




Inoculação e coinoculação de rizóbios nativos e Biomaphos® no feijão-caupi sob sistema de plantio direto na Amazônia

Cláudia MAJOLO ^{*1} , Diego Monteiro NUNES ² , Esmael Cunha PINHEIRO ² ,
Rogério PERIN ¹ , Aleksander Westphal MUNIZ ^{1,2} 

¹ Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, Brasil.

² Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM, Brasil.

*Email: claudia.majolo@embrapa.br

Submetido em: 24/10/2025; Aceito em: 21/05/2026; Publicado em: 06/06/2026.

RESUMO: O estudo avaliou o efeito da inoculação e da coinoculação de rizóbios nativos e do inoculante fosfatossolubilizador BiomaPhos® sobre o desenvolvimento e a produtividade do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) em sistema de plantio direto em Manaus, AM. Os experimentos foram conduzidos em dois anos consecutivos: 2024 (com irrigação suplementar) e 2025 (em condições naturais de precipitação - sem irrigação). Utilizou-se delineamento em blocos ao acaso com nove tratamentos, incluindo estirpes nativas de solos amazônicos (AM200/2022 e AM212/2022), a estirpe padrão (SEMIA 6462 - *Bradyrhizobium yuanmingense*), BiomaPhos® e suas combinações, além dos controles com e sem adubação. Em 2024, as estirpes AM200 e AM212 e a coinoculação AM200 + BiomaPhos® promoveram maior massa da parte aérea seca e, no isolado nativo AM212 e sua associação com BiomaPhos®, maior acúmulo de nitrogênio na planta, em comparação com o controle adubado e os demais tratamentos. Em 2025, os teores de nitrogênio nos grãos foram mantidos em AM212 e em BiomaPhos® + AM212, equivalentes aos dos controles. A ausência de diferenças na produtividade entre os dois anos sugere a eficiência da atuação dos rizóbios nativos. As estirpes AM200 e AM212 apresentam potencial inicial para uso futuro em formulações de bioinsumos regionais, devendo ser testadas em solos de menor fertilidade e em diferentes regiões do estado.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*; fixação biológica de nitrogênio; bioinsumos; *Bacillus*; Amazônia.

Inoculation and co-inoculation of native rhizobia and Biomaphos® on cowpea under no-tillage system in the Amazon

This study evaluated the effect of inoculation and co-inoculation with native rhizobia and the phosphate-solubilizing inoculant BiomaPhos® on the development and yield of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) under no-tillage system conditions in Manaus, Amazonas, Brazil. The experiments were conducted over two consecutive years: 2024 (with supplemental irrigation) and 2025 (under natural rainfall conditions without irrigation). A randomized block design with nine treatments was used, including native strains isolated from Amazonian soils (AM200/2022 and AM212/2022), the reference strain SEMIA 6462 (*Bradyrhizobium yuanmingense*), BiomaPhos® and their combinations, and the native strain AM212 and its association with BiomaPhos®. In 2024, the AM200 and AM212 strains and the AM200 + BiomaPhos® co-inoculation promoted greater shoot dry mass, while the native isolates and the unfertilized control showed greater nitrogen accumulation in plants compared to the fertilized control and the other treatments. In 2025, grain nitrogen contents were maintained in the AM212 and BiomaPhos® + AM212 treatments, with values equivalent to the controls. The absence of significant differences in grain yield over the two years suggests the activity of efficient native rhizobia populations in the experimental area. The AM200 and AM212 strains showed initial potential for future use in regional bioinput formulations and should be further evaluated in soils with lower fertility and in different regions of the state.

Keywords: *Vigna unguiculata*; biological nitrogen fixation; bioinoculants; *Bacillus*; Amazon.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda global por alimentos exige a adoção de práticas agrônomicas que maximizem a eficiência produtiva das culturas de forma sustentável, reduzindo a dependência de fertilizantes industrializados e mitigando seus impactos ambientais (SAURABH et al., 2024). Nesse cenário, o cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) assume um papel estratégico por ser uma importante fonte de proteínas e nutrientes, contribuindo para a segurança

alimentar em regiões tropicais e subtropicais (CARVALHO et al., 2023). No Brasil, essa leguminosa representou cerca de 20% da produção nacional de feijão em 2024, com destaque para as regiões Norte e Nordeste, onde se consolida como cultura de relevância econômica e social (CONAB, 2024).

Além de seu valor nutricional, o feijão-caupi é reconhecido por sua rusticidade e pela adaptação a condições adversas, como a seca, a salinidade e as altas temperaturas (NASCIMENTO et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2019). A

cultura gera empregos, renda e segurança alimentar, movimentando mais de 350 milhões de dólares anuais na agricultura brasileira. No estado do Amazonas, a produção estimada de 2,2 mil toneladas em 2.400 hectares evidencia o potencial econômico e social da região (CONAB, 2023).

Entretanto, o agronegócio brasileiro apresenta elevada dependência de fertilizantes importados, uma vez que aproximadamente 90% dos fertilizantes consumidos no país são provenientes do mercado externo, com destaque para a dependência de potássio (98%), nitrogênio (93%) e fósforo (57%), o que torna a produção agrícola nacional vulnerável a oscilações de mercado, restrições logísticas e tensões geopolíticas internacionais (CARDOSO et al., 2025). Essa dependência externa impõe desafios ao setor produtivo e reforça a necessidade de alternativas sustentáveis, como o uso de bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCPs) em forma de inoculantes. Em cultivos como soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays*) e feijão-caupi, a inoculação com microrganismos benéficos tem permitido reduzir o uso de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, além de aumentar a eficiência na absorção de nutrientes (HUNGRIA et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2018). As BPCPs contribuem ainda para o aporte de nitrogênio (N) por meio da fixação biológica e para a solubilização de fósforo (P), representando alternativas viáveis, econômicas e ambientalmente seguras (HUNGRIA, 2011; BRASIL, 2022).

