



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA**

NAIARA DIAS DOS SANTOS

**EFEITOS DA INOCULAÇÃO COM RIZÓBIO NO DESENVOLVIMENTO
VEGETATIVO E REPRODUTIVO DO FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata*) EM
COMPARAÇÃO À ADUBAÇÃO NITROGENADA MINERAL**

PALMAS

2026

NAIARA DIAS DOS SANTOS

**EFEITOS DA INOCULAÇÃO COM RIZÓBIO NO DESENVOLVIMENTO
VEGETATIVO E REPRODUTIVO DO FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata*) EM
COMPARAÇÃO À ADUBAÇÃO NITROGENADA MINERAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso Superior Bacharelado
em Engenharia Agrônômica do Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins - *Campus* Palmas - TO, como
exigência à obtenção do título de Bacharela em
Engenharia Agrônômica.

Orientador: Dr. Edvaldo Vieira Pacheco
Sant'Ana

PALMAS

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

S237e Santos, Naiara Dias Dos
Efeitos da inoculação com rizóbio no desenvolvimento vegetativo e reprodutivo do feijão-caupi (*vigna unguiculata*) em comparação à adubação nitrogenada mineral / Naiara Dias Dos Santos. – Palmas, TO, 2026.
43 fol. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - IFTO, Palmas, TO, 2026.

Orientador: Dr. Edvaldo Vieira Pacheco Sant'ana..

1. *Vigna unguiculata*. 2. Fixação biológica de nitrogênio, Rizóbio. 3. Adubação nitrogenada. I. Sant'ana., Edvaldo Vieira Pacheco. II. Título.

CDD 630

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS - TO
COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA

NAIARA DIAS DOS SANTOS

EFEITOS DA INOCULAÇÃO COM RIZÓBIO NO DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO E REPRODUTIVO DO FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata*) EM COMPARAÇÃO À ADUBAÇÃO NITROGENADA MINERAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Superior Bacharelado em Engenharia Agrônômica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - *Campus* Palmas - TO, como exigência à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Aprovado em: 09 de junho de 2026

BANCA AVALIADORA

Prof. Dr. Edvaldo Vieira Pacheco Sant'Ana
IFTO - Campus Palmas - TO

Prof. Dr. Thomas Vieira Nunes
IFTO - Campus Palmas - TO

Profa. Dra. Vanessa David Domingos Valença
IFTO - Campus Palmas - TO



Documento assinado eletronicamente por **Edvaldo Vieira Pacheco Santana, Coordenador**, em 15/06/2026, às 16:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vanessa David Domingos Valença, Servidor**, em 15/06/2026, às 16:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Thomas Vieira Nunes, Servidor**, em 15/06/2026, às 22:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.iftto.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3208781** e o código CRC **CBC8980A**.



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS

Campus Palmas 310 Sul, Av. LO 5, s/n, esquina com a Avenida NS 10 - Plano Diretor Sul — CEP 77021-090 Palmas/TO - portal.iftto.edu.br — reitoria@iftto.edu.br

Referência: Processo nº 23236.012299/2026-24

SEI nº 3208781

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela vida, pela saúde e pela força concedida em cada etapa desta jornada. Em todos os momentos, principalmente nos mais difíceis, encontrei amparo, coragem e esperança em sua presença. Cada desafio superado e cada passo dado ao longo dessa trajetória foram sustentados por sua graça. A Ti toda honra e gratidão.

Aos meus pais, Iracy Dias e Nivardo Lopes, por todo amor, cuidado e dedicação ao longo da minha vida. Sei que não foi fácil, e que muitos foram os sacrifícios enfrentados para me criar, me apoiar e me dar condições de chegar até aqui. Cada conquista é, antes de tudo, uma forma de honrar o que fizeram por mim.

Aos meus avós, Bertolina Machado e Leão Lopes (*in memoriam*), que foram e sempre serão exemplos de amor, carinho e acolhimento em minha vida. Em cada memória que guardo, encontro o reflexo do quanto vocês foram essenciais para me tornar quem sou. Todos os dias agradeço por esse amor tão puro e verdadeiro, e não me imagino no mundo sem ter tido a presença de vocês ao meu lado.

A minhas irmãs Izamara Dias e Nadia Sthefany, assim como a toda a minha família e amigos, pelos momentos compartilhados ao longo da vida.

A todos meus colegas e amigos Andressa Melo, Amanda Dias, Gleyce Kelly, Josileia Ribeiro, Louriene Barbosa, Luiz Cláudio, Maisa Lizandra, Sadila Sthefany e Siang Soares, pelos momentos vivenciados juntos e por toda parceria ao longo desse percurso.

Ao meu orientador, Dr. Edvaldo Vieira Pacheco, por toda a orientação, dedicação, paciência e disponibilidade. Suas contribuições, sugestões e conhecimentos foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores, pela dedicação, paciência e pelo esforço diário em compartilhar conhecimento. Cada ensinamento foi extremamente importante, e sou grata por todas as aulas ministradas.

À instituição, pelo acolhimento e pelo suporte oferecido, que tornaram possível esta trajetória.

RESUMO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) é uma leguminosa de grande importância socioeconômica nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, com alta exigência de nitrogênio. A inoculação com rizóbio é uma alternativa sustentável à adubação nitrogenada mineral. Este trabalho avaliou o efeito da inoculação com rizóbio em comparação à adubação nitrogenada mineral no desenvolvimento do feijão-caupi. O experimento foi conduzido em Palmas-TO, de fevereiro a abril de 2026, em delineamento de blocos casualizados com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram: T1 – inoculação com rizóbio e adubação nitrogenada (30 kg ha⁻¹ de N); T2 – sem inoculação e sem adubação nitrogenada; T3 – inoculação com rizóbio sem adubação nitrogenada; e T4 – sem inoculação e com adubação nitrogenada (30 kg ha⁻¹ de N). Aos 20 DAS foram avaliados o teor relativo de clorofila e a altura de plantas; aos 35 DAS, altura de plantas, número de nódulos, massa fresca e massa seca total; e aos 55 DAS, número de nódulos, massa seca dos nódulos e massa seca radicular. Os tratamentos inoculados (T1 e T3) tiveram maior número de nódulos aos 35 DAS, sem efeito significativo nas demais variáveis. A adubação com 30 kg ha⁻¹ de N também não gerou incrementos significativos. Resultados descritos na literatura indicam que a resposta da inoculação em feijão-caupi pode variar em função da interação entre estirpes bacterianas e cultivares, além de apontar efeitos positivos da adubação nitrogenada mineral em doses superiores à utilizada neste trabalho. Dessa forma, novos estudos envolvendo diferentes estirpes, cultivares e doses de nitrogênio são necessários para ampliar o entendimento da eficiência simbiótica na cultura do feijão-caupi.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*. Fixação biológica de nitrogênio. Rizóbio. Nodulação. Adubação nitrogenada.

ABSTRACT

Cowpea (*Vigna unguiculata*) is a legume of great socioeconomic importance in the North and Northeast regions of Brazil, with high nitrogen requirements. Rhizobium inoculation is a sustainable alternative to mineral nitrogen fertilization. This study evaluated the effect of rhizobium inoculation compared to mineral nitrogen fertilization on cowpea development. The experiment was conducted in Palmas-TO, from February to April 2026, in a randomized block design with four treatments and five replications. The treatments were: T1 – rhizobium inoculation and nitrogen fertilization (30 kg ha⁻¹ of N); T2 – no inoculation and no nitrogen fertilization; T3 – rhizobium inoculation without nitrogen fertilization; and T4 – no inoculation and with nitrogen fertilization (30 kg ha⁻¹ of N). At 20 DAS, the relative chlorophyll content and plant height were evaluated; At 35 DAS (days after sowing), plant height, number of nodules, fresh weight, and total dry weight were measured; and at 55 DAS, the number of nodules, nodule dry weight, and root dry weight were measured. The inoculated treatments (T1 and T3) had a higher number of nodules at 35 DAS, without a significant effect on the other variables. Fertilization with 30 kg ha⁻¹ of N also did not generate significant increases. Results described in the literature indicate that the response to inoculation in cowpea can vary depending on the interaction between bacterial strains and cultivars, in addition to pointing to positive effects of mineral nitrogen fertilization at doses higher than that used in this work. Therefore, further studies involving different strains, cultivars, and nitrogen doses are necessary to broaden the understanding of symbiotic efficiency in cowpea cultivation.

Keywords: *Vigna unguiculata*. Biological nitrogen fixation. Rhizobium. Nodulation. Nitrogen fertilization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 - Precipitação acumulada mensal durante o período experimental (fevereiro a abril de 2026), registrada na estação meteorológica A009 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), em Palmas–TO.....	21
Figura 1 - Sementes de feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i>) submetidas inoculação.....	22
Figura 2 – Vista geral da área experimental constituída por 20 unidades experimentais utilizadas para a condução do experimento	23
Figura 3 – Aspectos visuais da nodulação radicular do feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i>) em função dos tratamentos avaliados aos 35 dias após a semeadura (DAS).....	25
Figura 4 – Estadio do feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i>) aos 55 dias após a semeadura (DAS).....	25
Figura 5 – Aspecto da nodulação no sistema radicular do feijão-caupi (<i>Vigna unguiculata</i>) do tratamento T2 (sem inoculação e sem adubação nitrogenada mineral), aos 55 dias após a semeadura (DAS).....	26

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Valores médios de altura de planta (AP) e do teor relativo de clorofila (TRC), em função dos tratamentos avaliados aos 20 dias após a semeadura (DAS).....	27
Tabela 2 – Valores médios de altura de planta (AP), número de nódulos (NN), massa fresca total (MFT) e massa seca total (MST) em função dos tratamentos avaliados aos 35 dias após a semeadura (DAS).....	28
Tabela 3 – Valores médios de número de nódulos (NN), massa seca dos nódulos (MSN), e massa seca da raiz (MSRA) em função dos tratamentos avaliados aos 55 dias após a semeadura (DAS).....	32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Características botânicas do feijão-caupi.....	12
2.2 Cultivo do feijão-caupi no Brasil e importância socioeconômica	13
2.3 Dinâmica do nitrogênio no solo e influência na cultura do feijão-caupi	14
2.4 Fertilizantes nitrogenados minerais.....	15
2.5 Fixação biológica de nitrogênio (FBN)	17
2.6 Fatores que interfere na fixação biológica de nitrogênio	19
3. MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1 Caracterização do local.....	21
3.2 Caracterização química do solo utilizado no experimento	21
3.3 Instalação e condução do experimento	22
3.4 Características avaliadas	24
3.5 Análise estatística dos dados.....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
REFERÊNCIAS.....	36

1. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) é uma leguminosa amplamente cultivada nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, devido à sua rusticidade e capacidade de se adaptar a diferentes solos e condições climáticas da região (Bandeira et al., 2017). Desempenha papel fundamental na segurança alimentar e nutricional, contribuindo para a geração de emprego e renda em uma cadeia produtiva que envolve desde agricultores familiares até grandes produtores. No entanto, apesar de sua relevância socioeconômica, seu cultivo ainda carece de avanços tecnológicos (Freire filho et al., 2023).

Na safra 2024/2025, a cultura do feijão-caupi apresentou diferentes desempenhos produtivos entre as safras. Na 1ª safra, a área cultivada no Brasil foi de 392,2 mil hectares, com produtividade média de 356 kg ha⁻¹. Na 2ª safra, ocorreu maior expansão da cultura, com área cultivada de 818,9 mil hectares e produtividade média de 524 kg ha⁻¹. Já na 3ª safra, apesar da menor área cultivada, correspondente a 43,8 mil hectares, a cultura apresentou a maior produtividade média entre as safras, atingindo 721 kg ha⁻¹, evidenciando maior eficiência produtiva (CONAB, 2026).

