



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS URUÇUÍ
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA**

SÁVIO BISPO

**EXTRATO DE NÓDULOS COMO INOCULANTE ALTERNATIVO PARA FIXAÇÃO
BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO EM FEIJÃO-FAVA**

URUÇUÍ

2024

SÁVIO BISPO

EXTRATO DE NÓDULOS COMO INOCULANTE ALTERNATIVO PARA FIXAÇÃO
BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO EM FEIJÃO-FAVA

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

Orientadora: Prof. Dr. Franklin Eduardo Melo Santiago

URUÇUÍ

2024

EXTRATO DE NÓDULOS COMO INOCULANTE ALTERNATIVO PARA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO EM FEIJÃO-FAVA

Sávio Bispo¹

Franklin Eduardo Melo Santiago²

RESUMO

O feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) é uma leguminosa de grande relevância na agricultura familiar, destacando-se pela rusticidade e valor nutricional. Contudo, a baixa disponibilidade de nitrogênio no solo limita sua produtividade, tornando a fixação biológica de nitrogênio (FBN) uma alternativa sustentável. A FBN, mediada por rizóbios, reduz a necessidade de fertilizantes sintéticos, mas o alto custo e a acessibilidade limitada dos inoculantes comerciais dificultam seu uso por pequenos agricultores. Nesse contexto, a inoculação com extrato de nódulos pode ser uma alternativa viável e eficiente para promover a FBN, crescimento e produtividade das culturas de forma acessível e sustentável. Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar o uso de extrato de nódulos como inoculante alternativo para FBN em cultivares de feijão-fava. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, arranjos em esquema fatorial 4 x 3, consistindo em quatro fontes de N (controle sem N, inoculante de extrato de nódulos, inoculante comercial e adubação nitrogenada - 100 kg ha⁻¹) e três cultivares de feijão-fava (ST BRANCA, MRR MARROM e ST RAJADA). No início da floração, foram avaliados: altura da parte aérea, massa seca da parte aérea e raiz, número de nódulos, número de nódulos viáveis e massa seca de nódulos. O extrato de nódulos promoveu maior eficiência na nodulação, com incremento no número de nódulos em comparação aos tratamentos comerciais e com adubação nitrogenada, comprovando sua eficiência na fixação biológica de nitrogênio. Também foi observado aumento na biomassa aérea e radicular em algumas cultivares. Dentre as cultivares avaliadas, as variedades Marrom e Rajada foram as mais responsivas à inoculação, destacando-se como potenciais alvos para futuras aplicações dessa tecnologia.

Palavras-chave: *Phaseolus lunatus* L., nodulação, inoculação, nitrogênio, agricultura sustentável, rizóbio.

ABSTRACT

¹Acadêmico de Engenharia Agrônômica, IFPI – Campus Uruçuí, saviobispo498@gmail.com

²Doutor em Ciência do Solo, Professor do IFPI – Campus Uruçuí, franklin.santiago@ifpi.edu.br

The lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) is a legume of great importance in family farming, standing out for its hardiness and nutritional value. However, the low availability of nitrogen in the soil limits its productivity, making biological nitrogen fixation (BNF) a sustainable alternative. BNF, mediated by rhizobia, reduces the need for synthetic fertilizers, but the high cost and limited accessibility of commercial inoculants make its use difficult for small farmers. In this context, inoculation with nodule extract may be a viable and efficient alternative to promote BNF, growth and crop productivity in an affordable and sustainable manner. Therefore, the objective of the present study was to evaluate the use of nodule extract as an alternative inoculant for BNF in lima bean cultivars. The experiment was conducted in a completely randomized design, arranged in a 4 x 3 factorial scheme, consisting of four N sources (control without N, nodule extract inoculant, commercial inoculant and nitrogen fertilization - 100 kg ha⁻¹) and three lima bean cultivars (ST BRANCA, MRR MARROM and ST RAJADA). At the beginning of flowering, the following were evaluated: shoot height, shoot and root dry mass, number of nodules, number of viable nodules and nodule dry mass. The nodule extract promoted greater efficiency in nodulation, with an increase in the number of nodules compared to commercial treatments and with nitrogen fertilization, proving its efficiency in biological nitrogen fixation. An increase in shoot and root biomass was also observed in some cultivars. Among the cultivars evaluated, the Marrom and Rajada varieties were the most responsive to inoculation, standing out as potential targets for future applications of this technology.

Keywords: *Phaseolus lunatus* L., nodulation, inoculation, nitrogen, sustainable agriculture, rhizobia.

1. INTRODUÇÃO

O feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.), também denominado fava, feijão-de-lima ou feijão-espadinho, pertence à família Fabaceae. Está leguminosa destaca-se entre as espécies do gênero *Phaseolus* devido ao seu alto potencial produtivo e ampla distribuição no Brasil, resultado de sua vasta diversidade genética (Silva et al., 2019). O potencial de adaptação do feijão-fava, aliado ao seu valor nutricional e econômico, torna essa cultura de grande importância para a agricultura brasileira, especialmente em áreas de agricultura familiar. Cultivada principalmente no semiárido brasileiro por pequenos agricultores, a cultura é destinada em sua maioria ao autoconsumo. Além disso, essa leguminosa desempenha um papel crucial como fonte de proteína na dieta alimentar das comunidades rurais (BARBOSA; ARRIEL, 2018).

