



ANAIS

EDAMAME (BRS-267) EM SISTEMA ORGÂNICO: INOCULAÇÃO, PRODUTIVIDADE E OPORTUNIDADE PARA A AGRICULTURA FAMILIAR

RODRIGO DA SILVEIRA CAMPOS

rodrigo.silveira@embrapa.br

EMBRAPA AGROINDÚSTRIA DE ALIMENTOS

MAURO SERGIO VIANELLO PINTO

mauro.pinto@embrapa.br

EMBRAPA AGROBIOLOGIA

ELIZABETE ALVES DE ALMEIDA SOARES

elizabeth.souares@embrapa.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE BRASÍLIA

SANDY SAMPAIO VIDEIRA

sandyvideira@gmail.com

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

ANDRÉ DE SOUZA DUTRA

andre.dutra@embrapa.br

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

RESUMO: O edamame corresponde à soja colhida ainda verde, no estágio fisiológico R6, destinada ao consumo humano. Objetivou-se avaliar se a inoculação das sementes proporciona benefício produtivo adicional à soja edamame BRS-267 sob adubação orgânica. O ensaio foi conduzido em Santo Aleixo, Magé/RJ, em condição de agricultura familiar periurbana. Avaliaram-se: testemunha sem composto e sem inoculação (TR); composto sem inoculação (SI); e composto com inoculação (CI). O composto, aplicado a 1 kg por metro linear, apresentava 0,5% de N, 15% de carbono orgânico (C.O.), pH 6,5, relação C/N de 20 e capacidade de retenção de água de 70%. Em CI, utilizou-se inoculante líquido com *Bradyrhizobium japonicum* SEMIA 5079 e *Bradyrhizobium diazoefficiens* SEMIA 5080, a 7×10^9 UFC mL⁻¹. Foram avaliadas três unidades amostrais de 1 m² por canteiro, e a colheita ocorreu 87 dias após a semeadura. As produtividades observadas foram 10,94, 12,71 e 13,11 t ha⁻¹ para TR, SI e CI, respectivamente. CI superou SI em 0,40 t ha⁻¹, equivalente a 3,1%. A ANCOVA exploratória, ajustada pelo estande final, estimou a diferença em 1,66 t ha⁻¹, ou 14,0%. Nas condições avaliadas, CI apresentou desempenho produtivo superior a SI. Entretanto, a ausência de repetição independente dos tratamentos impede atribuir essa diferença exclusivamente à inoculação. A confirmação dessa resposta requer ensaios com tratamentos repetidos em canteiros independentes, análise econômica e soluções de dosagem compatíveis com pequenos lotes de sementes. Esses avanços poderão ampliar a adoção da tecnologia na produção orgânica de edamame pela agricultura familiar.

PALAVRAS CHAVE: agricultura familiar; *Bradyrhizobium*; cooperativismo; fixação biológica de nitrogênio; soja verde

ABSTRACT: Aquí está a tradução técnica do texto para o inglês, mantendo os termos agrônômicos adequados: Edamame corresponds to soybeans harvested while still green, at the R6 physiological stage, intended for human consumption. The objective was to evaluate whether seed inoculation provides an additional yield benefit to BRS-267 edamame soybean under organic fertilization. The trial was conducted in Santo Aleixo, Magé/RJ, under peri-urban family farming conditions. The following treatments were evaluated: control without compost and without inoculation (TR); compost without inoculation (SI); and compost with inoculation (CI). The compost, applied at 1 kg per linear meter, contained 0.5% N, 15% organic carbon (O.C.), pH 6.5, a C/N ratio of 20, and a water retention capacity of 70%. In CI, a liquid inoculant containing *Bradyrhizobium japonicum* SEMIA 5079 and *Bradyrhizobium diazoefficiens* SEMIA 5080 was used at 7×10^9 CFU mL⁻¹. Three sampling units of 1 m² per bed were evaluated, and harvest occurred 87 days after sowing. The

observed yields were 10.94, 12.71, and \$13.11\text{ t ha}^{-1}\$ for TR, SI, and CI, respectively. CI surpassed SI by \$0.40\text{ t ha}^{-1}\$, equivalent to 3.1%. Exploratory ANCOVA, adjusted for final plant stand, estimated the difference at \$1.66\text{ t ha}^{-1}\$, or 14.0%. Under the evaluated conditions, CI showed superior yield performance compared to SI. However, the absence of independent replication of the treatments prevents attributing this difference exclusively to inoculation. Confirming this response requires trials with replicated treatments in independent beds, economic analysis, and dosage solutions compatible with small seed batches. These advances could expand the adoption of this technology in organic edamame production by family farming.

KEY WORDS: family farming; Bradyrhizobium; cooperativism; biological nitrogen fixation; green soybean

1. INTRODUÇÃO

O edamame corresponde à soja colhida ainda verde, destinada ao consumo humano, preferencialmente no estágio fisiológico R6. Nesse ponto, os grãos estão plenamente desenvolvidos, ocupam as cavidades das vagens e ainda conservam a coloração, a textura e o sabor característicos do produto fresco. A colheita antecede a maturação plena da soja e exige atenção, pois o atraso favorece amarelecimento, aumento da fibrosidade e perda de qualidade comercial (NEUMAIER et al., 2000; CARRÃO-PANIZZI et al., 2018).

A cultivar BRS-267 foi desenvolvida no Brasil para uso como soja hortalíça. Sementes graúdas, hilo claro, sabor suave e adocicado e rápido cozimento diferenciam esse material das cultivares destinadas à produção de grãos secos. Além da comercialização das vagens frescas, o produto pode ser refrigerado, congelado ou destinado a agroindústrias de pequeno porte, ampliando o período de oferta e as possibilidades de agregação de valor (CARRÃO-PANIZZI et al., 2018; FELBERG et al., 2020; NAIR et al., 2023).