Produtividades médias menores estão associadas a sistemas de cultivo menos tecnificados, estando relacionadas, entre outros fatores, à limitada disponibilidade de nitrogênio no solo (Xavier et al., 2007). O nitrogênio é o nutriente absorvido em maior quantidade pelo feijoeiro (Soratto et al., 2011). Em níveis adequados, o nitrogênio (N) é fundamental para o crescimento das plantas e para a produtividade da cultura, influenciando diretamente na qualidade dos grãos (Melo, 2024).

Em ambientes tropicais, a eficiência dos fertilizantes nitrogenados tende a ser limitada pelas perdas expressivas por volatilização e lixiviação (Henrique et al., 2020). Nessa condição, o manejo da adubação nitrogenada se apresenta como uma das principais limitações no cultivo do feijoeiro, pois a aplicação de doses excessivas, além de elevar os custos, pode causar riscos ao ambiente, enquanto a utilização em quantidades insuficientes pode limitar o potencial produtivo da cultura (Pelegri et al., 2009).

Segundo Zilli et al. (2011), o feijão-caupi apresenta capacidade de estabelecer simbiose com várias espécies de bactérias do grupo rizóbios, estabelecidas ou nativas dos solos brasileiros, formando nódulos radiculares responsáveis pela fixação biológica de nitrogênio (FBN). Esse processo converte o nitrogênio atmosférico (N₂) em formas assimiláveis pela planta, podendo reduzir ou até eliminar a necessidade de adubação nitrogenada mineral (Franciscon et al., 2014).

A Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) representa uma alternativa sustentável ao uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos, cuja produção demanda grande quantidade de energia não renovável. No cultivo do feijão-caupi, essa tecnologia se destaca, pois quando bem nodulada, a cultura pode atingir elevados níveis de produtividade (Lima, 2024). Nesse sentido, os inoculantes apresentam grande potencial para melhorar a produtividade das culturas por meio de mecanismos eficazes, sustentáveis, de baixo custo e com reduzido impacto ambiental, quando comparados aos fertilizantes químicos (Souza et al., 2023).

No Brasil, a produção de fertilizantes minerais é inferior à demanda interna, tornando o país dependente da importação desses insumos e sujeito a cenários de instabilidade no mercado internacional, o que impacta diretamente os custos de produção agrícola (Brasil, 2023). De acordo com Cardoso et al. (2017), o investimento na tecnologia de inoculação do feijão-caupi apresenta baixo custo, sendo inferior a R\$10,00 por dose para 1 hectare, preço significativamente menor que o da adubação nitrogenada mineral. Isso contribui para a redução dos custos de produção e aumento da margem de lucro do produtor.

Em virtude da elevada exigência de nitrogênio pelo feijão-caupi e do alto custo da adubação nitrogenada mineral, aliados à crescente necessidade de adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis e economicamente viáveis, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da inoculação com estirpe de rizóbio no desempenho agrônômico da cultura, bem como analisar sua resposta à adubação nitrogenada mineral e à aplicação combinada dessas estratégias de manejo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Características botânicas do feijão-caupi

O feijão-caupi é uma cultura originária da África, amplamente cultivada e considerada alimento essencial em diversos países da região ocidental do continente. No Brasil, sua introdução ocorreu provavelmente na segunda metade do século XVI, trazida pelos colonizadores portugueses, com registros iniciais de cultivo no estado da Bahia (Freire Filho et al., 2011).

Botanicamente classificada como *Vigna unguiculata* (L.) Walp., a espécie é conhecida popularmente por diversas denominações, como feijão-de-corda, feijão-macassar, feijão-fradinho, feijão-de-praia, feijão-gurutuba e feijão-trepa-pau (Rocha et al., 2007). É uma dicotiledônea pertencente ao filo Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae e subtribo Phaseolinae, integrando o gênero *Vigna*, subgênero *Vigna*, seção Catiang e subespécie *unguiculata* (Lima et al., 2022).

Em relação ao porte das plantas, as variedades de feijão-caupi são classificadas como: ereto, com ramo principal e ramos secundários curtos, sendo estes últimos formando um ângulo de agudo a reto com o ramo principal; semiereto, com ramo principal e ramos secundários de comprimento curto a médio, sendo estes últimos formando um ângulo reto com o ramo principal; semiprostrado, com ramo principal e ramos secundários de comprimento médio, sendo estes últimos tocando o solo; e prostrado, com ramo principal e ramos secundários longos, sendo estes últimos tocando o solo (Cardoso et al., 2017).

É uma espécie autógama, com reprodução predominantemente por autofecundação devido à ocorrência de cleistogamia, que consiste na abertura da flor após a autopolinização. No entanto, há uma pequena taxa de cruzamento natural, inferior a 1%, realizada principalmente por algumas espécies de insetos (Rocha et al., 2013). Seu ciclo é classificado como superprecoce, com maturação em até 60 dias; precoce, entre 60 e 70 dias; médio-precoce, de 71 a 80 dias; médio-tardio, de 80 a 90 dias; e tardio, acima de 90 dias (Ramos et al., 2020). A cultura apresenta seu ciclo fenológico dividido em duas fases: vegetativa e reprodutiva (Barros, 2021).

A cultura do feijão-caupi necessita de pelo menos 300 mm de chuva bem distribuída ao longo do seu ciclo para garantir produtividade satisfatória, com desenvolvimento ideal em temperaturas entre 18 °C e 34 °C. Temperaturas elevadas influenciam o abortamento de flores e o vingamento e retenção de vagens, enquanto temperaturas mais baixas retardam a floração e

prolongam o ciclo (Andrade Júnior et al., 2017). A baixa incidência de radiação solar nas fases reprodutiva e de maturação pode ocasionar excesso de crescimento vegetativo, formando dossel fechado que limita a entrada de luz nas folhas inferiores e compromete a produção de fotoassimilados (Costa et al., 2020).

De acordo com Maia (2023), o feijão-caupi pode ser cultivado em diferentes tipos de solo, com maior eficiência em solos com teor de matéria orgânica regular, descompactados, leves e profundos, com boa aeração e fertilidade média a alta. O autor ressalta ainda que a cultura pode se desenvolver em solos com baixa fertilidade, desde que sejam realizadas aplicações de fertilizantes químicos e/ou orgânicos.

2.2 Cultivo do feijão-caupi no Brasil e importância socioeconômica

No contexto agrícola brasileiro, o feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) é uma leguminosa de ampla relevância, sendo uma cultura alimentar que faz parte da dieta dos brasileiros desde meados do século XIX. Constitui um alimento proteico e energético que tem papel na segurança alimentar e nutricional de grande parte da população, principalmente nas regiões Norte e Nordeste (Costa et al., 2020). O feijão-caupi é uma alternativa promissora em regiões menos favoráveis ao feijão-comum para a produção de proteína a baixo custo, podendo ser conduzidas até três safras por ano, conforme a regionalização produtiva e os sistemas de cultivo adotados (Oliveira et al., 2024).

O feijão-caupi, antes restrito ao cultivo nas Regiões Norte e Nordeste, praticado principalmente por pequenos e médios produtores familiares com baixo uso de tecnologia, vem passando por uma franca expansão para outras áreas do país (Cardoso et al., 2017). Essa expansão ocorre sobretudo nas regiões de Cerrado do Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste, onde passou a ser cultivado como safrinha por médios e grandes produtores empresariais, utilizando tecnologias semelhantes às da soja, possibilitando a produção em larga escala e o acesso a novos mercados nacionais e internacionais (Vale et al., 2017).

Apesar da expansão do cultivo do feijão-caupi em sistemas tecnificados, grande parte da produção ainda ocorre em práticas tradicionais de agricultores familiares, voltadas à subsistência e à venda do excedente, com baixo emprego de tecnologia e utilização de sementes crioulas próprias, selecionadas e armazenadas a cada safra (Carvalho, 2012). Essas sementes apresentam variabilidade genética e capacidade de adaptação a diferentes condições climáticas. Além disso, garantem autonomia aos agricultores familiares por meio da geração de renda, redução de custos e fortalecimento da segurança alimentar, sendo fundamentais para assegurar

sua permanência no campo com diversificação produtiva (Lima et al., 2022).

Entre os alimentos mais consumidos pela população rural, o feijão-caupi ocupa posição de destaque por seu elevado teor de proteínas e energia, sendo cultivado principalmente para a produção de grãos secos ou verdes, conhecidos como “feijão-verde”, destinados ao consumo humano in natura, em conserva ou desidratados (Maia, 2023).

Seus grãos fornecem todos os aminoácidos essenciais ao ser humano, são ricos em fibras, apresentam baixo teor de gordura, não possuem colesterol e oferecem excelente valor calórico. Além do consumo humano, também pode ser aproveitado como forragem, feno, ensilagem e farinha para alimentação animal, bem como na adubação verde, contribuindo para a proteção e melhoria da qualidade do solo (Gualter, 2010).

2.3 Dinâmica do nitrogênio no solo e influência na cultura do feijão-caupi

O nitrogênio circula entre solo, água, organismos vivos e atmosfera, compondo o ciclo do N, sendo a atmosfera o principal reservatório, com cerca de 78% do elemento na forma de nitrogênio (N_2), que, em decorrência da força de ligação entre os átomos da molécula, representa uma forma inerte para maioria dos seres vivos (Barbosa et al., 2012). No solo, a matéria orgânica é a principal fonte de nitrogênio, liberado gradualmente pela mineralização, enquanto a contribuição atmosférica ocorre pela fixação biológica (simbiótica e não simbiótica), pela formação de nitrato a partir de descargas elétricas, posteriormente incorporado ao solo pela chuva, e pelo uso de fertilizantes de origem industrial (Cardoso, 2011).

Dentre os nutrientes essenciais ao desenvolvimento vegetal, aquele que mais limita o crescimento das plantas e, conseqüentemente, a produtividade agrícola é o nitrogênio. Por ser parte fundamental de moléculas biológicas indispensáveis à vida, sua presença no ambiente em que as plantas se desenvolvem é decisiva para garantir bom desempenho (Batista, 2015). No entanto, o manejo desse nutriente na agricultura é um processo complexo, devido às reações biológicas e químicas que pode sofrer no ambiente, podendo ser perdido por lixiviação ou volatilização, uma vez que sua composição inclui a amônia, um composto de característica volátil (Fernandes, 2022).

No solo, as plantas absorvem principalmente o nitrogênio na forma de nitrato, embora o amônio também possa ser utilizado. Em condições bem drenadas e com presença de oxigênio, bactérias nitrificantes oxidam o amônio (NH_4^+) em nitrito (NO_2^-) e, posteriormente, em nitrato (NO_3^-), forma mais disponível às plantas. Já em ambientes com baixa disponibilidade de oxigênio ocorre a desnitrificação, processo no qual bactérias reduzem o nitrato a gases como

nitrogênio molecular (N_2) e óxido nitroso (N_2O), que são liberados para a atmosfera (Barbosa et al., 2012).

O manejo eficiente do nitrogênio na agricultura exige compreensão do estado nutricional das plantas e da dinâmica do nutriente no solo, considerando as condições climáticas e os estádios fenológicos de maior demanda, a fim de ajustar a aplicação, reduzir perdas e otimizar o uso do nutriente (Panisson, 2025).

