EFEITOS DA ADUBAÇÃO FOLIAR COM NANOTECNOLOGIA NO PEPINO (*Cucumis sativus* L.) PARA CONSERVA

EFFECTS OF FOLIAR FERTILIZATION WITH NANOTECHNOLOGY ON PICKLING CUCUMBER (*Cucumis sativus* L.)

KAYRA CARVALHO **ALVES**[1], ALEXANDRINA **PUJALS**[2*], CLÁUDIO GOMES DA SILVA JÚNIOR **PEDROSO**[3]

1. Acadêmica do curso de Agronomia da Faculdade UMFG; **2.** Professora Mestra, docente do curso de Agronomia da Faculdade UMFG; **3.** Professor Doutor, docente do curso de Agronomia da Faculdade UMFG.

* Av. XV de novembro, 171, Zona 1, Maringá, Paraná, Brasil. CEP: 87013-230. alexandrina.pujals@umfg.edu.br

Recebido em 26/10/2026. **Aceito** para publicação em 02/11/2026

RESUMO

A adubação foliar com nanotecnologia pode representar uma alternativa para o manejo nutricional das culturas, entretanto as pesquisas sobre sua aplicação na agricultura ainda são limitadas. O presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da adubação foliar com nanotecnologia sobre o desenvolvimento, o desempenho produtivo e a classificação comercial do pepino para conserva (*Cucumis sativus* L.), em comparação com fertilizante à base de aminoácidos, fertilizante convencional e testemunha. O experimento foi conduzido em ambiente protegido, em delineamento de blocos casualizados, com quatro tratamentos e cinco repetições. Foram avaliadas variáveis de desenvolvimento das plantas, características radiculares, abortamento de frutos, características dos frutos e produtividade. Os tratamentos influenciaram significativamente a massa seca de raízes, o diâmetro da haste e o número acumulado de frutos abortados. O tratamento à base de aminoácidos apresentou as maiores médias de massa seca radicular e diâmetro da haste, enquanto o fertilizante convencional apresentou o menor número acumulado de frutos abortados. Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para as variáveis de produtividade. Conclui-se que, nas condições avaliadas, a adubação foliar com nanotecnologia não promoveu aumento significativo da produtividade, embora tenha apresentado resultados intermediários em algumas variáveis avaliadas.

PALAVRAS-CHAVE: *Cucumis sativus* L.; adubação foliar; nanotecnologia; desempenho produtivo; classificação comercial

ABSTRACT

Foliar fertilization using nanotechnology presents a potential alternative for crop nutrient management, although research on its agricultural applications is still limited. This study aimed to assess the effects of nanotechnology-based foliar fertilization on the development, yield performance, and commercial classification of pickling cucumber (Cucumis sativus L.). We compared a nanotechnology-based fertilizer with an amino acid-based fertilizer, a conventional fertilizer, and an untreated control. The experiment was conducted under protected cultivation, utilizing a randomized complete block design with four treatments and five replicates. We evaluated several aspects including plant development, root characteristics, fruit abortion, fruit characteristics, and yield. The treatments significantly influenced root dry mass, stem diameter, and the total number of aborted fruits. The amino acid-based fertilizer resulted in the highest average values for root dry mass and stem diameter, while the conventional fertilizer had the lowest total number of aborted fruits. However, the treatments did not show significant differences in yield variables. Under the conditions of this study, foliar fertilization with nanotechnology did not significantly enhance yield, although it yielded intermediate results for some evaluated factors.

KEYWORDS: *Cucumis sativus* L.; foliar fertilization; nanotechnology; yield performance; commercial classification.

1. INTRODUÇÃO

O pepino (*Cucumis sativus* L.) é uma hortaliça pertencente à família Cucurbitaceae, originária da Índia e amplamente cultivada nas regiões de clima tropical e subtropical[1]. No Brasil, o pepino é comercialmente classificado em diferentes tipos, como caipira, comum, japonês e o conserva. Neste último, os frutos são colhidos ainda imaturos e utilizados para a produção de picles[2].

A produção mundial de pepino é liderada pela China, seguida por países como Índia, Turquia e Rússia[3]. No Brasil, essa cultura apresenta importância econômica, especialmente na Região Sul com o cultivo voltado à indústria de conservas. O setor tem se beneficiado do uso de cultivares híbridas, contribuindo para o aumento da produtividade[4].

Atualmente, grande parte das lavouras destinadas à produção de pepino para conserva utiliza cultivares partenocárpicas, caracterizadas pela capacidade de formar frutos sem a necessidade de polinização. Embora apresentem vantagens produtivas, essas cultivares podem ser mais sensíveis a desequilíbrios nutricionais, que comprometem o desenvolvimento das

plantas, reduzem a produtividade e aumentam a suscetibilidade a doenças[5,6].

