INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA NO TRÓPICO ÚMIDO – PPG/ATU

INOCULAÇÃO E COINOCULAÇÃO DE RIZÓBIOS E BACILOS EM FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* cv. BRS Tumucumaque)

DIEGO MONTEIRO NUNES

Manaus, Amazonas

Fevereiro, 2025

DIEGO MONTEIRO NUNES

INOCULAÇÃO E COINOCULAÇÃO DE RIZÓBIOS E BACILOS EM FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* cv. BRS Tumucumaque)

ORIENTADOR: DR. ALEKSANDER WESTPHAL MUNIZ

Co-orientadora: Dra. Cláudia Majolo

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, como requisito para obtenção do título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido.

Manaus, Amazonas

Fevereiro, 2025

BANCA AVALIADORA

_____

_____

_____

FICHA CATALOGRÁFICA

SINOPSE

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho especialmente aos meus pais José Raimundo Jardim Nunes e Nely Barbosa Monteiro Nunes, que são as minhas maiores inspirações na vida, e por estarem sempre presentes em todos os momentos da minha vida.

Às minhas filhas Bruna Cristal da Silva Nunes, Jhullie Eloá da Silva Nunes e minha filha do coração Thamires da Silva Miranda, por serem minhas maiores motivações para minhas conquistas.

Aos profissionais da Embrapa Amazônia Ocidental que foram cruciais para o desenvolvimento deste trabalho

A todos os professores do PPG-ATU.

E aos meus amigos do laboratório de fisiologia vegetal da Embrapa Amazônia Ocidental, que sempre me incentivaram e colaboraram nesta caminhada.

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, pela dádiva da vida e por me fortalecer a cada desafio, permitindo-me superar os obstáculos ao longo desta jornada.

Aos meus pais, **José Raimundo Jardim Nunes** e **Nely Barbosa Monteiro Nunes**, que são meus alicerces inabalável e meu principal suporte para alcançar minhas conquistas. Ao meu irmão, **Denilson Monteiro Nunes**, por estar sempre presente e disposto a me apoiar sempre que preciso.

Às minhas filhas, **Bruna Cristal da Silva Nunes** e **Jhullie Eloá da Silva Nunes**, e à minha filha do coração, **Thamires da Silva Miranda**, que são minha maior motivação e inspiração para o sucesso.

À **Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM – Posgrad/Fapeam)**, pelo apoio fundamental por meio da concessão da bolsa de estudo, que contribuiu significativamente para a realização deste trabalho.

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)**, pelo apoio financeiro às pesquisas realizadas no Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.

Ao **Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia** e ao **Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido** pela oportunidade na realização do curso de mestrado.

À **Embrapa Amazônia Ocidental** por possibilitar a realização deste trabalho através da disponibilização do campo experimental e o corpo técnico.

Ao meu orientador Dr. **Aleksander Westphal Muniz**, expresso minha profunda gratidão pela orientação, amizade, conselhos, paciência e dedicação ao longo desta jornada. Seu conhecimento e incentivo foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho, bem como para o meu crescimento acadêmico e profissional.

À minha co-orientadora Dra. **Cláudia Majolo**, expresso minha sincera gratidão pelo apoio, dedicação e valiosas contribuições ao longo desta jornada. Sua orientação precisa, incentivo constante e generosidade ao compartilhar conhecimento foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho e contribuição para o meu desenvolvimento profissional.

Aos meus grandes amigos e parceiros de trabalho **Esmael Pinheiro**, **Natasha Helena**, **Jéssica Pinheiro**, **Ana Gabriela**, **Ithalo Gomes**, **Elen Lira**, **Kedson Tavares**, **Emanuelle Bilhar**, **Vanessa Ribeiro**, **João Pedro**, **Márcio Fonseca**, **Anne Geiza** e **André Rebello**, com quem convivi intensamente nos últimos anos, pelo companheirismo, troca de experiências que me permitiram crescer não só como pessoa, mas também profissionalmente. E pela imensa ajuda na condução desse trabalho em campo e laboratório.

Aos **servidores da Embrapa Amazônia Ocidental**, em especial aos profissionais do **Laboratório de Análise de Solo e Plantas** e o **setor do campo experimental**.

A todos que não foram mencionados, e que de alguma forma colaboraram ou torceram para que esta pesquisa pudesse ser desenvolvida.

Muito Obrigado!

RESUMO

O presente estudo avaliou a eficácia da inoculação e coinoculação de rizóbios e bacilos na cultura do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* cv. BRS Tumucumaque) no estado do Amazonas, visando potencializar a fixação biológica de nitrogênio e a solubilização de fósforo, promovendo maior eficiência no uso de fertilizantes. O estudo foi conduzido na estação experimental da Embrapa Amazônia Ocidental, utilizando um delineamento experimental em blocos casualizados, com nove tratamentos, incluindo diferentes combinações de *Bradyrhizobium japonicum* (SEMIA6462), isolados nativos de rizóbios (AM200/2022 e AM212/2022) e o inoculante comercial BiomaPhos® (*Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis*). Os parâmetros avaliados incluíram biomassa da parte aérea, acúmulo de nitrogênio, nodulação, produtividade e características das raízes. Os resultados indicaram que a coinoculação com BiomaPhos® e AM200, bem como a inoculação isolada com AM200 e AM212, promoveram aumento significativo na biomassa da parte aérea e no acúmulo de nitrogênio. Além disso, a nodulação foi favorecida pelos isolados nativos. No entanto, a produtividade e a qualidade dos grãos não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Aos 30 dias após a emergência a coinoculação com BiomaPhos®+AM200 e a inoculação com AM200 e AM212 aumentaram a massa da parte aérea seca em feijão-caupi. A coinoculação com BiomaPhos®+AM200 e a inoculação com AM200 aumentaram o acúmulo de nitrogênio da parte aérea do feijão-caupi. A inoculação com AM200 e AM212 aumentaram a massa de nódulos seca do feijão-caupi. Aos 72 dias após a emergência, as variáveis número de grãos por vagem, comprimento de vagem, peso de 100 sementes, produtividade, N de grãos, P de grãos, volume de raízes, área superficial de raízes e diâmetro ponderado de raízes não são afetadas pela inoculação e coinoculação e apresentam correlação entre si.

Palavras-chave: Feijão-caupi; fixação biológica de nitrogênio; solubilização de fosfato.

ABSTRACT

This study evaluated the effectiveness of inoculation and co-inoculation of rhizobia and bacilli in cowpea (*Vigna unguiculata* cv. BRS Tumucumaque) cultivation in the state of Amazonas, aiming to enhance biological nitrogen fixation and phosphorus solubilization, thereby improving fertilizer use efficiency. The study was conducted at the experimental station of Embrapa Western Amazon, using a randomized block experimental design with nine treatments, including different combinations of *Bradyrhizobium japonicum* (SEMIA6462), native rhizobium isolates (AM200/2022 and AM212/2022), and the commercial inoculant BiomaPhos® (*Bacillus megaterium* and *Bacillus subtilis*). The evaluated parameters included shoot biomass, nitrogen accumulation, nodulation, yield, and root characteristics. The results indicated that co-inoculation with BiomaPhos® and AM200, as well as single inoculation with AM200 and AM212, significantly increased shoot biomass and nitrogen accumulation. Furthermore, nodulation was enhanced by the native isolates. However, yield and grain quality did not show significant differences among treatments. At 30 days after emergence (DAE), co-inoculation with BiomaPhos®+AM200 and inoculation with AM200 and AM212 increased the dry shoot biomass of cowpea. Co-inoculation with BiomaPhos®+AM200 and inoculation with AM200 increased nitrogen accumulation in the cowpea shoot. Inoculation with AM200 and AM212 increased the dry nodule mass of cowpea. At 72 DAE, variables such as the number of grains per pod, pod length, 100-seed weight, yield, nitrogen content in grains, phosphorus content in grains, root volume, root surface area, and weighted root diameter were not affected by inoculation and co-inoculation, and they showed correlation among themselves

Keywords: Cowpea; biological nitrogen fixation; phosphate solubilization.

SUMÁRIO

1. Introdução 14
2. Revisão de literatura 15
5. Objetivos 21
5.1. Geral 21
5.2. Específicos 21
6. Material e métodos 22
6.1. Característica da área de estudo 22
6.2. Instalação do experimento 23
6.3. Inoculação dos microrganismos 23
6.4. Plantio, cultivo e colheita do feijão-caupi 24
6.5. Coleta dos dados 24
6.5.1. Parte aérea e nodulação 24
6.5.2. Produção 25
6.6. Análise dos dados 27
7. Resultados e discussão 27
8. Conclusões 32
8.1. 30 DAE 32
8.2. 72 DAE 33
9. Referências 33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização química do solo da área do plantio do feijão-caupi. 22

Tabela 2. Descrição dos tratamentos..... 23

Tabela 3. Massa da parte aérea seca (MPAS) e acúmulo de nitrogênio da parte aérea (ANPA), número de nódulos (NNOD) massa de nódulos seca (MNOD) de feijão-caupi. 27

Tabela 4. Número de vagens (NVG), comprimento de vagens (CVG), peso de 100 sementes (P100) e produtividade (Prod) de feijão-caupi 30

Tabela 5. Nitrogênio (NGR) e fósforo (PGR) nos grãos de feijão-caupi. 31

Tabela 6. Volume de raízes (Vol), área superficial de raízes (ASR) e diâmetro ponderado de raízes (DPR) de feijão-caupi..... 31

LISTA DE ABREVIAÇÕES

ANPA	Acúmulo de nitrogênio na parte aérea
ASR	Área superficial de raízes
BPCPs	Bactérias promotoras de crescimento de plantas
CVG	Comprimento de vagem
Conab	Companhia Nacional de Abastecimento
DAE	Dias após a emergência
DPR	Diâmetro ponderado de raízes
FBN	Fixação biológica de nitrogênio
LASP	Laboratório de análises de solos e plantas
MNDO	Massa de nódulos seca
MPAS	Massa da parte aérea seca
NGR	Nitrogênio de grãos
NNOD	Número de nódulos
NVG	Número de vagens
P100	Peso de 100 sementes
PGR	Fósforo de grãos
Prod	Produtividade
SisGen	Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado
SP	Solubilização de fosfato
Vol	Volume de raízes

1. Introdução

O aumento da demanda global por alimentos torna necessária a implementação de práticas agronômicas para maximização da eficiência produtiva das culturas com sustentabilidade e diminuição da dependência de fertilizantes industrializados (Arruda, 2024). Nesse contexto, o cultivo do feijão-Caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) emerge como uma fonte de garantia da segurança alimentar em áreas tropicais e subtropicais, pois é uma valiosa fonte de proteínas e nutrientes para milhões de pessoas (Oliveira, 2023). Em 2024 o feijão-caupi representou cerca de 20% do feijão produzido no Brasil, sendo Norte e Nordeste as regiões predominantes (Conab, 2024), evidenciando, assim, a importância econômica dessa cultura no Brasil, beneficiando tanto pequenos agricultores familiares quando grandes produtores.