Na safra 2021/22, a produção nacional de feijão-fava atingiu um total de 12.061 toneladas, distribuídas em uma área de cultivo de 35.609 hectares, o que corresponde a um rendimento médio de 339 kg ha⁻¹ (IBGE, 2022). Especificamente no estado do Piauí, a produção foi de 696 toneladas, com uma área colhida de 2.019 hectares e uma produtividade de 345 kg ha⁻¹ (IBGE, 2022). Esses números destacam a importância do Piauí na produção nacional deste tipo de feijão, contribuindo significativamente para a oferta nacional, apesar de sua área de cultivo ser menor em comparação com outros estados.

O nitrogênio (N) é um elemento essencial para as plantas, porém sua baixa disponibilidade no solo frequentemente limita a produção agrícola (Hungria et al., 2022). Uma alternativa sustentável para atender a essa demanda é a associação simbiótica com bactérias diazotróficas, conhecidas como rizóbios, que promovem a fixação biológica de nitrogênio (FBN). Esse processo desempenha um papel fundamental no crescimento e na produtividade das culturas, fornecendo N de forma natural e reduzindo a dependência de fertilizantes nitrogenados sintéticos (BARAÚNA et al., 2014; MATSUBARA e ZÚÑIGA-DÁVILA, 2015).

Estudos realizados na cultura do feijão-fava apontam a presença significativa de rizóbios associados a essa leguminosa, incluindo gêneros como *Bradyrhizobium*, *Rhizobium*, *Mesorhizobium* e *Sinorhizobium* (PEREIRA, 2018). Embora haja evidências de que o gênero *Bradyrhizobium* seja o mais preferido pela espécie, acredita-se que o feijão-fava apresente um nível de promiscuidade simbiótica maior

do que o previamente documentado (DURÁN et al., 2014; ARAÚJO et al., 2015; ORMEÑO-ORRILLO et al., 2015; AMORIM et al., 2019). A diversidade simbiótica do feijão-fava aumenta a eficiência da FBN, permitindo maior adaptação às condições ambientais e melhorando o fornecimento de N, o que favorece seu crescimento e produtividade.

No entanto, para outras culturas, como o feijão-fava, o uso de inoculantes comerciais para promover a FBN pode representar desafios para pequenos agricultores devido aos custos envolvidos e à disponibilidade limitada deste produto. Além disso, conforme destacado por Alcantara et al. (2019), em área de agricultura familiar, é evidente a limitada utilização de inoculante, fato que pode ser atribuído a diversos desafios, como a falta de familiaridade com essa tecnologia, os custos associados à aquisição do insumo e a dificuldade de acesso ao produto comercializado. Diante desse contexto, torna-se fundamental a busca por alternativas de baixo custo e acessíveis, visando assegurar a sustentabilidade socioeconômica da produção agrícola.

O uso de extrato de nódulos para inoculação de sementes de leguminosas vem sendo testado, tendo como foco a obtenção de maior eficácia na prática de inoculação (ALCANTARA, 2016). Essa técnica visa aumentar a eficácia da inoculação, melhorando a FBN e, conseqüentemente, o desenvolvimento das plantas. A inoculação com extratos de nódulos pode oferecer uma alternativa eficiente e sustentável, contribuindo para a redução do uso de fertilizantes químicos e promovendo uma agricultura mais ecológica. Além disso, essa prática pode resultar em maior produtividade e qualidade das culturas leguminosas, beneficiando agricultores e o meio ambiente.

O objetivo do presente estudo foi avaliar o uso de extrato de nódulos como inoculante alternativo para FBN em cultivares de feijão-fava.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na área 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° 29' S, 44° 14' W e altitude de 470 m).

O clima da região é do tipo Aw no sistema Köppen, com temperatura média anual de 26,5°C, precipitação anual de 1.200 mm, com estação chuvosa de outubro a abril, sendo janeiro a março o trimestre mais chuvoso, com ocorrência de veranicos. O solo é classificado como Latossolo Amarelo distrófico, textura média.

2.1 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, arranjado em esquema fatorial 4 x 3, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em quatro estratégias de fornecimento de nitrogênio: controle sem adição de nitrogênio (Controle), uso de inoculante à base de extrato de nódulos (N-Extrato), uso de inoculante comercial (Inoc-Comercial) e adubação nitrogenada convencional (N-Fert, 100 kg ha⁻¹). Foram utilizadas três cultivares de feijão-fava (ST BRANCA, MRR MARROM, ST RAJADA).

2.2 Obtenção do extrato de nódulos

Inicialmente foi formado um banco de nódulos de cada cultivar de feijão-fava, onde foram semeadas 20 sementes em 9 vasos de 10 kg para cada cultivar, e os nódulos foram coletados entre 30 e 35 dias após a semeadura, no pico da nodulação. Após a coleta, os nódulos foram lavados, triturados em água e filtrados. O extrato resultante foi usado para inocular as sementes, que ficaram imersas por 10 minutos e secas por 1 hora. A quantidade de extrato foi calculada para que 500 ml inoculassem até 800 g de sementes.

2.3 Cultivo e condução da cultura

Para a implantação do experimento foi utilizado solo coletado da camada de 40 a 60 cm de profundidade pertencente à área experimental do Instituto Federal do

Piauí-IFPI, no município de Uruçuí. A área respeitou os critérios de não haver presença/ocorrência de doenças relacionadas a nematóides e de ser uma área anteriormente não cultivada com feijão-caupi ou outra leguminosa. O solo coletado foi seco ao ar, destorroado, passada em peneira de 4 mm de abertura e depositado em cada vaso a quantidade de 4 kg de solo.