O nitrogênio é o nutriente exigido em maior quantidade pelas plantas e essencial na composição de moléculas como aminoácidos, ácidos nucleicos, proteínas e clorofila. Sua deficiência compromete o crescimento vegetal e provoca clorose, especialmente nas folhas mais velhas, próximas à base da planta, onde, em situações mais severas, as folhas ficam completamente amareladas e caem (Carvalho et al., 2012).

Segundo Pereira et al. (2019), no feijoeiro o nitrogênio se destaca como o macro nutriente mais exigido, sendo que cerca de 50% do total absorvido pela planta é direcionado para os grãos. Esse elemento integra a estrutura da clorofila, pigmento verde essencial para a realização da fotossíntese, processo responsável pela conversão de compostos assimilados em grãos e que contribui diretamente para o aumento da produtividade.

Devido à alta exigência de nitrogênio pelas plantas e ao elevado custo na produção agrícola, esse nutriente representa uma limitação para muitos agricultores familiares que não dispõem de recursos para sua aquisição. Como consequência, ocorrem deficiências ao longo do cultivo, resultando em baixa produtividade, o que ressalta a necessidade de aprofundar estudos sobre alternativas sustentáveis e acessíveis a esses produtores (Lima, 2024).

2.4 Fertilizantes nitrogenados minerais

Fertilizantes nitrogenados são produzidos em diferentes formulações, com funções específicas na agricultura. De modo geral, sua produção tem início com a amônia anidra, obtida a partir do nitrogênio do ar e do hidrogênio do gás natural pelo processo de Haber-Bosch, por meio da reação química ($3H_2 + N_2 \rightarrow 2NH_3$), sob condições de altas temperaturas e pressões (Cassim et al., 2024). Desenvolvido na Alemanha antes da Primeira Guerra Mundial, esse processo é considerado fundamental para a produção mundial de alimentos por meio da amônia, matéria-prima utilizada na maioria da fabricação de fertilizantes nitrogenados. Além da aplicação direta da amônia anidra, a amônia também é matéria-prima para a produção de ureia, nitrato de amônio e outros fertilizantes nitrogenados, como MAP e DAP (Reetz, 2016).

A produção de NH_3 requer grandes quantidades de energia e resulta na emissão de gases

de efeito estufa (GEE). Além das emissões associadas à sua produção, a aplicação de fertilizantes nitrogenados no solo também representa uma importante fonte de GEE, especialmente na forma de óxido nitroso (N_2O), gerado a partir de processos microbiológicos como a nitrificação e a desnitrificação, ampliando os impactos ambientais ao longo de toda a cadeia de uso do nitrogênio (Cantarella, 2023).

Cerca de 80% dos fertilizantes utilizados no Brasil são importados, evidenciando a elevada dependência externa do país em relação a esses insumos agrícolas. Esse cenário representa um desafio para o setor produtivo, uma vez que crises no mercado internacional, oscilações cambiais e instabilidades geopolíticas podem comprometer a disponibilidade e elevar os custos dos fertilizantes. Além disso, esses custos são agravados por limitações logísticas, impactando diretamente os empreendimentos que dependem desses insumos, sobretudo os pequenos e médios produtores (BRASIL, 2020; BRASIL, 2023).

Nos principais fertilizantes, o nitrogênio pode estar presente nas formas amoniacal, nítrica ou amídica. A ureia, que contém N na forma amídica (NH_2), é o fertilizante sólido mais utilizado no Brasil, pelo elevado teor de nitrogênio e pelo menor custo por unidade do nutriente (Carvalho et al., 2021). Após a aplicação ao solo, a ureia [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] é hidrolisada pela enzima urease, resultando na formação de carbonato de amônio [$(\text{NH}_2)_2\text{CO} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$], que se decompõe rapidamente, originando amônio, bicarbonato e hidroxila [$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- + \text{HCO}_3^-$], o que implica na elevação do pH ao redor dos grânulos do fertilizante. Dessa forma, parte do amônio se converte em NH_3 , que pode se perder na atmosfera caso a ureia não seja incorporada ao solo (Tasca et al., 2011).

O sulfato de amônio e o nitrato de amônio também são duas fontes de nitrogênio bastante utilizadas na agricultura brasileira, cada uma com características próprias. O sulfato de amônio apresenta como vantagens a baixa higroscopicidade, boas propriedades físicas, estabilidade química e fornecimento de enxofre, contendo aproximadamente 24% desse nutriente. Entretanto, como desvantagem, pode promover a acidificação do solo e, por apresentar apenas 21% de nitrogênio, pode elevar os custos de aplicação e transporte quando comparado à ureia (Silva, 2020).

O nitrato de amônio possui aproximadamente 33% de nitrogênio e é considerado uma fonte eficiente para o desenvolvimento das plantas. Apesar disso, em solos arenosos ou em condições que favorecem a lixiviação, sua utilização pode resultar em perdas de nutrientes (Silveira, 2024). Quando o nitrato (NO_3^-) não é absorvido pelas plantas ou imobilizado pela microbiota do solo, pode ser facilmente lixiviado, pois apresenta carga negativa e não é adsorvido pelos colóides do solo, que apresentam predominantemente cargas negativas

(Mendes et al., 2015).

Para aumentar a produtividade, é recomendada a adoção de práticas tecnológicas mais avançadas, incluindo o uso de adubação nitrogenada. No entanto, apesar de contribuir para maiores rendimentos, os fertilizantes nitrogenados elevam significativamente os custos de produção, o que limita sua viabilidade, especialmente para produtores que cultivam em sistemas de subsistência (Guimarães et al., 2019). Além disso, o uso da adubação nitrogenada vem sendo cada vez mais questionado em detrimento de suas altas perdas no solo por lixiviação, volatilização e imobilização, bem como pela introdução de novas tecnologias mais eficientes e menos agressivas ao meio ambiente (Silva et al., 2019).

No Brasil, já existem experiências em grandes áreas de produção que demonstram como o uso de técnicas sustentáveis e boas práticas agrícolas contribuem para a redução dos custos de produção. Isso ocorre principalmente pela diminuição do uso de insumos químicos, sem comprometer a produtividade, além de favorecer melhorias nas condições biológicas e minerais do solo. Um exemplo relevante é a aplicação da fixação biológica de nitrogênio (FBN) na cultura da soja (Souza et al., 2023).

2.5 Fixação biológica de nitrogênio (FBN)

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é um processo no qual bactérias, especialmente do grupo dos rizóbios, disponibilizam nitrogênio para o desenvolvimento das plantas, sendo amplamente observado em leguminosas, tais como soja e feijão (Bertolo et al., 2021). Esses microrganismos possuem a enzima nitrogenase, responsável por converter o nitrogênio atmosférico (N_2) em amônia, forma assimilável pelos vegetais. Esse processo constitui a principal via natural de incorporação do nitrogênio da atmosfera ao solo, respondendo pela maior parte do nitrogênio fixado naturalmente no planeta ao longo do ano (Oliveira, 2020).

Uma etapa fundamental da fixação biológica de nitrogênio (FBN) é a formação de nódulos. Em situações de baixa disponibilidade de nitrogênio, as leguminosas liberam flavonoides no solo, o que estimula os rizóbios a produzirem lipo-quito-oligossacarídeos (LCOs). Esses compostos, conhecidos como fatores Nod, funcionam como sinais químicos percebidos pela planta, ativando processos internos que levam à infecção e ao início da formação dos nódulos (Vieira, 2017).

Nesse processo, os rizóbios penetram na raiz por meio do cordão de infecção, uma estrutura tubular formada pela planta hospedeira que conduz as bactérias desde o pelo radicular até o nódulo em desenvolvimento. No interior dos nódulos, essas bactérias se diferenciam em

bacteroides, estruturas especializadas que proporcionam condições adequadas para a atuação da enzima nitrogenase (Silva, 2025).

A simbiose entre rizóbio e leguminosas é considerada complexa devido à variabilidade entre as estirpes e à influência de fatores ambientais. Outro fator que determina essa complexidade é a população nativa do solo, que pode ocorrer em baixas ou altas concentrações, com baixa eficiência e alta capacidade de formar nódulos, o que representa um fator limitante à nodulação com estirpes mais eficientes inoculadas (Nascimento et al., 2010).

No Brasil, quatro estirpes de *Bradyrhizobium* são recomendadas para a produção de inoculantes voltados ao cultivo do feijão-caupi: UFLA3-84, BR 3267, INPA3-11B e BR 3262. Contudo, o feijão-caupi é uma cultura bastante promíscua, sendo capaz de nodular com diversas espécies de bactérias do grupo rizóbio. Dentre os principais gêneros, podem ser citados *Azorhizobium*, *Burkholderia*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Rhizobium* e *Sinorhizobium*, entre outros (Jesus et al., 2023).

A eficiência das estirpes fixadoras de nitrogênio que estabelecem simbiose com o feijoeiro, bem como sua capacidade de sobreviver e formar nódulos, depende de características genéticas inerentes aos simbiossiontes e de sua interação com fatores edafoclimáticos (Ferreira, 2008). Com destaque para efetividade e a competitividade das estirpes, a qualidade e a quantidade do inóculo, as técnicas de inoculação, a semeadura e os atributos químicos e físicos do solo, que exercem influência sobre a sobrevivência e a multiplicação do rizóbio, a rapidez da nodulação e a adequada fisiologia da planta (Melo, 2009).

Diversos benefícios estão associados a esse processo, incluindo o aumento da produção vegetal e a contribuição para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Na cultura do feijão-caupi, os benefícios associados à FBN abrangem não apenas o suprimento de nitrogênio necessário ao desenvolvimento das plantas, mas também o fornecimento de proteínas de alto valor nutricional para a alimentação humana, por meio dos grãos (Zilli et al., 2008).

Além disso, os resíduos culturais contribuem com quantidades expressivas de nitrogênio ao solo, favorecendo o incremento da matéria orgânica e da fertilidade. Outro aspecto relevante é a redução da dependência de fertilizantes nitrogenados industrializados, o que contribui para a diminuição dos custos de produção e torna o sistema agrícola mais viável economicamente (Soares, 2007).

2.6 Fatores que interfere na fixação biológica de nitrogênio

Fatores abióticos e bióticos podem atuar sobre a bactéria e sobre o hospedeiro, afetando a simbiose, e seus efeitos podem variar conforme as espécies simbiontes envolvidas. Os metabolismos do simbiote e do hospedeiro são complementares, e cada um estimula o outro a produzir substâncias específicas (Della Colleta, 2010). Para ocorrer a nodulação, a planta precisa ser suscetível e compatível com o tipo de rizóbio, que, por sua vez, deve ser capaz de se multiplicar e sobreviver na raiz. Quando a liberação de exsudatos pela planta não é adequada, a simbiose pode não ocorrer e, dessa forma, comprometer a fixação biológica de nitrogênio (Santos, 2020).

Além dos fatores relacionados à comunicação entre os dois parceiros da simbiose, a fixação eficiente é influenciada por diversos fatores, tais como temperatura, umidade e características físicas e químicas do solo, que impactam tanto a planta quanto a bactéria (Delbon, 2023). Temperaturas elevadas do solo constituem um dos principais fatores limitantes à fixação biológica de nitrogênio em regiões tropicais, afetando a simbiose entre o rizóbio e a planta hospedeira. De modo geral, os limites de temperatura para esse processo em leguminosas tropicais situam-se entre 27 e 40 °C, sendo a faixa ideal para a nodulação entre 25 e 32 °C, podendo variar conforme a espécie cultivada (Alcântara, 2011).