O feijão-caupi é uma fonte de proteína mais acessível para alimentação humana, geração de oportunidades de emprego e renda da população. Esta cultura agrícola também é adaptada a condições de seca, estresse salino e ao clima tropical (Martins *et al.* 1997; Oliveira *et al*. 2019). Em termos econômicos, a cultura do feijão-caupi representa mais de 350 milhões de dólares ao ano para agricultura brasileira e beneficia tanto grandes como pequenos produtores (Conab, 2022; IBRAFE, 2022). No estado do Amazonas, estima-se uma produção de 2,2 mil toneladas de feijão-caupi em uma área de 2.400 hectares (Conab, 2023; Dassori, 2024).

A agricultura brasileira é dependência da importação de fertilizantes da China, Rússia e Canadá (SNA, 2024). Assim, para diminuir a dependência de fertilizantes faz-se necessário desenvolver novas tecnologias como o uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) como biofertilizantes. Nos cultivos de soja (*Glicyne max*), milho (*Zea mays*) e feijão-caupi o uso de biofertilizantes permite a substituição de diferentes fertilizantes como os nitrogenados e fosfatados (Hungria *et al.,* 2005; Oliveira *et al.* 2018). Além disso, os BPCPs aumentam a eficiência no uso de fertilizantes como o aporte de N por meio da fixação biológica, sendo uma alternativa viável, econômica e ambiental (Brasil, 2022; Hungria, 2011).

A biofertilização consiste no uso de microrganismos para aumentar a disponibilidade de nutrientes para a planta. Dentre os processos de biofertilização destacam-se a fixação biológica de nitrogênio (FBN) e a solubilização de fosfato (SP). A FBN ocorre por meio da simbiose de bactérias diazotróficas com leguminosas e por meio de associação destas bactérias com gramíneas (Balota *et al.,* 2018). A inoculação destas bactérias dizotróficas foi testada inúmeras

vezes com sucesso em culturas agrícolas como soja (*G. max*), feijão-comum (*Phaseolus vulgaris*), amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*) e feijão-guandu (*Cajanus cajan*) (Balieiro *et al*., 2013; Silva, 2021; Amaral, 2023). A SP consiste na disponibilização de P de fosfatos inorgânicos e orgânicos às plantas com o auxílio de bactérias como *Bacillus* (Oliveira-paiva *et al.,* 2020). Os biofertilizantes podem ser aplicados tanto por inoculação quanto por coinoculação (associação de microrganismos).

No estado do Amazonas, a pesquisa com biofertilizantes é incipiente com trabalhos de inoculação de milho, feijão-caupi e amendoim forrageiro (Muniz et al. 2015; Oliveira *et al.,* 2018; Silva, 2021). Desse modo, observa-se que existem lacunas referentes a diversidade e eficiência destas BPCPs nativas e da sua relação com a cultura do feijão-caupi. Deste modo, a avaliação desses BPCPs na cultura do feijão-caupi no Amazonas é necessária para aumentar a produtividade da cultura.

2. Revisão de literatura

2.1. Caracterização do feijão caupi

O feijão-caupi é uma leguminosa cultivada principalmente no Nordeste brasileiro, sendo conhecida por seu valor nutricional e tolerância à seca (Gomes *et al.*, 2020; Silva *et al*., 2002). Essa espécie de feijão caracteriza-se por: cultivo anual, hábito herbáceo, reprodução autógama, rusticidade, grãos nutritivos e adaptação entre outras espécies cultivadas. As sementes são consideradas o componente essencial dos sistemas de produção nas regiões secas dos trópicos, cobrindo parte da África, Ásia, Estados Unidos, Oriente Médio e Américas Central e do Sul (Singh *et al*. 2017). Uma das principais características desse tipo de feijão é ter de 20 a 30 % de proteína (Silva *et al*., 2002).

2.2. Origem e evolução da cultura

O feijão-caupi é cultivado principalmente por agricultores familiares no Nordeste do Brasil. Esse cultivo é originário do continente africano e foi introduzido no Brasil durante a colonização portuguesa no século XVI no estado da Bahia (Souza *et al.,* 2021). A partir daí, a cultura se disseminou por todo o território nacional, consolidando-se como uma importante fonte alimentar e econômica para diversas regiões (Freire Filho *et al*., 2011).

Além de seu papel relevante no mercado interno, a partir de 2007 o Brasil iniciou a exportação de grãos de feijão-caupi, ampliando sua inserção no mercado internacional (Freire Filho *et al*., 2011). O cultivo dessa espécie destaca-se pela sua adaptabilidade a condições climáticas adversas, como as encontradas no semiárido, bem como por sua importância na segurança alimentar e na geração de renda, especialmente para agricultores de pequeno porte. Nos últimos anos, esforços de melhoramento genético e desenvolvimento de novas cultivares têm contribuído para o aumento da produtividade e para a valorização desse grão no cenário global (Freire Filho *et al*., 2011).

Nos últimos anos, o feijão-caupi passou por um intenso processo de melhoramento genético com o objetivo de aumentar sua produtividade, resistência a doenças, tolerância a estresses abióticos e sua adaptabilidade a diferentes ecossistemas (Freire filho e Ribeiro, 2023). As cultivares modernas apresentam ciclos de maturação mais precoces e uniformes, o que facilita o planejamento das safras e melhora a eficiência do manejo agrícola. Outro aspecto relevante é a padronização dos grãos, com qualidade genética aprimorada, maior teor de nutrientes, como ferro e zinco, e características desejáveis para o mercado consumidor, como sabor e aparência atraentes (Barros *et al*., 2021). Esses avanços não apenas elevaram o potencial produtivo da cultura, mas também promoveram sua competitividade nos mercados interno e externo, consolidando o feijão-caupi como uma cultura estratégica para a agricultura tropical.

2.3. Importância socioeconômica e nutricional do feijão Caupi

A ampla variabilidade genética do feijão-caupi confere a esta cultura uma notável versatilidade, permitindo seu uso em diferentes finalidades e sistemas de produção. O mercado principal é focado na comercialização de grãos secos, mas o feijão-caupi também é amplamente utilizado na forma de grãos imaturos ou frescos (feijão-verde), farinha para preparo de acarajé e sementes para plantio (Rocha, 2021). Essa diversidade de usos reforça sua relevância econômica e cultural, especialmente em regiões onde constitui base alimentar.

A colheita do feijão-caupi geralmente ocorre na fase em que as vagens e os grãos estão secos, garantindo maior durabilidade e viabilidade comercial. Contudo, também é possível realizar a colheita quando os grãos atingem o teor de sólidos para o qual estão geneticamente programados, no início da maturidade fisiológica. Nessa etapa, os grãos apresentam uma coloração verde apreciável, sabor suave e textura macia, características que elevam sua

aceitabilidade e valor no mercado de feijão-verde (Lima *et al*., 2003). Essa flexibilidade no ponto de colheita é um dos fatores que tornam o feijão-caupi uma cultura estratégica tanto para consumo imediato quanto para processamento e comercialização.

A qualidade nutricional do grão de feijão-caupi é de grande importância e exerce impactos positivos significativos na saúde do consumidor. Entre os minerais, o ferro e o zinco têm recebido atenção especial nos programas de biofortificação, devido à sua relevância na prevenção de deficiências nutricionais, como a anemia ferropriva e distúrbios imunológicos associados à falta de zinco (Andrade *et al*., 2011). A biofortificação tem como objetivo desenvolver cultivares com maior concentração desses minerais, contribuindo para a melhoria da saúde pública, especialmente em comunidades vulneráveis, onde o feijão-caupi é uma importante fonte alimentar e nutricional.

O feijão-caupi destaca-se por seu elevado teor de lisina e outros aminoácidos essenciais, embora apresente níveis reduzidos de aminoácidos sulfurados. Essa característica torna-o um complemento valioso em dietas que incluem cereais, como o arroz, que são deficientes em lisina. Além disso, o feijão-caupi é uma excelente fonte de vitaminas, especialmente tiamina (B1) e niacina (B3), e contém quantidades significativas de outras vitaminas hidrossolúveis. Sua composição mineral é igualmente expressiva, com altos níveis de ferro, zinco, potássio e fósforo, que desempenham papéis fundamentais na manutenção da saúde (Santos, 2016). Essas propriedades nutricionais reforçam a importância do feijão-caupi como um alimento essencial para a segurança alimentar e nutricional, especialmente em regiões onde ele constitui a base da dieta.

Outro destaque é a digestão mais lenta do feijão-caupi em comparação a outros cereais e tubérculos, o que resulta em um baixo índice glicêmico. Essa característica é especialmente benéfica para pessoas com diabetes, pois ajuda a manter os níveis de glicose no sangue mais estáveis. Esses atributos nutricionais reforçam o papel do feijão-caupi como um alimento estratégico em benefício da saúde e a prevenção de doenças crônicas (Pereira, 2014)

3. Rizóbios e bacilos em sistemas agrícolas

3.1. Definição e diversidade de rizóbios (gêneros e espécies mais estudados em leguminosas)

Os rizóbios são um grupo especial de bactérias do solo, classificadas como gram-negativas e aeróbias obrigatórias, que possuem a notável capacidade de induzir e invadir os

tecidos de raízes e, em alguns casos, caules de plantas leguminosas. Essa interação simbiótica complexa resulta na formação de nódulos, estruturas especializadas onde ocorre a fixação biológica de nitrogênio atmosférico. Nesse processo, os rizóbios fornecem nitrogênio fixado às plantas, um nutriente essencial para o seu crescimento, enquanto recebem carboidratos e outros compostos orgânicos como fonte de energia, promovendo um benefício nutricional mútuo (Rajwar *et al*., 2013; Nocelli *et al*., 2016).