Os biofertilizantes constituem uma alternativa sustentável aos fertilizantes químicos, contribuindo para a melhoria da fertilidade do solo, da produtividade das culturas e da resiliência dos sistemas agrícolas. Entre seus principais mecanismos de ação, destacam-se a atuação de rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (PGPR), capazes de promover a fixação biológica de nitrogênio, a solubilização de nutrientes, como fósforo, potássio e zinco, a produção de fitormônios e a mitigação de estresses bióticos e abióticos, favorecendo o desenvolvimento e o desempenho das plantas em diferentes condições ambientais (SHAHZAD et al., 2025). Já a SP consiste na liberação de fósforo de compostos inorgânicos e orgânicos do solo, com o auxílio de gêneros bacterianos, como *Bacillus* (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2020a). Ambas as técnicas podem ser aplicadas por inoculação simples ou por coinoculação, envolvendo dois ou mais microrganismos complementares (ARAÚJO et al., 2010; CARVALHO et al., 2023).

No Amazonas, as pesquisas sobre biofertilizantes ainda são incipientes, com estudos pontuais em milho, feijão-caupi e amendoim forrageiro (MUNIZ et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2018). Persistem lacunas quanto à diversidade e à

eficiência de BPCPs nativas adaptadas às condições edafoclimáticas amazônicas, especialmente no que se refere à cultura do feijão-caupi. Diante desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a inoculação e a coinoculação de microrganismos fixadores de nitrogênio e solubilizadores de fosfato na cultura do feijão-caupi em Manaus, Amazonas, analisando os efeitos da inoculação com rizóbios nativos e com o inoculante comercial BiomaPhos®, bem como da coinoculação entre rizóbios e BiomaPhos®, sobre o desenvolvimento e a produtividade da cultura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização das condições meteorológicas e do local dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos em dois períodos agrícolas distintos. O primeiro cultivo ocorreu entre 06 de agosto e 15 de outubro de 2024, período de menor precipitação na região, o que exigiu irrigação suplementar por aspersão. O segundo cultivo foi conduzido entre 02 de junho e 13 de agosto de 2025, no final da janela de plantio recomendada para a cultura, sob condições naturais de precipitação e sem irrigação suplementar.

De acordo com dados agrometeorológicos diários do Laboratório de Agroclimatologia da Embrapa Amazônia Ocidental, em 2024, a precipitação acumulada foi de 212,9 mm, a evaporação acumulada de 310,5 mm, a temperatura média do ar de 28,9 °C e a umidade relativa média de 76,3%. Em 2025, a precipitação acumulada foi de 477,3 mm, a evaporação acumulada de 170,8 mm, a temperatura média do ar de 25,8 °C e a umidade relativa média de 84,4%, indicando maior disponibilidade hídrica natural durante o cultivo.

As diferenças nas condições meteorológicas e no manejo hídrico ao longo dos anos foram consideradas na interpretação dos resultados. Os experimentos foram conduzidos na Estação Experimental da Embrapa Amazônia Ocidental, localizada no km 29 da rodovia AM-010, em Manaus – AM (2°53'24,69" S, 59°58'05,14" W), em Latossolo Amarelo distrófico típico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018).

Para a caracterização química do solo, foram coletadas seis amostras compostas na camada de 0 a 20 cm de profundidade antes do primeiro período experimental em 2024, utilizando trado holandês. As análises foram realizadas no Laboratório de Análise de Solos e Plantas (LASP) da Embrapa Amazônia Ocidental, e os componentes encontram-se na Tabela 1.

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

Table 1. Chemical characterization of the soil in the cowpea planting area.

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

pH em água – relação 1:2,5; P, Na, K, Fe, Zn, Mn, Cu – Extrator Mehlich-1; Ca, Mg – Extrator KCl 1 mol/L; H+Al – Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L – pH 7,0; SB – Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) – Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (I) – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V – Índice de Saturação por Bases; m – Índice de Saturação por Alumínio; Matéria Orgânica (M.O.) = C (carbono orgânico) × 1,724 – método de Walkley-Black.

pH in water – ratio 1:2.5; P, Na, K, Fe, Zn, Mn, Cu – Mehlich-1 extractant; Ca, Mg – 1 mol/L KCl extractant; H+Al – 0.5 mol/L Calcium Acetate extractant – pH 7.0; SB – Sum of Exchangeable Bases; CEC (t) – Effective Cation Exchange Capacity; CEC (I) – Cation Exchange Capacity at pH 7.0; V – Base Saturation Index; m – Aluminum Saturation Index; Organic Matter (OM) = C (organic carbon) × 1.724 – Walkley-Black method.

2.2. Delineamento experimental

O experimento foi instalado em delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições. O tratamento controle não recebeu adubação nem inoculação. Os tratamentos adubados receberam ureia 45% de N (90,9 kg ha⁻¹ de N), superfosfato simples 18% de P (111,1 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e cloreto de potássio 60% de K (33,3 kg ha⁻¹ de K₂O), conforme recomendação para o cultivo de feijão-caupi no Amazonas (OLIVEIRA et al., 2019).

Os tratamentos inoculados com bactérias diazotróficas utilizaram o isolado padrão *Bradyrhizobium yuanmingense* BR3267 (SEMIA 6462) e dois isolados nativos provenientes de solos amazônicos, denominados AM200/2022 e AM212/2022, previamente selecionados em ensaios conduzidos em casa de vegetação com feijão-caupi, nos quais apresentaram desempenho agrônomico e eficiência simbiótica semelhantes aos da estirpe recomendada SEMIA 6462. A seleção baseou-se em variáveis relacionadas à produção de biomassa, ao acúmulo de nitrogênio e à nodulação. Os resultados desses ensaios encontram-se em fase de publicação.

Para a solubilização de fosfato, utilizou-se o inoculante comercial BiomaPhos®, composto por *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) e *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084). Nos tratamentos contendo o inoculante, bem como no tratamento controle correspondente sem inoculação, foi aplicada 50% da dose recomendada de fósforo, considerando o potencial das bactérias de aumentar a eficiência de aproveitamento do fósforo presente no solo e proveniente dos fertilizantes fosfatados. Segundo Oliveira-Paiva et al. (2020b), os *Bacillus* presentes no BiomaPhos® podem atuar tanto sobre o fósforo fixado no solo quanto sobre o fósforo adicionado por meio de fertilizantes, aumentando a disponibilidade do fósforo para as plantas (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2020b; OLIVEIRA-PAIVA et al., 2022).

Tabela 2. Tratamentos utilizados no experimento.
Table 2. Treatments used in the experiment.