O pH do solo constitui um importante fator limitante para a sobrevivência e o estabelecimento do rizóbio, uma vez que a presença de alumínio reduz a atividade das células bacterianas, principalmente durante as fases de divisão celular, favorecendo sua degradação e diminuindo a população de rizóbios, sendo esse efeito variável entre espécies de leguminosas e diferentes estirpes (Melo, 2009). Estirpes obtidas em solos ácidos geralmente apresentam maior tolerância ao PH ácido quando comparadas aquelas isoladas de solos alcalinos, evidenciando uma correlação entre a origem dos isolados e sua tolerância à acidez (Pinheiro et al., 2014).

A disponibilidade de nutrientes influencia a fixação biológica de nitrogênio, com o nitrogênio exercendo maior efeito sobre esse processo, pois seu excesso reduz a FBN devido à inibição da nodulação. O fósforo e o cálcio são nutrientes essenciais para a planta e a bactéria, e sua baixa disponibilidade pode comprometer a formação de nódulos e a atividade da FBN (Cardoso et al., 2017).

O fósforo desempenha papel importante no fornecimento de energia na forma de adenosina trifosfato (ATP) e favorece o aumento do número de pelos radiculares, ampliando os locais de infecção para as bactérias fixadoras de nitrogênio (Silva, 2017). O molibdênio participa diretamente da nitrogenase, portanto, é indispensável para a FBN. O cobalto é

importante para o crescimento da bactéria, para a formação do nódulo e para a síntese de proteínas, além de atuar na proteção da nitrogenase contra o oxigênio no interior dos nódulos (Cardoso et al., 2017).

Outro fator relevante relacionado à FBN é a duração da atividade nodular, que influencia a fixação biológica de nitrogênio (FBN) e a produtividade do feijoeiro, uma vez que a senescência precoce dos nódulos reduz sua eficiência. A depender da cultivar esse processo inicia entre 35 e 40 dias após o plantio, atingindo senescência total entre 65 e 70 dias, no período de florescimento e enchimento dos grãos (Coelho et al., 2021).

De acordo com Xavier et al. (2007), em espécies de crescimento determinado, como a soja, a nodulação se intensifica até o florescimento, podendo ser reduzida durante a formação das vagens, fase em que se inicia a senescência dos nódulos. Por outro lado, em espécies de crescimento indeterminado, como o feijão-caupi, a nodulação pode se prolongar após o início da formação das vagens, mantendo a atividade nodular por mais tempo.

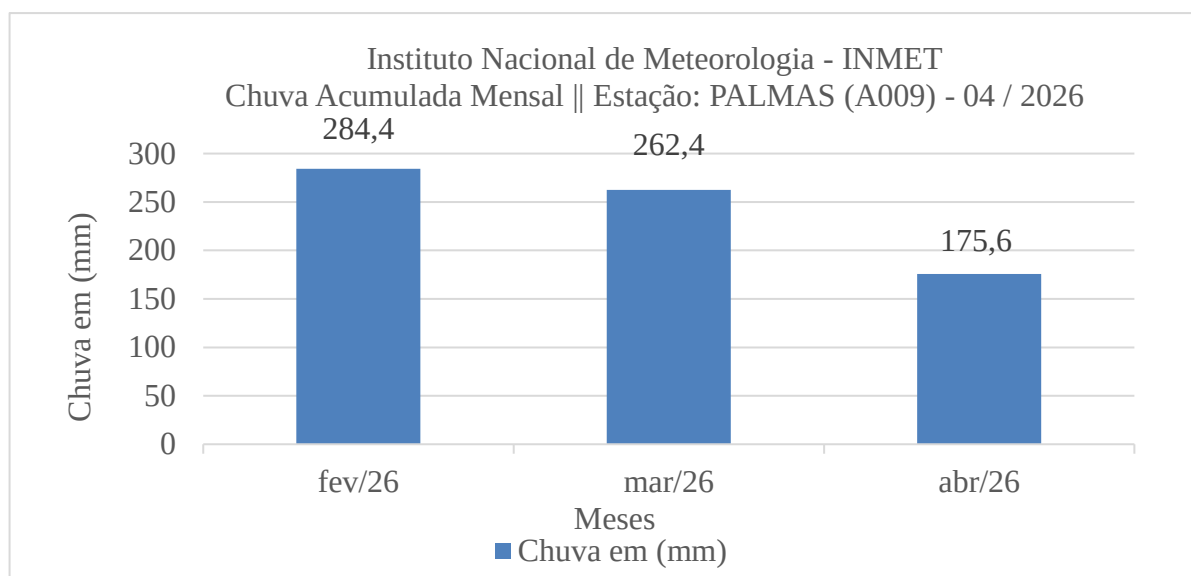
Berrabah et al. (2024) relatam que a senescência nodular ocorre naturalmente em decorrência do envelhecimento e da redução progressiva da atividade dos nódulos, caracterizando a senescência do desenvolvimento. Contudo, esse processo também pode ser antecipado por fatores ambientais e fisiológicos, como condições de estresse ou disponibilidade de nitrogênio no solo, caracterizando a senescência induzida.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização do local

O estudo foi conduzido em área experimental externa ao IFTO, Campus Palmas, localizada na região norte do município de Palmas Tocantins, durante o período de fevereiro e abril de 2026, totalizando 55 dias de condução experimental. O clima do Tocantins é tropical do tipo Aw, segundo as classificações de Köppen, caracterizado por verão chuvoso e inverno seco. Apresenta forte sazonalidade, com chuvas concentradas entre novembro e abril, enquanto o período de estiagem ocorre de maio a outubro (Collicchio; Rocha, 2019).

Gráfico 1. Precipitação acumulada mensal durante o período experimental (fevereiro a abril de 2026), registrada na estação meteorológica A009 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), em Palmas–TO.



Fonte: INMET, 2026

3.2 Caracterização química do solo utilizado no experimento

O solo utilizado no experimento foi coletado em área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO), Campus Palmas. Previamente à coleta, foi realizada a caracterização química do solo por meio de análise laboratorial, utilizando amostras compostas obtidas na mesma área, na profundidade de 0–20 cm.

O solo foi classificado como franco-argilo-arenoso, apresentando pH (CaCl_2) de 4,53; matéria orgânica de $17,40 \text{ g dm}^{-3}$; P (Mehlich) de $0,65 \text{ mg dm}^{-3}$; K de $0,02 \text{ cmolc dm}^{-3}$; Ca de $1,16 \text{ cmolc dm}^{-3}$; Mg de $0,34 \text{ cmolc dm}^{-3}$; CTC de $5,12 \text{ cmolc dm}^{-3}$ e saturação por bases de

29,69%.

A calagem para correção do solo foi realizada no dia 11 de novembro de 2025, com uso de calcário dolomítico com Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) de 92,2%, elevando a saturação por bases a 60%, nível recomendado para a cultura do feijão-caupi (Melo et al., 2018).

3.3 Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido em condições de campo aberto, sob as condições edafoclimáticas da região, com o objetivo de simular o sistema de cultivo em sequeiro, característico da produção agrícola regional. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC), composto por quatro tratamentos e cinco repetições, totalizando 20 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi constituída por vasos com capacidade volumétrica de 8 L, preenchidos com solo representativo das condições locais.

A propagação da cultura foi realizada por meio de sementes de cultivar crioula de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), sendo a semeadura efetuada em 24 de fevereiro de 2026, com distribuição de cinco sementes por vaso. Nos tratamentos com inoculação, as sementes foram previamente inoculadas com inoculante contendo estirpe de *Bradyrhizobium*, na proporção de 100 mL para cada 20 kg de sementes, aproximadamente 20 minutos antes da semeadura, conforme recomendações técnicas do fabricante.

Figura1. Sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) submetidas a inoculação.



Fonte: Autora, 2026

Em todas as unidades experimentais foi realizada adubação de base com fósforo e potássio, na dose de 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 utilizando superfosfato triplo como fonte de fósforo e 65 kg ha^{-1} de K_2O , utilizando cloreto de potássio como fonte de potássio. A adubação nitrogenada em cobertura foi realizada aos 20 dias após a semeadura, por meio da aplicação de ureia na dose de 30 kg ha^{-1} de N. As adubações foram realizadas conforme as recomendações de Melo et al. (2018) para a cultura do feijão-caupi, considerando as exigências da cultura e a necessidade do solo, determinadas por meio de análise química laboratorial.

Figura 2. Vista geral da área experimental constituída por 20 unidades experimentais utilizadas para a condução do experimento.



Fonte: Autora, 2026

Os tratamentos avaliados foram:

T1 – sementes com inoculação, associadas à adubação nitrogenada mineral em cobertura;

T2 – sementes não inoculadas, sem adubação nitrogenada mineral em cobertura;

T3 – sementes inoculadas, sem adubação nitrogenada mineral em cobertura;

T4 – sementes sem inoculação, associadas à adubação nitrogenada mineral em cobertura.

3.4 Características avaliadas

Durante o desenvolvimento da cultura, foram realizadas coletas nas unidades experimentais para avaliar o efeito da inoculação com rizóbio e da adubação nitrogenada mineral no desenvolvimento do feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), sobre os seguintes parâmetros:

- Altura de planta (AP)
- Teor relativo de clorofila (SPAD)
- Número de nódulos (NN)
- Massa fresca total (MFT)
- Massa seca total (MST)
- Massa seca radicular (MSR)
- Massa seca dos nódulos (MSN)

Aos 20 dias após a semeadura (DAS), foram avaliadas as variáveis altura de planta (AP) e teor relativo de clorofila (SPAD), com o objetivo de analisar o desenvolvimento inicial das plantas. A altura de planta correspondeu à média de três plantas por unidade experimental, com medição da base até o ápice da haste principal, utilizando régua graduada. O teor relativo de clorofila foi determinado com medidor portátil de clorofila (clorofilômetro), também a partir da média de três plantas por unidade experimental.

Aos 35 dias após a semeadura (DAS), foi realizada a coleta de uma planta por unidade experimental para avaliação das variáveis altura de planta (AP), número de nódulos (NN), massa fresca total (MFT) e massa seca total (MST). Inicialmente, houve a mensuração da altura com régua graduada. Em seguida, as raízes passaram por lavagem cuidadosa para a contagem do número de nódulos.

Posteriormente, o material vegetal seguiu para o laboratório de fitotecnia do IFTO - Campus Palmas, onde ocorreu a determinação da massa fresca total por meio de pesagem em balança de precisão. Na sequência, as amostras foram acondicionadas individualmente em sacos de papel devidamente identificados e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar, a 65 °C, por 48 horas. Após esse período, ocorreu nova pesagem para obtenção da massa seca total.

Figura 3. Aspectos visuais da nodulação radicular do feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) em função dos tratamentos avaliados aos 35 dias após a semeadura (DAS): T1 – sementes com inoculação, associadas à adubação nitrogenada mineral em cobertura; T2 – sementes não inoculadas, sem adubação nitrogenada mineral em cobertura; T3 – sementes inoculadas, sem adubação nitrogenada mineral em cobertura; T4 – sementes sem inoculação, associadas à adubação mineral nitrogenada.