Os rizóbios, bactérias capazes de estabelecer simbiose com leguminosas e induzir a formação de nódulos, apresentam uma ampla diversidade morfológica, fisiológica, bioquímica, genética e filogenética, destacando-se como um dos grupos bacterianos mais versáteis e adaptáveis ao ambiente (Orrell e Bennett, 2013; Masson-Boivin e Sachs, 2018).

Atualmente, são conhecidos cerca de 15 gêneros de bactérias fixadoras de nitrogênio, que englobam mais de 100 espécies descritas. Dentre estes microrganismos simbióticos incluem os gêneros: *Agrobacterium* ssp., *Allorhizobium* ssp., *Azorhizobium* ssp., *Bradyrhizobium* ssp., *Burkholderia* ssp., *Cupriavidus* ssp., *Devosia* ssp., *Herbaspirillum* ssp., *Mesorhizobium* ssp., *Methylobacterium* ssp., *Ochrobactrum* ssp., *Phyllobacterium* ssp., *Rhizobium* ssp., *Shinella* ssp. e *Sinorhizobium* ssp. (Chidebe *et al.,* 2017). Essa diversidade reflete a capacidade dos rizóbios de estabelecer associações simbióticas com uma grande variedade de plantas leguminosas, adaptando-se a diferentes condições ambientais e edáficas.

3.2. Definição e diversidade de bacilos (Gêneros e espécies mais estudados em leguminosas)

O gênero Bacillus pertence ao Reino Bacteria, Filo Firmicutes, Classe Bacilli, Ordem Bacillales e Família Bacillaceae (Crivelli *et al*., 2024). As espécies de Bacillus são amplamente utilizadas em sistemas agrícolas por seus papéis multifuncionais no biocontrole e promoção do crescimento de plantas.

As principais espécies do gênero Bacillus utilizadas na agricultura incluem: *Bacillus Subtilis, Bacillus thuringiensis, Bacillus pumilus, Bacillus amyloliquefaciens, Bacillus licheniformis e Bacillus megaterium*, destacando-se em diferentes culturas pela promoção de crescimento de plantas e no controle de patógenos (Crivelli *et al*., 2024). Essas bactérias podem controlar pragas e doenças por meio de mecanismos como produção de antibióticos e resistência sistêmica induzida (Villarreal-Delgado *et al*., 2018). As cepas de Bacillus também aumentam o crescimento das plantas solubilizando o fosfato, produzindo fitohormônios e sintetizando sideróforos (Vasques *et al*., 2024).

Pesquisas sobre espécies de Bacillus têm mostrado resultados promissores na promoção do crescimento de plantas e no aumento da nodulação em leguminosas e outras culturas. Estudos em mudas de tomate e pimentão demonstraram que a inoculação de Bacillus pode aumentar o conteúdo de clorofila, o diâmetro do caule e a área foliar (Jambeiro e Santos, 2021). Estudos demonstraram que a espécie *B. subtilis* pode aumentar o número de vagens por planta em feijão-caupi e feijão comum, enquanto na soja pode promover o aumento na nodulação e no acúmulo de nitrogênio nas plantas (Braga *et al*., 2018; Chagas Junior, 2022).

A aplicação foliar de doses crescentes de *B. subtilis* influencia os componentes de rendimento e a produtividade do feijão comum, com a cultivar BRS FC 402 apresentando melhorias notáveis em sementes por vagem, sementes por planta e peso de 1000 grãos (Nader *et al*., 2024). A aplicação bem-sucedida de tecnologias baseadas em Bacillus na agricultura brasileira destaca seu potencial para práticas agrícolas sustentáveis (Vasques *et al*., 2024).

No Brasil, pesquisas relacionadas à seleção de microrganismos solubilizadores de fosfatos tem sido realizada através da equipe da Embrapa Milho e Sorgo (Oliveira-Paiva *et al*., 2009; Gomes *et al*., 2014; Sousa *et al*., 2021; Velloso *et al*., 2020). Esses trabalhos resultaram no desenvolvimento do inoculante comercial BiomaPhos®, criado em colaboração com a empresa Simbiose/Bioma, do Paraná, em 2019. O inoculante contém as estirpes *B. subtilis* (CNPMS B2084) e *B. megaterium* (CNPMS B119), que trazem benefícios no aumento da eficiência do uso de fósforo pelas plantas.

As duas estirpes foram isoladas de diferentes áreas agrícolas do País, predominantemente cultivadas com cereais (Oliveira-Paiva *et al*., 2009; Abreu *et al*., 2017). A estirpe *B. megaterium* (CNPMS B119), isolado da rizosfera do milho, possui capacidade de solubilizar fosfatos de cálcio e de rocha, além de produzir fosfatase. Já a estirpe *B. subtilis* (CNPMS B2084) é endofítica, solubiliza fosfatos de cálcio e ferro, apresenta elevada produção de ácido glucônico e enzima fitase (Abreu *et al*., 2017; Oliveira-Paiva *et al*., 2020; Velloso *et al*., 2020).

4. Fixação biológica de nitrogênio (FBN) em leguminosas

4.1. Conceito e importância da FBN na agricultura

A fixação biológica de nitrogênio atmosférico (FBN) é um processo natural de grande relevância para os agroecossistemas, pois disponibiliza quantidades significativas de nitrogênio essencial para o crescimento vegetal. Esse processo ocorre principalmente por meio da

associação simbiótica entre leguminosas e bactérias diazotróficas, conhecidas coletivamente como rizóbios. Essa interação simbiótica permite que o nitrogênio atmosférico (N_2) seja convertido em formas assimiláveis pelas plantas, contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e reduzindo a dependência de fertilizantes nitrogenados (Costa, 2023).

4.2. Vantagens e desafios da FBN em leguminosas, no feijão Caupi

A FBN no feijão-caupi desempenha um papel crucial na sustentabilidade agrícola, permitindo uma utilização mais eficiente do nitrogênio disponível no ambiente (Melo e Zilli, 2009). Esse processo natural reduz significativamente a dependência de fertilizantes nitrogenados químicos, resultando em menor custo de produção para os agricultores e contribuindo para a preservação ambiental (Costa, 2023). Além disso, a FBN auxilia na redução da emissão de gases de efeito estufa associados à fabricação e aplicação de fertilizantes químicos, promovendo práticas agrícolas mais ecológicas e economicamente viáveis (Oliveira, 2024)

As bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico (N_2) desempenham um papel essencial nos ecossistemas terrestres, especialmente nos sistemas agrícolas, onde frequentemente há limitações na disponibilidade desse nutriente para a produção vegetal (Marchetti e Barp, 2015). Por meio do processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN), essas bactérias acessam de forma irrestrita este recurso renovável, convertendo o nitrogênio atmosférico em formas assimiláveis pelas plantas. Essa atividade garante um suprimento contínuo de nitrogênio, contribuindo para a manutenção da fertilidade do solo e reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos, com benefícios tanto para a produtividade agrícola quanto para a sustentabilidade ambiental (Cleveland *et al*., 1999; Moreira e Siqueira, 2006; Vitousek *et al*., 2013).

Os benefícios da inoculação de leguminosas com bactérias eficientes na fixação de nitrogênio atmosférico (N_2) são amplamente reconhecidos, proporcionando uma fonte sustentável de nitrogênio que substitui, total ou parcialmente, o uso de fertilizantes inorgânicos. Essa prática, além de reduzir os custos de produção, contribui para a sustentabilidade ambiental ao minimizar os impactos negativos associados ao uso intensivo de fertilizantes químicos. No Brasil, a inoculação é amplamente adotada na cultura da soja, onde se consolidou como uma tecnologia indispensável, e vem ganhando destaque na cultura do feijão-caupi, ampliando sua aplicação e eficácia em diferentes sistemas produtivos (Moreira e Siqueira, 2002).

4.3. Relação entre o genótipo da planta e a eficiência da nodulação

A nodulação desempenha um papel crucial no desenvolvimento e crescimento de plantas leguminosas, sendo um processo fundamental para sua nutrição e produtividade. De acordo com Silva *et al*. (2010), o feijão-caupi, por meio de sua simbiose com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, é capaz de suprir suas necessidades de nitrogênio através do processo da FBN. O nitrogênio, por sua vez, é essencial para a formação e o desenvolvimento da parte vegetativa das plantas, incluindo folhas, caules e raízes, que são determinantes para o crescimento saudável e o rendimento da cultura. Nesse contexto, a FBN assume um papel de destaque, fornecendo nitrogênio de forma sustentável e contribuindo significativamente para o cultivo eficiente do feijão-caupi.

Silva *et al*. (2010) afirmam que a nodulação e a FBN são processos sensíveis a fatores edafoclimáticos, os quais podem impactar positivamente ou negativamente sua eficiência. Um dos principais fatores que afetam esses processos é a disponibilidade de água no solo. Em condições de baixos níveis hídricos, como os frequentemente encontrados na região Nordeste do Brasil, a formação dos nódulos pode ser prejudicada, comprometendo a simbiose entre as plantas e as bactérias fixadoras de nitrogênio. Essa limitação hídrica interfere diretamente na capacidade de produção do feijão-caupi, evidenciando a importância de práticas de manejo que mitiguem os efeitos do estresse hídrico para assegurar o sucesso da cultura.

5. Objetivos

5.1. Geral

Avaliar a inoculação de microrganismos fixadores de nitrogênio e solubilizadores de fosfato na cultura do feijão-caupi no Amazonas

5.2. Específicos

- Avaliar a resposta do feijão-caupi à inoculação com rizóbios.
- Avaliar a resposta do feijão-caupi à inoculação com BiomaPhos®.
- Avaliar o desempenho de plantas inoculadas e coinoculadas com rizóbios e BiomaPhos®, comparadas com plantas tratadas com fertilizantes químicos (NPK) e sem N e P (50%).