Os tratos culturais do edamame se aproximam daqueles empregados na olericultura, o que favorece sua condução em canteiros e sua inserção em sistemas diversificados da agricultura familiar. Essa característica é especialmente relevante em áreas periurbanas, nas quais a limitação física exige elevado aproveitamento do solo e articulação entre produção, beneficiamento e mercados consumidores próximos. A cultura pode contribuir para a diversificação de verão, a rotação de cultivos e, quando tecnicamente planejado, a composição de sistemas consorciados.

Na safra 2025/2026, o calendário oficial de semeadura da soja no estado do Rio de Janeiro estendeu-se de 29 de setembro de 2025 a 6 de janeiro de 2026; a semeadura realizada em 5 de janeiro permaneceu, portanto, dentro do período autorizado (BRASIL, 2025). Essa janela coincide com meses de maior temperatura e elevada instabilidade hídrica na região. Em sistemas de canteiros, períodos secos, chuvas concentradas e ventos podem comprometer emergência, sobrevivência e distribuição espacial das plantas, ampliando a variabilidade da produtividade por unidade de área.

A inoculação de sementes com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* é uma tecnologia central no manejo da soja, por favorecer a fixação biológica de nitrogênio. Em sistemas orgânicos, porém, a adubação de base aporta matéria orgânica e nutrientes e pode modificar a intensidade da resposta à inoculação. O nitrogênio presente no composto não está necessariamente disponível de forma imediata, pois sua liberação depende da mineralização. Assim, adubação orgânica e inoculação não devem ser consideradas tecnologias excludentes; a pergunta de interesse é se a inoculação oferece benefício produtivo adicional quando o cultivo já recebe composto (GITONGA et al., 2021; JARECKI et al., 2024).

A escala de uso também merece atenção. Recomendações comerciais normalmente são expressas para dezenas de quilogramas de sementes, enquanto pequenos canteiros demandam frações inferiores a um mililitro de inoculante. Sem instrumentos adequados, a microdosagem pode gerar erro de dose, distribuição desuniforme e perda de eficiência. Associações e cooperativas podem reduzir essa barreira por meio de compra programada, sincronização das semeaduras, uso compartilhado de equipamentos de precisão e assistência técnica, além de apoiar resfriamento, processamento e comercialização (WOSSEN et al., 2017; SILVA; NUNES, 2023).

Diante desse contexto, adotou-se como hipótese de trabalho que, sob a mesma adubação orgânica de base, a inoculação das sementes estaria associada a maior produtividade de vagens verdes em comparação ao manejo sem inoculação. O objetivo foi avaliar, em caráter exploratório, a tendência produtiva da soja edamame BRS-267 sob adubação orgânica e inoculação com *Bradyrhizobium spp.*, considerando as limitações espaciais de um sistema periurbano certificado e as condições climáticas

que afetaram a formação do estande. Também se discutiram os requisitos operacionais e cooperativos para ampliar o acesso à tecnologia na agricultura familiar.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1 Edamame, qualidade e produtividade

A produtividade de vagens verdes é um indicador central, mas não resume o desempenho comercial do edamame. Coloração, integridade, preenchimento, comprimento, número de grãos por vagem, textura e uniformidade interferem no rendimento comercial e na aceitação pelo consumidor. A definição da colheita no estádio R6 deve, portanto, combinar critérios fenológicos e comerciais. O intervalo adequado é curto e exige planejamento de mão de obra, classificação e resfriamento logo após a retirada das vagens do campo (FELBERG et al., 2020; NAIR et al., 2023).

A produtividade é condicionada pelo genótipo, pela população de plantas, pelo ambiente, pelo ano agrícola e pelo manejo. Em ensaio com a BRS-267, densidades efetivas entre 8 e 12 plantas por metro proporcionaram produtividades de vagens de 13,616 a 18,056 t ha⁻¹ (OLIVEIRA et al., 2025). Jiang et al. (2024), ao avaliar linhagens de edamame em diferentes anos, registraram valores entre 9,800 e 13,154 t ha⁻¹. Essas faixas ajudam a contextualizar resultados, mas não constituem metas universais, pois os estudos diferem em ambiente, material genético, população e método de colheita.

O desempenho agrônomo precisa ser conectado à organização da cadeia. Vagens frescas apresentam elevada perecibilidade e concentram a necessidade de mão de obra em uma janela curta. O congelamento e outras formas de processamento podem reduzir a urgência da venda, facilitar o escalonamento da oferta e ampliar o alcance de mercados. Todavia, tais opções exigem padronização, boas práticas, energia, embalagem e cadeia de frio. Em pequenas áreas, esses ativos dificilmente são eficientes quando adquiridos isoladamente, o que fortalece o papel de arranjos coletivos.

FIGURA 1. Aspecto visual de vagem aberta de edamame no estádio fisiológico R6



Nota: grãos verdes plenamente desenvolvidos, ocupando a cavidade da vagem antes do amarelecimento associado à maturação. Fonte: arquivo técnico disponibilizado pelos autores; caracterização fenológica conforme Neumaier et al. (2000).

2.2 Fixação biológica de nitrogênio sob manejo orgânico

A soja estabelece simbiose com bactérias capazes de formar nódulos e converter o N atmosférico em formas assimiláveis pela planta. A eficiência desse processo depende da

compatibilidade entre genótipo e microrganismo, da qualidade e concentração do inoculante, da sobrevivência das células na semente, da umidade e temperatura do solo, da acidez, da disponibilidade de nutrientes e da competição com populações já estabelecidas. Por isso, o êxito da inoculação resulta da interação entre produto, operação e ambiente (HUNGRIA; NOGUEIRA, 2020; BENDER et al., 2022).

As estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080 correspondem, respectivamente, a *Bradyrhizobium japonicum* e *Bradyrhizobium diazoefficiens* e integram formulações comerciais para soja no Brasil (DE SOUZA et al., 2019; BENDER et al., 2022). O histórico de cultivo de soja e de uso de inoculantes é relevante, pois populações de *Bradyrhizobium* já presentes no solo podem nodular plantas não reinoculadas e reduzir o contraste entre os tratamentos. A reinoculação, contudo, posiciona estirpes selecionadas próximas à semente e pode manter vantagem produtiva em condições específicas.

Em sistemas orgânicos, composto e fixação biológica podem atuar de forma complementar. O composto fornece carbono, macro e micronutrientes e contribui para propriedades físicas e biológicas do solo, mas o N orgânico depende de decomposição e mineralização. Gitonga et al. (2021) observaram resposta favorável à inoculação em soja sob manejo orgânico, embora em condições diferentes das avaliadas neste trabalho. Jarecki et al. (2024) também demonstraram que a resposta da soja à inoculação varia com o suprimento de N e o ambiente. Essas evidências sustentam a avaliação local, sem autorizar transferência direta de magnitudes.

Fósforo e cálcio participam de processos relacionados à formação e ao funcionamento dos nódulos, enquanto acidez e disponibilidade hídrica influenciam a sobrevivência das bactérias e a infecção radicular. A composição do insumo orgânico pode, portanto, criar ambiente favorável à simbiose, mas teores totais do produto não equivalem automaticamente à disponibilidade no solo. A interpretação mecanística exige análise do solo, quantificação de nódulos e avaliação do N nas plantas, variáveis que não foram medidas no presente estudo (MA et al., 2025).

2.3 Estande, condições climáticas e leitura estatística

A produtividade por hectare combina produção por planta e número de plantas colhidas. Quando o estande varia entre unidades amostrais, diferenças de manejo podem ser ampliadas ou ocultadas. Em experimentos agrônômicos, a análise de covariância permite examinar a associação entre uma resposta e uma covariável quantitativa, desde que seus pressupostos e a relação temporal entre as variáveis sejam considerados (YANG; JUSKIW, 2011).

No presente caso, o estande final foi medido após a aplicação dos tratamentos e também expressa o efeito acumulado das condições de estabelecimento. Ele não é uma característica inicial controlada. Por isso, o ajuste por ANCOVA foi empregado como análise exploratória de sensibilidade, preservando-se as produtividades observadas como resultado principal. A média ajustada ajuda a perguntar como os manejos se ordenariam em um estande comum, mas não elimina a associação entre tratamento, posição do canteiro e ambiente.

Estudos exploratórios em áreas produtivas reais podem revelar sinais relevantes antes da implantação de ensaios confirmatórios. Entretanto, a interpretação deve integrar magnitude, direção do efeito, variabilidade e qualidade do delineamento, sem reduzir a análise à dicotomia entre significativo e não significativo (WASSERSTEIN; SCHIRM; LAZAR, 2019). A limitação de área restringe o número de unidades independentes, enquanto condições climáticas adversas aumentam a variabilidade. Esses fatores reduzem o poder estatístico por mecanismos distintos e precisam ser explicitados.

2.4 Pequena escala, cooperativismo e agregação de valor

A adoção de uma tecnologia não depende apenas de sua eficiência biológica. Em pequenas áreas, volume mínimo de compra, precisão de dosagem, disponibilidade de equipamentos, assistência técnica, prazo de validade e coordenação do calendário podem ser tão decisivos quanto o ganho produtivo. Uma embalagem dimensionada para grandes lotes pode atender várias unidades familiares se o uso for programado e tecnicamente supervisionado.

Cooperativas e associações podem reduzir custos de transação, organizar compras, compartilhar instrumentos de microdosagem, registrar lotes e apoiar a capacitação. A literatura mostra que acesso à extensão e participação cooperativa podem favorecer a adoção tecnológica e o bem-estar dos agricultores, embora os resultados dependam de governança e inclusão (WOSSEN et al., 2017; SILVA; NUNES, 2023). No caso do edamame, o mesmo arranjo pode articular colheita, classificação, embalagem, resfriamento e venda.

A cooperação também distribui riscos. A concentração da colheita manual e a perecibilidade das vagens tornam vulnerável a comercialização individual. O planejamento conjunto permite consolidar volume, atender compradores com maior regularidade e negociar serviços de transporte e processamento. Assim, inoculação, produção e mercado não devem ser tratados como etapas isoladas: a geração de valor depende da integração entre eficiência agrônômica, operação pós-colheita e coordenação coletiva.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Área e implantação do cultivo

O estudo foi conduzido em Santo Aleixo, distrito de Magé/RJ, em área periurbana certificada para produção orgânica e inserida em sistema de agricultura familiar. A BRS-267 foi semeada em 5 de janeiro de 2026, com 12 sementes por metro linear, em canteiros contendo duas linhas espaçadas em 0,50 m. A colheita ocorreu 87 dias após a semeadura, no estágio R6, reconhecido pelo pleno desenvolvimento dos grãos ainda verdes e pelo preenchimento das vagens.

O uso de canteiros buscou favorecer a drenagem e aproximar a condução das práticas empregadas nos cultivos olerícolas locais. A área disponível e o caráter exploratório do sistema produtivo periurbano limitaram a implantação de um número maior de canteiros independentes. Ao longo dos 87 dias, registros de campo indicaram condições climáticas desfavoráveis ao estabelecimento uniforme, com alternância de períodos secos e chuvas acompanhadas de ventos. Essa combinação promoveu perdas desuniformes de plantas e maior variação do estande final.