Fonte: Autora, 2026

Aos 55 dias após a semeadura (DAS), nos estádios de florescimento e início de formação de vagens, ocorreu nova coleta de plantas, sendo uma planta por unidade experimental, para determinação do número de nódulos (NN), massa seca de nódulos (MSN) e massa seca de raiz (MSR). As raízes foram lavadas em água corrente para remoção do solo e, em seguida, ocorreu a contagem dos nódulos. Posteriormente o material foi encaminhado ao Laboratório de Fitotecnia do IFTO, campus Palmas, onde os nódulos e as raízes foram acondicionados separadamente em sacos de papel devidamente identificados e submetidos à secagem em estufa a 65°C por 48 horas. Após a secagem, os materiais foram pesados em balança de precisão para obtenção da massa seca.

Figura 4. Estádio do feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) aos 55 dias após a semeadura (DAS).



Fonte: Autora, 2026

Figura 5. Aspecto da nodulação no sistema radicular do feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) do tratamento T2 (sem inoculação e sem adubação nitrogenada mineral), aos 55 dias após a semeadura (DAS).



Fonte: Autora, 2026

3.5 Análise estatística dos dados

Os dados referentes à altura de planta, teor de clorofila, número de nódulos, massa fresca total, massa seca total, massa seca de nódulos e massa seca de raiz foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Quando observada significância estatística, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, com o objetivo de identificar diferenças estatísticas entre os tratamentos. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio da planilha eletrônica disponibilizada pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar, 2026).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na avaliação realizada aos 20 dias após a semeadura (DAS), a variável altura de planta (AP) não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, com valor de F calculado de 0,09 ($p > 0,05$), média geral de 22,13 cm e coeficiente de variação de 10,41%. Para o teor relativo de clorofila (SPAD), o valor de F calculado foi de 0,43 ($p > 0,05$), média de 29,69 e coeficiente de variação de 9,02%, também não sendo observada diferença estatística entre os tratamentos (tabela1).

Esse resultado pode estar relacionado ao fato de os nódulos ainda se encontrarem em formação, com baixa atividade da nitrogenase, limitando a fixação biológica de nitrogênio nesse estágio inicial.

Tabela 1. Valores médios de altura de planta (AP) e do teor relativo de clorofila (TRC), em função dos tratamentos avaliados aos 20 dias após a semeadura (DAS). Nível de significância, ns: não significativo. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de tukey ($p < 0,05$).

Tratamentos	AP (cm)	TRC (SPAD)
T1- Inoculação + Adubação Nitrogenada Mineral	22,32 a	29,34 a
T2- Sem Inoculação	21,68 a	30,86 a
T3- Com Inoculação	22,36 a	29,32 a
T4- Adubação Nitrogenada Mineral	22,14 a	29,25 a
F	0,09 ns	0,43 ns
Média geral	22,13	29,69
CV (%)	10,41	9,02

Fonte: Autora, 2026

Segundo Silva et al. (2006), os tratamentos inoculados podem exigir maior gasto energético da planta em função da formação dos nódulos e do processo de fixação biológica de N_2 , que pode refletir uma redução no crescimento da planta.

Da mesma forma, Jesus et al. (2023) relatam que, durante a colonização e o desenvolvimento dos nódulos, ocorre elevado gasto energético decorrente das sucessivas divisões celulares, utilizando energia proveniente da oxidação dos carboidratos produzidos na parte aérea da planta hospedeira. Esse gasto energético pode reduzir o direcionamento de fotoassimilados para o crescimento da parte aérea.

De acordo com Brito et al. (2011), o feijão-caupi depende do nitrogênio proveniente das reservas da semente e do solo até aproximadamente 20 dias após a emergência, sendo que a contribuição mais efetiva da fixação biológica de nitrogênio (FBN) ocorre a partir dos 25 DAE, e se estende até o período de floração.

Queiroz (2014), ressalta que o teor relativo de clorofila constitui importante indicador do estado nutricional nitrogenado da planta, uma vez que existe elevada correlação positiva entre os teores de N e de clorofila, visto que aproximadamente 50% do nitrogênio foliar integra enzimas associadas ao cloroplasto e ao processo fotossintético. Dessa forma, como nessa fase inicial a FBN ainda não supre integralmente a demanda de nitrogênio da cultura, e considerando que esse nutriente participa diretamente da síntese e composição de moléculas relacionadas à clorofila, o menor suprimento de N pode justificar os baixos valores de teor relativo de clorofila.

Vale destacar que os dados avaliados foram obtidos antes da aplicação de nitrogênio mineral em cobertura, não havendo influência da mesma sobre os resultados observados (tabela 1).

Na avaliação realizada aos 35 dias após a semeadura (DAS), a variável altura de planta (AP) não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, com F calculado de 0,48 ($p > 0,05$), média geral de 32,11 cm e coeficiente de variação de 8,22% (tabela 2), indicando que, nesse período, as diferentes fontes de nitrogênio avaliadas não influenciaram o crescimento em altura das plantas.

Tabela 2. Valores médios da altura de planta (AP), número de nódulos (NN), massa fresca total (MFT) e massa seca total (MST) em função dos tratamentos avaliados aos 35 dias após a semeadura (DAS). Nível de significância:**:1% e ns: não significativo. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de tukey ($p < 0,05$).

Tratamentos	AP (cm)	NN	MFT (g)	MST (g)
T1- Inoculação + Adubação Nitrogenada Mineral	33,12 a	14,00 a	7,80 a	0,87 a
T2- Sem Inoculação	31,23 a	5,40 b	7,14 a	0,79 a
T3- Com Inoculação	32,36 a	12,20 a	7,34 a	0,83 a
T4- Adubação Nitrogenada Mineral	31,74 a	5,60 b	7,52 a	0,85 a
F	0,48 ns	14,40**	0,68 ns	0,57 ns
Média geral	32,11	9,30	7,45	0,83
CV (%)	8,22	28,19	10,20	12,42

Fonte: Autora, 2026

A ausência de resposta significativa à inoculação e à adubação nitrogenada está de acordo com os resultados obtidos por Batista (2015), que também não verificou diferenças significativas, independentemente da utilização de inoculação com rizóbio de forma isolada ou combinada, da ausência de inoculação ou da aplicação de adubação nitrogenada mineral na dose de 70 kg ha⁻¹ de N, sobre a altura de plantas de feijão-caupi cultivado em solo de Cerrado.

Para a variável número de nódulos (NN), houve diferença significativa entre os tratamentos, com F calculado de 14,40 ($p < 0,01$) e coeficiente de variação 28,19 % (tabela 2). Os tratamentos T1 (inoculação + adubação nitrogenada mineral) e T3 (inoculação) apresentaram as maiores médias, com 14,00 e 12,20 nódulos por planta, diferindo estatisticamente de T2 (sem inoculação; 5,40) e T4 (adubação nitrogenada mineral; 5,60), os quais não diferiram entre si. Resultados semelhantes foram observados por Gualter et al. (2011), que, ao avaliarem estirpes de *Bradyrhizobium* em feijão-caupi, verificaram a formação de nódulos nos tratamentos sem inoculação, provenientes de bactérias nativas no solo. No entanto, o número de nódulos foi menor em comparação aos tratamentos inoculados.

O fato de T1 ter apresentado nodulação semelhante a T3 indica que a aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N em cobertura não foi suficiente para inibir o processo de nodulação. Esses resultados estão de acordo com Xavier et al. (2008), que ao avaliarem doses de nitrogênio (0, 20, 40, 80 e 160 kg ha⁻¹ de N) associadas a tratamentos com inoculação na cultura do feijão-caupi, evidenciaram que a aplicação de 20 kg ha⁻¹ de N favoreceu a nodulação, sendo a redução no número de nódulos observada apenas com doses superiores a 80 kg ha⁻¹ de N, demonstrando que doses moderadas de nitrogênio mineral não comprometem o processo simbiótico entre a planta e os rizóbios.

Embora os tratamentos inoculados tenham apresentado maior formação de nódulos, a análise de variância não revelou efeito significativo dos tratamentos sobre a massa fresca total, com F calculado de 0,68 ($p > 0,05$), cujas médias variaram de 7,14 g planta⁻¹ em T2 (sem inoculação) a 7,80 g planta⁻¹ em T1 (inoculação + adubação nitrogenada mineral), com média geral de 7,45 g planta⁻¹ e coeficiente de variação de 10,20% (tabela 2).

Para a massa seca total, o F calculado foi de 0,57 ($p > 0,05$), com médias variando de 0,79 g planta⁻¹ em T2 (sem inoculação) a 0,87 g planta⁻¹ em T1 (inoculação + adubação nitrogenada mineral), média geral de 0,83 g planta⁻¹ e coeficiente de variação de 12,42% (tabela 2), indicando ausência de efeito significativo dos tratamentos sobre o acúmulo de biomassa da cultura no período avaliado.

Resultados semelhantes foram observados por Bandeira et al. (2017), que, ao avaliarem diferentes estirpes de *Bradyrhizobium* em feijão-caupi, também não verificaram diferenças

estatísticas para massa seca da parte aérea e massa seca radicular entre os tratamentos inoculados, mesmo havendo diferença no número de nódulos.

Os autores observaram ainda que, embora não tenham sido verificadas diferenças significativas entre os tratamentos, a estirpe BR 3262 apresentou desempenho superior em relação às demais estirpes, bem como aos tratamentos controle sem inoculação e com adubação mineral nitrogenada, evidenciando que a eficiência da inoculação está diretamente relacionada à interação entre a estirpe bacteriana e a planta hospedeira.

Segundo Alcântara et al. (2014), a fixação biológica de nitrogênio é influenciada por características genótípicas da leguminosa e do rizóbio, uma vez que é um processo modulado por intensa troca de sinais moleculares, os quais se refletem nas diferentes respostas em relação ao hospedeiro, à especificidade e à eficiência simbiótica.

De acordo com Matoso et al. (2014), o número total de nódulos é frequentemente utilizado como variável indicadora de nodulação; entretanto, seu aumento nem sempre resulta em incrementos na massa da planta e no nitrogênio acumulado na parte aérea. Leghari et al. (2016) ressaltam que o nitrogênio atua no acúmulo de biomassa, estimula o crescimento e desenvolvimento das folhas, caules e outras estruturas vegetativas da planta, além de favorecer o crescimento das raízes.

Dessa forma, avaliar exclusivamente a nodulação pode levar à interpretação equivocada de que a simbiose foi eficiente, mesmo quando não há reflexos positivos no crescimento vegetal e no acúmulo de biomassa, tornando necessária a análise conjunta de variáveis relacionadas ao desenvolvimento da planta.

Segundo Silva Júnior (2015), a FBN depende diretamente da produção de fotoassimilados, sendo a taxa de fixação proporcional à atividade fotossintética da planta. O autor destaca ainda que a máxima taxa de FBN em feijão-caupi ocorre próxima ao estágio de floração (R2), fase em que a cultura apresenta maior atividade fotossintética. Com base nisso, o estágio de desenvolvimento em que as plantas foram avaliadas pode ter influenciado os resultados obtidos, uma vez que a cultura ainda não havia atingido o período de maior taxa fotossintética e, conseqüentemente, de maior atividade da fixação biológica de nitrogênio.

Outro fator que deve ser levado em consideração são as condições climáticas durante a condução do experimento, uma vez que os meses avaliados foram caracterizados pela ocorrência de nebulosidade em decorrência das chuvas. Dias (2007) destaca que as nuvens podem influenciar significativamente o fluxo de fótons, sendo que, em condições de céu totalmente nublado, a luminosidade pode ser reduzida em mais de 90%.

Essa redução na disponibilidade luminosa pode comprometer a atividade fotossintética

das plantas, visto que o sombreamento diminui a interceptação de radiação e, consequentemente, reduz a produção de fotoassimilados (Coelho et al., 2014).