O tratamento de inoculação comercial foi realizado com o inoculante BiomaBrady– Líquido, formulado com estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080 *Bradyrhizobium japonicum*, que apresenta densidade de $1,03 \text{ g mL}^{-1}$ e garantia de $7,2 \times 10^9$ células viáveis mL^{-1} . De acordo com a bula disponibilizada pela empresa, estima-se a proporção de 50 mL ha^{-1} , o que equivale a utilização de 1 mL em 1 kg de sementes.

A semeadura foi realizada na densidade de quatro sementes por vaso, com posterior desbaste no decimo dia após a emergência, mantendo-se apenas duas plantas por vaso. Concomitantemente a semeadura, foram realizadas as aplicações de P na forma de superfosfato simples a quantidade de 220 mg vaso e K na forma de cloreto de potássio a quantidade de 300 g vaso para todas as parcelas experimentais. Da mesma forma, foram realizadas as adubações nitrogenadas nas doses de 668 mg/vaso e 448 mg/vaso de ureia agrícola (respectivamente 150 e 100 kg ha^{-1}), como define seus determinados tratamentos. A irrigação foi realizada diariamente mediante a necessidade de reposição da umidade do solo.

2.4 Avaliações

Aos 36 dias após a semeadura as plantas foram coletadas, separadas em parte aérea e raiz e avaliadas quanto aos seguintes parâmetros: a) altura da parte aérea – a medição foi realizada com uma régua desde a superfície do solo; b) número de nódulos – foram quantificados os nódulos com tamanho igual ou superior a 2 mm, considerados como aqueles que possuem maior capacidade de fixação de N; e c) massa seca da parte aérea, raiz e nódulos (g) – determinada pela pesagem em balança analítica após secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65° por 72 horas.

2.5 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

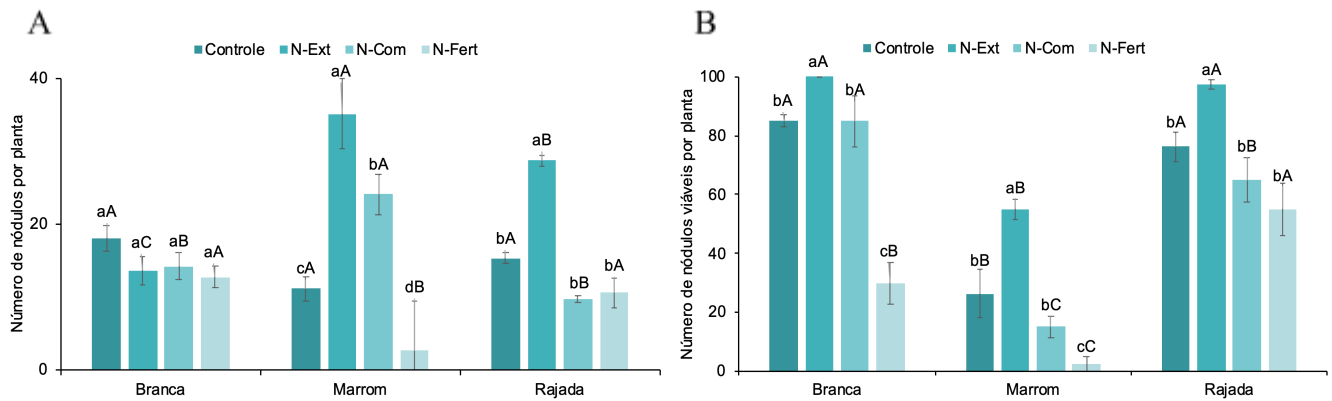
3.1. Efeito de diferentes fontes de N sobre a nodulação do feijão-fava

Para o número de nódulos, com exceção da cultivar Branca, as demais cultivares de feijão-fava responderam positivamente às diferentes estratégias de fornecimento de nitrogênio (Figura 1A). A nodulação das cultivares Marrom e Rajada foi significativamente incrementada quando tratadas com o extrato de nódulos (Figura 1A). Na cultivar Marrom, a aplicação do N-Ext aumentou em 45% e 1235% o número de nódulos em comparação aos tratamentos N-Com e N-Fert, respectivamente. Já para a cultivar Rajada, o número de nódulos das plantas submetidas ao N-Ext foi superior em 194% e 170% em comparação aos tratamentos N-Com e N-Fert, respectivamente. Este resultado sugere que o extrato de nódulos é uma estratégia eficiente para aumentar a nodulação no feijão-fava.

No que diz respeito ao número de nódulos viáveis por planta, observa-se que todas as cultivares de feijão-fava responderam de forma positiva às diferentes fontes de N (Figura 1B). O número de nódulos viáveis das cultivares Branca, Marrom e Rajada foi significativamente incrementada quando tratadas com extrato de nódulos. Na cultivar Branca, a aplicação do N-Ext aumentou em 17% e 233% o número de nódulos viáveis em comparação aos tratamentos N-Com e N-Fert, respectivamente (Figura 1B). De forma semelhante, na cultivar Marrom a aplicação do N-Ext aumentou em 266% e 2000% o número de nódulos em comparação aos tratamentos N-Com e N-Fert, respectivamente (Figura 1B). Já para a cultivar Rajada, o número de nódulos viáveis das plantas submetidas ao N-Ext foi superior em 50% e 77% no número de nódulos viáveis em comparação aos tratamentos N-Com e N-Fert, respectivamente (Figura 1B).