Descrição dos tratamentos	Adubação
SEMIA 6462	P + K
BiomaPhos®	N + P* + K
AM200/2022	P + K
AM212/2022	P + K
BiomaPhos® + AM200/2022	P* + K
BiomaPhos® + AM212/2022	P* + K
BiomaPhos® + SEMIA 6462	P* + K
Com adubação	N + P + K
Controle	P* + K

* Aplicação de 50% da dosagem recomendada de fósforo, SEMIA 6462 = estirpe recomendada de *Bradyrhizobium yuanmingense*, AM200/2022 e AM212/2022 = estirpes nativas isoladas de solos amazônicos; BiomaPhos® = inoculante comercial contendo *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *Bacillus megaterium* (CNPMS B119), bactérias solubilizadoras de fosfato. P = fósforo; K = potássio; N = nitrogênio. O tratamento "Com adubação" correspondeu à adubação mineral recomendada para a cultura, sem inoculação. O tratamento "Controle" foi conduzido sem inoculação de rizóbios, recebendo apenas adubação fosfatada reduzida (50% da dose recomendada) e adubação potássica.

* Application of 50% of the recommended phosphorus dosage, SEMIA 6462 = recommended strain of *Bradyrhizobium yuanmingense*; AM200/2022 and AM212/2022 = native strains isolated from Amazonian soils; BiomaPhos® = commercial inoculant containing *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) and *Bacillus megaterium* (CNPMS B119), phosphate-solubilizing bacteria. P = phosphorus; K = potassium; N = nitrogen. The "With fertilization" treatment corresponded to the mineral fertilization recommended for the crop, without inoculation. The "Control" treatment was conducted without rhizobia inoculation, receiving only reduced phosphate fertilization (50% of the recommended dose) and potassium fertilization.

2.3. Manejo de inoculação bacteriana

A inoculação e a coinoculação foram realizadas diretamente nas sementes, conforme cada tratamento. Os inoculantes dos isolados AM200, AM212 e SEMIA 6462 foram cultivados em meio líquido de levedura-manitol (VINCENT, 1970) sob agitação a 28 °C por 72 horas. A população bacteriana foi avaliada por meio de diluição seriada em solução salina (NaCl 0,9%). Em seguida, os cultivos líquidos foram incorporados à turfa estéril, incubados a 28 °C por sete dias e avaliados novamente quanto à população bacteriana. A proporção utilizada foi de 1 g de turfa para 100 g de sementes, com a adição de 1 mL de solução açucarada (10 g de açúcar em 90 mL de água). Após homogeneização, as sementes foram secas por 72 horas. Os tratamentos com BiomaPhos® foram inoculados no momento do plantio, utilizando-se 100 mL do produto para cada 50 kg de sementes. Os isolados bacterianos nativos encontram-se registrados no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen, protocolo n° AFB9C7B).

2.4. Semeadura e tratos culturais

O feijão-caupi cultivar BRS Tumucumaque foi semeado em parcelas de 6 × 4 m (24 m²), totalizando 36 parcelas com espaçamento de 0,5 m entre linhas e 9 plantas por metro linear, totalizando aproximadamente 180 mil plantas ha⁻¹ (OLIVEIRA et al., 2019). O experimento foi conduzido em área total de aproximadamente 1.400 m² (35 × 40 m), incluindo corredores. O controle de plantas daninhas foi realizado até 35 dias após a emergência (DAE), e o monitoramento fitossanitário foi realizado diariamente.

2.5. Avaliações agrônomicas, nodulação e composição nutricional dos grãos

As coletas foram realizadas aos 30 DAE para avaliação da parte aérea e da nodulação, com a coleta de cinco plantas por parcela, conforme a Instrução Normativa n° 13 (BRASIL, 2011). Foram avaliados a massa seca da parte aérea (MPAS), o acúmulo de nitrogênio da parte aérea (ANPA), o número de nódulos por planta (NNOD) e a massa seca dos nódulos (MNOD).

As variáveis de produção foram obtidas aos 72 DAE, avaliando-se a produtividade (PROD) de grãos (kg ha⁻¹, corrigida para 13% de umidade), o peso de 100 grãos (P100) e os teores totais de nitrogênio (NGR) e de fósforo (PGR) dos grãos. As análises químicas foram realizadas pelo Laboratório de Análises de Solos e Plantas (LASP) da Embrapa Amazônia Ocidental.

2.6. Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) segundo Fisher (1934) e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott (SCOTT; KNOTT, 1974). A normalidade dos resíduos foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965) e a homogeneidade das variâncias, pelo teste de Bartlett (BARTLETT, 1937). As análises estatísticas foram conduzidas no software R (R CORE TEAM, 2024), utilizando os pacotes ExpDes (FERREIRA et al., 2014) e corrplot (WEI; SIMKO, 2024).

Considerou-se nível de significância de 10% no teste de Scott-Knott devido à elevada variabilidade inerente a experimentos de campo envolvendo variáveis, bem como ao

caráter exploratório da avaliação de estirpes nativas em condições edafoclimáticas amazônicas, buscando reduzir a probabilidade de erro do tipo II na detecção de diferenças biológicas entre os tratamentos.

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos em 2024 apresentaram diferenças significativas nas variáveis MPAS, ANPA, MNOD, NNOD

e PGR. Em 2025, observaram-se diferenças nas variáveis MPAS, NMPAS, P100 e NGR (Tabela 3). Em 2024, sob condição de irrigação, a massa da parte aérea seca (MPAS) variou de 5,40 a 13,95 g planta⁻¹ (Tabela 4).

Os maiores valores foram observados nos tratamentos BiomaPhos® + AM200, AM200 e AM212, que diferiram de todos os demais tratamentos (Tabela 4).

Tabela 3. Análise da variância da massa da parte aérea seca, acúmulo de nitrogênio na parte aérea, massa seca de nódulos, número de nódulos, peso de 100 sementes, nitrogênio nos grãos, fósforo nos grãos, produtividade e testes de normalidade e homoscedasticidade.

Table 3. Analysis of variance of dry shoot mass, nitrogen accumulation in the shoot, dry mass of nodules, number of nodules, weight of 100 seeds, nitrogen in grains, phosphorus in grains and productivity, normality and homoscedasticity tests.