6. Material e métodos

6.1. Característica da área de estudo

O estudo foi conduzido na estação experimental da Embrapa Amazônia Ocidental (figura 1), localizada no km 29 da rodovia AM010, Manaus- AM (2°53’24,69”, 59°58’05,14” W) em um Latossolo Amarelo. Para análise química do solo, oram coletadas seis amostras compostas com o auxílio de um trado holandês na profundidade de 0 a 20 cm. Os resultados da análise encontram-se na Tabela 1.

Figura 1. Área experimental com feijão-caupi.

Fonte: o autor.

Tabela 1. Caracterização química do solo da área do plantio do feijão-caupi.

pH	C	M.O.	N	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	Fe	Zn	Mn	Cu
H_2O		g/kg			mg/dm³					$cmol_c/dm^3$				%			mg/dm³		
5,98	22,20	38,18	1,81	20,17	117,33	11,00	2,45	0,78	0,04	3,54	3,58	3,62	7,11	50,52	1,14	267,50	8,45	7,52	1,54

6.2. Instalação do experimento

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições. O tratamento controle foi sem a aplicação de inoculante e adubação. Os tratamentos adubados corresponderam a aplicação de uréia (90,9 kg ha^{-1}) na semeadura, superfosfato simples (111,1 kg ha^{-1}) e cloreto de potássio (33,3 kg ha^{-1}).

Os tratamentos relacionados à fixação biológica de nitrogênio (N) envolveram o uso do isolado SEMIA6462 de *Bradyrhizobium japonicum*, juntamente com isolado(s) de microrganismos nativos obtidos de solos amazônicos previamente selecionados em condições de casa de vegetação, denominados AM200/2022 e AM212/2022. No que diz respeito à solubilização de fosfato, foi utilizado o produto comercial BiomaPhos® (*Bacillus megaterium* - CNPMS B119 e *Bacillus subtilis* – CNPMS B2084).

Abaixo segue a descrição dos tratamentos utilizados no experimento (tabela 2).

Tabela 2. Descrição dos tratamentos.

Tratamentos	Descrição
1	SEMIA6462 (*B. japonicum*)
2	BiomaPhos®
3	AM200/2022
4	AM212/2022
5	BiomaPhos® + AM200/2022
6	BiomaPhos® + AM212/2022
7	BiomaPhos® + SEMIA6462
8	N + P + K
9	Sem adubação e sem inoculante

6.3. Inoculação dos microrganismos

A inoculação e coinoculação dos microrganismos foram realizadas diretamente nas sementes de acordo com cada tratamento (Tabela 2). Os inoculantes para os isolados AM200, AM212 e SEMIA6462 foram semeados em meio líquido levedura-manitol e colocados em uma estufa sob agitação 28 °C por 72 horas. Após esse período, para verificação da população bacteriana foi realizada uma diluição seriada em solução salina (NaCl – 0,9%). Em seguida, o meio líquido contendo os isolados foi adicionado a turfa estéril e colocado em estufa à 28 °C

por sete dias. Após esse período foi realizada uma nova diluição seriada para avaliação da população bacteriana na turfa.

A proporção da turfa foi: 1g de turfa com isolado para cada 100 g de sementes, e 1 mL de solução açucarada (90 mL de água e 10g de açúcar). Após essa mistura o material foi deixado para secagem durante 72 horas. Os tratamentos com o BiomaPhos® foram inoculados nas sementes no plantio, seguindo a recomendação de 100 mL do produto para 50 kg de sementes.

Os isolados bacterianos nativos utilizados neste processo foram devidamente registrados no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen – protocolo n° AFB9C7B).

6.4. Plantio, cultivo e colheita do feijão-caupi

O feijão-caupi BRS Tumucumaque foi cultivado utilizando o espaçamento de 50 cm entre linhas com nove plantas.m^{-1}. com população de 180 mil plantas. ha^{-1} (Oliveira, 2019). Durante o período de cultivo foi realizado o monitoramento diário para controle de pragas e doenças. Já o controle de plantas daninhas foi realizado até 35 dias após a emergência (DAE). Por sua vez, a colheita foi realizada manualmente após a secagem das vagens para manutenção da qualidade dos grãos aos 72 DAE.

6.5. Coleta dos dados

6.5.1. Parte aérea e nodulação

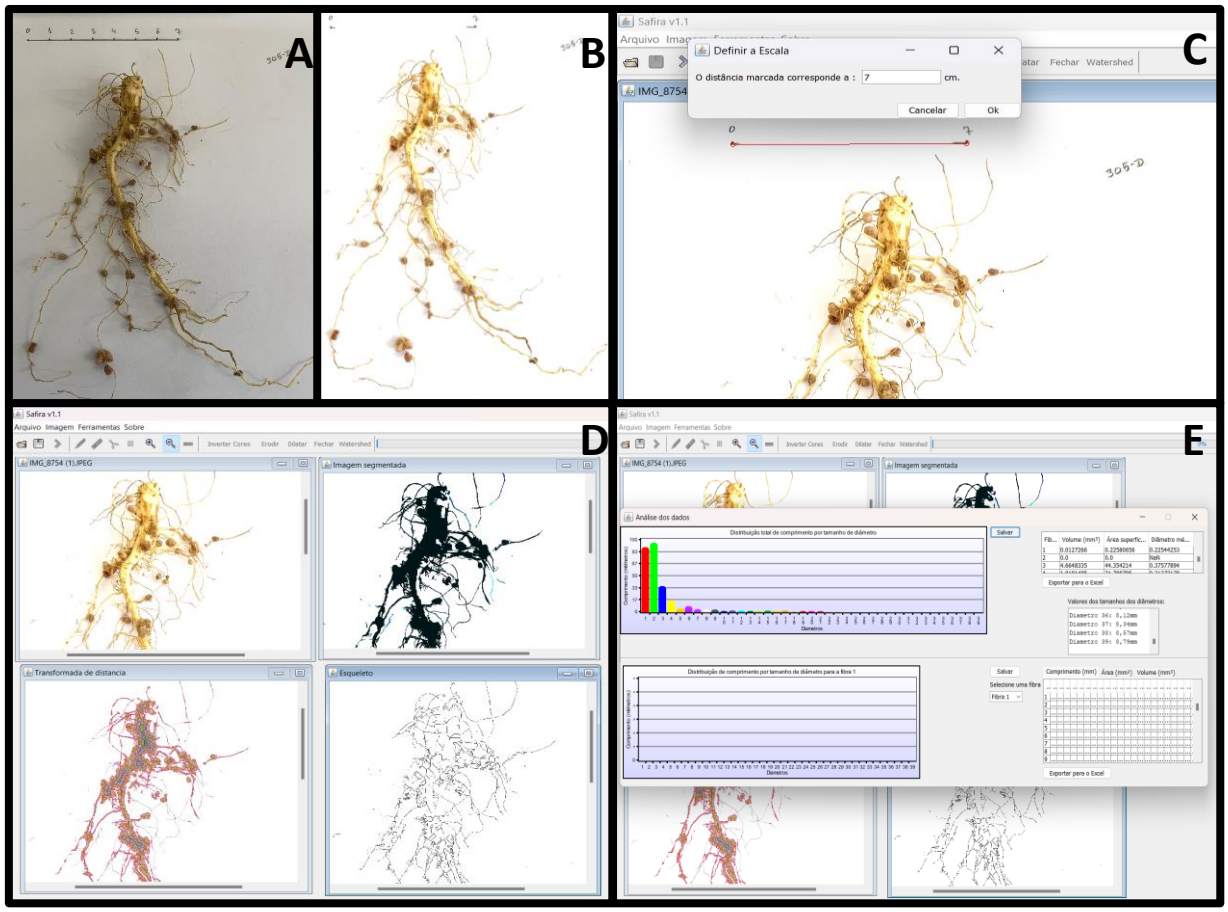
Foram coletadas cinco plantas com raízes intactas da área central da segunda linha de cada parcela aos 30 DAE (MAPA, 2011). Essas plantas foram utilizadas para avaliação das variáveis da parte aérea:

- Massa da parte aérea seca (MPAS) (g): obtida através da secagem das amostras em estufa de circulação forçada à 65 °C durante 72 horas;
- Acúmulo de nitrogênio da parte aérea (ANPA) em mg.$planta^{-1}$: determinado pelo Laboratório de Análise de Solos e Plantas da Embrapa Amazônia Ocidental, em Manaus – AM, através do método de Kjedhal;
- Número de nódulos por planta (NNOD (n°/planta): obtido após o destaque dos nódulos das raízes e em seguida feito a contagem;

- Massa de nódulos seca por planta (MNOD) e em mg.planta^{-1}: obtida através da secagem das amostras em estufa de circulação forçada à 65 °C durante 72 horas.

A avaliação das raízes foi realizada após a separação da parte aérea da planta. Em seguida, as raízes foram lavadas em água corrente, digitalizadas e processadas individualmente utilizando o programa Safira (Jorge e Rodrigues, 2008; Jorge e Silva, 2010), o procedimento de digitação e análise das imagens estão expressos na figura 2. As variáveis analisadas foram: volume de raízes (mm³), área superficial de raízes (mm²) e diâmetro ponderado (mm).

Figura 2. A – Obtenção da imagem da raiz da planta através de uma câmera digital; B – Transferência da imagem digitalizada para o computador, e em seguida ao programa Safira. C – Definição da escala da imagem no programa. D – Processamento da imagem no programa. 5: Obtenção do gráfico e tabela com os resultados.