No comparativo visual do número de nódulos e nódulos viáveis das cultivares submetidas a diferentes fontes de nitrogênio (Figura 1C), observa-se que as cultivares MM Marrom e ST Rajada apresentaram respostas positivas às fontes

avaliadas (Figura 1B). A nodulação e a quantidade de nódulos viáveis dessas cultivares foram significativamente incrementadas quando tratadas com o extrato de nódulos, em comparação com as demais fontes de nitrogênio. Esse resultado sugere que o uso de extrato de nódulos é uma estratégia eficiente para aumentar tanto a formação quanto a viabilidade dos nódulos no feijão-fava.



C

MM Marrom



ST Rajada



Figura 1. Número total de nódulos (A) e número de nódulos viáveis (B) por planta de cultivares de feijão-fava 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 nitrogênio), N-Ext (inoculante à base de extrato de nódulos), N-Com (inoculante comercial) e N-Fert (fertilizante mineral). Diferentes letras minúsculas acima das colunas indicam diferenças significativas entre as fontes de nitrogênio, enquanto letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre cultivares ($p < 0,05$).

A massa seca de nódulos das cultivares de feijão-fava foram significativamente incrementadas quando tratadas com extrato de nódulos (Figura 2). Na cultivar Branca, a aplicação do N-Ext aumentou em 200% e 500% o número de nódulos em comparação aos tratamentos N-Com e N-Fert, respectivamente. A cultivar Marrom, apresentou maior biomassa de nódulos com a aplicação do N-Ext, que foi superior em 88% e 276% aos tratamentos controle e N-Fert, e semelhante ao N-Com. Já para a cultivar Rajada, o número de nódulos das plantas submetidas ao N-Ext foi superior em 78% e 580% no número de nódulos em comparação aos tratamentos N-Com e N-Fert. Este resultado sugere que o extrato de nódulos é uma estratégia eficiente para aumentar a massa seca de nódulos no feijão-fava.

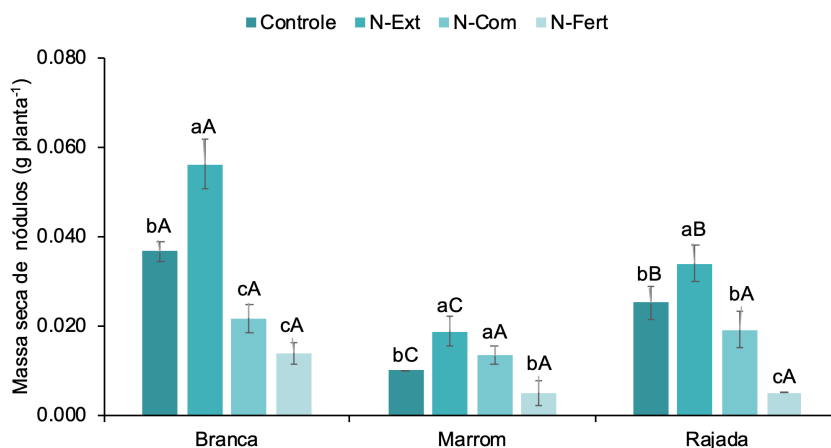


Figura 2. Massa seca de nódulos por planta de cultivares de feijão-fava em função de diferentes fontes de nitrogênio. Tratamentos: Controle (sem aplicação de nitrogênio), N-Ext (inoculante à base de extrato de nódulos), N-Com (inoculante comercial) e N-Fert (fertilizante mineral). Diferentes letras minúsculas acima das colunas indicam diferenças significativas entre as fontes de nitrogênio, enquanto letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre cultivares ($p < 0,05$).

3.2. Efeito do extrato de nódulos sobre o crescimento e desenvolvimento inicial do feijão-fava

As cultivares de feijão-fava responderam de forma distinta às diferentes fontes de N em relação à altura das plantas (Figura 3A). As cultivares Branca e Marrom apresentaram maiores alturas quando tratadas com extrato de nódulos, que foi superior em 6,8% e 16% ao tratamento com inoculante comercial, respectivamente, e semelhante ao tratamento com adubação nitrogenada. Por outro lado, a cultivar Rajada apresentou maior crescimento em altura quando submetida aos tratamentos com inoculante comercial e adubação nitrogenada (Figura 3A).

Para a massa seca da parte aérea, observou-se que com exceção da cultivar Marrom as demais cultivares não apresentaram respostas às diferentes fontes de N testadas (Figura 3B). Na cultivar Marrom, a aplicação de extrato de nódulos propiciou acúmulo de biomassa semelhante aos tratamentos N-Com e N-Fert, e 43% superior ao tratamento controle (Figura 3B).