Nesse contexto, o fornecimento de nutrientes torna-se essencial para o desenvolvimento adequado do pepino, podendo ser realizado por diferentes métodos, como aplicação no solo, via foliar, tratamento de sementes e de forma parcelada ao longo do ciclo[7]. Entre essas estratégias, a adubação foliar destaca-se por possibilitar a absorção direta de nutrientes pelas folhas, sendo eficiente na correção rápida de deficiências nutricionais, especialmente em fases de alta demanda fisiológica das plantas[8].

Os fertilizantes químicos são amplamente utilizados na agricultura como fonte de suprimento nutricional às plantas, desempenhando papel fundamental na manutenção da produtividade das culturas ao longo dos anos. Apesar de sua importância histórica para o aumento da produção agrícola, sua eficiência pode ser limitada, estando diretamente relacionada às estratégias de aplicação e ao manejo adotado. Além disso, o uso contínuo e, em alguns casos, excessivo pode estar associado a problemas ambientais, o que tem impulsionado o interesse por alternativas tecnológicas mais eficientes no aproveitamento dos nutrientes pelas plantas. Desta forma, destaca-se a nanotecnologia aplicada à agricultura como alternativa eficaz e sustentável[9].

Os nanofertilizantes representam uma inovação promissora, pois permitem maior eficiência na entrega e absorção de nutrientes, além de reduzir perdas e aumentar a disponibilidade para as plantas[10]. Entre essas tecnologias, os fertilizantes de liberação controlada (FLCs) também se destacam por promoverem a liberação gradual de nutrientes, contribuindo para maior eficiência agronômica e sustentabilidade do sistema produtivo[11].

Diante desse cenário, para fins de comparação com os nanofertilizantes, foram utilizados, no presente estudo, fertilizantes foliares convencionais e produtos à base de aminoácidos. Estes últimos podem atuar como bioestimulantes, auxiliando na absorção de nutrientes e no metabolismo vegetal e influenciando processos como o crescimento e o desenvolvimento das plantas[12]. Assim, essa comparação permite analisar o desempenho relativo dos nanofertilizantes em relação aos demais tratamentos.

Embora a aplicação foliar de nanofertilizantes seja considerada uma tecnologia promissora e de crescente interesse na agricultura, as pesquisas nessa área ainda são limitadas, e sua ampla utilização prática ainda requer avanços científicos[13].

Com base nessas informações, partiu-se da hipótese de que a aplicação foliar de nanofertilizantes poderia influenciar positivamente o desenvolvimento das plantas, o desempenho produtivo e a classificação comercial dos frutos de pepino para conserva, apresentando desempenho igual ou superior ao dos demais tratamentos avaliados. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da adubação foliar com nanotecnologia sobre o desenvolvimento das plantas, o desempenho produtivo e a classificação comercial do pepino para conserva (*Cucumis sativus* L.), em comparação com fertilizante foliar convencional, ao fertilizante à base de aminoácidos e à testemunha.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre os meses de maio e setembro de 2026, na Fazenda Experimental da Faculdade UMFG, localizada no município de Cianorte, Paraná, Brasil, nas coordenadas 23°34'57,38"S e 52°38'30,76"O. O clima da região é classificado como subtropical úmido (Cfa), segundo o Sistema de Köppen[14], com precipitação média anual de 1.468,5 mm e temperatura média de 20,7 °C. Durante o período experimental, as temperaturas semanais variaram de 15,50 a 24,18 °C, conforme dados registrados pela estação meteorológica de Cianorte-PR fornecidos pelo Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (Simepar)[15]. O cultivo foi realizado em ambiente protegido, em casa de vegetação com estrutura de aço galvanizado, pé-direito de 2,90 m, cobertura em arco com filme plástico leitoso e tela de sombreamento com 70% de retenção da radiação solar global.

O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho eutrófico. Para sua caracterização, foram coletadas amostras na profundidade de 0–20 cm, posteriormente analisadas pelo laboratório no ano de 2026. Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental.

Determinação	Unidade	Profundidade 0-20 cm
pH (H2O)	-	5,97
Cálcio	cmolc dm^{-3};	1,44
Magnésio	cmolc dm^{-3};	0,76
Potássio	cmolc dm^{-3};	0,14
H+Al	cmolc dm^{-3};	2,04
Fósforo	mg dm^{-3};	11,78
Cobre	mg dm^{-3};	1,94
Zinco	mg dm^{-3};	6,53
Ferro	mg dm^{-3};	124,20
Manganês	mg dm^{-3};	35,64
Boro	mg dm^{-3};	0,29
Soma de base	cmolc dm^{-3};	2,34
CTC	cmolc dm^{-3};	4,38
Saturação por base	%	53,45

Fonte: Autores, 2026.