F.V.	Ano	MPAS	ANPA	MNOD	NNOD	P100	NGR	PGR	Prod
Teste de Fisher (valores de p)									
	2024	0.0002	0.00001	0.021	0.0955	0.2632	0.2749	0.089	0.292
	2025	0.014	0.064	0.448	0.85	0.022	0.047	0.600	0.501
Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk (valores de p)									
	2024	0.52	0.20	0.80	0.40	0.27	0.67	0.24	0.80
	2025	0.24	0.64	0.08	0.19	0.299	0.40	0.17	0.24
Teste de Homocedasticidade de Bartlett (valores de p)									
	2024	0.48	0.36	0.63	0.29	0.55	0.40	0.27	0.54
	2025	0.67	0.89	0.77	0.08	0.76	0.69	0.75	0.07

MPAS (massa da parte aérea seca), ANPA (acúmulo de nitrogênio na parte aérea), MNOD (massa dos nódulos), NNOD (número de nódulos), P100 (peso de 100 grãos), NGR (nitrogênio nos grãos), PGR (fósforo nos grãos), Prod (produtividade).

MPAS (dry shoot mass), ANPA (nitrogen accumulation in the shoot), MNOD (nodule mass), NNOD (number of nodules), P100 (weight of 100 grains), NGR (nitrogen in grains), PGR (phosphorus in grains), Prod (productivity).

Tabela 4. Variáveis agronômicas, nodulação, teores de nutrientes nos grãos e produtividade do feijão-caupi submetidos à inoculação e à coinoculação com BiomaPhos® em 2024 e 2025.

Table 4. Agronomic variables, nodulation, nutrient content in grains, and productivity of cowpea subjected to inoculation and coinoculation with BiomaPhos® in 2024 and 2025.

Tratamento	MPAS	ANPA	MNOD	NNOD	P100	NGR	PGR	Prod
	g planta ⁻¹	mg planta ⁻¹	mg planta ⁻¹		g	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹
SEMIA6462	5.40 c	18.28 c	3.26 b	12.65 b	26.89 a	61.81 a	5.54 a	1492.65 a
BiomaPhos®	9.79 b	32.40 b	30.33 b	22.30 b	30.29 a	45.19 a	3.83 b	1091.95 a
AM200/2022	13.46 a	43.22 a	65.96 a	28.70 a	29.12 a	73.64 a	6.72 a	1765.44 a
AM212/2022	10.92 a	36.31 b	50.09 a	42.25 a	32.07 a	71.40 a	6.54 a	1713.80 a
BiomaPhos® + AM200/2022	13.95 a	46.54 a	31.83 b	31.93 a	30.59 a	59.14 a	6.35 a	1425.64 a
BiomaPhos® + AM212/2022	9.98 b	32.76 b	23.36 b	35.60 a	30.74 a	59.45 a	6.68 a	1471.42 a
BiomaPhos® + SEMIA6462	5.94 c	19.79 c	22.49 b	33.50 a	28.88 a	59.16 a	5.39 a	1431.78 a
Com adubação	8.42 b	16.93 c	1.49 b	20.50 b	30.95 a	62.13 a	6.11 a	1500.10 a
Controle	9.28 b	31.43 b	38.54 a	36.30 a	30.16 a	60.17 a	6.17 a	1469.55 a
CV(%)	24.29	22.99	81.71	45.02	8.56	22.95	21.75	22.63
SEMIA6462	6.16 a	40.18 b	209.95 a	45.50 a	34.80 b	42.02 b	3.67 a	1037.71 a
BiomaPhos®	5.51 a	44.15 a	168.45 a	50.05 a	33.80 b	47.00 b	3.58 a	1035.38 a
AM200/2022	3.17 b	37.87 b	216.54 a	52.17 a	36.15 a	41.60 b	4.92 a	1488.36 a
AM212/2022	5.12 a	44.59 a	249.71 a	60.30 a	35.54 a	64.27 a	5.19 a	1411.14 a
BiomaPhos® + AM200/2022	2.28 b	40.11 b	257.54 a	44.78 a	35.47 a	47.98 b	3.94 a	1181.83 a
BiomaPhos® + AM212/2022	4.78 a	43.75 a	272.18 a	57.07 a	36.03 a	60.02 a	5.07 a	1370.62 a
BiomaPhos® + SEMIA6462	4.69 a	43.40 a	241.03 a	54.85 a	35.94 a	51.52 b	3.78 a	1183.28 a
Com adubação	4.79 a	44.59 a	231.98 a	57.00 a	36.59 a	72.14 a	5.55 a	1626.11 a
Controle	4.21 a	45.15 a	217.18 a	50.05 a	37.42 a	64.26 a	4.73 a	1421.37 a
CV(%)	29.42	8.14	26.57	29.14	3.43	26.02	37.04	32.64

* médias com a mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott (p<0,10). MPAS (massa da parte aérea seca), ANPA (acúmulo de nitrogênio na parte aérea), MNOD (massa dos nódulos), NNOD (número de nódulos), P100 (peso de 100 grãos), NGR (nitrogênio nos grãos), PGR (fósforo nos grãos), Prod (produtividade).

* Means with the same letter in the columns do not differ from each other by the Scott-Knott Test (p<0.10). MPAS (shoot dry mass), ANPA (nitrogen accumulation in the shoot), MNOD (nodule mass), NNOD (number of nodules), P100 (weight of 100 grains), NGR (nitrogen in grains), PGR (phosphorus in grains), Prod (productivity).

O acúmulo de nitrogênio na parte aérea (ANPA) variou de 16,93 a 46,54 mg planta⁻¹. Os maiores valores foram observados nos tratamentos BiomaPhos® + AM200/2022 e AM200/2022, diferindo dos tratamentos SEMIA 6462,

BiomaPhos® + SEMIA 6462 e com adubação. Os tratamentos AM212/2022, controle e BiomaPhos® apresentaram valores intermediários. A massa de nódulos secos (MNOD) variou de 1,49 a 65,96 mg planta⁻¹. Os

maiores valores foram observados nos tratamentos AM200/2022, AM212/2022 e controle, diferindo dos tratamentos BiomaPhos®, BiomaPhos® + AM200/2022, BiomaPhos® + AM212/2022, BiomaPhos® + SEMIA 6462 e tratamento com adubação. O número de nódulos (NNOD) variou de 12,65 a 42,25 nódulos planta⁻¹, com maiores valores observados nos tratamentos AM200/2022, AM212/2022, BiomaPhos® + AM200/2022, BiomaPhos® + AM212/2022, BiomaPhos® + SEMIA 6462 e controle, em comparação aos tratamentos SEMIA 6462, BiomaPhos® e tratamento com adubação.