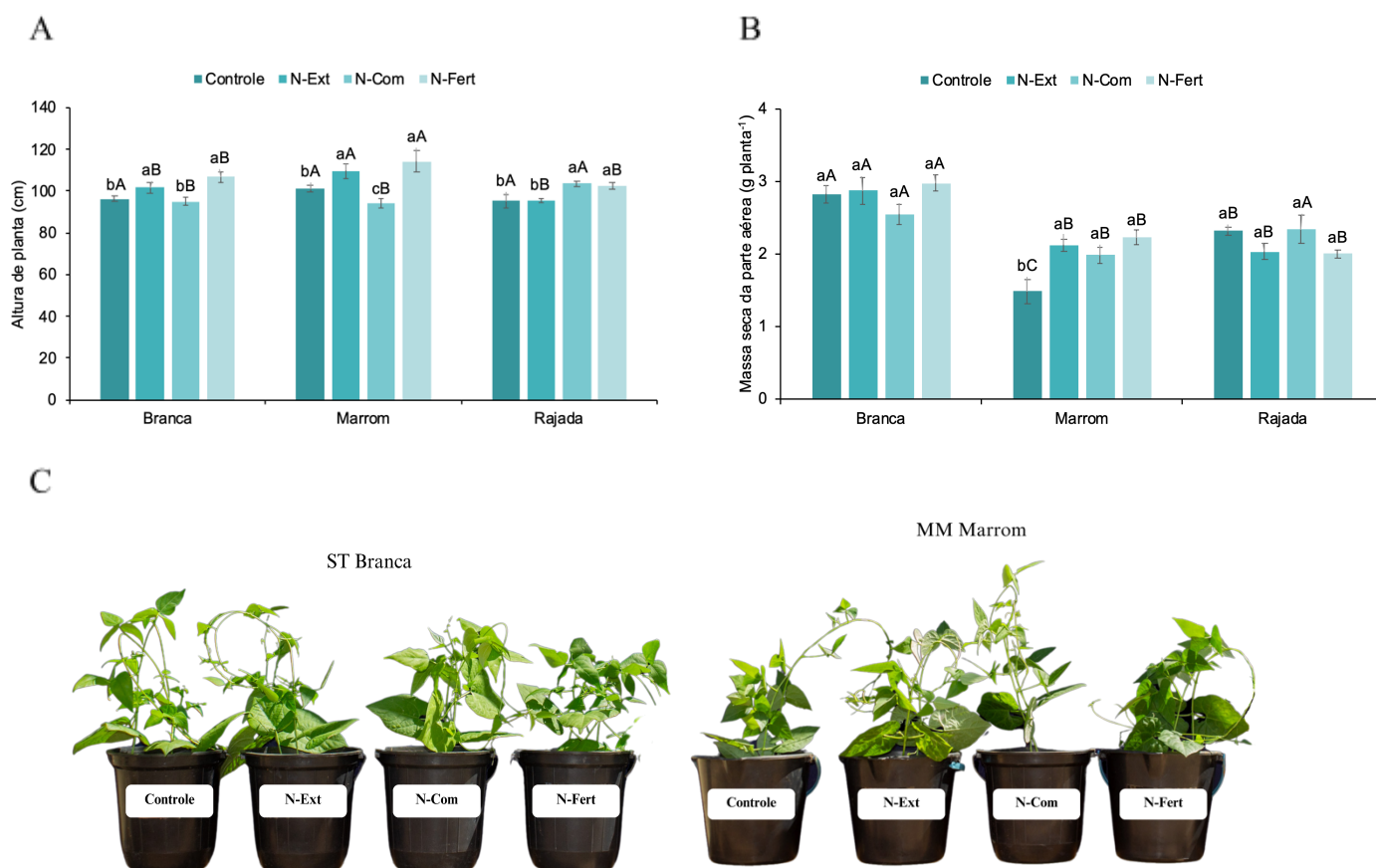


Figura 3. Altura de plantas (A) e massa seca da parte aérea (B) de cultivares de feijão-fava em função de diferentes fontes de nitrogênio. Comparativo visual do crescimento inicial das cultivares ST Branca e MM Marrom sob diferentes fontes de N (C). Tratamentos: Controle (sem aplicação de nitrogênio), N-Ext (inoculante à base de extrato de nódulos), N-Com (inoculante comercial) e N-Fert (adubação nitrogenada). Diferentes letras minúsculas acima das colunas indicam diferenças

significativas entre as fontes de nitrogênio, enquanto letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre cultivares ($p < 0,05$).

Para a massa seca de raiz, a cultivar Branca apresentou incremento na biomassa radicular quando submetida ao tratamento N-Ext, que foi superior em 24% e 52% aos tratamentos N-Com e N-Fert, respectivamente (Figura 4). Em contraste, a cultivar Marrom quando tratada com o N-Ext apresentou respostas semelhantes aos tratamentos N-Com e N-Fert para a biomassa radicular, e foi superior em 40% ao tratamento controle. A cultivar Rajada não apresentou efeitos para as diferentes fontes de N testadas (Figura 4).

