48, n.5, p.745-755, 2017.
- BLISS, F.A. Utilizing the potential for increased nitrogen fixation in common bean. *Plant Soil*, Dordrecht, v. 152, p. 157-160, 1993.

BONILLA, I.; BOLAÑOS, L. Mineral nutrition for legume-rhizobia symbiosis: B, Ca, N, P, S, K, Fe, Mo, Co, and Ni: a review. *Organic Farming, Pest Control and Remediation of Soil Pollutants*, Lighthouse, v. 1, p. 253-274, 2009.

CLIMATE-DATA. Disponível em <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/piaui/urucui-42385/>>. Acesso em: 26 de dezembro de 2024.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Monitoramento da safra agrícola 2018/19. Primeiro levantamento, Brasília: Conab, v.6, n.1, outubro, 2018. p.69- 71.

CONAB -Companhia Brasileira de Abastecimento. Quatro levantamento de safra 2022/2023. Disponível em: < Conab -Safra Brasileira de Grãos >. Acesso em: 23 de dezembro de 2024.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira: Grãos. CONAB, v. 10, n. 6. Safra 2022/2023: 6º levantamento, p. 41-52, 2023.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 12 décimo segundo levantamento, setembro 2023.

EMBRAPA MEIO-NORTE. Cultivo de feijão caupi. Jul/2003. Disponível em:<<http://www.cpamn.embrapa.br/pesquisa/graos/FeijaoCaupi/referencias.htm>>. Acesso em 01 nov. 2024

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Resultados de pesquisa com FBN para feijão-caupi: estudo na Embrapa Meio-Norte. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 20 nov. 2024.

EMBRAPA. Uso de extratos de nódulos em inoculação alternativa: potencial para feijão-caupi. *Agrobiologia, Seropédica*, 2023. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 20 nov. 2024.

EMBRAPA. Resultados da inoculação alternativa em feijão-caupi. *Embrapa Agrobiologia, Seropédica*, 2016. Disponível em: <http://eventos.ufrrj.br/agrobiologia>. Acesso em: 20 nov. 2024.

FILGUEIRAS, R. et al. Expansão do cultivo do feijão-caupi e o papel da FBN. *Revista de Agricultura Sustentável*, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br>. Acesso em: 20 nov. 2024.

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

HUNGRIA, M. et al. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N₂ fixation and N fertilizer to grain yield. *Canadian Journal of Plant Science*, Ottawa, v. 86, p. 927-939, 2006.

MARTINS, L. M. et al. Contribution of biological nitrogen fixation to cowpea: a strategy for improving grain yield in the semi-arid region of Brazil. *Biology and Fertility of Soil*, v. 38, p. 333-339, 2003.

Matoso, S. C. G. (2014). Eficiência de nódulos estratificados por tamanho no processo de fixação biológica de nitrogênio e crescimento do feijoeiro. *Agrotropica*, 26(2), 103–110. <https://doi.org/10.21757/0103-3816.2014v26n2p103-110>

MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; CUNHA, M. H. 20 perguntas e respostas sobre fixação biológica de nitrogênio. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010. 19p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 281).

REIS, V. R. R. et al. Crescimento vegetativo do feijão-caupi com inoculante alternativo. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 13, n. 4, p. 466, 1 out. 2018.

RIBEIRO, R. A.; ORMENO-ORRILO, E.; DALL'AGNOL, R. F.; GRAHAM, P. H.; MARTINEZ-ROMERO, E.; HUNGRIA, M. Novel Rhizobium lineages isolated from root nodules of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Andean and Mesoamerican áreas. *Research in Microbiology*, Paris, v.64, p.740–748, 2013.

RUMJANEK, N. G. et al. Fixação biológica de nitrogênio. In: FREIRE FILHO, F.R.; LIMA, J.A.A. & RIBEIRO, V.Q., eds. -Feijão-caupi; avanços tecnológicos. Brasília, Embrapa/ Informação Tecnológica, 2005. P.281-335.

RUMJANEK, N. G.; BASTOS, J. L.; OLIVEIRA, D. G. C.; FERREIRA, R. T.; CAVALHEIRO, L. B. S.; AGUIAR, L. A.; DIAS, A.; RIBEIRO, R. L. D. Prática alternativa para inoculação de sementes de feijão-caupi a partir de um preparado de raízes finas noduladas. *Seropédica: Embrapa Agrobiologia*, 2017. 4p

RUMJANEK, N. et al. Pesquisa avalia prática alternativa para inoculação de sementes. ABRATES, Londrina, 2017. Disponível em: <https://www.abrates.org.br/noticia/pesquisa-avalia-pratica-alternativa-para-inoculacao-de-sementes>. Acesso em: 20 nov. 2024.

SCIENTIFIC ELECTRONIC LIBRARY ONLINE. Fixação biológica de nitrogênio em cultivares de feijão-caupi. Disponível em: <https://www.scielo.br>. Acesso em: 20 nov. 2024.

SILVA, A. C. da; VASCONCELOS, P.L.R.; SILVA, V.S.G. da; ANDRADE JÚNIOR, J. L. M. de; SANTANA, M, B. Diagnóstico da produção de feijão-caupi no nordeste brasileiro. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, v. 16, n. 2, p. 1-5, 2018.

SILVA, M.F.; SANTOS, C.E.R.S.; SOUSA, C.A.; ARAÚJO, R.S.L.; STAMFORD, N.P.; FIGUEIREDO, M.V.B. Nodulação e eficiência da fixação do N₂ em feijão-caupi por efeito da taxa do inóculo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.36, n.5, p.1418-1425, 2012.

Silva, M. F., Santos, C. E. R. S., Sousa, C. A., Araújo, R. S. L., Stamford, N. P., & Figueiredo, M. V. B. (2012). Nodulação e eficiência da fixação do N₂ em feijão-caupi por efeito da taxa do inóculo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36, 1418-1425. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500013>

SOUZA, Cristiano dos Santos. Uso de extrato de nódulos como inoculante alternativo para fixação biológica de nitrogênio em feijão-caupi. Orientador: Franklin Eduardo Melo Santiago. 2022. 21 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônoma) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Uruçuí, 2022.

Yagi, R., Andrade, D. S., Waureck, A., & Gomes, J. C. (2015). Nodulações e produtividades de grãos de feijoeiros diante da adubação nitrogenada ou da inoculação com *Rhizobium freirei*.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, 39, 1661-1670.
<https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140342>

ZILLI, J. E. et al. Fixação biológica de nitrogênio em feijão-caupi: avanços e desafios. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br>. Acesso em: 20 nov. 2024.