Os teores de nitrogênio nos grãos (NGR) variaram de 59,14 a 73,64 g kg⁻¹, sem diferenças estatísticas entre os tratamentos. Os teores de fósforo nos grãos (PGR) variaram de 3,83 a 6,72 g kg⁻¹, sendo o menor valor observado no tratamento BiomaPhos® (Tabela 4). O peso de 100 sementes (P100) variou de 26,89 a 30,95 g, enquanto a produtividade oscilou entre 1.091,95 e 1.765,44 kg ha⁻¹, sem diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 4).

Em 2025, sem irrigação, a MPAS variou de 2,28 a 6,16 g planta⁻¹, com valores menores nos tratamentos AM200 e BiomaPhos® + AM200. O ANPA apresentou uma variação de 37,87 a 45,15 mg planta⁻¹. Os menores valores foram registrados nos tratamentos SEMIA 6462 e AM200/2022, enquanto os demais apresentaram valores superiores e não diferiram entre si (Tabela 4). A MNOD variou de 168,45 a 272,18 mg planta⁻¹ e o NNOD de 44,78 a 60,30 nódulos planta⁻¹, sem diferenças significativas entre os tratamentos. Os teores de nitrogênio nos grãos (NGR) variaram de 41,60 a 72,14 g kg⁻¹. Os menores valores foram registrados nos tratamentos SEMIA 6462, AM200/2022 e BiomaPhos® + AM200, enquanto os demais apresentaram valores superiores e não diferiram entre si (Tabela 4).

Os teores de fósforo nos grãos (PGR) oscilaram de 3,58 a 5,55 g kg⁻¹, sem diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 4). O peso de 100 sementes (P100) variou de 33,80 a 37,42 g, sem diferenças significativas entre os tratamentos. A produtividade variou de 1.035,38 a 1.626,11 kg ha⁻¹, sem diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 4).

4. DISCUSSÃO

A massa da parte aérea seca (MPAS) variou de 5,40 a 13,95 g planta⁻¹ em 2024 (ano com irrigação) e de 2,28 a 6,16 g planta⁻¹ em 2025 (ano sem irrigação) (Tabela 4). Em 2024, os maiores valores foram observados nos tratamentos BiomaPhos® + AM200, AM200 e AM212, que não diferiram entre si. Esse padrão é coerente com estudos prévios em feijão-caupi, nos quais a inoculação com rizóbios promoveu um incremento significativo na biomassa aérea (STAMFORD et al., 2013; KEBEDE et al., 2020; AYLAEW e YOSEPH, 2020).

O aumento da MPAS pode estar associado à fixação biológica de nitrogênio (FBN) decorrente da simbiose rizóbio-leguminosa (JESUS et al., 2023). A coinoculação com BiomaPhos® também contribuiu para um maior crescimento, possivelmente devido ao aumento da disponibilidade de fósforo e ao estímulo indireto à nodulação e à eficiência da FBN (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2022). A redução da MPAS em 2025 pode refletir a sensibilidade do feijão-caupi à limitação hídrica, reforçando a ideia de que o suprimento hídrico é determinante para a expressão do potencial vegetativo e simbiótico.

O acúmulo de nitrogênio na parte aérea (ANPA) variou de 16,93 a 46,54 mg planta⁻¹ em 2024 e de 37,87 a 45,15 mg planta⁻¹ em 2025 (Tabela 4). Em 2024, os maiores valores foram observados nos tratamentos AM200 e BiomaPhos® + AM200, que se destacaram em relação aos demais.

Os tratamentos BiomaPhos®, AM212, BiomaPhos® + AM212 e controle apresentaram valores intermediários. Em 2025, as diferenças entre os tratamentos foram menos pronunciadas, com médias menores observadas em SEMIA6462, AM200 e BiomaPhos® + AM200. Esses resultados indicam que o desempenho dos tratamentos para ANPA variou conforme as condições experimentais de cada ano, possivelmente devido às diferenças hídricas e à interação com rizóbios nativos do solo. Resultados semelhantes, com incremento na biomassa e na nodulação de leguminosas inoculadas com rizóbios e bactérias promotoras de crescimento vegetal, foram relatados por Araújo et al. (2010), Stamford et al. (2013) e Kebede et al. (2020).

O acúmulo de N reflete a eficiência da FBN e a capacidade de translocação de N fixado aos tecidos vegetativos e reprodutivos (MARTÍNEZ-ROMERO et al., 1991; SOARES et al., 2006). A coinoculação com *Bacillus spp.*, como as cepas do BiomaPhos®, pode potencializar esse processo ao promover o crescimento radicular, a solubilização de fósforo e a absorção de nutrientes (ARAÚJO et al., 2010; CASARIN, 2019; KACHUSK et al., 2022), além de favorecer a competitividade dos rizóbios na rizosfera (ARAÚJO; HUNGRIA, 1999).

O número de nódulos (NNOD) variou de 12,65 a 42,25 nódulos planta⁻¹ em 2024 e de 44,78 a 60,30 nódulos planta⁻¹ em 2025 (Tabela 4). Estudos prévios relatam ampla variação na nodulação do feijão-caupi (16–100 nódulos planta⁻¹) em função de condições edáficas e genéticas (KEBEDE et al., 2020). Em 2024, menores valores de NNOD foram observados nos tratamentos SEMIA6462, BiomaPhos® e no tratamento com adubação, enquanto, em 2025, não houve diferenças significativas entre os tratamentos. Esse comportamento pode estar relacionado à interação entre as estirpes inoculadas e os rizóbios nativos presentes no solo, que podem influenciar a competitividade e a ocupação nodular (FERNANDES et al., 2003; JESUS et al., 2023).

A massa de nódulos secos (MNOD) variou de 1,49 a 65,96 mg planta⁻¹ em 2024 e de 168,45 a 272,18 mg planta⁻¹ em 2025 (Tabela 4). Em 2024, os maiores valores foram observados nos tratamentos AM200 e AM212, bem como no controle sem adubação, que diferiram dos demais tratamentos. O elevado valor de MNOD observado no controle sem adubação sugere a presença de populações nativas de rizóbios eficientes na área experimental, capazes de nodular o feijão-caupi mesmo sem inoculação. Além disso, o desempenho dos isolados nativos AM200 e AM212 indica potencial de adaptação às condições edafoclimáticas locais.