A calagem do solo foi realizada com base nos resultados da análise e nas recomendações para a cultura do pepino descritas por Trani, Passos e Araújo (2015)[16], utilizando-se 100 g m^{-2} de calcário, incorporado ao solo antes do transplantio. Como adubação de base, foi utilizado fertilizante organomineral de formulação 05-20-10, na dose de 6 g por vaso de 12 L, equivalente a 6 g $planta^{-1}$. Após o transplantio, não foram realizadas outras aplicações de adubação além das aplicações foliares correspondentes aos tratamentos experimentais.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), com quatro tratamentos e cinco repetições, totalizando 20 parcelas. Foram utilizados vasos plásticos com capacidade de 12 L, contendo uma

planta por vaso. Cada parcela foi constituída por quatro plantas, totalizando 80 plantas. Os vasos foram dispostos sobre paletes de madeira com 1,0 m de largura, 1,20 m de comprimento e 13 cm de altura, evitando o contato direto com o solo. O espaçamento utilizado foi de 0,40 m entre plantas e 0,75 m entre linhas.

Foi utilizada a cultivar híbrida KIBRYA F1, de característica partenocárpica. O transplantio foi realizado aos 15 dias após a semeadura, quando as mudas apresentavam uma folha verdadeira completamente expandida e desenvolvimento adequado para o transplantio, conforme Tian *et al.* (2025)[17].

As plantas foram conduzidas em haste única, com auxílio de fitilhos plásticos e remoção das brotações laterais durante todo o ciclo. O sistema de condução foi semelhante ao método de condução rebaixada descrito por Maeda, Nomura e Ahn (2024)[18]. A haste principal foi conduzida verticalmente até aproximadamente 2,0 m de altura, quando foi realizada a poda apical. O controle de plantas espontâneas foi realizado manualmente.

A irrigação foi realizada manualmente, conforme a necessidade hídrica das plantas, visando manter a umidade do substrato adequada ao desenvolvimento da cultura.

Para todas as avaliações, foram selecionadas aleatoriamente duas plantas de cada parcela. Os tratamentos foram constituídos por: T1 – testemunha, sem aplicação foliar; T2 – produto à base de nanotecnologia, na dose de 0,5 L ha^{-1}; T3 – produto à base de aminoácidos, na dose de 1,0 L ha^{-1}; e T4 – fertilizante foliar convencional, na concentração de 0,1 g L^{-1}, correspondente a 1 g para 10 L de água. Os produtos utilizados nos tratamentos T2, T3 e T4 apresentavam macro e micronutrientes em suas formulações, diferindo quanto à composição e à tecnologia empregada em cada produto. As soluções para a adubação foliar foram preparadas imediatamente antes de cada aplicação, mediante a diluição individual de cada produto em água destilada, mantendo-se sob agitação manual constante até a completa solubilização e homogeneização das caldas, sem a adição de adjuvantes. As aplicações foram realizadas ao final da tarde, utilizando-se um pulverizador de pressão acumulada por pistão manual acoplado a um reservatório de polietileno tereftalato (PET) previamente graduado. O volume aplicado foi calibrado para uma taxa de 20 mL m^{-2} (equivalente a 200 L ha^{-1}), promovendo-se a cobertura uniforme da parte aérea até o ponto de escorrimento foliar. As aplicações foram iniciadas aos 25 dias após o transplantio, quando as plantas apresentavam duas folhas verdadeiras, e realizadas em intervalos de aproximadamente sete dias, totalizando 10 aplicações durante o ciclo da cultura.

O controle fitossanitário foi realizado com produtos registrados no Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), conforme as recomendações de uso dos respectivos rótulos e bulas. Durante o ciclo, foram observadas ocorrências de lagartas, oídio e míldio. Para o controle de lagartas, foi realizada uma aplicação de produto biológico à base de *Bacillus thuringiensis*. Para o controle de oídio e míldio, foram realizadas quatro aplicações de solução contendo azoxistrobina (200 g L^{-1}) e difenoconazol (125 g L^{-1}). As aplicações foram realizadas de forma uniforme em todas as plantas.

Foram realizadas avaliações semanais do crescimento e desenvolvimento das plantas. O número de semanas após o transplantio (SAT) necessário para atingir 2,0 m de altura foi registrado. A contagem de frutos abortados foi realizada semanalmente, sendo posteriormente calculado o total acumulado ao longo do período experimental. Ao final do ciclo, foi determinado o diâmetro da haste, expresso em milímetros (mm), utilizando-se paquímetro, com a mensuração realizada a 2 cm acima da superfície do substrato[19]. As raízes das plantas avaliadas foram coletadas para determinação da massa fresca (g), massa seca (g) e teor de água (%). Para determinação da massa seca, as raízes foram pesadas em balança digital e, posteriormente, submetidas à secagem em estufa de circulação de ar a 65 °C, até atingirem massa constante[20]. Após a secagem, foram obtidas a massa seca das raízes por meio de nova pesagem e o teor de água determinado através da diferença entre a massa fresca e a massa seca.