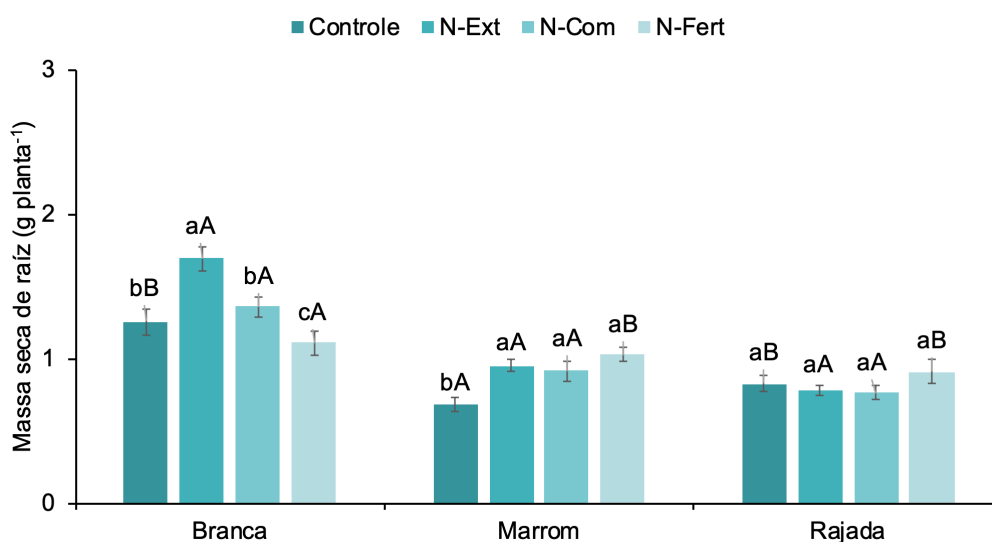


Figura 4. Massa seca da raiz de cultivares de feijão-fava em função de diferentes fontes de nitrogênio. Tratamentos: Controle (sem aplicação de N. N-Ext (inoculante a base de extrato de nódulos). N-Com (inoculante comercial). N-Fert (fertilizante mineral). Diferentes letras minúsculas acima da coluna indicam diferença significativa entre as fontes de N, letras maiúsculas indicam diferença significativa entre cultivares. ($p < 0,05$).

4. DISCUSSÃO

A utilização do extrato de nódulos demonstrou ser uma alternativa promissora e eficiente para inoculação da FBN no feijão-fava (Figura 1). Pois quando as cultivares foram inoculadas com o N-Ext aumentaram a nodulação da cultura, apresentando maior número de nódulos por planta, de nódulos viáveis e de massa seca de nódulos em relação as outras fontes de N (Figura 1). Ressalta-se que em algumas cultivares a superioridade do N-Ext na nodulação do feijão-fava foi de até 3

vezes para quando não se realiza nenhuma inoculação e adubação (Controle), e 2,9 e 13,3 vezes para quando se utiliza fontes convencionais de N, como inoculantes comercial (N-Com) e fertilização nitrogenada (N-Fert), respectivamente.

O extrato de nódulos pode ser mais eficiente na nodulação do que outras fontes devido à sua composição biológica específica, que reflete a interação coevolutiva entre as estirpes nativas de rizóbios e as plantas do local. Conforme discutido na literatura e corroborado por Wekesa, Furch e Oelmüller (2021), as estirpes nativas apresentam uma interação mais benéfica com as plantas em solos locais, graças à sua coevolução e adaptabilidade às condições ambientais específicas. Esse fator pode conferir ao extrato de nódulos uma capacidade superior de estimular a nodulação, pois ele carrega sinais químicos e microbiológicos que já estão otimizados para a planta e o ambiente em questão.⁷

Contudo, é importante destacar que, até o momento, existem poucos estudos avaliando a eficiência do extrato de nódulos especificamente no feijão-fava, o que limita as conclusões para esta cultura. Em outras culturas, como soja, feijão-comum e feijão-caupi, o uso de materiais biologicamente adaptados, como o extrato de nódulos, tem apresentado resultados promissores. Por exemplo, Rumjaneck et al. (2017) demonstraram, em experimentos a campo, a eficiência de um inoculante alternativo à base de raízes finas adaptadas localmente, que aumentou a produtividade do feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) em até 33%. Esses resultados sugerem que o extrato de nódulos pode superar as limitações impostas pela falta de adaptação das estirpes exógenas ao solo, tornando-se uma alternativa potencialmente mais eficaz. No entanto, essa abordagem ainda precisa ser validada em estudos específicos com o feijão-fava.

Adicionalmente, observa-se que a adubação nitrogenada tende a inibir a nodulação no feijão-fava (Figura 1), um efeito amplamente documentado na literatura para leguminosas. Zuffo et al. (2019) demonstraram que a adubação nitrogenada na cultura da soja reduz significativamente o número, o volume e a matéria seca dos nódulos, confirmando sua ação inibidora sobre o processo de nodulação. Esses resultados estão alinhados com os achados do presente estudo, reforçando que o excesso de N disponível no solo pode limitar a formação e o desenvolvimento de nódulos em leguminosas.

A massa seca dos nódulos é um indicador fundamental da eficiência da FBN, sendo essencial para avaliar o desempenho desse processo. Reduções na massa

seca dos nódulos podem impactar significativamente o acúmulo de N, com perdas que podem alcançar até 25% (SHIMOIA et al., 2019). Além disso, conforme destacado pela Embrapa Soja (2014), o acúmulo de N na parte aérea das plantas de soja está mais associado à qualidade dos nódulos, medida pela massa seca, do que ao número total formado. Esses achados enfatizam a necessidade de priorizar a eficiência e a funcionalidade dos nódulos, em vez de focar apenas na quantidade, garantindo maior eficácia no processo de fixação de N e, consequentemente, melhor desempenho da cultura.

Este efeito pode ser claramente observado para as cultivares Branca e Marrom em função do N-Ext. Pois a cultivar Branca apesar de ter não refletido diferença significativa para o número de nódulos quando inoculada com o N-Ext, apresentou maior número de nódulos viáveis e massa seca de nódulos para o mesmo tratamento (Figura 1B). Por outro lado, a cultivar Marrom apesar de ter obtido um alto número de nódulos, obteve um baixo número de nódulos viáveis e massa seca de nódulos (Figura 1 e 2). Dessa maneira, as cultivares apresentaram variações genótípicas quanto a resposta e eficiência a nodulação em função da aplicação do N-Ext, se destacando as cultivares Branca e Rajada.