6.5.2. Produção

A colheita foi realizada aos 72 DAE e as variáveis avaliadas foram realizadas conforme a metodologia proposta por Rocha (2018) foram:

- Número de vagens por planta: Foi obtida pela contagem do número total de vagens, dividido pelo número de plantas da área útil de cada parcela.
- Comprimento de vagem (cm): Obtido pela média das vagens contidas em cada parcela experimental. As medições foram realizadas no ato da colheita, por intermédio de uma fita graduada em centímetros.
- Produtividade de grãos ($kg.ha^{-1}$): Após a colheita foi realizada a debulha manual das vagens, com grãos corrigidos para 13% de umidade, que foram pesados, sendo a produtividade de grãos obtida pela razão entre a massa de grãos e a área útil de cada parcela que foi convertida em hectare.
- Nitrogênio e fósforo total de grãos: N e P total de grãos foi determinado pelo Laboratório de Análise de Solos e Plantas da Embrapa Amazônia Ocidental, em Manaus - AM.

6.6. Análise dos dados

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (Fisher 1934) e teste de separação de médias Scott- Knott (Scott e Knott 1974). Os pressupostos da análise da variância foram avaliados utilizando os testes de normalidade de Shapiro-Wilk (Shapiro e Wilk 1965), e de homogeneidade da variância dos resíduos de Brown-Forsythe (Brown e Forsythe 1974). As análises foram realizadas utilizando os pacotes ExpDes (Ferreira *et al*., 2013) e corrplot (Wei e Simko, 2024) e do programa R (R Core Team, 2024).

7. Resultados e discussão

A MPAS variou de 5,40 até 13,95 g.planta^{-1} (Tabela3). Os resultados dos tratamentos BiomaPhos®+AM200, AM200 e AM212 apresentaram maior MPAS do que os demais tratamentos, mas não diferiram entre si. Os resultados foram similares aos observados em outros trabalhos, onde a inoculação com rizóbios aumentou a MPAS do feijão-caupi (Stamford *et al*., 2013; Kebede *et al*, 2020**;** Ayalew e Yoseph, 2020). O aumento da MPAS ocorreu por meio da fixação biológica de N oriunda da simbiose rizóbios-leguminosa (Jesus *et al*., 2023). Por sua vez, a coinoculação com BiomaPhos® aumentou a MPAS porque aumentou a disponibilidade de fosfato, nodulação e eficiência na fixação biológica de N (Oliveira, 2020; Oliveira-Paiva, 2021).

Tabela 3. Massa da parte aérea seca (MPAS) e acúmulo de nitrogênio da parte aérea (ANPA), número de nódulos (NNOD) massa de nódulos seca (MNOD) de feijão-caupi.

Tratamentos	MPAS (g/planta)	ANPA (mg/planta)	NNOD (n°/planta)	MNOD (mg/planta)
T5 - BiomaPhos® + Isolado 1	13,95 a	46,54 a	31,93 a	31,83 b
T3 - Isolado 1 (AM200)	13,46 a	43,21 a	28,70 a	65,96 a
T4 - Isolado 2 (AM212)	10,92 a	36,31 b	42,25 a	50,09 a
T6 - BiomaPhos® + Isolado 2	9,98 b	32,76 b	35,60 a	23,36 b
T2 - BiomaPhos®	9,79 b	32,40 b	22,30 a	30,33 b
T 9 - Sem Inoculação e Sem N	9,28 b	31,43 b	36,30 a	38,55 a
T7 - BiomaPhos® + SEMIA6462	8,42 b	19,79 c	33,50 a	22,49 b
T1 - SEMIA6462	5,94 c	18,28 c	12,65 a	3,26 b
T8- N + P + K	5,40 c	16,93 c	20,50 a	1,49 b

* médias com a mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott ($p<0,05$).

O ANPA variou de 16,93 até 46,54 mg.planta^{-1}(Tabela 3). Os tratamentos BiomaPhos®+AM200 e AM200 apresentaram maior ANPA do que os demais tratamentos, mas não diferiram entre si. O aumento do ANPA também foi observado em estudos com feijoeiro

comum (Araújo *et al*., 2007; Silva *et al*., 2020; Souza *et al*.,2011). Resultados semelhantes foram obtidos por Gualter (2007) em feijão-caupi, onde o ANPA apresentou aumento em plantas inoculadas em relação à não inoculadas. A inoculação de leguminosas com rizóbios aumenta o acúmulo de nitrogênio na parte aérea das plantas principalmente devido à fixação biológica de nitrogênio (Martínez-Romero *et al*., 1991; Soares et al., 2006; Pelegrin *et al*., 2009; Valadão *et al*., 2009). Os efeitos da coinoculação de BiomaPhos® sobre o ANPA ocorreram devido ao aumento da eficiência na fixação biológica de nitrogênio (Araújo *et al*., 2009; Casarin, 2019). Em leguminosas, a coinoculação com rizóbios otimiza a fixação biológica de nitrogênio. As leguminosas, como a soja, dependem dessa interação para suprir suas necessidades de nitrogênio, e o aumento na fixação nitrogenada leva a um maior acúmulo desse nutriente, essencial para o crescimento nodulação e desenvolvimento (Mendes *et al*., 2010). A coinoculação permite uma melhor das raízes devido à interação positiva entre bacilos e o rizóbio. Os bacilos podem aumentar a competitividade do rizóbio, facilitando a colonização das raízes pela bactéria noduladora, o que resulta em um número maior de nódulos e, consequentemente, uma maior capacidade de fixação do nitrogênio atmosférico (Araújo e Hungria, 1999).

O NNOD variou de 12,65 a 42,25 nódulos.planta^{-1} (Tabela 3). Os tratamentos não apresentaram diferenças entre si em relação ao NNOD. Estudos realizado por Kebede *et al*. (2020) observaram resultados semelhantes quanto ao número de nódulos, variando de 16 a 100 nódulos.planta^{-1}. A ausência de diferenças estatísticas podem estar relacionadas à competição com os microrganismos nativos. Fernandes *et al*. (2003) observaram que, embora estirpes comerciais sejam eficientes, isolados nativos podem apresentar desempenho superior em determinadas condições. Além disso, a adaptação das estirpes nativas às condições específicas do solo e clima locais pode conferir a elas uma vantagem competitiva sobre as estirpes introduzidas via inoculantes comerciais (Jesus *et al*., 2023).

A MNOD variou entre 1,49 até 65,96 mg.planta^{-1} (Tabela 3). Os tratamentos que apresentaram maior MNOD foram AM200, AM212 e sem inoculação e sem adubação. Outros estudos também obtiveram resultados semelhantes, onde a inoculação aumentou a MNOD como observado na Etiópia e Quênia (Avalew e Yoseph, 2020; Ndungu, 2017; Avalew *et al*., 2021). A inoculação de leguminosas com estirpes selecionadas de rizóbios pode aumentar a massa seca dos nódulos devido à produção de fitormônios pelas bactérias, como o ácido indolacético, que promovem o crescimento radicular e, consequentemente, a nodulação (Coelho 2021).

A seleção de estirpes de rizóbios altamente eficientes na fixação biológica de nitrogênio (FBN) resulta na formação de nódulos mais ativos e com maior massa seca, refletindo diretamente na produtividade da simbiose rizóbio-leguminosa (Ferreira *et al*., 2020). Além disso, algumas estirpes possuem a capacidade de sintetizar fitormônios, como auxinas e giberelinas, que estimulam o crescimento radicular, promovendo um aumento na superfície de absorção e proporcionando maior área disponível para a nodulação. Esse mecanismo fisiológico favorece a formação de nódulos maiores e mais pesados, otimizando a captação e assimilação do nitrogênio atmosférico (Almeida Neta, 2021).

As variáveis apresentaram correlação entre si (Figura 3). A MNOD apresentou correlação positiva com NNOD, ANPA e MPAS. O NNOD apresentou correlação positiva com ANPA e MPAS. A MPAS apresentou correlação positiva com ANPA. As variáveis MPAS, ANPA, NNOD e MNOD apresentaram correlação positiva. Em um estudo desenvolvido por Ayalew e Yoseph (2020), a inoculação com isolados de rizóbios demonstrou uma correlação positiva entre o número de nódulos formados e o crescimento das plantas de feijão-caupi, apontando que a biomassa das plantas também foi significativamente impactada pela eficácia da nodulação. Este mesmo estudo sugeriu que a formação eficiente de nódulos contribui para um aumento no peso seco das partes aéreas, evidenciando a relevância da simbiose entre leguminosas e rizóbios. Resultados semelhantes foram observados por (Becker *et al*., 2024), em que o efeito da inoculação do feijão-caupi com rizóbios, demonstraram que a MPAS apresentou uma correlação positiva quanto ao NNOD e ANPA, indicando que o desenvolvimento da parte aérea está associado a uma maior nodulação no feijão-caupi. Ayalew *et al*. (2024) verificaram a correlação positiva entre ANPA e MSPA em feijão-caupi inoculados com rizóbios, indicando que a eficiência na fixação de nitrogênio tem um impacto mensurável sobre o crescimento vegetativo. Experimentos realizados por Araújo *et al*. (2009) em feijão-caupi também concordam com estes resultados, em que a ANPA demonstrou correlação positiva com MPAS. Plantas que conseguem fixar mais nitrogênio tendem a apresentar maior biomassa (Vieira, 2017). Purwaningsih *et al*. (2021) observaram correlação positiva entre a MPAS e MNOD em amendoim, sugerindo que o aumento da formação dos nódulos está diretamente relacionado ao crescimento da biomassa da planta.