As colheitas foram realizadas de 21 de julho a 27 de agosto de 2026, totalizando 9 colheitas. Os frutos foram colhidos com comprimento entre 4 e 9 cm, conforme critério adotado por Vieira Neto *et al.* (2018)[4]. Foram avaliadas as produtividades total, comercial e não comercial.

As produtividades total, comercial e não comercial foram expressas em t ha^{-1} e calculadas a partir das respectivas massas de frutos colhidos nas duas plantas avaliadas de cada parcela, considerando o espaçamento utilizado para estimar a população de plantas por hectare.

A classificação dos frutos foi realizada com base em suas características físicas e visuais, sendo estes categorizados em comerciais e não comerciais. Foram considerados não comerciais aqueles que apresentaram deformações, tortuosidade, afinamento acentuado, formato não cilíndrico, danos causados por pragas ou outras características consideradas inadequadas ao padrão comercial adotado no experimento[21]. Durante a avaliação, também foram observadas características relacionadas ao formato dos frutos, como estrias.

Para as análises estatísticas, utilizaram-se os dados obtidos das duas plantas selecionadas de cada parcela, calculando-se a média da parcela, considerada a unidade experimental. Para as variáveis de produtividade, entretanto, foram utilizadas as somas das massas dos frutos colhidos nas duas plantas. Inicialmente, os dados foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e Levene, para avaliação da normalidade dos resíduos e da homogeneidade das variâncias,

respectivamente. Para as variáveis que atenderam aos pressupostos da análise paramétrica (massa fresca e massa seca da raiz, teor de água da raiz e total acumulado de frutos abortados), realizou-se a análise de variância (ANOVA), seguida do teste de Tukey para comparação das médias, quando identificadas diferenças significativas entre os tratamentos. Para as variáveis analisadas por procedimento não paramétrico (diâmetro da haste, produtividade total, comercial e não comercial), utilizou-se o teste de Friedman. Todas as análises foram realizadas ao nível de 5% de significância, utilizando o software R (versão 4.6.1)[22], com o pacote *agricolae* (versão 1.3-7)[23].

3. RESULTADOS

Os resultados foram analisados e o percentual acumulado de plantas que atingiram 2,0 m de altura ao longo das semanas após o transplantio estão apresentados na Figura 1. As primeiras plantas atingiram essa altura a partir da nona semana. Na décima segunda semana após o transplantio, o tratamento com fertilizante foliar convencional apresentou 90% de plantas que alcançaram 2,0 m, seguido pelo tratamento com nanotecnologia, com 80%, e pelos tratamentos à base de aminoácidos e testemunha, ambos com 60%. Esses percentuais permaneceram inalterados na décima terceira semana.

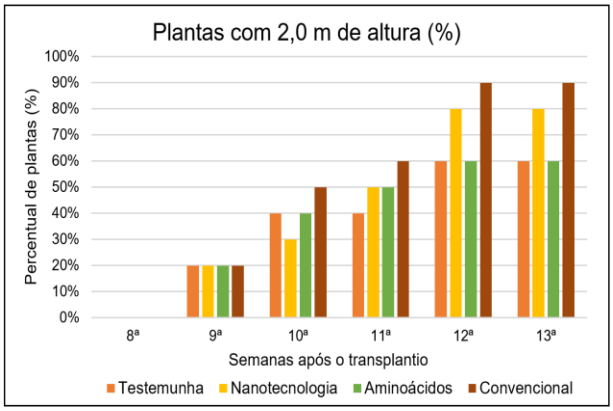


Figura 1. Percentual acumulado de plantas que atingiram 2,0 m de altura ao longo das semanas após o transplantio**. Fonte:** Autores, 2026.

Para as características do sistema radicular, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para a massa fresca das raízes e o teor de água ($p > 0,05$).

Tabela 2. Características radiculares do pepino para conserva em função dos tratamentos.

Tratamento	Massa fresca (g)	Massa seca (g)	Teor de água (%)
Testemunha	23,84 a	2,68 b	88,70 a
Nanofertilizante	30,27 a	3,56 ab	88,25 a
Aminoácidos	35,23 a	3,98 a	88,52 a
Fertilizante convencional	24,94 a	2,83 ab	88,61 a
CV (%)	22,39	19,10	0,98

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **Fonte:** Autores, 2026.

Entretanto, houve diferença significativa para a massa seca das raízes. O tratamento à base de aminoácidos apresentou a maior média, de 3,9754 g, diferindo significativamente da testemunha, cuja média foi de 2,6796 g. Os tratamentos com nanotecnologia e fertilizante foliar convencional apresentaram médias de 3,5590 e 2,8316 g, respectivamente, não diferindo estatisticamente dos demais tratamentos (Tabela 2).