Nesse sentido, Alcântara (2008) enfatiza que a menor disponibilidade de fotossintatos reduz a atividade dos nódulos, enquanto o aumento da fotossíntese favorece tanto a fixação biológica de nitrogênio quanto a longevidade nodular. Dessa forma, considerando que a eficiência da fixação biológica de nitrogênio (FBN) está diretamente relacionada ao fornecimento de fotoassimilados aos nódulos, a nebulosidade observada durante o período experimental pode ter reduzido a atividade fotossintética das plantas e, consequentemente, comprometido a simbiose entre a planta e o rizóbio.

A ausência de diferença significativa entre os tratamentos que receberam adubação nitrogenada mineral e os demais tratamentos evidencia que, na dose utilizada (30 kg ha^{-1} de N), o fornecimento de nitrogênio não foi suficiente para promover incrementos expressivos no desenvolvimento do feijão-caupi. Dourado et al. (2015), ao avaliarem a aplicação de 60 kg ha^{-1} de N em cobertura na cultura do feijão-caupi, não observaram efeito significativo da adubação nitrogenada sobre a altura de plantas e massa seca da parte aérea.

A influência da dose de nitrogênio sobre o crescimento vegetativo da cultura de feijão-caupi foi demonstrada por Benett et al. (2013) que observaram incrementos significativos na altura de plantas apenas com aplicação de doses mais elevadas de nitrogênio, com ponto máximo estimado em $72,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, evidenciando que doses reduzidas de nitrogênio mineral podem ser insuficientes para promover alterações significativas no desenvolvimento vegetativo da cultura. Em concordância com esses achados, Santana et al. (2020) destacam que o feijão necessita absorver quantidades superiores a 100 kg ha^{-1} de N para expressar plenamente seu potencial de desenvolvimento.

Na avaliação realizada aos 55 (DAS), correspondente aos estádios de florescimento e início de formação de vagens, as variáveis número de nódulos (NN), massa seca dos nódulos (MSN) e massa seca da raiz (MSR) não apresentaram diferença estatística significativa entre os tratamentos pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para o número de nódulos (NN), o valor de F calculado foi de 0,15 ($p > 0,05$), com média geral de 30,15 nódulos por planta e coeficiente de variação de 18,15% (tabela 3). As médias variaram de 28,80 nódulos (T3 – com inoculação) a 31,00 nódulos (T1 – inoculação + adubação nitrogenada mineral), sem diferença estatística entre si.

Tabela 3. Valores médios de número de nódulos (NN), massa seca dos nódulos (MSN), e massa seca da raiz (MSRA) em função dos tratamentos avaliados aos 55 dias após a semeadura (DAS). Nível de significância, ns: não significativo. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de tukey ($p < 0,05$).

Tratamentos	NN	MSN (g)	MSRA (g)
T1- Inoculação + Adubação Nitrogenada Mineral	31,00 a	0,11 a	0,27 a
T2- Sem Inoculação	30,20 a	0,04 a	0,17 a
T3- Com Inoculação	28,80 a	0,11 a	0,28 a
T4- Adubação Nitrogenada Mineral	30,60 a	0,04 a	0,19 a
F	0,15 ns	2,44 ns	3,01 ns
Média geral	30,15	0,07	0,23
CV (%)	18,15	78,70	31,96

Fonte: Autora, 2026

Aos 35 DAS, os tratamentos não inoculados T2 (sem inoculação) e T4 (adubação nitrogenada mineral) apresentaram valores estatisticamente inferiores de número de nódulos em relação aos tratamentos inoculados. Entretanto, aos 55 DAS T2 e T4 apresentaram médias de 30,20 e 30,60 nódulos por planta, equiparando numericamente aos tratamentos inoculados.

Esse incremento expressivo evidencia a atuação progressiva de rizóbios nativos presentes no solo, os quais, apesar de eficientes na formação de nódulos, apresentaram cinética de nodulação mais lenta em comparação à estirpe inoculada. Tal comportamento pode ser explicado pela maior concentração de rizóbios nas sementes inoculadas, o que favorece o contato precoce com as raízes emergentes e a colonização inicial da raiz. Silva Júnior (2015), ao avaliar a eficiência simbiótica de diferentes estirpes de rizóbio em feijão-caupi cultivado em solos da região Centro-Oeste do Brasil, também observou que tratamentos não inoculados apresentaram nodulação tardia.

Em estudo realizado por Xavier et al. (2007), ao avaliarem a ontogenia dos nódulos em feijão-caupi, os autores verificaram que a nodulação ocorreu de forma gradativa ao longo ciclo da cultura, com aumento progressivo no número de nódulos. Os maiores valores ocorreram a partir dos 30 dias após a emergência, período correspondente ao florescimento, e permaneceram elevados até aproximadamente os 50 dias, fase de formação das vagens, indicando manutenção da atividade nodular durante os estádios reprodutivos da cultura.

Embora sem significância estatística, a análise dos valores médios demonstra valores superiores de massa seca de nódulos nos tratamentos inoculados T1 (inoculação + adubação nitrogenada mineral) e T3 (somente inoculação), com 0,11 g planta⁻¹ cada em comparação aos tratamentos não inoculados T2 e T4, que apresentaram apenas 0,04 g planta⁻¹, com F calculado

de 2,44 ($p > 0,05$) e coeficiente de variação de 78,10% (Tabela 3).

Esse resultado indica que, ainda que o número de nódulos tenha sido estatisticamente semelhante entre os tratamentos com médias próximas entre si (28,80 a 31,00 nódulos por planta), os nódulos presentes nas plantas inoculadas apresentaram maior massa. Segundo Hungria et al. (2001) é importante que os nódulos tenham tamanho igual ou superior a 2 mm, e que estes apresentem maior capacidade de fixação de nitrogênio.

Para a massa seca de raiz (MSRA), apesar de não haver diferença estatística significativa, com F calculado de 3,01 ($p > 0,05$) e coeficiente de variação de 31,96% (tabela 3), os tratamentos inoculados apresentaram numericamente as maiores médias, com T3 (somente inoculação) registrando 0,28 g planta⁻¹ e T1 (inoculação + adubação nitrogenada mineral) alcançando 0,27 g planta⁻¹, em comparação a 0,19 g planta⁻¹ em T4 (somente adubação nitrogenada mineral) e 0,17 g planta⁻¹ em T2 (sem inoculação).

Ainda que os resultados obtidos no presente trabalho não tenham evidenciado efeito significativo da inoculação com rizóbio sobre as características agrônômicas avaliadas no feijão-caupi, diversos estudos presentes na literatura relatam respostas positivas a essa prática. Bandeira et al. (2017), avaliando a produtividade do feijão-caupi com e sem inoculação, verificaram que as plantas inoculadas apresentaram maiores valores de massa seca da parte aérea e de raiz, além de incremento de 38,29% na produtividade em relação ao tratamento não inoculado.

Ferreira Neto et al. (2019), ao avaliarem a eficiência da fixação biológica de nitrogênio em variedades de feijão-caupi inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium*, verificaram respostas distintas entre as combinações de estirpe e genótipo avaliadas. Os autores observaram que a inoculação promoveu maior acúmulo de nitrogênio em determinadas cultivares, com destaque para a cultivar BRS Tumucumaque inoculada com a estirpe BR 3262, que apresentou fixação de 34 kg ha⁻¹ de N. Os incrementos em produtividade variaram conforme a interação entre estirpe e hospedeiro, sendo que algumas combinações inoculadas apresentaram desempenho semelhante ao tratamento adubado com 80 kg ha⁻¹ de N mineral.

Chagas Júnior et al. (2010), ao avaliarem a eficiência agrônômica de cinco estirpes de rizóbio inoculadas em três cultivares de feijão-caupi cultivadas no Cerrado de Gurupi-TO, observaram que a resposta das estirpes variou conforme a cultivar, evidenciando a influência da interação entre bactéria e hospedeiro na eficiência simbiótica.

Os autores verificaram que a estirpe BR 3302 (UFLA 3-84) apresentou os melhores resultados entre as estirpes avaliadas, proporcionando desempenho semelhante ao tratamento com adubação nitrogenada de 50 kg ha⁻¹ de N para variáveis como biomassa da parte aérea,

biomassa radicular e produtividade, demonstrando elevado potencial para utilização na fixação biológica de nitrogênio em feijão-caupi cultivado nas condições de Cerrado.

Alcantara (2011), ao avaliar diferentes estirpes de *Bradyrhizobium* associadas a genótipos ancestrais de feijão-caupi, verificou respostas positivas da inoculação sobre variáveis relacionadas à eficiência simbiótica, como número e massa seca de nódulos, acúmulo de nitrogênio e produção de biomassa vegetal.

A autora observou ainda diferenças na eficiência das estirpes avaliadas, evidenciando que o desempenho da fixação biológica de nitrogênio está diretamente relacionado à compatibilidade entre a estirpe bacteriana e o genótipo hospedeiro, podendo influenciar significativamente o suprimento de N para a cultura. O conjunto desses resultados reforça que a fixação biológica de nitrogênio representa uma tecnologia com elevado potencial para a cultura do feijão-caupi, capaz de suprir a demanda nitrogenada da planta.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos aos 35 dias após a semeadura (DAS) demonstraram que os tratamentos inoculados com rizóbio apresentaram incremento significativo no número de nódulos em relação aos tratamentos sem inoculação, evidenciando maior eficiência nodular promovida pela inoculação.

Entretanto, o aumento da nodulação não refletiu em incrementos significativos nas variáveis agronômicas relacionadas ao crescimento vegetal e ao acúmulo de biomassa. Da mesma forma, a adubação nitrogenada mineral, isolada e associada à inoculação, na dose de 30 kg ha⁻¹ de N aplicada em cobertura também não promoveu respostas agronômicas significativas, indicando que essa dose foi insuficiente para proporcionar alterações expressivas no desenvolvimento da cultura.

Embora a fixação biológica de nitrogênio não tenha promovido incrementos significativos nas variáveis avaliadas nas condições do presente estudo, diversos trabalhos reportam efeitos positivos da inoculação no desempenho agrônômico do feijão-caupi, com respostas dependentes da interação entre a estirpe bacteriana e o genótipo do hospedeiro, além de evidenciarem efeitos positivos da adubação nitrogenada mineral em doses superiores a 30 kg ha⁻¹.

Dessa forma, estudos adicionais envolvendo diferentes estirpes de rizóbio, cultivares e doses de adubação nitrogenada mineral são necessários para melhor compreensão da eficiência simbiótica e da contribuição da FBN para o suprimento de nitrogênio na cultura do feijão-caupi.