Em 2025, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para essa variável, embora os valores absolutos de MNOD tenham sido superiores aos de 2024. Resultados semelhantes foram descritos em feijão-caupi cultivado na Etiópia e no Quênia (AYLAEW e YOSEPH, 2020; NDUNGU, 2017; AYLAEW et al., 2021). Estirpes eficientes de rizóbios podem formar nódulos mais pesados e funcionais devido à produção de fitormônios, como o ácido indolacético e as giberelinas, que estimulam o desenvolvimento radicular e ampliam a superfície de

nodulação (COELHO et al., 2021; ALMEIDA NETA, 2021).

Quanto ao acúmulo de nutrientes nos grãos, os teores de nitrogênio (NGR) variaram de 59,14 a 73,64 g kg⁻¹ em 2024 e de 41,60 a 72,14 g kg⁻¹ em 2025 (Tabela 4). Em 2025, os menores valores de NGR foram observados nos tratamentos SEMIA6462, BiomaPhos®, AM200, BiomaPhos® + AM200 e BiomaPhos® + SEMIA6462, enquanto os maiores valores ocorreram nos tratamentos AM212, BiomaPhos® + AM212, adubação e controle. Esses resultados indicam a manutenção dos teores de N nos grãos nos tratamentos com AM212, mesmo na ausência de irrigação, destacando o papel da simbiose rizóbio-leguminosa na assimilação e na translocação de N em condições limitantes.

Os teores de fósforo nos grãos (PGR) variaram de 3,83 a 6,72 g kg⁻¹ em 2024 e de 3,58 a 5,55 g kg⁻¹ em 2025. Em 2024, o tratamento BiomaPhos® apresentou menor teor de P nos grãos em relação aos demais tratamentos, enquanto, em 2025, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. A disponibilidade e absorção de fósforo pelas plantas podem ser influenciadas pela atividade microbiana, pelas características do solo e pelas condições de cultivo (MALAVOLTA, 2006; OLIVEIRA-PAIVA et al., 2022). O menor teor de P observado no tratamento com BiomaPhos® em 2024 pode estar relacionado à redistribuição do nutriente entre os diferentes compartimentos da planta, sem necessariamente refletir menor absorção total de fósforo.

O peso de 100 grãos (P100) variou de 26,89 a 32,07 g em 2024 e de 33,80 a 37,42 g em 2025, enquanto a produtividade variou de 1.091,95 a 1.765,44 kg ha⁻¹ em 2024 e de 1.035,38 a 1.626,11 kg ha⁻¹ em 2025 (Tabela 4). Em 2024, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para P100. Em 2025, valores menores de P100 foram observados nos tratamentos SEMIA6462 e BiomaPhos®, enquanto os demais apresentaram valores superiores.

Quanto à produtividade, não houve diferenças significativas entre os tratamentos nos dois anos avaliados. A produtividade obtida neste estudo, variando de 1.035,38 a 1.765,44 kg ha⁻¹, foi em alguns casos superior à média geral de 1.158,0 kg ha⁻¹ relatada para a cultivar BRS Tumucumaque em cinco ambientes do Estado do Amazonas (OLIVEIRA et al., 2014), podendo ter sido favorecida pelo manejo em sistema plantio direto, pelo elevado teor de matéria orgânica do solo, pela possível atuação de populações nativas eficientes de rizóbios e pelos efeitos da inoculação e coinoculação utilizados no experimento. Esses resultados indicam que, nas condições do estudo, a inoculação e a coinoculação tiveram efeito limitado no enchimento dos grãos e não influenciaram significativamente a produtividade da cultura.

Segundo Hungria et al. (2005) e Cardoso; Andreote (2016), fatores ambientais e edáficos, como disponibilidade hídrica, pH, fertilidade e presença de populações microbianas nativas, podem influenciar a resposta das culturas à inoculação. Além disso, cultivares de feijão-caupi apresentam elevada plasticidade fenotípica, ajustando o enchimento dos grãos às condições ambientais (ARAÚJO, 2022).

A estirpe SEMIA 6462, recomendada para feijão-caupi, apresentou valores menores de MPAS e ANPA em 2024 em comparação com alguns tratamentos com estirpes nativas (Tabela 4). Em 2025, médias menores de ANPA também foram observadas para SEMIA 6462 em relação à

AM212/2022, sugerindo que isolados nativos apresentam maior especificidade simbiótica e melhor adaptação às condições amazônicas, inclusive em comparação com o controle sem adubação, que provavelmente nodulou com rizóbios nativos eficientes.

De modo geral, os tratamentos contendo rizóbios nativos (AM200 e AM212), isolados ou em coinoculação com BiomaPhos®, apresentaram valores mais elevados para algumas variáveis relacionadas ao acúmulo de biomassa e de nitrogênio na parte aérea, principalmente em 2024 (Tabela 4).

Em 2025, observou-se redução nos valores de biomassa da parte aérea, aumento dos valores absolutos de número e massa de nódulos, enquanto ANPA e os teores de N e P nos grãos apresentaram comportamento semelhante entre os tratamentos. Entretanto, a ausência de diferenças significativas na produtividade e, em grande parte, nas variáveis avaliadas indica que os resultados devem ser interpretados com cautela.

Assim, são necessários estudos adicionais sob diferentes condições edafoclimáticas, especialmente em solos com menor teor de matéria orgânica e em outras regiões do estado, para avaliar a competitividade e o potencial agrônomo das estirpes AM200 e AM212 como candidatas a bioinsumos regionais para o feijão-caupi na Amazônia.

5. CONCLUSÕES

A inoculação e a coinoculação com rizóbios nativos e BiomaPhos® influenciaram algumas variáveis relacionadas ao crescimento vegetativo, à nodulação e ao acúmulo de nitrogênio no feijão-caupi, com respostas que variaram entre os anos de cultivo e os tratamentos avaliados.

A ausência de diferenças significativas na produtividade e em parte das variáveis avaliadas pode estar relacionada à atuação de populações nativas de rizóbios eficientes na área experimental, bem como à elevada fertilidade do solo, ao efeito residual do sistema de plantio direto e à variabilidade experimental observada ao longo dos anos.