3.2 Tratamentos e organização espacial

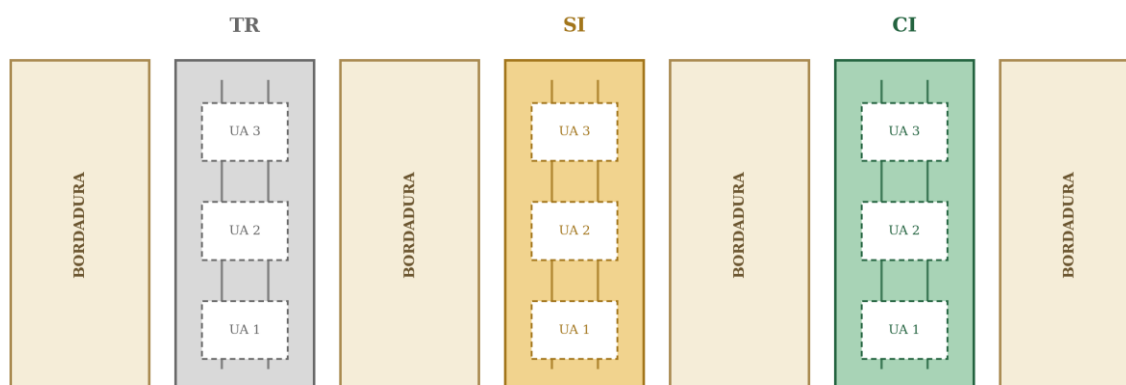
Foram avaliados três manejos: testemunha sem composto e sem inoculação (TR); composto orgânico sem inoculação (SI); e o mesmo composto associado à inoculação das sementes (CI). Cada manejo ocupou um canteiro, e canteiros de bordadura foram mantidos entre as áreas avaliadas para reduzir interferências laterais. Em cada canteiro de tratamento foram demarcadas três unidades amostrais internas de 1 m², totalizando nove observações espaciais.

TABELA 1. Tratamentos avaliados no cultivo exploratório de soja edamame BRS-267

Tratamento	Adubação orgânica de base	Inoculação das sementes	Unidades amostrais internas
TR	Ausente	Ausente	3 unidades de 1 m ²
SI	1 kg de composto m ⁻¹	Ausente	3 unidades de 1 m ²
CI	1 kg de composto m ⁻¹	Presente	3 unidades de 1 m ²

Fonte: protocolo do estudo; elaboração própria.

FIGURA 2. Organização dos canteiros de tratamento, bordaduras e unidades amostrais internas



Duas linhas por canteiro, espaçadas em 0,50 m; três unidades amostrais internas de 1 m².

Representação esquemática, sem escala.

Nota: TR = sem composto e sem inoculação; SI = composto sem inoculação; CI = composto com inoculação; UA = unidade amostral interna de 1 m². Representação sem escala. Fonte: elaboração própria.

3.3 Composto orgânico e inoculação

Nos tratamentos SI e CI, o composto orgânico foi distribuído na linha de plantio à dose de 1 kg por metro linear. No momento da implantação, o rótulo informava garantia mínima de 0,5% de N total e 15% de carbono orgânico, umidade máxima de 40%, pH 6,5, relação C/N máxima de 20 e capacidade de retenção de água de 70%. Uma análise laboratorial posterior caracterizou amostra do produto comercial conforme a Tabela 2.

A análise posterior não apresentou identificação do lote nem data de coleta. Por essa razão, os valores laboratoriais foram usados como referência composicional da amostra encaminhada e não como comprovação analítica do lote efetivamente aplicado. Essa distinção é importante porque matéria-prima, maturação, umidade e armazenamento podem alterar a composição de fertilizantes orgânicos entre lotes.

TABELA 2. Caracterização química e físico-química de amostra do composto orgânico

Grupo	Determinação	Resultado	Unidade/base
Macronutriente	Nitrogênio total	1,72	%
Macronutriente	Nitrogênio solúvel em água	0,58	%
Macronutriente	Fósforo total	2,97	%
Macronutriente	Fósforo solúvel em água	0,90	%
Macronutriente	Potássio total	0,96	%
Macronutriente	Potássio solúvel em água	6.115,08	ppm
Macronutriente	Cálcio total	5,11	%
Macronutriente	Magnésio total	0,64	%
Matriz orgânica	Matéria orgânica	42,50	%
Matriz orgânica	Umidade a 65 °C	24,18	%
Propriedade	pH em CaCl ₂	6,90	—
Propriedade	Capacidade de troca catiônica	470	mmolc kg ⁻¹
Propriedade	Capacidade de retenção de água	103,27	%

Fonte: relatório de ensaio O.S. 250743, amostra 184343/26 (IBRA LABORATÓRIOS, 2026). Valores referentes à amostra analisada; o laudo não identifica o lote aplicado no cultivo.

No tratamento CI, as sementes foram tratadas com inoculante líquido contendo *Bradyrhizobium japonicum* SEMIA 5079 e *Bradyrhizobium diazoefficiens* SEMIA 5080, na concentração declarada de 7×10^9 UFC mL⁻¹. A recomendação comercial era de 50 mL para 60 kg de sementes. Para o lote de 500 g utilizado no canteiro CI, o cálculo proporcional resultou em 0,4167 mL, arredondado para 0,42 mL do produto.

Para favorecer a distribuição homogênea sem alterar a quantidade de inoculante, o volume final de aplicação foi ajustado para 5 mL com solução aquosa purificada. Os registros disponíveis não permitiram recuperar o intervalo exato entre o tratamento das sementes e a semeadura. As sementes permaneceram protegidas da incidência direta de sol e do calor. A área apresentava histórico anterior de cultivo de soja e de uso de inoculantes à base de *Bradyrhizobium*, condição considerada na interpretação dos resultados.

3.4 Variáveis avaliadas e estratégia analítica

Na colheita, registraram-se o estande final e a massa líquida de vagens verdes em cada unidade amostral de 1 m². Os valores de massa por área foram convertidos para t ha⁻¹, usando a equivalência de 1 kg m⁻² = 10 t ha⁻¹. Calcularam-se médias e erros-padrão descritivos para representar a variação espacial dentro de cada canteiro.