REFERÊNCIAS

- ALCANTARA, Rosa Maria Cardoso Mota de. **Fixação biológica de nitrogênio em genótipos ancestrais de feijão-caupi**. 2011. 112 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.
- ALCANTARA, Rosa Maria Cardoso Mota de; REIS, Veronica Massena. **Metabolismo do carbono nos nódulos**. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, 2008. 27 p. (Documentos, 253).
- ALCANTARA, Rosa Maria Cardoso Mota de; XAVIER, Gustavo Ribeiro; RUMJANEK, Norma Gouvêa; ROCHA, Maurisrael de Moura; CARVALHO, Jackeline dos Santos. Eficiência simbiótica de progenitores de cultivares brasileiras de feijão-caupi. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 1, p. 1–9, 2014.
- ANDRADE JÚNIOR, Aderson Soares de; BASTOS, Edson Alves; CARDOSO, Milton Jose. Clima. In: EMBRAPA MEIO-NORTE. **Cultivo de Feijão-Caupi**. Sistema de Produção, 2. ISSN 1678-8818. 2. ed. Teresina: Embrapa Meio-Norte, mar. 2017.
- BANDEIRA, Arlete da Silva; AMARAL, Maria Caroline Aguiar; CASTRO FILHO, Manoel Nelson de; ÁVILA, Joseani Santos; BARROS, Welluma Teixeira; MORAIS, Otoniel Magalhães. Avaliação das características agrônômicas do feijão-caupi submetido à inoculação com diferentes estirpes. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, jul. 2017.
- BANDEIRA, Arlete da Silva; AMARAL, Maria Caroline Aguiar; CASTRO FILHO, Manoel Nelson de; MENEZES, Aldo Tanajura; OLIVEIRA, Caian Campos; MORAIS, Otoniel Magalhães. Avaliação da produtividade de feijão-caupi com e sem inoculação. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, 2017.
- BARBOSA, Julierme Zimmer; CONSALTER, Rangel; VARGAS MOTTA, Antonio Carlos. **Fixação biológica de nitrogênio em Poaceae**. *Evidência*, Joaçaba, v. 12, n. 1, p. 7-18, jan./jun. 2012.
- BARROS, Juliane Rafaelle Alves. **Feijão-caupi: parâmetros produtivos, biométricos, fisiológicos, bioquímicos e prospecção de genes, frente ao aumento da temperatura e do déficit hídrico**. 2021. Tese (Doutorado em Recursos Genéticos Vegetais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2021.
- BATISTA, Éder Rodrigues. **Feijão caupi submetido à inoculação combinada de rizóbio em solo de Cerrado**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Rondonópolis, 2015.
- BENETT, Cleiton Gredson Sabin; LIMA, Miriam Ferreira; BENETT, Katiane Santiago Silva; CAIONE, Gustavo; PELLOSO, Murilo Fuentes. Formas de aplicação e doses de nitrogênio em cobertura na cultura do feijão-caupi. **Revista Agrotecnologia**, Anápolis, v. 4, n. 1, p. 17-30, 2013.
- BERRABAH, Fathi; BENACEUR, Farouk; YIN, Chaoyan; XIN, Dawei; MAGNE, Kévin; GARMIER, Marie; GRUBER, Véronique; RATET, Pascal. Defense and senescence interplay in legume nodules. **Plant Communications**, v. 5, p. 100888, abr. 2024.

BERTOLO, Fernanda de Oliveira de Andrade *et al.* **A fixação biológica de nitrogênio e os inoculantes.** Porto Alegre: SEAPDR/DDPA, 2021. 19 p.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Secretaria de Desenvolvimento Industrial, Inovação, Comércio e Serviços. **Plano Nacional de Fertilizantes 2050: uma estratégia para os fertilizantes no Brasil.** Brasília: SDIC/MGI, 2023. 197 p.

BRASIL. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. **Produção nacional de fertilizantes: estudo estratégico.** Brasília, DF: SAE-PR, 2020.

BRITO, Marciano de Medeiros Pereira; MURAOKA, Takashi; SILVA, Edson Cabral da. **Contribuição da fixação biológica de nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio do solo no desenvolvimento de feijão e caupi.** *Bragantia*, Campinas, v. 70, n. 1, p. 206–215, 2011.

CANTARELLA, Heitor. **Opções de fontes de nitrogênio para a agricultura brasileira.** Campinas: Instituto Agrônomo (IAC), 2023. (Documentos IAC, 120).

CARDOSO, Milton José; BASTOS, Edson Alves; ANDRADE JÚNIOR, Aderson Soares de; ATHAYDE SOBRINHO, Candido (ed.). **O produtor pergunta, a Embrapa responde.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2017.

CARDOSO, Simone Martins. **Fontes e doses de nitrogênio na nutrição, produção e qualidade do feijoeiro.** 2011. 65 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

CARVALHO, Arminda Moreira de; OLIVEIRA, Alexsandra Duarte de; REIN, Thomaz Adolpho. **Qual é o impacto da adubação nitrogenada e práticas agrícolas na emissão de N₂O?** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2021. 34 p. (Circular Técnica, 47).

CARVALHO, Jaqueline Fernandes. **Avaliação de cultivares de feijão-caupi e feijão-vagem arbustivo em sistema orgânico de produção.** 2012. 75 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2012.

CASSIM, Bruno Maia Abdo Rahmen; LISBOA, Izaias Pinheiro; BESEN, Marcos Renan; OTTO, Rafael; CANTARELLA, Heitor; INOUE, Tadeu Takeyoshi; BATISTA, Marcelo Augusto. Nitrogen: from discovery, plant assimilation, sustainable usage to current enhanced efficiency fertilizers technologies – A review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 48, e0230037, 2024. DOI: 10.36783/18069657rbcs20230037.

CHAGAS JUNIOR, Aloisio Freitas; RAHMEIER, Wagner; FIDELIS, Rogério Ribeiro; SANTOS, Gil Rodrigues dos; CHAGAS, Lillian França Borges. Eficiência agrônômica de estirpes de rizóbio inoculadas em feijão-caupi no Cerrado, Gurupi-TO. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 4, p. 709–714, 2010.

COELHO, Daniela Silva; MARQUES, Maria Aparecida Dantas; SILVA, José Antonio Batista; GARRIDO, Marcos Silveira; CARVALHO, Paulo Gerson da Silva. Respostas fisiológicas em variedades de feijão-caupi submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 14–19, jan./mar. 2014.

COELHO, Lucas Gabriel Ferreira; BOMFIM, Catharine Abreu; MENDES, Ieda de Carvalho; VALE, Helson Mario Martins do; REIS JÚNIOR, Fábio Bueno dos. **A inoculação do feijoeiro no Brasil: alternativas para aumentar a produtividade e a eficiência da fixação biológica de nitrogênio**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2021. (Documentos, 384).

COLLICCHIO, Erich; ROCHA, Humberto Ribeiro da (org.). **Agricultura e mudanças do clima no estado do Tocantins: vulnerabilidades, projeções e desenvolvimento**. Palmas, TO: Editora da Universidade Federal do Tocantins (EDUFT), 2019. 438 p. ISBN 978-65-5390-006-6.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2025/26 — 7º levantamento**. Brasília: Conab, abr. 2026. v. 13, n. 7. ISSN 2318-6852.

COSTA, Antonio Félix da (org.). **Feijão-caupi no semiárido brasileiro: riquezas & oportunidades**. *Cadernos do Semiárido*, v. 17, n. 3. Recife: Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Pernambuco (CREA-PE); Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), 2020. ISSN 2526-2556.

DELBON, Stéfani Lorraine de Oliveira. **Utilização de inoculantes biológicos para fixação de nitrogênio em leguminosas**. 2023. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023 (Utilização... pp. 1-2, 7).

DELLA COLETTA, Luciana. **Estudo da fixação biológica do nitrogênio em leguminosas (família Fabaceae) arbóreas tropicais através do enriquecimento isotópico do ^{15}N** . 2010. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Química na Agricultura e no Ambiente) – Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 2010.

DIAS, Daniela Pereira; MARENCO, Ricardo Antonio. **Efeito da nebulosidade nos parâmetros da fluorescência em *Minquartia guianensis* Aubl.** *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 54-56, jul. 2007 (DOC-202605... p. 1).

DOURADO, Tainá Santos; SANTOS, Erifranklin Nascimento; SOUZA, Moisés Alves de; SOUZA, Layane Silva Barbosa de; DIAS, Dayanne do Nascimento; MESQUITA, Alessandro Carlos. Crescimento de variedades de feijão caupi sob diferentes fontes de nitrogênio na adubação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. **Anais [...]**. Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

FERNANDES, Mariana Cristina Santos. **Estudo da indústria de fertilizantes nitrogenados: fontes, produção, mercado e impacto ambiental**. 2022. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.

FERREIRA NETO, Reginaldo Alves; FREITAS, Ana Dolores Santiago de; FERNANDES JÚNIOR, Paulo Ivan. Inoculação com *Bradyrhizobium* aumenta a fixação biológica de nitrogênio e a produtividade em variedades de feijão-caupi recomendadas para o Nordeste. In: **Jornada de Integração da Pós-Graduação da Embrapa Semiárido**, 3., 2019, Petrolina. **Anais [...]**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2019. p. 196-199.

FERREIRA, Paula Aparecida Alves. **Eficiência simbiótica de estirpes de bactérias fixadoras de nitrogênio em feijoeiro e sua tolerância à acidez e alumínio in vitro**. 2008.

Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

FRANCISCON, Hugo; WEBER, Priscila; ALBRECHT, Leandro Paiola; ALBRECHT, Alfredo Paiola; RAMPIM, Leandro; YASSUE, Rafael Massahiro. Inoculação de bactérias fixadoras de nitrogênio no feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 3, n. esp., p. 222-235, 2014.

FREIRE FILHO, Francisco Rodrigues; RIBEIRO, Valdenir Queiroz; ROCHA, Maurisrael de Moura; SILVA, Kaesel Jackson Damasceno e; NOGUEIRA, Maria do Socorro da Rocha; RODRIGUES, Erina Vitório. **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 84 p. ISBN 978-85-88388-21-5.

FREIRE FILHO, Francisco Rodrigues; RODRIGUES, João Elias Lopes Fernandes; GOMES JUNIOR, Rui Alberto; RIBEIRO, Valdenir Queiroz; BOARI, Alessandra de Jesus; AZEVEDO, Roni de; BENCHIMOL, Ruth Linda; EL HUSNY, Jamil Chaar; CARVALHO, Ana Vânia; RODRIGUES, Maria Carolina Sarto Fernandes; AMARAL, Tiago; MESCOUTO, Larissa Ferreira de Lima; SILVA, Renata Carneiro da; SOARES, Andreza Silva. **Melhoramento genético do feijão-caupi na Embrapa Amazônia Oriental: período de 2013 a 2022**. Brasília, DF: Embrapa, 2023.

GUALTER, Régia Maria Reis. **Efeito da inoculação com diferentes estirpes de rizóbio na nodulação, fixação biológica de nitrogênio e na produtividade em feijão-caupi**. 2010. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo) — Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.

GUALTER, Régia Maria Reis; BODDEY, Robert Michael; RUMJANEK, Norma Gouvêa; FREITAS, Antônio Carlos Reis de; XAVIER, Gustavo Ribeiro. Eficiência agrônômica de estirpes de rizóbio em feijão-caupi cultivado na região da Pré-Amazônia maranhense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 3, p. 303-308, mar. 2011.

GUIMARÃES, Salomão Lima et al. Desenvolvimento inicial de feijão caupi inoculado com rizóbio em Latossolo de Cerrado. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 8, n. 3, p. 30-41, 2019.

HENRIQUE, Ivanildo Guilherme; NASCIMENTO, Indianara Cazuza do; SOUZA, Ítallo Diego de; ANDRADE, Gabriel Rafael de; MORAIS, Paulo Henrique Alves; PEREIRA, Dayane Barbosa; MELO FILHO, Luiz Cobiniano de. Adubação nitrogenada em cobertura: fator determinante para elevadas produtividades de feijão comum. **Revista Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 29, n. 4, p. 490-505, 2020.

HUNGRIA, Mariangela; CAMPO, Rubens José; MENDES, Iêda Carvalho. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 48 p. (Circular Técnica, 35). ISSN 1516-7860. Também publicada como Circular Técnica, 13, Embrapa Cerrados. ISSN 1517-0187.