As estirpes AM200 e AM212 apresentam potencial agrônomo inicial e mostram-se promissoras para futuras avaliações, demandando testes complementares em solos com menor teor de matéria orgânica e em diferentes regiões do estado, a fim de avaliar sua competitividade e confirmar seu potencial como bioinsumos regionais para o feijão-caupi.

6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA NETA, M. N. **Inoculação com rizobactérias e adubação nitrogenada no crescimento, produção e acúmulo de nutrientes em grão-de-bico**. 2021. 100p. Tese [Doutorado em Produção Vegetal] – Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2021.
- ARAÚJO, A. S. F.; CARNEIRO, R. F. V.; BEZERRA, A. A. C.; ARAÚJO, F. F. 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**, v. 40, n. 1, p. 182-185, 2010.
- ARAÚJO, F. F.; HUNGRIA, M. Nodulação e rendimento de soja co-infectada com *Bacillus subtilis* e *Bradyrhizobium japonicum* / *Bradyrhizobium elkanii*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 9, p. 1633-1643, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999000900014>
- ARAÚJO, L. B. R. **Recomendação de linhagens de feijão-caupi quanto à produtividade e escurecimento dos grãos para a região semiárida**. 61p. Tese [Doutorado

- em Agronomia] – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.
- AYALEW, T.; YOSEPH, T. Symbiotic effectiveness of inoculation with *Bradyrhizobium* isolates on cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) varieties. **Cogent Food and Agriculture**, v. 6, n. 1, p. a1845495, 2020. <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1845495>
- AYALEW, T.; YOSEPH, T.; PETRA, H.; CADISCH, G. Yield response of field-grown cowpea varieties to *Bradyrhizobium* inoculation. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 4, p. 3258-3268, 2021. <https://doi.org/10.1002/agj2.20763>
- BARTLETT, M. S. Properties of sufficiency and statistical tests. **Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences**, v. 160, n. 901, p. 268-282, 1937. <https://doi.org/10.1098/rspa.1937.0109>
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa SDA n.º 13, de 24 de março de 2011. Aprova as normas sobre especificações, garantias, registro, embalagem e rotulagem dos inoculantes destinados à agricultura, bem como as relações dos micro-organismos autorizados e recomendados para produção de inoculantes no Brasil. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 25 mar. 2011. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-sda-13-de-24-03-2011-inoculantes.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2026.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Governo Federal lança plano nacional de fertilizantes para reduzir importação dos insumos**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/governo-federal-lanca-plano-nacional-de-fertilizantes-para-reduzir-importacao-dos-insumos>. Acesso em: 28 jan. 2025.
- BROWN, M. B.; FORSYTHE, A. B. The small sample behavior of some statistics which test the equality of several means. **Technometrics**, v. 16, n. 1, p. 129–132, 1974. <https://doi.org/10.1080/00401706.1974.10489158>
- CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2 ed. Piracicaba: Editora ESALQ, 2016. 221p.
- CARDOSO, V. M.; PFEIFER, A.; KENNEDY, H. J.; CHIODI, L. A.; JANK, M. S.; GOMES, G. C. **Geopolítica global dos fertilizantes: impactos sobre o agronegócio brasileiro**. Working Paper n. 7/2025. São Paulo: Insper Agro Global, 2025. 18p.
- CARVALHO, L. M. da S.; LUZ, M. S.; FREIRE, L. da S.; ROCHA, M. de M. Influência do tratamento térmico frente aos compostos antinutricionais em feijão-caupi. **Nutrivisa**, v. 16, n. 1, p.13. 2023. <https://doi.org/10.59171/nutrivisa-2023v10e10227>
- CASARIN, V. **Fósforo: um nutriente essencial**. 2019. Disponível em: <https://www.nutrientesparaavida.org.br/fosforo-um-nutriente-essencial/>. Acesso em: 10 fev. 2025.
- COELHO, L. G. F.; BOMFIM, C. A.; MENDES, I. de C.; VALE, H. M. M. do; REIS JÚNIOR, F. B. dos. **A inoculação do feijoeiro no Brasil: alternativas para aumentar a produtividade utilizando microrganismos promotores do crescimento vegetal**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2021. 48p.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Safra brasileira de grãos 2022/23**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/safra-graos>. Acesso em: 28 jan. 2025.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim logístico: volume de fertilizante importado em janeiro é recorde no país**. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5404-boletim-logistico-volume-de-fertilizante-importado-em-janeiro-e-recorde-no-pais>. Acesso em: 20 jan. 2025.
- FERNANDES, M. F.; FERNANDES, R. P. M.; HUNGRIA, M. Seleção de rizóbios nativos para guandu, caupi e feijão-de-porco nos tabuleiros costeiros de Sergipe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 7, p. 835-842, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003000700007>
- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes: an R package for ANOVA and experimental designs. **Applied Mathematics**, v. 5, n. 19, p. 2952–2958, 2014. <https://doi.org/10.4236/am.2014.519280>
- FISHER, R. A. **Statistical methods for research workers**. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1934. 356p.
- HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 36p. (Documentos, 325)
- HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; CAMPO, R. J.; GRAHAM, P. H. 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**. Dordrecht: Springer, 2005. p. 25-42. https://doi.org/10.1007/1-4020-3544-6_3
- JESUS, C. M. de; FERREIRA, J. S.; PAIVA, T. S. dos S.; SOUZA, F. G.; MELO, D. D.; SANTOS, R. K. A. Adubação nitrogenada e estirpes de rizóbios eficientes no desenvolvimento e produtividade do feijão-caupi. **Holos**, v. 3, n. 39, p. 1-15, 2023. <https://doi.org/10.15628/holos.2023.10538>
- KASCHUK, G.; AULER, A. C.; VIEIRA, C. E.; DAKORA, F. D.; JAISWAL, S. K.; CRUZ, S. P. da. Coinoculation impact on plant growth promotion: a review and meta-analysis on coinoculation of rhizobia and plant growth-promoting bacilli in grain legumes. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 53, p. 2027-2037, 2022. <https://doi.org/10.1007/s42770-022-00800-7>
- KEBEDE, E.; AMSALU, B.; ARGAW, A.; TAMIRU, S. Symbiotic effectiveness of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) nodulating rhizobia isolated from soils of major cowpea producing areas in Ethiopia. **Cogent Food and Agriculture**, v. 6, n. 1, p. e1763648, 2020. <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1763648>
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 186p.
- MARTÍNEZ-ROMERO, E.; SEGOVIA, L.; MERCANTE, F. M.; FRANCO, A. A.; GRAHAM, P.; PARDO, M. A. *Rhizobium tropici*, a novel species nodulating *Phaseolus vulgaris* L. beans and *Leucaena* sp. trees. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 41, n. 3, p. 417-426, 1991. <https://doi.org/10.1099/00207713-41-3-417>