Para o diâmetro da haste, foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. O tratamento à base de aminoácidos apresentou a maior média, de 5,55 mm, diferindo significativamente do fertilizante foliar convencional, com 4,75 mm, e da testemunha, com 4,60 mm. O tratamento com nanotecnologia apresentou média de 4,95 mm e não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3. Diâmetro da haste do pepino para conserva em função dos tratamentos.

Tratamento	Diâmetro da haste (mm)
Testemunha	4,60 b
Nanofertilizante	4,95 ab
Aminoácidos	5,55 a
Fertilizante convencional	4,75 b

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Friedman, com agrupamento de médias pelo procedimento de comparação múltipla do pacote agricolae, a 5% de significância. **Fonte:** Autores, 2026.

Também foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para o total acumulado de frutos abortados (Tabela 4). A testemunha apresentou a maior média, de 5,70 frutos, diferindo significativamente do tratamento com fertilizante foliar convencional, que apresentou a menor média, de 2,90 frutos. Os tratamentos com nanotecnologia e aminoácidos apresentaram médias de 5,00 e 4,80 frutos, respectivamente, não diferindo estatisticamente dos demais tratamentos.

Tabela 4. Total acumulado de frutos abortados de pepino para conserva em função dos tratamentos.

Tratamento	Frutos abortados (nº planta^{-1})
Testemunha	5,7 a
Nanofertilizante	5,0 ab
Aminoácidos	4,8 ab
Fertilizante convencional	2,9 b
CV (%)	30,82

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **Fonte:** Autores, 2026

A produtividade total, a comercial e a não comercial não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos ($p > 0,05$). A produtividade total variou numericamente de 6,57 a 11,56 t ha^{-1}, enquanto a produtividade comercial variou de 0,00 a 4,32 t ha^{-1}. Para a produtividade não comercial, as médias variaram de 2,25 a 11,56 t ha^{-1}. Embora tenham sido observadas variações numéricas entre os tratamentos,

não houve diferença estatística para essas variáveis (Tabela 5).

Tabela 5. Produtividade e características físicas dos frutos de pepino para conserva em função dos tratamentos.

Tratamento	Comercial (t ha^{-1})	Não comercial (t ha^{-1})	Total (t ha^{-1})
Testemunha	3,86 a	5,39 a	9,24 a
Nanofertilizante	4,32 a	2,25 a	6,57 a
Aminoácidos	0,00 a	11,56 a	11,56 a
Fertilizante convencional	1,53 a	6,51 a	8,04 a

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Friedman, com agrupamento de médias pelo procedimento de comparação múltipla do pacote agricolae, a 5% de significância. **Fonte:** Autores, 2026.

4. DISCUSSÃO

O tempo necessário para que as primeiras plantas atingissem 2,0 m de altura foi superior ao observado por Wibowo e Suhastyo (2023)[24], que relataram que plantas de melão (*Cucumis melo* L.), cultivadas em sistema hidropônico e ambiente protegido, atingiram aproximadamente 200 cm às cinco semanas após o transplantio. Essa diferença pode estar relacionada às condições de cultivo. Inthichack, Nishimura e Fukumoto (2014)[25] observaram que temperaturas diurnas mais elevadas favoreceram o crescimento em altura de plantas de pepino, melão e melancia, enquanto temperaturas menores reduziram o alongamento. No presente experimento, as temperaturas médias semanais chegaram a 15,50 °C nas primeiras semanas, o que pode ter contribuído para o crescimento mais lento nesse período.

O maior percentual acumulado de plantas que atingiram 2,0 m no tratamento com fertilizante foliar convencional pode estar relacionado às características da formulação e à disponibilidade de nutrientes durante o crescimento. Resultado semelhante foi descrito por Ngosong *et al.* (2018)[26], que observaram maior altura em plantas de pepino submetidas à aplicação foliar de NPK na formulação 20-20-20, em comparação à aplicação no solo e à ausência de fertilização. Entretanto, como o percentual de plantas que atingiram a altura foi apresentado de forma descritiva, sem análise estatística específica, não é possível afirmar que as diferenças observadas entre os tratamentos sejam estatisticamente significativas.

Em relação ao sistema radicular, a maior massa seca observada no tratamento à base de aminoácidos, em comparação à testemunha, pode estar associada à atuação de compostos bioativos sobre o desenvolvimento das raízes. Mondal *et al.* (2013)[27] observaram aumento da massa seca radicular de morangueiro com a aplicação de diferentes aminoácidos em comparação ao controle. De forma semelhante, García-Cano *et al.* (2024)[28] verificaram aumentos de 7,0%, 23,0% e 53,7% na massa seca das raízes de pepino, em relação ao controle, após a aplicação de diferentes doses de um bioestimulante composto por aminoácidos e extrato de algas marinhas. Embora a composição dos produtos e as condições experimentais sejam distintas, esses estudos apresentam resultados compatíveis com a maior média de massa seca radicular observada no tratamento com aminoácidos neste experimento.