A aplicação do extrato de nódulos (N-Ext) refletiu também no crescimento inicial do feijão-fava (Figura 3A). Porém não houve significativos acréscimos no acúmulo de biomassa em relação às demais fontes de N e ao controle para algumas cultivares (Figura 3B). Provavelmente, o menor reflexo dos tratamentos na produção de biomassa deve-se às fases iniciais de desenvolvimento da cultura que notadamente tem menor exigência nutricional das culturas, a exemplo do N. Dessa forma, espera-se que com o avanço do ciclo da cultura, especialmente na fase reprodutiva, haja maiores diferenças no acúmulo de biomassa em relação as diferentes fontes de N, pois é fase fenológica com maior demanda estrutural e metabólica de N pelas plantas (Câmara, 2014).

Os resultados observados para a massa seca das raízes das cultivares de feijão-fava revelaram diferenças marcantes na resposta às distintas fontes de N testadas (Figura 4). O desempenho superior da cultivar Branca no tratamento N-Ext, com incrementos de 24% e 52% em relação aos tratamentos N-Com e N-Fert, pode ser atribuído a uma melhor interação entre as condições do solo e a capacidade de absorção radicular, possivelmente mediada por microrganismos associados. Resultados semelhantes foram reportados por Costa Neto (2016), que destacou o

papel dos rizóbios nativos em feijão-fava var. crioula Bico de Moça e Branca na mobilização e aumento da disponibilidade de nutrientes, beneficiando diretamente o sistema radicular.

Por outro lado, a ausência de diferenças significativas para a cultivar Rajada entre os tratamentos indica uma possível limitação na resposta dessa cultivar às diferentes fontes de nitrogênio, um comportamento que pode ser comparado ao observado por Reis et al. (2018) em feijão-caupi cultivar Manteiguinha. Nesse estudo, os tratamentos com e sem inoculação não diferiram para a massa seca de raízes, sugerindo que fatores intrínsecos à planta ou ao ambiente podem desempenhar papel decisivo.

Os resultados obtidos com o uso de inoculante à base de extrato de nódulos demonstraram desempenho semelhante entre as cultivares ST Branca, MM Marrom e ST Rajada, sendo, em alguns casos, superiores ao tratamento com fertilizante mineral nitrogenado. Estudos como o de Zilli et al. (2020) e Santos, Nogueira e Hungria (2019) destacam que, em condições adequadas, a FBN pode substituir completamente a adubação nitrogenada, promovendo benefícios econômicos e ambientais. Esses incluem a redução de custos de produção e o menor impacto ambiental, como a mitigação de emissões de gases de efeito estufa e a preservação dos recursos hídricos.

No caso específico do feijão-caupi, a literatura demonstra que a FBN, associada ao uso de inoculantes eficientes, é suficiente para atender às demandas nutricionais da planta, desde que haja seleção adequada de estirpes e manejo apropriado do solo (EMBRAPA, 2020; PRANDO et al., 2020). A prática de reinoculação também se mostrou eficaz em sistemas onde a população rizobiana já está estabelecida, contribuindo para o aumento da produtividade e para a consolidação dessa tecnologia como uma alternativa viável e sustentável para a agricultura familiar.

Os resultados deste estudo indicam que o uso de extrato de nódulos como inoculante alternativo é uma abordagem inovadora e potencialmente eficaz para a promoção da FBN no feijão-fava. Comparado às fontes convencionais de nitrogênio, como a inoculação comercial e os fertilizantes nitrogenados, o extrato de nódulos demonstrou desempenho superior, evidenciando sua capacidade de aumentar a nodulação e, possivelmente, a eficiência simbiótica.

Essa estratégia, além de promissora para reduzir custos e dependência de insumos químicos, também apresenta um caráter sustentável, contribuindo para práticas agrícolas mais ecológicas e eficientes. No entanto, é fundamental que estudos futuros avaliem a aplicabilidade em diferentes condições edafoclimáticas e analisem a persistência e viabilidade dos microrganismos envolvidos, garantindo a consistência dos resultados em larga escala. Assim, o extrato de nódulos pode se consolidar como uma alternativa viável na otimização do manejo do nitrogênio em leguminosas.

5. CONCLUSÃO

A inoculação com o extrato de nódulos aumentou significativamente a nodulação e o crescimento inicial do feijão-fava, comprovando sua viabilidade e eficiência como inoculante alternativo para a FBN na cultura.

Dentre as cultivares avaliadas, as variedades Branca e Rajada foram as mais responsivas à inoculação com extrato de nódulos, destacando-se como potenciais alvos para futuras aplicações dessa tecnologia.

6. REFERÊNCIAS

- AMORIM, M.R.; ANTUNES, J.E.L.; OLIVEIRA, L.M.S.; ROCHA, S.M.B.; AQUINO, J.P.A.; FIGUEIREDO, M.V.B.; ARAÚJO A.S.F. Current knowledge and future prospects of lima bean (*Phaseolus lunatus*)-rhizobia symbiosis. *Revista Facultad de Ciencias Agrárias*, v.5, p.280-288, 2019.
- ARAÚJO, A.S.F.; LOPES, A.C.A.; GOMES, R.L.F.; BESERRA JUNIOR, J.E.A.; ANTUNES, J.E.L.; FIGUEIREDO, M.V.B. Diversity of native rhizobianodulating *Phaseolus lunatus* in Brazil. *Legume Research*, v.38, p.653– 657, 2015.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PRODUTORES E IMPORTADORES DE INOCULANTES (ANPII). Recomendações técnicas para o uso de inoculantes em leguminosas. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br>. Acesso em: 20 nov. 2024.
- BARAÚNA, A. C.; SILVA, K.; PEREIRA, G. M. D.; KAMINSKI, P. E.; PERIN, L.; ZILLI, J. E. Diversity and nitrogen fixation efficiency of rhizobia isolated from nodules of *Centrolabium paraense*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 49, n. 4, p. 296-305, 2014.
- Barbosa, G. J. & Arriel, N. H. C. (2018). Feijão fava e a agricultura familiar de serraria, PB. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 35 (3), 387-403.
- COSTA NETO, V. P. Nodulação e fixação biológica de nitrogênio em feijão-fava inoculado com rizóbios isolados de solos da Microrregião do Médio Parnaíba