O canteiro foi a unidade que recebeu o manejo. As três áreas de 1 m² mediram partes internas do mesmo canteiro e, por compartilharem posição, solo e operação de manejo, não constituíram repetições independentes do tratamento. Elas foram consideradas unidades amostrais internas. Essa limitação decorreu da área disponível e do caráter exploratório do sistema periurbano, não das condições climáticas. O clima, por sua vez, prejudicou a uniformidade do estande e ampliou a variabilidade entre as unidades.

Como o estande final variou, aplicou-se ANCOVA exploratória com tratamento como fator e estande final como covariável, estimando as médias em um estande comum de 14,11 plantas m⁻². A análise foi realizada no Minitab® 18 e tratada como sensibilidade descritiva. Adotou-se $\alpha = 0,10$ para a leitura exploratória, com a finalidade de reduzir o risco de desconsiderar um sinal agrônomo em estudo de pequena escala. Esse nível não compensa a limitação de unidades independentes nem transforma tendência em comprovação.

A interpretação combinou produtividades observadas, diferenças absolutas e relativas, erros-padrão, ordenamento das médias ajustadas e efeito global exploratório. O ajuste não substituiu os valores de campo e não removeu a associação entre tratamento e posição do canteiro. Assim, os resultados foram apresentados como tendência agrônomo observada sob as condições reais do cultivo.

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Estabelecimento e variabilidade entre unidades amostrais

O estande final variou de 9 a 19 plantas m⁻², e a produtividade das unidades amostrais variou de 8,41 a 15,47 t ha⁻¹ (Tabela 3). A amplitude confirma que o cultivo não formou estande uniforme. Os registros de campo indicaram que as condições climáticas desfavoráveis durante os 87 dias comprometeram o estabelecimento das plantas e contribuíram para perdas desuniformes, o que aumentou a dispersão das produtividades.

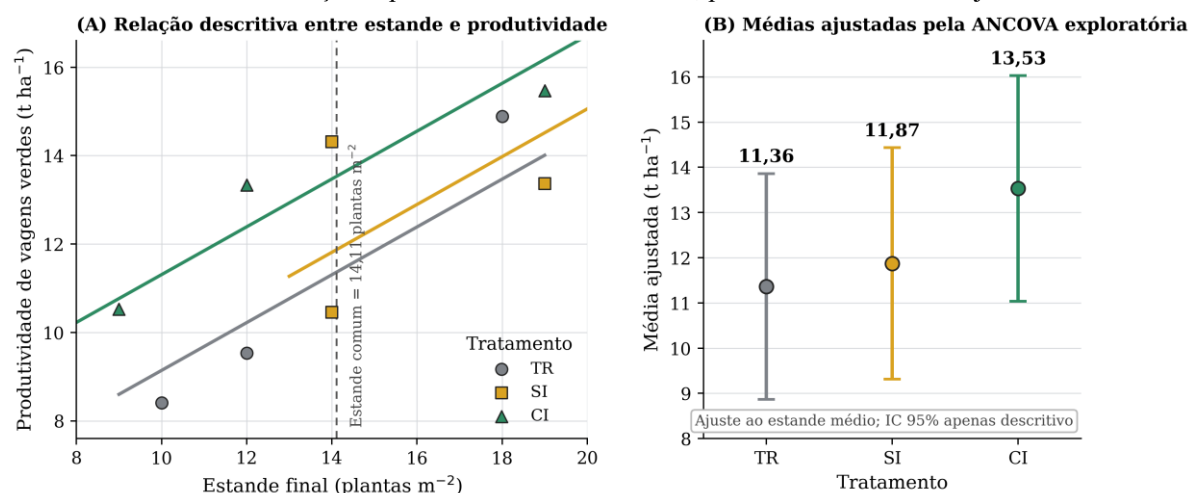
A limitação amostral e a variabilidade climática atuaram conjuntamente, mas não devem ser confundidas. O número de canteiros independentes foi restringido pela área disponível no sistema produtivo periurbano. A variação do estande, por outro lado, foi ampliada pelas condições enfrentadas durante o ciclo. O primeiro fator limitou a capacidade de replicação; o segundo aumentou o ruído experimental. Em conjunto, reduziram o poder para uma conclusão estatística definitiva.

TABELA 3. Dados observados de estande final e produtividade de vagens verdes

Tratamento	Unidade amostral	Estande final (plantas m ⁻²)	Produtividade (t ha ⁻¹)
TR	UA 1	10	8,41
TR	UA 2	12	9,54
TR	UA 3	18	14,89
SI	UA 1	14	10,46
SI	UA 2	14	14,32
SI	UA 3	19	13,37
CI	UA 1	19	15,47
CI	UA 2	9	10,53
CI	UA 3	12	13,34

Fonte: dados do cultivo; elaboração própria.

FIGURA 3. Relação exploratória entre estande final, produtividade e médias ajustadas



Nota: as retas e os intervalos representam descrição exploratória do conjunto de dados. O estande foi medido após os tratamentos e não deve ser interpretado como causa isolada da produtividade. Fonte: dados do cultivo; elaboração própria.

A associação positiva entre estande e produtividade justificou examinar a sensibilidade das médias à variação no número de plantas. Entretanto, CI reuniu a maior produtividade observada mesmo apresentando estande médio de 13,33 plantas m^{-2} , inferior ao de SI, que alcançou 15,67 plantas m^{-2} . Isso indica que o ordenamento dos tratamentos não decorreu simplesmente de maior número médio de plantas em CI.

As inclinações representadas na Figura 3 descrevem a associação comum estimada pelo modelo. Como o estande final também pode refletir resposta ao ambiente e ao manejo, o ajuste foi mantido em posição complementar. A amplitude dos intervalos evidencia a incerteza decorrente do pequeno conjunto de observações e reforça que a leitura apropriada é de tendência, não de prova conclusiva.