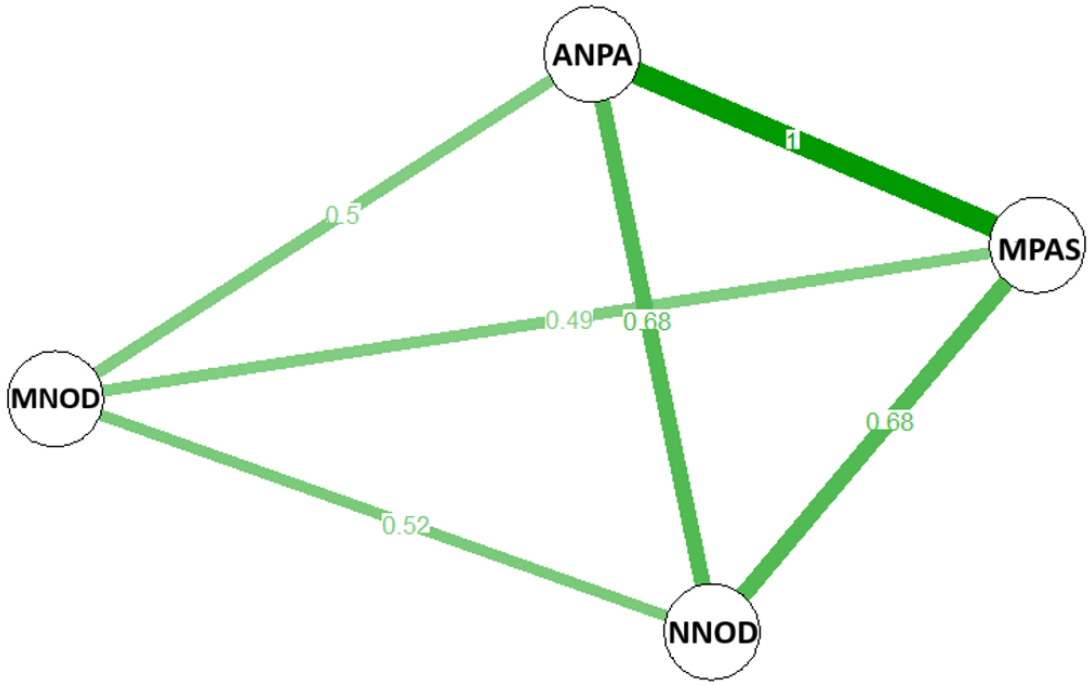


Figura 3. Correlação entre as variáveis MPAS, ANPA, NNOD e MNOD em feijão-caupi

As variáveis NVG, CVG, P100, produtividade, NGR, PGR, Vol, ASR e DPR não apresentaram diferenças entre os tratamentos (Tabela 4). O número de vagens variou de 15 até 23,75 vagens.planta^{-1}. O comprimento das vagens variou entre 20,79 até 23,35 cm.planta^{-1}. O peso de 100 sementes variou de 26,89 até 30,95 g.planta^{-1}. A produtividade variou de 1091,95 até 1765,44 kg.hectare^{-1}. De acordo com Cardoso e Andreote (2016), ausência de diferenças estatísticas entre os tratamentos pode estar relacionada a diversos fatores, como as populações bacterianas nativas, a espécie hospedeira, temperatura, umidade, pH, a deficiência de nutrientes e metais pesados, e a disponibilidade de N-mineral. Condições ambientais favoráveis podem proporcionar um crescimento uniforme das plantas, independentemente do tratamento aplicado (Hungria *et al*., 2005). Além disso, a capacidade genética da cultivar utilizada pode influenciar diretamente esses parâmetros, pois algumas cultivares possuem alta plasticidade fenotípica, ajustando sua produção de vagens conforme as condições ambientais, minimizando o impacto de diferentes tratamentos (Araújo, 2022).

Tabela 4. Número de vagens (NVG), comprimento de vagens (CVG), peso de 100 sementes (P100) e produtividade (Prod) de feijão-caupi

Tratamentos	NVG	CVG	P100	Prod
	Nº.	cm	g	kg.ha^{-1}
T5 - BiomaPhos® + Isolado 1	23,75 a	22,80 a	30,59 a	1471,42 a
T3 - Isolado 1 (AM200)	17,25 a	21,06 a	29,12 a	1765,44 a
T4 - Isolado 2 (AM212)	17,75 a	20,79 a	32,07 a	1713,80 a

T6 - BiomaPhos® + Isolado 2	18,75 a	21,73 a	30,74 a	1471,42 a
T2 - BiomaPhos®	18,25 a	21,79 a	30,29 a	1091,95 a
T 9 - Sem Inoculação e Sem N	20,75 a	21,63 a	30,15 a	1469,55 a
T7 - BiomaPhos® + SEMIA6462	21,50 a	22,45 a	28,88 a	1431,78 a
T1 - SEMIA6462	15,00 a	23,35 a	26,89 a	1492,65 a
T8- N + P + K	16,75 a	21,36 a	30,95 a	1500,01 a

* médias com a mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott (p<0,1).

Tabela 5. Nitrogênio (NGR) e fósforo (PGR) nos grãos de feijão-caupi.

Tratamentos	**NGR**	**PGR**
	kg/hectare	
T5 - BiomaPhos® + Isolado 1	59,14 a	0,0185 a
T3 - Isolado 1 (AM200)	73,64 a	0,0142 a
T4 - Isolado 2 (AM212)	71,40 a	0,0147 a
T6 - BiomaPhos® + Isolado 2	59,45 a	0,0152 a
T2 - BiomaPhos®	45,19 a	0,0149 a
T 9 - Sem Inoculação e Sem N	60,17 a	0,0175 a
T7 - BiomaPhos® + SEMIA6462	59,16 a	0,0145 a
T1 - SEMIA6462	61,81 a	0,0142 a
T8- N + P + K	62,13 a	0,0141 a

*médias com a mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott (p<0,1).

Tabela 6. Volume de raízes (Vol), área superficial de raízes (ASR) e diâmetro ponderado de raízes (DPR) de feijão-caupi.

Tratamentos	**Volume**	**Área superficial**	**Diâm. ponderado**
	mm^3	**mm^2**	**mm**
T1 - SEMIA6462	501,74 a	2090,57 a	0,41 a
T2 - BiomaPhos®	402,18 a	2434,81 a	0,45 a
T3 - Isolado 1 (AM200)	502,62 a	3164,68 a	0,38 a
T4 - Isolado 2 (AM212)	683,54 a	3067,70 a	0,47 a
T5 - BiomaPhos® + Isolado 1	594,24 a	2632,59 a	0,49 a
T6 - BiomaPhos® + Isolado 2	482,98 a	2249,08 a	0,59 a
T7 - BiomaPhos® + SEMIA6462	428,67 a	1279,90 a	0,49 a
T8- N + P + K	373,37 a	2970,92 a	0,49 a
T 9 - Sem Inoculação e Sem N	594,87 a	2363,59 a	0,43 a

*médias com a mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott (p<0,1).

O NVG apresentou correlação positiva com CVG e GVG. O CVG apresentou correlação positiva com GVG e ASR. O GVG apresentou correlação positiva com o DPR. O P100 apresentou correlação positiva com o NGR e o DPR. A produtividade apresentou correlação

positiva com o NGR. O NGR apresentou correlação positiva com o P100. A ASR apresentou correlação positiva com o DPR. As correlações observadas entre as variáveis analisadas indicam interações fisiológicas e agronômicas que influenciam o desempenho da cultura. Essas relações podem ser explicadas pelos mecanismos de crescimento, desenvolvimento e assimilação de nutrientes das plantas. Estudos demonstram que características como número de vagens, comprimento de vagens e número de grãos por vagem estão inter-relacionadas e afetam diretamente a produtividade. Além disso, a eficiência do sistema radicular na absorção de nutrientes está correlacionada com o desenvolvimento dos órgãos reprodutivos, refletindo em maior rendimento de grãos. Essas interações destacam a importância de uma abordagem integrada no manejo agronômico para otimizar o desempenho das culturas (Gonçalves *et al*., 2014; Silva, 2017; Monteiro, 2018).

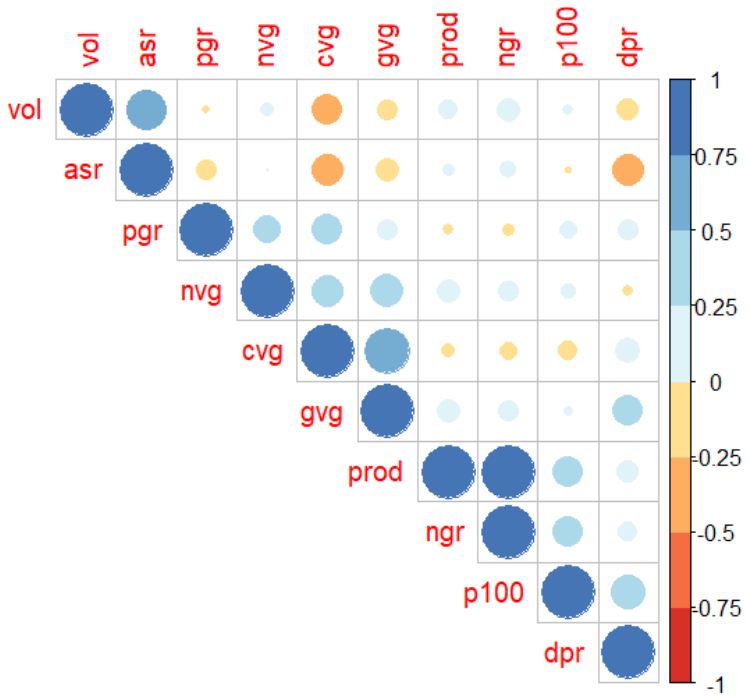


Figura 4. Correlação entre as variáveis volume radicular, área superficial radicular, diâmetro ponderado das raízes, número de vagens, comprimento de vagens, grãos por vagem, peso de 100 sementes, número de grãos, nitrogênio nos grãos, fósforo nos grãos, produtividade de grãos

8. Conclusões

8.1. 30 DAE

- A coinoculação com BiomaPhos®+AM200 e a inoculação com AM200 e AM212 aumentam a MPAS em feijão-caupi cv Tumucumaque;

- A coinoculação com BiomaPhos®+AM200 e a inoculação com AM200 aumentam a ANPA em feijão-caupi cv Tumucumaque;
- A inoculação com AM200 e AM212 aumentam a MNOD em feijão-caupi cv Tumucumaque;
- As variáveis MPAS, ANPA, NNOD e MNOD apresentam correlação positiva.

8.2. 72 DAE

- As variáveis NVG, CVG, P100, produtividade, NGR, PGR, Vol, ASR e DPR não são afetadas pela inoculação e coinoculação. Estas variáveis apresentam correlação entre si.

9. Referências

Almeida Neta, M.N. 2021. *Inoculação com rizobactérias e adubação nitrogenada no crescimento, produção e acúmulo de nutrientes em grão-de-bico*. Tese (doutorado) Produção vegetal. Universidade Federal de Minas Gerais. Montes Claros. 100 p.