O maior diâmetro da haste no tratamento à base de aminoácidos também pode estar relacionado à composição do produto utilizado, que contém L-tirosina, L-lisina e L-metionina. Alfosea-Simón *et al.* (2020)[29], ao avaliarem esses aminoácidos em tomateiro, verificaram respostas distintas entre os tratamentos e resultados expressivos com a combinação dos três compostos em comparação ao controle. Esses achados fornecem um possível contexto para a resposta observada no presente estudo, embora não permitam atribuir o maior diâmetro da haste a um aminoácido específico, uma vez que o produto foi aplicado em formulação combinada.

Souza *et al.* (2020)[30], ao avaliarem a aplicação de bioestimulante em abobrinha sob estresse salino, também observaram maiores valores de diâmetro do caule em plantas submetidas à aplicação via sementes e folhas ou somente via foliar, em comparação à ausência do bioestimulante. Esse comportamento é semelhante ao observado neste experimento, no qual o tratamento à base de aminoácidos apresentou maior diâmetro da haste que a testemunha.

Quanto ao abortamento de frutos, a maior média acumulada na testemunha e a menor média no tratamento com fertilizante foliar convencional podem indicar uma associação entre o fornecimento de nutrientes e a retenção dos frutos nas condições avaliadas. Khandaker *et al.* (2021)[31], ao estudarem diferentes condições de adubação em pepino, também observaram maior ocorrência de frutos abortados no tratamento sem aplicação, enquanto os tratamentos fertilizados apresentaram valores menores. Entre as condições avaliadas pelos autores, o tratamento com NPK convencional apresentou o menor abortamento, comportamento semelhante ao observado no presente estudo.

Entretanto, a resposta ao fornecimento de nutrientes não ocorre necessariamente de maneira uniforme. Hikosaka e Sugiyama (2015)[32] verificaram respostas distintas no abortamento de frutos de acordo com o regulador vegetal utilizado, com tratamentos que apresentaram valores inferiores ou superiores à testemunha. Essa variação reforça que a retenção dos frutos pode estar relacionada às características dos produtos utilizados e às condições fisiológicas das plantas.

As condições ambientais também podem ter influenciado o abortamento durante o ciclo. No presente experimento, as temperaturas médias semanais variaram de 15,50 a 24,18 °C. De Lint e Heij (1982)[33], ao avaliarem plantas de pepino sob diferentes temperaturas noturnas, observaram maior intensidade de abortamento em condições de menor temperatura. Embora as variáveis térmicas avaliadas nos dois

estudos não sejam equivalentes, os resultados levantam a possibilidade de que as condições de temperatura tenham contribuído para a ocorrência de abortamento no experimento atual. Essa interpretação, contudo, deve ser considerada com cautela, pois outros fatores ambientais e fisiológicos também podem ter influenciado o resultado.

A ausência de diferenças significativas para as produtividades total, comercial e não comercial indica que, nas condições avaliadas, os tratamentos não promoveram respostas produtivas estatisticamente distintas. Resultado semelhante foi observado por Maboko, Du Plooy e Chiloane (2017)[34], que avaliaram a aplicação foliar de nitrato de cálcio e de um fertilizante contendo macro e micronutrientes em minipepino cultivado em sistema hidropônico e não verificaram aumento significativo da produtividade em função da aplicação foliar.

Em contrapartida, Méndez-López *et al.* (2024)[35] observaram aumento da produtividade com a aplicação de nanofertilizantes à base de cálcio e de ferro e magnésio. A diferença entre esses resultados e os obtidos no presente estudo pode estar relacionada às formulações dos produtos, à composição nutricional e às condições de cultivo. Assim, não é possível generalizar que a aplicação de nanofertilizantes resulte necessariamente em aumento da produtividade, uma vez que as respostas podem variar de acordo com o produto e o sistema de produção.

Embora o tratamento com aminoácidos tenha apresentado a maior média de produtividade total, não houve produção de frutos comerciais nesse tratamento. Esse resultado indica que o maior acúmulo de produção não correspondeu necessariamente a frutos que atendessem ao padrão comercial adotado no experimento. Em contraste, Disciglio, Tarantino e Frabboni (2024)[36], observaram aumento significativo da produtividade comercial de tomate para processamento após a aplicação foliar de um fertilizante organomineral à base de ácidos húmicos e aminoácidos. Essa diferença evidencia que os resultados obtidos com produtos contendo aminoácidos podem variar conforme a cultura, a composição da formulação e as condições experimentais.