4.2 Produtividade observada e tendência ajustada

As produtividades médias observadas foram 10,94 $t\ ha^{-1}$ em TR, 12,71 $t\ ha^{-1}$ em SI e 13,11 $t\ ha^{-1}$ em CI (Tabela 4). O manejo com composto e inoculação apresentou o maior valor. Na comparação central, entre os tratamentos que receberam a mesma dose de composto, CI superou SI em 0,40 $t\ ha^{-1}$, correspondente a 3,1%. Essa diferença representa o sinal produtivo diretamente associado à presença da inoculação no contraste agronomicamente mais comparável.

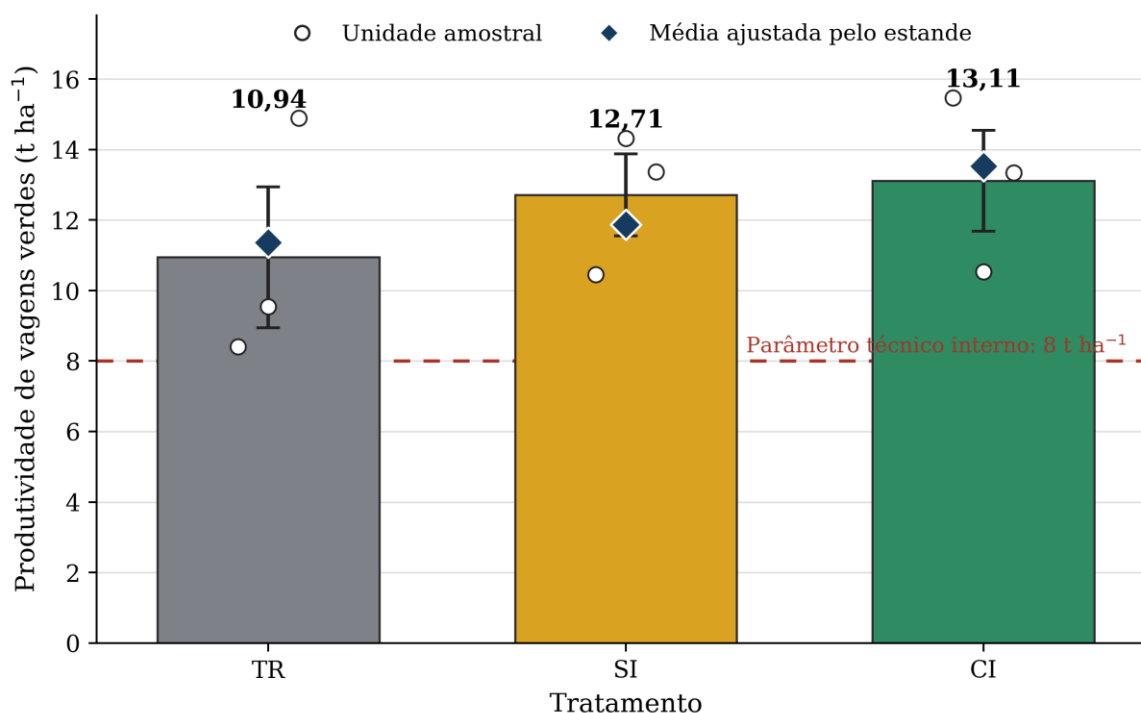
CI também superou TR em 2,17 $t\ ha^{-1}$, ou 19,8%, enquanto SI superou TR em 1,77 $t\ ha^{-1}$, ou 16,2%. A comparação com TR reúne mudanças de adubação e inoculação; por isso, não isola a contribuição do inoculante. O contraste CI-SI é mais informativo para a pergunta do trabalho, embora a disposição em um único canteiro por manejo limite a inferência.

TABELA 4. Estande médio, produtividade observada e média ajustada pelo estande final

Tratamento	Manejo	Estande final ¹ (plantas m ⁻²)	Produtividade observada ¹ (t ha ⁻¹)	Média ajustada ² (t ha ⁻¹)
TR	Sem composto; sem inoculação	13,33 ± 2,40	10,94 ± 2,00	11,36
SI	Composto; sem inoculação	15,67 ± 1,67	12,71 ± 1,16	11,87
CI	Composto; com inoculação	13,33 ± 2,96	13,11 ± 1,43	13,53

Nota: ¹ média ± erro-padrão descritivo das três unidades amostrais internas do mesmo canteiro. ² média estimada por ANCOVA exploratória para estande comum de 14,11 plantas m⁻². Fonte: dados do cultivo; elaboração própria.

FIGURA 4. Produtividades observadas e médias ajustadas pelo estande final



Nota: colunas = médias observadas; barras = erro-padrão descritivo; pontos brancos = unidades amostrais internas; losangos = médias ajustadas. A linha tracejada de 8 t ha⁻¹ é parâmetro técnico interno do projeto, não média nacional ou limite estatístico. Fonte: dados do cultivo; elaboração própria.

Ao estimar os tratamentos em um estande comum, a ANCOVA resultou em 11,36 t ha⁻¹ para TR, 11,87 t ha⁻¹ para SI e 13,53 t ha⁻¹ para CI. A diferença ajustada entre CI e SI foi de 1,66 t ha⁻¹, equivalente a 14,0%. O ajuste reforçou a direção da tendência observada, pois CI permaneceu com a maior média e ampliou sua vantagem quando comparado sob um mesmo estande.

O efeito global de tratamento no modelo exploratório não atingiu significância estatística no nível de 10% [F(2,5) = 1,37; p = 0,335]. Esse resultado não apaga a diferença observada; indica que, diante do espaço amostral disponível e da variabilidade ampliada pelas condições climáticas, o conjunto de dados foi insuficiente para uma decisão estatística definitiva. Assim, a conclusão adequada

é a existência de tendência agrônômica favorável à inoculação, sem declarar superioridade estatisticamente comprovada.