Amaral, M.B. 2023. *Fixação biológica de nitrogênio em leguminosas forrageiras tropicais*. Tese (Doutorado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Agronomia Ciência do Solo. 85 p.

Araújo, A.S.F.; Carneiro, R.F.V.; Bezerra, A.A.C.; Araújo, F.F. 2009. Coinoculação rizóbio e Bacillus subtilis em feijão-caupi e leucena: efeito no crescimento e nodulação. *Ciência Rural*, 39(8), 2210-2213.

Araújo, A.S.F.; Carneiro, R.F.V.; Bezerra, A.A.C.; Araújo, F.F. 2010. Coinoculação rizóbio e Bacillus subtilis em feijão-caupi e leucena: efeito sobre a nodulação, a fixação de N2 e o crescimento das plantas. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1-6. (http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782010000600001).
Acesso em 11 de fevereiro de 2025

Araújo, L.B.R. 2022. *Recomendação de linhagens de feijão-caupi quanto à produtividade e escurecimento dos grãos para a região semiárida*. Tese de doutorado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. 61p.

Araújo, F.F.; Hungria, M. 1999. Nodulação e rendimento de soja co-infectada com *Bacillus subtilis* e *Bradyrhizobium japonicum* / *Bradyrhizobium elkanii*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.34, p.1633-1643.

Argaw, A. 2014. Symbiotic effectiveness of inoculation with *Bradyrhizobium* isolates on soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) genotypes with different maturities. *Springer Plus*, *3*(753), 1–13.

Ayalew, T., Yoseph, T., Petra, H., Cadisch, G. 2021. Yield response of field-grown cowpea varieties to *Bradyrhizobium* inoculation. *Agronomy Journal*, 113(4), 3258-3268.

Ayalew, T.; Yoseph, T. 2020. Symbiotic effectiveness of inoculation with *Bradyrhizobium* isolates on Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) varieties. *Cogent Food and Agriculture*, v. 6, n. 1, p. 1845495, 2020. DOI: 10.1080/23311932.2020.1845495.

Balieiro, F.C.; Berbara, R.; Faria, S.M.; De-Polli, H.; Franco, A.A. 2013. Insumos Biológicos. In: FREIRE, L. R. (coord.). *Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro*. Brasília, DF: Embrapa; Seropédica: Universidade Rural. cap. 8, p. 167-188.

Barros, B.G.A.; Martins, A.L.P.; Santos, E.E. de S.; Silva, E.D. da. 2021. Proveito do melhoramento genético na cultura do feijão-caupi. *Revista Multidisciplinar De Educação E Meio Ambiente*, v. 02, n. 03. DOI: https://doi.org/10.51189/rema/1370

Bastos, R.A. 2016. *Co-inoculação de rizóbio e bactérias promotoras de crescimento vegetal em feijoeiro comum*. Dissertação de Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 116 p.

Becker, J.N., Grozinger, J., Sarkar, A., Reinhold-Hurek, B., Eschenbach, A. 2024. Efeitos da inoculação de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) no desenvolvimento de nódulos e no teor de carbono e nitrogênio da rizosfera sob seca simulada. *Plant Soil*. 500:33–51

Binneck, E; Barros, A.C.S.A.; Vahl, L.C. 2000. Inoculação com *Rhizobium*, Aplicação de Molibdênio e Secagem das Sementes Tratadas de Trevo Branco. *Revista Brasileira de Agrociência*, v6 no 1, 35-38.

Brasil. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). Governo Federal lança plano nacional de fertilizantes para reduzir importação dos insumos. 2022. (https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/governo-federal-lanca-plano-nacional-de-fertilizantes-para-reduzir-importacao-dos-insumos). Acesso em 28 de janeiro de 2025

Brown, M.B.; Forsythe, A.B. 1974. The Small Sample Behavior of Some Statistics Which Test the Equality of Several Means. *Technometrics*. DOI: 16:129-132.10.1080/00401706.1974.10489158

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. 2016. *Microbiologia do Solo*. 2.ed. Piracicaba, ESALQ. 221 p. https://doi.org/10.11606/9788586481567

Casarin, V. 2019. Fósforo: um nutriente essencial. (https://www.nutrientesparaavida.org.br/fosforo-um-nutriente-essencial/). Acesso em: 10 de fevereiro de 2025

Chagas Junior, A.F.; Braga Junior, G.M.; Martins, A.L.L.; Chagas, L.F.B.; Miller, L. de O.; Bezerra, A.C.C. 2022. *Bacillus subtilis* Bs10 como um inoculante eficiente para a promoção do crescimento de plantas de soja. *Semina: Ciências Agrárias*, 43(4), 1769–1786. https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n4p1769v

Chidebe, I.N.; Jaiswal, S.K.; Dakora, F.D. 2017. Distribution and phylogeny of microsymbionts associated with cowpea (*Vigna unguiculata*) nodules across different agro-ecological regions of Mozambique. *Applied Environment Microbiology*. Jan 2;84(2):e01712-17. doi: 10.1128/AEM.01712-17.

Coelho, L.G.F.; Bomfim, C.A.; Mendes, I. de C.; Vale, H.M.M. do; Reis Junior, F.B. dos. 2021. A inoculação do feijoeiro no Brasil: alternativas para aumentar a produtividade utilizando microrganismos promotores do crescimento vegetal. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados.

Conab, Companhia Nacional de Abastecimento. 2022. Safra Brasileira de Grãos. (https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos). Acesso em 07 de outubro de 2023.

Conab, Companhia Nacional de Abastecimento. 2023. Boletim da Safra de grãos 2021/22. (www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/). Acesso em 28 de janeiro de 2025.

Conab, Companhia Nacional de Abastecimento. 2024. Boletim logístico: volume de fertilizante importado em janeiro é recorde no país. (https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5404-boletim-logistico-volume-de-fertilizante-importado-em-janeiro-e-recorde-no-pais). Acesso em 20 de janeiro de 2025

Costa, M.M.M.N. 2023. Fixação biológica de nitrogênio: uma revisão. Campina Grande: Embrapa Algodão. (http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1162060). Acessado em 10 de fevereiro de 2025.

Fernandes, M.F., Fernandes, R.P.M., Hungria, M. 2003. Seleção de rizóbios nativos para guandu, caupi e feijão-de-porco nos tabuleiros costeiros de Sergipe. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38(7), 835-842. (https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/AI-SEDE/24873/1/v38n7a07.pdf). Acesso em 18 de fevereiro de 2025.

Ferreira, E.P.B.; Martins, L.M.V.; Xavier, G.R.; Rumjanek, N.G. 2011. Nodulação e produção de grãos em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) inoculado com isolados de rizóbio. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 24, n. 4, p. 27-35.

Freire Filho, F.R.; Ribeiro, V.Q.; Rocha, M.M.; Silva, K.J.D.; Nogueira, M.S.R.; Rodrigues, E.V. 2011. Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Teresina: Embrapa Meio-Norte. 84 p.

Freire Filho. R.R.; Ribeiro, V.Q. 2023. Feijão-Caupi na Embrapa Meio-Norte: melhoramento, cultivares lançadas, genealogias e base genética. Brasília, DF: Embrapa.

Gomes, S. B. de S.; Ferreira, J. B.; Macedo, P. E. F. de; Nascimento, L. de O.; Nascimento, G. de O.; Neto, E. P. 2020. Caracterização agronômica de variedades crioulas de feijões caupi no Município de Senador Guiomard, Acre, Brasil. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*. DOI:10.33448/rsd-v9i8.6243

Gualter, R.M.R., Leite, L.F.C., Alcantara, R.M.C.M., Costa, D.B., Lima, S.S. 2007. Avaliação dos efeitos da inoculação de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) com *Bradyrhizobium elkanii*. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 2(2), 637-640.

Hungria, M. 2011. Inoculação com *Azospirillum brasiliense*: inovação em rendimento a baixo custo. Documentos Embrapa Soja. 325:1-36

Hungria, M.; Franchini, J.C.; Campo, R.J.; Graham, P.H. 2005. The Importance of Nitrogen Fixation to Soybean Cropping in South America. In: Werner, D., Newton, W.E. (eds) Nitrogen Fixation in Agriculture, Forestry, Ecology, and the Environment. Nitrogen Fixation: Origins, Applications, and Research Progress, vol 4. *Springer, Dordrecht Netherlands*. pág.25-42.

IBRAFE, Instituto Brasileiro do Feijão e Pulses. 2022. Avanço na colheita de grãos. (https://www.ibrafe.org/?gclid=Cj0KCQjw3v6SBhCsARIsACyrRAk84HjulJE3Tht58NzwycOaObo7fVPg8W2J6-cOr5btVcUUw854juAaAlc2EALw_wcB). Acesso em 28 de janeiro de 2025.

Jesus, E.N.; Souza, R.C.; Silva, J.P.; Almeida, R.S.; Ferreira, T.L. 2023. Adubação nitrogenada e estirpes de rizóbios eficientes no desenvolvimento e produtividade do feijão-caupi. *Holos*, v. 39, n. 7, e10538. DOI: https://doi.org/10.15628/holos.2023.10538.

Jorge, L.A.C.; Rodrigues, A.F.O. 2008. Safira: sistema de análise de fibras e raízes. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária. 20 p.

Jorge, L. A. C.; Silva, D. J. C. B. 2010. Safira: manual de utilização. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária. 29 p

Kebede, E., Amsalu, B., Argaw, A., Tamiru, S. 2020. Symbiotic effectiveness of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) nodulating rhizobia isolated from soils of major cowpea producing areas in Ethiopia. *Cogent Food and Agriculture*, 6(1). https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1763648

Krolow, R.H., Mistura, C., Coelho, R.W., Siewerdt, L., Zonta, É.P. 2004. Efeito do fósforo e do potássio sobre o desenvolvimento e a nodulação de três leguminosas anuais de estação fria. *Revista Brasileira De Zootecnia*, 33(6), 2224–2230. https://doi.org/10.1590/S1516-35982004000900007

Kyei-Boahen, C.E.S.; Savala, N.; Chikoye, D.; Abaidoo, R. 2017. Growth and yield responses of Cowpea to inoculation and phosphorus fertilization in different environments. *Front. Plant Sci*, *8*(646), 1–13.

ima, E.D.P. de A.; Jerônimo, E. de S.; Lima, C.A. de A.; Gondim, P.J. de S.; Aldrigue, M.L.; Cavalcante, L.F. 2003 Características físicas e químicas de grãos verdes de linhagens e cultivares de feijão-caupi para processamento tipo conserva. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 7, n. 1, p. 129-134.