- MUNIZ, A. W.; BRAGA, I. G.; CORRÊA, R. B.; OLIVEIRA, I. J.; FONTES, J. R. A. Inoculação de rizóbio em feijão-caupi, cv. Guariba, em Manaus, AM. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2015. 4 p. (Embrapa Amazônia Ocidental. Circular Técnica, 53).
- NASCIMENTO, S. P. do; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, E. C. E.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, E. M. da. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 853-860, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000800013>
- NDUNGU, S. M. **Characterization and screening of indigenous rhizobia as potential inoculants to enhance cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) production in Kenya**. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – ETH Zurich, Zurich, 2017. 121 p.
- OLIVEIRA, I. J.; FONTES, J. R. A.; PEREIRA, B. F. F.; MUNIZ, A. W. Inoculation with *Azospirillum brasilense* increases maize yield. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 5, n. 6, p. 1-9, 2018. <https://doi.org/10.1186/s40538-018-0118-z>
- OLIVEIRA, I. J.; FONTES, J. R. A.; DIAS, M. C.; BARRETO, J. F. **Recomendações técnicas para o cultivo de feijão-caupi no Estado do Amazonas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2019. 3p. (Circular Técnica, 71)
- OLIVEIRA, I. J.; FONTES, J. R. A.; SILVA, K. J. D.; ROCHA, M. M. **BRS Tumucumaque: cultivar de feijão-caupi com valor nutritivo para o Amazonas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2014. 4p. (Comunicado Técnico, 106).
- OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SANTOS, F. C. dos; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; PINTO JÚNIOR, A. S.; ALVES, V. M. C. **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, 2020a. 21p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 210).
- OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; COTA, L. V.; SANTOS, F. C. dos; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; OLIVEIRA, M. C.; MATTOS, B. B.; ALVES, V. M. C.; RIBEIRO, V. P.; VASCO JÚNIOR, R. **Recomendação agrônômica de cepas de *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020b. 19 p. (Circular Técnica, 260).
- OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; ALVES, V. M. C.; GOMES, E. A.; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; MARRIEL, I. E. Microrganismos solubilizadores de fósforo e potássio na cultura da soja. In: MEYER, M. C.; BUENO, A. F.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. da (Eds.). **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. p. 163-179.
- R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 10 fev. 2025.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p.
- SAURABH, K.; PRAKASH, V.; DUBEY, A. K.; GHOSH, S.; KUMARI, A.; SUNDARAM, P. K.; JEET, P.; SARKAR, B.; UPADHYAYA, A.; DAS, A.; KUMAR, S.; MAKARANA, G.; KUMAR, U.; KUMAR, A.; SINGH, R. R. Enhancing sustainability in agriculture with nanofertilizers. **Discover Applied Sciences**, v. 6, n. 559, p.e559, 2024. <https://doi.org/10.1007/s42452-024-06267-5>
- SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974. <https://doi.org/10.2307/2529204>
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3-4, p. 591-611, 1965. <https://doi.org/10.2307/2333709>
- SHAHZAD, M.; HAYAT, R.; MUJTABA, G.; REHMAN, W. U.; NADEEM, M. Biofertilizers in sustainable agriculture: mechanisms, applications, and future prospects. **Discover Agriculture**, v. 3, art. 224, 2025. DOI: 10.1007/s44279-025-00318-0
- SOARES, A. L. L.; FERREIRA, P. A. A.; PEREIRA, J. P. A. R.; VALE, H. M. M.; LIMA, A. S.; ANDRADE, M. J. B.; MOREIRA, F. M. S. Eficiência agrônômica de rizóbios selecionados e diversidade de populações nativas nodulíferas em Perdões (MG). II – Feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 803-811, 2006.
- STAMFORD, N. P.; SILVA JUNIOR, da S.; SANTOS, C. E. R. e S.; FREITAS, A. D. S.; LIRA JUNIOR, M. de A.; BARROS, M. C. Cowpea nodulation, biomass yield and nutrient uptake, as affected by biofertilizers and *Rhizobia*, in a sodic soil amended with *Acidithiobacillus*. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 35, n. 4, p. 453-459, 2013. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i4.16994>
- VINCENT, J. M. **A manual for the practical study of root nodule bacteria**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1970. 164p. (IBP Handbook, 15).
- WEI, T.; SIMKO, V. **corrplot: visualization of a correlation matrix**. R package version 0.95, 2024. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/corrplot/index.html>. Acesso em: 10 fev. 2025.

Agradecimentos: Os autores agradecem à Embrapa Amazônia Ocidental pelo suporte laboratorial e experimental, aos bolsistas e técnicos envolvidos na condução dos experimentos e às instituições parceiras pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa.

Contribuições dos autores: C.M.: conceitualização, metodologia, investigação ou coleta de dados, administração ou supervisão, redação do manuscrito original e revisão e edição do manuscrito; D.M.N.: metodologia, investigação ou coleta de dados e redação do manuscrito original; E.C.P.; metodologia, investigação ou coleta de dados; R.P.: metodologia, investigação ou coleta de dados; A.W.M.: metodologia, investigação de dados, administração ou supervisão, revisão e edição do manuscrito. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Financiamento: Esta pesquisa foi financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) por meio dos editais N.º 008/2022 – PROGRAMA KUNHÃ – C,T&I NO AMAZONAS e Posgrad/FAPEAM, pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (Código Financeiro 001 e Projeto PDPG Consolidação 3 e 4, Processo n.º 88887.707273/2022-01) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio dos Processos n.º 408267/2024-0 e n.º 308426/2022-3

Disponibilidade de dados: Os dados que apoiam os resultados deste estudo estão disponíveis mediante solicitação aos autores correspondentes.

Conflito de interesses: Os autores declaram não haver conflito de interesses.



Copyright: © 2026 by the authors. This article is an Open-Access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons **Attribution-NonCommercial (CC BY-NC)** license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).