5. CONCLUSÃO

Nas condições em que o experimento foi conduzido, foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para a massa seca das raízes, o diâmetro da haste e o total acumulado de frutos abortados. O tratamento à base de aminoácidos apresentou as maiores médias para a massa seca das raízes e o diâmetro da haste, enquanto o fertilizante foliar convencional apresentou a menor média de frutos abortados. Entretanto, a nanotecnologia não diferiu significativamente dos demais tratamentos nessas variáveis, assim como nas produtividades total, comercial e não comercial. Dessa forma, a hipótese de que a aplicação foliar de nanofertilizantes poderia influenciar positivamente o desenvolvimento das plantas, o desempenho produtivo e a classificação comercial dos frutos, apresentando desempenho igual ou superior ao dos demais tratamentos avaliados, não foi confirmada de forma consistente.

Recomenda-se a realização de novos estudos em diferentes condições de cultivo, a fim de ampliar a compreensão dos efeitos da adubação foliar com nanofertilizantes sobre o desenvolvimento das plantas, o desempenho produtivo e a classificação comercial dos frutos de pepino para conserva (*Cucumis sativus* L.).

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Sr. Marcos Souza, pelo fornecimento da nanotecnologia utilizada no estudo e ao SIMEPAR pela disponibilização dos dados meteorológicos. A Edileuza, Rivaldo, Weligton, José, Edivane, Maria, Ryan e Edmilson, pelo auxílio prático durante a condução do experimento. Agradecemos também aos colegas da Faculdade UMFG, da Fazenda Experimental UMFG e do ERCIA/IAT que colaboraram para a realização da pesquisa.

Ao Programa Universidade para Todos (PROUNI), pela bolsa de estudos concedida.

7. REFERÊNCIAS

[1] Cruz-Coronado JA, Monge-Pérez JE. Producción de pepinillo (Cucumis sativus) en un ambiente protegido: evaluación de dos genotipos. UNED Research Journal. 2019;11(3):410-417. DOI:10.22458/urj.v11i3.2720 [acesso 13 mar. 2026] Disponível em: https://doi.org/10.22458/urj.v11i3.2720

[2] Pilon L, Melo RAC, Carvalho ADF. Recomendações técnicas para a colheita e pós-colheita de pepino. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças; 2018. 12 p. (Embrapa Hortaliças. Comunicado técnico, 119) [acesso 13 mar. 2026] Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1106633

[3] Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT [Internet]. Roma: FAO; 2024 [acesso 15 mar. 2026] Disponível em: https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity

[4] Vieira Neto J, Gonçalves PAS, Menezes Júnior FOG. Produtividade de cultivares de pepino para conserva em diferentes épocas de plantio sob ambiente protegido. Revista Thema. 2018;15(1):93-101. DOI:10.15536/thema.15.2018.93-101.809 [acesso 15 mar. 2026] Disponível em: https://periodicos.ifsul.edu.br/thema/article/view/809

[5] Takisawa R, Maruyama T, Nakazaki T, et al. Parthenocarpy in the tomato (Solanum lycopersicum L.) cultivar 'MPK-1' is controlled by a novel parthenocarpic gene. The Horticulture Journal. 2017;86(4):487-492. doi:10.2503/hortj.OKD-042 [acesso 20 mar. 2026] Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/hortj/86/4/86_OKD-042/_article/-char/en

[6] Cantú RR, Morales RGF, Schallenberger E, et al. Curvas de extração de nutrientes do pepineiro partenocárpico em cultivo protegido. Agropecuária Catarinense. 2021;34(1):42-47.

DOI:10.52945/rac.v34i1.1046 [acesso 22 mar. 2026] Disponível em: https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/rac/article/view/1046

[7] Silva V, Carloto CFM, Lima CSM. Produção de pepinos em estufa com diferentes taxas de adubação orgânica. Jornada de Iniciação Científica e Tecnológica. 2024;14 [acesso 29 abr. 2026] Disponível em: https://portaleventos.uffs.edu.br/index.php/JORNADA/article/view/21752

[8] Santos CO dos, Sodré PHB, Sousa DNT, et al. Adubação foliar na produção de mudas de repolho: efeitos de doses e cultivares sobre parâmetros morfológicos em ambiente protegido. Revista Delos. 2026;19(78):e8980. doi:10.55905/rdelosv19.n78-095 [acesso 30 abr. 2026] Disponível em: https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/8980

[9] Ayenew BM, Satheesh N, Zegeye ZB, et al. A review on the production of nanofertilizers and its application in agriculture. Heliyon. 2025;11(1):e41243. DOI:10.1016/j.heliyon.2024.e41243 [acesso 30 abr. 2026] Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024172 74X