Marchetti, M.M.; Barp, E.A. 2015. Efeito rizosfera: a importância de bactérias fixadoras de nitrogênio para o solo/planta – revisão. *Ignis*, 4(1), 61-71.

(https://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/ignis/article/view/767). Acesso em 18 de fevereiro de 2025

Martins, L.M.V.; Neves, M.C.P.; Rumjanek, N.G. 1997. Growth characteristics and symbiotic efficiency of rhizobia isolated from cowpea nodules of the north-east region of Brazil. *Soil Biology and Biochemistry* 29:1005-1010.10.1016/ S0038-0717(96)00215-5

Masson-Boivin, C.; Sachs, J. L. 2018. Symbiotic nitrogen fixation by rhizobia—the roots of a success story. *Current opinion in plant biology*, v. 44, p. 7-15.

Melo, S.R. de; Zilli, J.É. 2009. Fixação biológica de nitrogênio em cultivares de feijão-caupi recomendadas para o Estado de Roraima. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 9, p. 1177-1183. (https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/AI-SEDE-2010/46934/1/44n09a16.pdf). Acesso em 17 de fevereiro de 2025

Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). 2011. Protocolo oficial para avaliação da viabilidade e eficiência agronômica de cepas, inoculantes e tecnologias relacionados ao processo de fixação biológica do nitrogênio em leguminosas. Disponível em: (https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/registro-de-produtos-e-estabelecimentos/arquivos-rpe/IN132011inoculprotocoloprocfixbiologicadoNemleguminosasalterado3512.pdf). Acesso em 20 de janeiro de 2025.

Moreira, F.M.S.; Siqueira, J.O. 2006. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2. ed. Lavras: UFLA. 729 p.

Muniz, A.; Braga, I.; Corrêa, R.; De Oliveira, I.J.; Fontes, J. 2015. Inoculação de rizóbio em feijão-caupi, cv. Guariba, em Manaus, AM. (http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1037756). Acessado em 08 de outubro de 2023

Ndungu, S.M. 2017. *Characterization and Screening of Indigenous Rhizobia as Potential Inoculants to Enhance Cowpea* (*Vigna Unguiculata* L. Walp.) Production in Kenya. Doctoral dissertation, ETH Zurich.

Nocelli, N.; Bogino, P.C.; Banchio, E.; Giordano, W. 2016. Roles of extracellular polysaccharides and biofilm formation in heavy metal resistance of rhizobia. *Materials*, v. 9, n. 6, p. 418.

Okereke, G. U.; Unaegbu, D. 1992. Nodulation and biological nitrogen fixation of 80 soybean cultivars in symbiosis with indigenous rhizobia. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *8*(2), 171–174. https://doi.org/10.1007/BF01195841

Oliveira, F.F. 2024. *Fixação biológica de nitrogênio e emissões de gases efeito estufa em cultivos irrigados de gramíneas e leguminosa no semiárido*. Tese de doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE. 98 p.

Oliveira, I.J.; Fontes, J.R.A.; Dias, M.C.; Barreto, J.F. 2019. Recomendações técnicas para o cultivo de feijão-caupi no Estado do Amazonas. Circular Técnica, Embrapa Amazônia Ocidental.

Oliveira, I.J.; Fontes, J.R.A.; Pereira, B.F.F.; Muniz, A.W. 2018. Inoculation with *Azospirillum brasiliense* increases maize yield. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 5:1-9.

Oliveira-Paiva, C.A.; Bini, D.; Marriel, I.E.; Gomes, E.A.; Santos, F.C.; Cota, L.V.; Sousa, S.M. de; Morais De Sousa, S.; Alves, V. M.C.; Lana, U.G. de P. 2021. Inoculante à base de bactérias solubilizadoras de fosfato nas culturas do milho e da soja (BiomaPhos®): dúvidas frequentes e boas práticas de inoculação. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 18 p. (Comunicado Técnico, 252).

Oliveira-Paiva, C. A.; Cota, L. V.; Marriel. I. E.; Gomes, E. A., Sousa, S. M. De; Lana, U.G.P.; Santos, F. C.; Pinto Júnior, A. S.; Alves, V. M. C. 2020. Viabilidade técnica e econômica do BiomaPhos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas culturas de milho e soja. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 210).

Oliveira-Paiva, C.A.; Marriel, I.E.; Gomes, E.A.; Cota, L.V.; Santos, F.C.; Tinoco, S.M.S.. 2020. Recomendação agronômica de cepas de *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* na cultura do milho. Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica.

Orrell, P.; Bennett, A.E. 2013. How can we exploit above–belowground interactions to assist in addressing the challenges of food security? *Frontiers in plant science*, v. 4, p. 432.

Pereira, E.J. 2014. *Estudo da composição em macronutrientes, retenção e bioacessibilidade de ferro e zinco em cultivares de feijão-caupi (Vigna unguiculata* L. Walp*.) em grãos crus e após o cozimento*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Farmácia, Rio de Janeiro, 115 p.

Purwaningsih, S.; Mardiah, H.; Shidqi, M.; Hidayat, M. 2021. Isolamento e caracterização de Rhizobium spp. como promotores de crescimento de Arachis hypogaea L. *Iran Journal of Microbiology*, 13(1), 130-136.

Purwaningsih, S.; Rahayu, I.; Marzuki, A. 2021. Eficácia de isolados de *Rhizobium* na promoção do crescimento de *Arachis hypogaea* L. *Iran Journal of Microbiology*. 13(1), 130-136.

Rajwar, A.; Sahgal, M.; Johri, B.N. 2013 Legume–rhizobia symbiosis and interactions in agroecosystems. In: *Plant Microbe Symbiosis: Fundamentals and Advances*. Springer, New Delhi, p. 233-265.

Rocha, M.M. 2021. Mercado e comercialização. In: *Feijão-caupi. Brasília: Agência Embrapa de Informação Tecnológica*. (Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Árvores do Conhecimento. Cultivos). (embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao-caupi/pre-producao/socioeconomia/mercado-e-comercializacao). Acesso em 10 de fevereiro de 2025.

Rocha, E.N. d. 2019. *Inoculação de Bacillus subtilis e tratamento químico em sementes de feijão caupi e feijão comum: Lotes, tempo de exposição e doses*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, São Paulo. 115p.

Rocha, V.D.S. 2018. *Cobertura morta no cultivo do Feijão-caupi*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus - AM, 54 p.

Santos, M.S. 2016. Efeitos das condições de armazenamento sobre parâmetros de avaliação tecnológicos e nutricionais de feijão-caupi de tegumento branco. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) -Universidade Estadual de Campinas, Pelotas. 79 p.

Scott, A.J.; Knott, M. 1974. A cluster analysis method for grouping means in the analyses of variance. *Biometrics* 30: 507-512.

Shapiro, S.S.; Wilk, M.B. 1965. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika* 52: 591-611.

Silva, D. V. 2021. *Eficiência Simbiótica de Rizóbios Isolados de Solos Amazônicos em Amendoim Forrageiro*. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 47p.

Silva, E.F.L.; Araújo, A.S.F. de; Santos, V.B. dos; Nunes, L.A.P.L.; Carneiro, R.F.V. 2010. Fixação biológica do n2 em feijão-caupi sob diferentes doses e fontes de fósforo solúvel. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 26, n. 3, p. 394-402.

Silva, E.L.C. 2021. *Influência de aportes de nitrogênio no desenvolvimento inicial de Guandu*. Dissertação (mestrado), USP – Esalq. Piracicaba, SP.

Silva, S. M. de S.; Maia, J. M.; Araújo, Z. de; Freire Filho, F. R. 2002. Composição química de 45 genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Comunicado Técnico. ISSN 0104-7646

Singh, M.; Bhullar, M.S.; Chauhan, B.S. 2017. Relative Time of Weed and Crop Emergence is Crucial for Managing Weed Seed Production: A study Under an Aerobic Rice System. *Crop Protection*, v. 99, n.1, 33-38.

SNA. Sistema Nacional de Agricultura. 2024. Dependência de fertilizantes importados deve se manter a longo prazo. (https://sna.agr.br/dependencia-de-fertilizantes-importados-deve-se-manter-a-longo-prazo/). Acesso em 20 de janeiro de 2025.

Souza, E. de F. C. de .; Soratto, R. P.; Pagani, F. A. 2011. Aplicação de nitrogênio e inoculação com rizóbio em feijoeiro cultivado após milho consorciado com braquiária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(4), 370–377. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000400005

Souza, J.S.; Martins, A. F.; Pedrosa, L. M. 2021. Importância de bactérias fixadoras de nitrogênio no cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Scientific Electronic Archives*. v.14, n. 9. DOI: 10.36560/14920211456.

Stamford, S.N.P., Junior, S.D.S., Santos, C.E., Freitas, A.D.S., Lira, M.A., Barros, M.C. 2013. Cowpea nodulation, biomass yield and nutrient uptake, as affected by biofertilizers and Rhizobia, in a sodic soil amended with Acidithiobacillus. *Acta Scientiarum*, *35*(4), 453–459.

Vieira, R. F. 2017. Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas. Brasília, DF: Embrapa.

Xavier, G.R.; Martins, L.M.V.; Rumjanek, N.G. 2007. Eficácia de rizóbios isolados na produção de feijão-caupi. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1733-1742.

Zilli, J.E.; Valicheski, R.R.; Rumjanek, N.G.; Simões-Araújo, J.L.; Freire Filho, F.R.; Neves, M.C.P. 2006. Eficiência simbiótica de estirpes de Bradyrhizobium isoladas de solo do Cerrado em caupi. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, p.811-818.