Os três manejos superaram o parâmetro técnico interno de 8 t ha⁻¹ adotado pela equipe para leitura do desempenho em campo. Esse valor não representa média nacional publicada. Em comparação externa, a produtividade de CI, 13,11 t ha⁻¹, aproximou-se do limite inferior de 13,616 a 18,056 t ha⁻¹ registrado para a BRS-267 em diferentes densidades (OLIVEIRA et al., 2025) e do limite superior de 9,800 a 13,154 t ha⁻¹ relatado por Jiang et al. (2024). As aproximações contextualizam a ordem de grandeza, sem substituir ensaios equivalentes.

4.3 Interpretação agrônômica da resposta

A direção da resposta é compatível com a hipótese de que a inoculação pode acrescentar benefício produtivo mesmo quando o cultivo recebe composto orgânico. A amostra analisada apresentou 1,72% de N total, 2,97% de P total, 0,96% de K total, 5,11% de Ca, pH 6,90 e 42,50% de matéria orgânica. Essa composição indica aporte nutricional relevante, mas não permite inferir a disponibilidade efetiva dos nutrientes no solo durante o ciclo.

A fixação biológica pode complementar a mineralização do N orgânico. Fósforo e cálcio também participam de processos associados à formação e ao funcionamento dos nódulos (MA et al., 2025). Contudo, o presente estudo não quantificou número ou massa seca de nódulos, atividade de fixação ou teor de N nas plantas. A maior nodulação percebida visualmente em CI permaneceu como observação qualitativa e não foi utilizada como evidência quantitativa.

O histórico de soja e inoculação da área pode ter reduzido o contraste entre SI e CI, pois plantas não reinoculadas podem ter sido noduladas por populações já estabelecidas. Nesse contexto, a manutenção de vantagem produtiva em CI é um sinal relevante para investigação, mas o mecanismo ainda precisa ser testado. A etapa seguinte deve medir nodulação em R2/R3, N foliar no florescimento e N nos grãos verdes em R6, além de acompanhar umidade do solo.

As condições climáticas também precisam integrar o desenho confirmatório. A implantação de tratamentos sorteados e repetidos em canteiros independentes permitirá separar melhor o efeito de manejo da posição no campo. O monitoramento da umidade e o registro meteorológico apoiarão a interpretação do estabelecimento. Assim, a pesquisa poderá distinguir resposta biológica ao inoculante de variações associadas ao ambiente e ao estande.

4.4 Implicações operacionais, econômicas e cooperativas

O cálculo de dose evidenciou uma barreira prática: 500 g de sementes demandaram apenas 0,42 mL de inoculante. Volumes dessa ordem exigem seringa graduada ou micropipeta e protocolo de homogeneização. A simples recomendação por quilograma não garante aplicação correta quando o lote é pequeno. A assistência técnica deve traduzir a dose, orientar a proteção contra calor e luz e sincronizar tratamento e semeadura.

A compra coletiva pode converter a escala comercial do produto em vantagem. Uma embalagem pode atender diferentes produtores quando as semeaduras são programadas e a aplicação é realizada sob responsabilidade técnica. Esse arranjo reduz desperdício, evita fracionamento informal sem rastreabilidade e permite registrar data, lote e volume aplicado. A cooperação deve preservar as exigências do rótulo e a qualidade microbiológica do produto.

A produtividade de vagens verdes, embora necessária, não demonstra sozinha rentabilidade. A análise econômica precisa incorporar custo de sementes, composto, inoculante, aplicação, irrigação, controle de plantas espontâneas, classificação, embalagem, perdas, resfriamento e transporte. A

colheita manual merece destaque, pois concentra mão de obra em uma janela estreita e pode representar parcela importante do custo (FELBERG et al., 2020; NAIR et al., 2023).

A organização coletiva pode atuar também depois da colheita. Consolidação de volume, programação de retirada, câmara fria, congelamento e comercialização compartilhada ampliam a capacidade de atender mercados regulares. O valor do inoculante, portanto, deve ser analisado dentro de um sistema mais amplo, no qual inovação agrônômica, logística e governança cooperativa se reforçam mutuamente.

QUADRO 1. Gargalos de adoção em pequena escala e possibilidades de organização coletiva

Gargalo	Efeito na unidade produtiva	Possibilidade cooperativa ou associativa
Microdosagem	Risco de erro em volumes inferiores a 1 mL	Equipamentos de precisão e aplicação assistida
Volume comercial	Sobra de produto e perda por validade	Compra programada e calendário compartilhado
Colheita manual	Pico de demanda por mão de obra	Mutirão ou contratação coordenada
Perecibilidade	Pressão para venda imediata	Resfriamento, congelamento e logística conjunta
Mercado	Baixo volume e menor poder de negociação	Consolidação de oferta e contratos coletivos

Fonte: elaboração própria, com base nos resultados do cultivo e na literatura discutida.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No sistema periurbano certificado avaliado, a soja edamame BRS-267 completou o ciclo em 87 dias e alcançou produtividades médias de 10,94 a 13,11 t ha⁻¹ de vagens verdes. O tratamento com composto orgânico e inoculação apresentou o maior valor observado. Em relação ao composto sem inoculação, a vantagem foi de 0,40 t ha⁻¹, ou 3,1%; após o ajuste exploratório pelo estande final, a diferença estimada foi de 1,66 t ha⁻¹, ou 14,0%.

Os tratamentos não diferiram significativamente no nível exploratório de 10%. A área disponível e o caráter exploratório do sistema limitaram o número de canteiros independentes, enquanto as condições climáticas desfavoráveis durante o ciclo comprometeram a formação de estande uniforme e ampliaram a variabilidade. Em conjunto, esses fatores reduziram o poder estatístico. Por isso, os resultados demonstram tendência agrônômica favorável à inoculação, sem permitir conclusão estatística definitiva.

A continuidade deve priorizar CI em ensaios com tratamentos sorteados e repetidos em canteiros independentes, registro meteorológico, monitoramento da umidade, avaliação de nodulação e N nas plantas e análise econômica que inclua a colheita manual. Essa etapa permitirá transformar o sinal observado em recomendação tecnicamente segura.