piauiense. 2016, 59f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, Teresina. 2016.

SILVEIRA, Pedro Marques et al. Uso do clorofilômetro como critério para quantificar a necessidade de nitrogênio no feijão-comum inoculado com *Rhizobium tropici*. Revista de Ciências Agro-Ambientais, v. 21, n. 1, p. 17-21, 2023.

ALCANTARA, R. M. C. M. et al. Inoculante de extrato de nódulos como alternativa para inoculação de feijão-caupi. 2019.

ALCANTARA, R. M. C. M., et al. "Inoculante de extrato de nódulos na cultura do feijão-caupi: uma alternativa para inoculação." In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 4., 2016, Sorriso. Feijão-caupi: avanços e desafios tecnológicos e de mercados: resumos. Brasília, DF: Embrapa, 2016. p. 35, 2016. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br>. Acesso em: 21 nov. 2024.

DURÁN, D.; REY, L.; MAYO, J.; ZÚÑIGA-DÁVILA, D.; IMPERIAL, J.; RUIZARGÜESO, T.; MARTÍNEZ-ROMERO, E.; ORMEÑO-ORRILLO, E. *Bradyrhizobium paxllaeri* sp. nov. and *Bradyrhizobium icense* sp. nov., nitrogenfixingrhizobial symbionts of Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) in Peru. International journal of systematic and evolutionary microbiology, v. 64, n. 6, p. 2072-2078, 2014.

Embrapa Soja. Relatórios técnicos sobre estirpes de *Bradyrhizobium japonicum*. Disponível em: ainfo.cnptia.embrapa.br. Acesso em: 1 dez. 2024.

EMBRAPA. Fixação biológica de nitrogênio em leguminosas: aspectos técnicos e econômicos. Brasília, 2020.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Fava. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/fava/br>. Acesso em: 14 mar. 2024

MATSUBARA, M.; ZÚÑIGA-DÁVILA, D. Phenotypic and molecular differences among rhizobia that nodulate *Phaseolus lunatus* in the Supe valley in Peru. Annals of Microbiology, v.65, p.1803–1808, 2015.

ORMEÑO-ORRILLO, E.; DÁVILA, D.; MARTÍNEZ-ROMERO, E. Biodiversity of nitrogen-fixing nodule bacteria associated with lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) in its domestication centers. In: *Phaseolus lunatus : diversity, growth and production*. New York: Nova Science, v. 1, n. 1, p. 91–102. 2015.

PEREIRA, C.S. Caracterização polifásica de comunidade bacteriana simbiote e endofítica presentes em nódulos de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.). 2018. 56f. Dissertação (mestrado em genética e melhoramento)- Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2018.

REIS, V. R. R. et al. Crescimento vegetativo de feijão-caupi com inoculante alternativo. 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/330879243_Crescimento_vegetativo_do_feijao-caupi_com_inoculante_alternativo. Acesso em: 01 dez. 2024.

RUMJANEK, N. G. et al. Prática alternativa para inoculação de sementes de feijão-caupi a partir de um preparado de raízes finas noduladas. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2017. 4p.

SANTOS, M. A.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Microbial inoculants in Brazilian agriculture: historical overview, advances and opportunities. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 219, p. 222-234, 2019.

SHIMOIA, Eduardo Pereira.; SILVA, Cristiane Jovelina.; POSSO, Douglas Antônio.; AGUALONGO, Darwin Alexis Pomagualli.; AMARANTE, Luciano. Parâmetros de nodulação e teor de proteínas em raízes de plantas de soja associadas simbioticamente com *Bradyrhizobium* e coinoculadas com *Azospirillum*. 5º Semana integrada UFPEL, 2019.

Silva, S. I. A.; Souza, T.; Santos, D. & Da Silva Souza, R. F (2019). Uma Avaliação dos componentes de produção em variedades crioulas de fava cultivadas no Agreste da Paraíba. *Revista de Ciências Agrárias*, 42(3), 731-742.

WEKESA, C. S. et al. Isolation and characterization of high-efficiency rhizobia from western kenya nodulating with common bean. *Frontiers in Microbiology*, v. 12, 2021. ISSN 1664-302X. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2021.697567>. Acesso em: 21 nov. 2024.

ZILLI, Jerri Édson et al. The importance of denitrification performed by nitrogen-fixing bacteria used as inoculants in South America. *Plant and Soil*, v. 451, p. 5-24, 2020.

ZUFFO, A. M.; STEINER, F.; BUSCH A.; SANTOS, D. M. S. Adubação nitrogenada na soja inibe a nodulação e não melhora o crescimento inicial das plantas. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, Maringá, v. 12, n. 2, p.333-349, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n2p333-349>. Acesso em: 27 fev. 2020.