JESUS, Cristina Meira de; SILVA (FERREIRA), Joilson Silva; PAIVA, Talitta Silva dos Santos; SOUZA, Frankly Gomes; MELO, Derlei Dias; SANTOS, Rayka Kristian Alves. **Adubação nitrogenada e estirpes de rizóbios eficientes no desenvolvimento e produtividade do feijão-caupi**. HOLOS, Natal, ano 39, v. 7, e10538, 2023. DOI: 10.15628/holos.2023.10538.

LEGHARI, Shah Jahan et al. **Role of nitrogen for plant growth and development: a review**. *Advances in Environmental Biology*, v. 10, n. 9, p. 209–218, set. 2016.

LIMA, Antonia Jerlene Martins de. **Inoculação e caracterização fenotípica de bactérias isoladas de nódulo de cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. 2024. Dissertação (Mestrado em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco, AC, 2024.

LIMA, Érika Mara Silva et al. **Sementes crioulas: importância e aspectos gerais de produção**. *Cadernos de Agroecologia*, Dourados, v. 17, n. 2, 2022. Anais do 2º Congresso Online Internacional de Sementes Crioulas e Agrobiodiversidade.

LIMA, Silvia Kalini dos Santos de; SILVA, Alasse Oliveira da; VIÉGAS, Ismael de Jesus Matos (org.). **Nutrição mineral com micronutrientes em feijão-caupi**. Belém: RFB Editora, 2022. 50 p. ISBN 978-65-5889-236-6. DOI: 10.46898/rfb.9786558892366.

MAIA, Felipe Rodrigues. Produção de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.): uma planta resistente à seca é muito comum em regiões do semiárido brasileiro. **Journal of Interdisciplinary Debates**, v. 4, n. 4, p. 242-263, 2023. ISSN 2675-469X.

MATOSO, Stella Cristiani Gonçalves. Eficiência de nódulos estratificados por tamanho no processo de fixação biológica de nitrogênio e crescimento do feijoeiro. **Agrotrópica**, v. 26, n. 2, p. 103-110, 2014.

MELO, Francisco de Brito; CARDOSO, Milton José; BASTOS, Edson Alves; RIBEIRO, Valdenir Queiroz. **Recomendação de adubação e calagem para o feijão-caupi na região Meio-Norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, dez. 2018. 8 p. (Comunicado Técnico, 249). ISSN 0104-7647.

MELO, Shirlany Ribeiro de. **Desempenho da fixação biológica de nitrogênio em cultivares de feijão-caupi em Roraima**. 2009. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (POSAGRO), em parceria com EMBRAPA Roraima, Boa Vista, 2009.

MELO, Victória Delmori Novais. **Cultivo do feijão-caupi em sucessão a sistemas de consórcio e aplicação de nitrogênio em cobertura**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Câmpus de Dracena, Dracena, 2024.

MENDES, Welson de Carvalho; ALVES JÚNIOR, José; CUNHA, Paulo César Rezende; SILVA, Adriano Rocha; EVANGELISTA, Adão Wagner Pêgo; CASAROLI, Derblai. Lixiviação de nitrato em função de lâminas de irrigação em solos argiloso e arenoso. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial – IRRIGA & INOVAGRI, p. 47–56, 2015.

NASCIMENTO, Luciana Rodrigues de Souza; SOUSA, Clayton Alencar; SANTOS, Carolina Elizabete Ramos de Souza; FREITAS, Ana Dolores Santiago; VIEIRA, Iraci Maria de Medeiros Braga; SAMPAIO, Everardo Valadares de Sá Barretto. Eficiência de isolados de rizóbios nativos do agreste paraibano em caupi. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 1, p. 36–42, 2010.

OLIVEIRA, Pedro Ramon Holanda de. **Desempenho agrônômico de cultivares de feijão-caupi inoculadas com rizóbio no semiárido brasileiro**. 2020. 47 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Mossoró, 2020.

OLIVEIRA, Simônica Maria de et al. Componentes de produção de cultivares de feijão-caupi em diferentes condições ambientais do estado de Minas Gerais. **Revista Caderno Pedagógico**, Curitiba, v. 21, n. 13, p. 1-21, 2024. DOI: 10.54033/cadpedv21n13-010.

PANISSON, Alexandre Augusto. **Manejo do nitrogênio e sua relação com absorção, parâmetros agrônômicos e sequestro de carbono pelo feijoeiro comum** (*Phaseolus vulgaris* L.). 2025. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2025.

PELEGRIN, Rodrigo de; MERCANTE, Fábio Martins; OTSUBO, Ilda Miyuki Nakase; OTSUBO, Auro Akio. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 219-226, 2009.

PEREIRA, Jéssica de Lima; REZENDE, Cláudia Fátima Alves. **Fixação biológica de nitrogênio e o desempenho fisiológico do feijão comum**. In: VII Simpósio Acadêmico de Agronomia, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 2019.

PINHEIRO, Ederson Ferreira de Melo; SILVA, Francisco Vilela; CHAGAS JÚNIOR, Aurenny Ferreira; SANTOS, Gleisson Rocha dos; FIDELIS, Rodrigo Ribeiro; POLLI, André Delmonte. **Isolamento e caracterização de rizóbios de regiões semiáridas para uso em feijão-caupi**. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 2071–2082, 2014.

QUEIROZ, Amanda Moreira de. **Avaliação do teor relativo de clorofila como indicador do estado nutricional nitrogenado em feijão-caupi**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2014.

RAMOS, Gustavo Yves Rodrigues; SILVA, Yago de Medeiros; ALMEIDA JUNIOR, João Soares de; SANTOS, Arison Sousa dos; SILVA, Gutierrez Nelson. **Resposta da fixação biológica de nitrogênio (FBN) em cultivares de feijão-caupi, no município de Codó-MA**. In: V COINTER PDVAgro – Congresso Internacional das Ciências Agrárias, 2020, Recife. Anais [...]. Recife: COINTER PDVAgro, 2020.

REETZ, Harold Frederick Reetz Jr. **Fertilizantes e o seu uso eficiente**. Tradução: Alfredo Scheid Lopes. Paris: International Fertilizer Industry Association (IFA), 2016. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDAs), 2017. 178 p. ISBN 979-10-92366-04-4.

ROCHA, Maurisrael de Moura; FREIRE FILHO, Francisco Rodrigues; DAMASCENO E SILVA, Kaesel Jackson; RIBEIRO, Valdenir Queiroz. **Feijão-caupi: biologia floral**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2007. 2 p.

ROCHA, Maurisrael de Moura; SILVA, Kaesel Jackson Damasceno e; FREIRE FILHO, Francisco Rodrigues; MENEZES JÚNIOR, José Ângelo Nogueira de; RIBEIRO, Valdenir Queiroz. **Melhoramento genético do feijão-caupi no Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2013.

SANTANA, Ícaro Oliveira; SANTOS, Murilo de Santana; SANTOS, Carlos Allan Pereira dos; CAMPOS, Núria Mariana. Produção de feijão-de-corda sob diferentes doses de nitrogênio aliado à aplicação de boro. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos-PB, v. 16, n. 2, p. 75–80, abr./jul. 2020.

SANTOS, Max Ferreira dos. **Uso cíclico de água salina em amendoim associado a rizóbio**.

2020. 39 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciência do Solo, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

SILVA JÚNIOR, Elson Barbosa da. **Eficiência simbiótica de estirpes de rizóbio inoculadas em feijão-caupi com ênfase na região Centro-Oeste do Brasil**. 2015. 141 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciências do Solo) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2015.

SILVA, Evaldo Moraes da et al. Eficiência de rizóbios sob doses de fósforo na cultura do feijão-caupi. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa, v. 9, n. 2, p. 67-77, jun. 2019.

SILVA, Evaldo Moraes da. **Eficiência de estirpes rizobianas sob doses de fósforo em duas cultivares de feijão-caupi**. 2017. 66 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Gurupi, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Gurupi, 2017.

SILVA, Gabriel Sobrinho. **Coinoculação de rizóbio e actinobactérias em feijão-caupi**. 2025. 32 f. Monografia (Bacharelado em Biotecnologia) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Fortaleza, 2025.

SILVA, Janilson Vieira. **Ureia x nitrato de amônio: importância da análise de custo do tipo de adubação na cafeicultura conilon**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Faculdade Multivix, Nova Venécia, ES, 2020.

SILVA, Valéria Nogueira da; SILVA, Luiz Eduardo de Souza Fernandes da; FIGUEIREDO, Márcia do Vale Barreto. **Atuação de rizóbios com rizobactéria promotora de crescimento em plantas na cultura do caupi (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.)**. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, v. 28, n. 3, p. 407-412, jul./set. 2006.

SILVEIRA, Otávio Sales da. **Diferentes fontes de nitrogênio e tecnologias que evitam perdas de volatilização na cultura do milho**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2024.

SOARES, Cláudio Silva. **Eficiência de estirpes de rizóbio no rendimento e qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.)**. 2007. 87 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Areia, 2007.

SORATTO, Rogério Peres *et al.* Produtividade e qualidade dos grãos de feijão em função da aplicação de nitrogênio em cobertura e via foliar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, (S. l.), v. 35, n. 6, p. 2019-2028, 2011.

SOUZA, Silvia de Oliveira; SANTOS, Priscila Rohem dos. **Bioinsumos na agricultura: inoculantes**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI, Diretoria de Patentes, Programas de Computador e Topografia de Circuitos Integrados – DIRPA, Coordenação Geral de Estudos, Projetos e Disseminação da Informação Tecnológica – CEPIT, Divisão de Estudos e Projetos – DIESP, 2023. 62 p. (Radar Tecnológico – 2023).

TASCA, Francis Alex; ERNANI, Paulo Roberto; ROGERI, Douglas Antonio; GATIBONI, Luciano Colpo; CASSOL, Paulo César. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de

ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 493-502, 2011.

VALE, Júlio César do; BERTINI, Cândida; BORÉM, Aluizio (Ed.). **Feijão-caupi: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2017.

VIEIRA, Rosana Faria. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 163 p. ISBN 978-85-7035-780-9.

XAVIER, Terezinha Ferreira; ARAÚJO, Ademir Sérgio Ferreira de; SANTOS, Valdinar Bezerra dos; CAMPOS, Francilene Leonel. Inoculação e adubação nitrogenada sobre a nodulação e a produtividade de grãos de feijão-caupi. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 2037-2041, out. 2008.

XAVIER, Terezinha Ferreira; ARAÚJO, Ademir Sérgio Ferreira de; SANTOS, Valdinar Bezerra dos; CAMPOS, Francilene Leonel. Ontogenia da nodulação em duas cultivares de feijão-caupi. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 561-564, mar./abr. 2007.

ZILLI, Jerri Édson; SILVA NETO, Manoel Luis da; FRANÇA JÚNIOR, Izaias; PERIN, Liamara; MELO, Aliny Ribeiro de. Resposta do feijão-caupi à inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium* recomendadas para a soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 739-742, 2011.

ZILLI, Jerri Édson; XAVIER, Gustavo Ribeiro; MOREIRA, Fátima Maria de Souza; FREITAS, Ana Célia Rodrigues; OLIVEIRA, Lázaro Afonso de. Fixação biológica de nitrogênio. In: FREIRE FILHO, Francisco Rodrigues; LIMA, José Antônio de Araújo; RIBEIRO, Valdenir Queiroz (Ed.). **A cultura do feijão-caupi na Amazônia brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2008. cap. 5, p. 185–198.