Para a agricultura familiar, a viabilidade da tecnologia depende também de adequação operacional. Associações e cooperativas podem organizar microdosagem, compra compartilhada, tratamento assistido das sementes, resfriamento, processamento e comercialização. Ao integrar bioinsumo, rigor experimental e ação coletiva, o cultivo de edamame pode ampliar a diversificação produtiva e gerar valor em sistemas periurbanos orgânicos de pequena escala.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARO, G. B. et al. Recomendações técnicas para o cultivo de hortaliças em agricultura familiar. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007. 16 p. (Circular Técnica, 47). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/781607/1/ct47.pdf>.
- BENDER, F. R. et al. Genetic variation in symbiotic islands of natural variant strains of soybean *Bradyrhizobium japonicum* and *Bradyrhizobium diazoefficiens* differing in competitiveness and in the efficiency of nitrogen fixation. *Microbial Genomics*, v. 8, n. 4, art. 000795, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1099/mgen.0.000795>.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária. Portaria SDA/MAPA nº 1.271, de 30 de abril de 2025. Estabelece os períodos de vazio sanitário e de calendário de semeadura de soja em nível nacional, referentes à safra 2025/2026. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ed. 82, p. 5, 5 maio 2025.
- CARNEIRO, R. C. V. et al. Assessing consumer preferences and intentions to buy edamame produced in the U.S. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. 5, art. 736247, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.736247>.
- CARRÃO-PANIZZI, M. C. et al. Características de vagens e grãos de cultivares de soja para utilização como edamame. Londrina: Embrapa Soja, 2018. 24 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 20). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1104406/1/BOLETIM20.pdf>.
- DE SOUZA, G. K.; SAMPAIO, J.; LONGONI, L.; FERREIRA, S.; ALVARENGA, S.; BENEDUZI, A. Soybean inoculants in Brazil: an overview of quality control. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 50, n. 1, p. 205-211, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42770-018-0028-z>.
- FELBERG, I.; TORREZAN, R.; PINTO, M. S. V.; NASCIMENTO NETO, F. Processamento de edamame em vagens para agroindústria de pequeno porte. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2020. 19 p. (Documentos, 140).
- GITONGA, N. M.; NJERU, E. M.; CHERUIYOT, R.; MAINGI, J. M. *Bradyrhizobium* inoculation has a greater effect on soybean growth, production and yield quality in organic than conventional farming systems. *Cogent Food & Agriculture*, v. 7, n. 1, art. 1935529, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311932.2021.1935529>.
- HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Fixação biológica de nitrogênio. In: SEIXAS, C. D. S. et al. (org.). *Tecnologias de produção de soja*. Londrina: Embrapa Soja, 2020. p. 185-196. (Sistemas de Produção, 17).
- HURLBERT, S. H. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs*, v. 54, n. 2, p. 187-211, 1984. DOI: <https://doi.org/10.2307/1942661>.
- IBRA LABORATÓRIOS. Relatório de Ensaio O.S. 250743: fertilizante orgânico, amostra 184343/26. Sumaré, SP, 2026. 3 p.
- JARECKI, W.; BORZA, I. M.; ROSAN, C. A.; VICAS, S. I.; DOMUȚA, C. G. Soybean response to seed inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* and/or nitrogen fertilization. *Agriculture*, v. 14, n. 7, art. 1025, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture14071025>.
- JIANG, G.-L. et al. Evaluation of 10 edamame breeding lines to determine yield, agronomic, and seed composition traits. *HortScience*, v. 59, n. 12, p. 1789-1794, 2024. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI18166-24>.

MA, Y.; XIAO, C.; LIU, J.; REN, G. Nutrient-dependent regulation of symbiotic nitrogen fixation in legumes. *Horticulture Research*, v. 12, n. 3, art. uhae321, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1093/hr/uhae321>.

MINITAB, INC. Minitab 18 Statistical Software. State College, PA: Minitab, Inc., 2017. Software estatístico.

NAIR, R. M. et al. Global status of vegetable soybean. *Plants*, v. 12, n. 3, art. 609, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12030609>.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. Estádios de desenvolvimento da cultura de soja. In: BONATO, E. R. (ed.). *Estresses em soja*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. p. 19-44.

OLIVEIRA, M. A. de; MOREIRA, J. U. V.; LEITE, R. S.; OLIVEIRA, I. S. B.; OLIVEIRA, C. M. G. de. Influência da densidade populacional da cultivar de soja BRS-267 na produção de edamame. Londrina: Embrapa Soja, 2025. 6 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 38).

RIBERA, L. M. et al. Assessment of the physiological response and productive performance of vegetable vs. conventional soybean cultivars for edamame production. *Agronomy*, v. 12, n. 6, art. 1478, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12061478>.

SILVA, R. M. A. da; NUNES, E. M. Agricultura familiar e cooperativismo no Brasil: uma caracterização a partir do Censo Agropecuário de 2017. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 61, n. 2, e252661, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.252661>.

WASSERSTEIN, R. L.; SCHIRM, A. L.; LAZAR, N. A. Moving to a world beyond $p < 0.05$. *The American Statistician*, v. 73, supl. 1, p. 1-19, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/00031305.2019.1583913>.

WOSSEN, T.; ABDOULAYE, T.; ALENE, A.; HAILE, M. G.; FELEKE, S.; OLANREWAJU, A.; MANYONG, V. Impacts of extension access and cooperative membership on technology adoption and household welfare. *Journal of Rural Studies*, v. 54, p. 223-233, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2017.06.022>.

YANG, R.-C.; JUSKIW, P. Analysis of covariance in agronomy and crop research. *Canadian Journal of Plant Science*, v. 91, n. 4, p. 621-641, 2011. DOI: <https://doi.org/10.4141/CJPS2010-032>.