[10] González-Lázaro M, Pérez-Álvarez EP, Parra-Torrejón B, et al. Methyl jasmonate and/or urea, conventionally and on nanoparticles, foliar applications: Influence on grape amino acids composition. Scientia Horticulturae. 2024;338:113682. DOI:10.1016/j.scienta.2024.113682 [acesso 30 abr. 2026] Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423824008355

[11] Yadav A, Yadav K, Abd-Elsalam KA. Nanofertilizers: Types, Delivery and Advantages in Agricultural Sustainability. Agrochemicals. 2023;2(2):296-336. doi:10.3390/agrochemicals2020019 [acesso 30 abr. 2026] Disponível em: https://www.mdpi.com/2813-3145/2/2/19

[12] Alves MV, Valentini CS, Valentini DH, et al. Aminoácidos e micronutrientes no tratamento de sementes de soja. Unoesc & Ciência - ACET. 2018;9(2):99-104 [acesso 30 abr. 2026] Disponível em: https://periodicos.unoesc.edu.br/acet/article/view/16740

[13] Ding Y, Zhao W, Zhu G, et al. Recent Trends in Foliar Nanofertilizers: A Review. Nanomaterials. 2023;13(21):2906. DOI:10.3390/nano13212906 [acesso 5 ago. 2026] Disponível em: https://www.mdpi.com/2079-4991/13/21/2906

[14] Nitsche PR, Caramori PH, Ricce WS, Pinto LFD. Atlas climático do estado do Paraná. Londrina: Instituto Agronômico do Paraná; 2019. 210 p. [acesso 23 out 2026]. Disponível em: https://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Atlas-Climatico

[15] Paraná. Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (SIMEPAR). Dados meteorológicos da Estação Meteorológica Cianorte Cocamar (Código ANA: 23695263): período de 31 maio 2026 a 03 set. 2026 [Internet]. Curitiba: SIMEPAR; 2026 [acesso 16 set. 2026] Disponível em: https://www.simepar.br/simepar/dados_estacoes/23695263

[16] Trani PE, Passos FA, Araújo HS. Calagem e adubação do pepino. Campinas (SP): Instituto Agronômico, Centro de Horticultura; 2015. 13 p [acesso 28 maio 2026] Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/274710670_Calagem_e_adubacao_para_a_cultura_do_pepino

[17] Tian T, Gheysen G, Kyndt T, et al. Pepper root exudate alleviates cucumber root-knot nematode infection by recruiting a rhizobacterium. Plant Communications. 2025;6(1):101139. DOI:10.1016/j.xplc.2024.101139 [acesso 15 maio 2026] Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590346224005352

[18] Maeda K, Nomura K, Ahn D-H. Effect of Training Method to Separate Sink and Source Organs on the Fresh Yield and Dry Matter Production of Cucumber (Cucumis sativus L.) under Greenhouse Conditions. The Horticulture Journal. 2024;93(4):389-396. DOI:10.2503/hortj.QH-140 [acesso 25 maio 2026] Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/hortj/93/4/93_QH-140/_article/-char/en

[19] Santos JBL. Análise do crescimento, desenvolvimento e produção de pimenta biquinho Capsicum chinense Jacq em sistema de produção orgânico [trabalho de conclusão de curso]. Bananeiras (PB): Universidade Federal da Paraíba; 2022. 22 f [acesso 25 jul. 2026] Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/24548

[20] Mello BFFR, Trevisan MV, Steiner F. Quality of cucumber seedlings grown in different containers. Revista de Agricultura Neotropical. 2016;3(1):33-38. DOI:10.32404/rean.v3i1.820 [acesso 15 maio 2026] Disponível em: https://periodicosonline.uems.br/agrineo/article/view/820

[21] Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 69, de 6 de novembro de 2018: estabelece o Regulamento Técnico definindo os requisitos mínimos de identidade e qualidade para produtos hortícolas. Diário Oficial da União [Internet]. 2018 nov 16;(220, Seção 1):28 [acesso 16 jul. 2026] Disponível em: https://www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-n-69-de-6-de-novembro-de-2018-50484320

[22] R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing [software]. Version 4.6.1. Vienna: R Foundation for Statistical Computing; 2026 [acesso 3 set. 2026] Disponível em: https://www.r-project.org/

[23] Mendiburu F. agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research [software]. Version 1.3-7. Comprehensive R Archive Network (CRAN); 2023 out. 22 [acesso 3 set. 2026] Disponível em: https://cran.r-project.org/web/packages/agricolae/index.html

[24] Wibowo S, Suhastyo AA. The effect of planting media and time of application of nutrients on melon (Cucumis melo L.) using drip irrigation hydroponics. Journal of Advanced Zoology. 2023;44(3):10-17. DOI: 10.17762/jaz.v44i3.261. [acesso 05 set. 2026] Disponível em: https://doi.org/10.17762/jaz.v44i3.261

[25] Inthichack P, Nishimura Y, Fukumoto Y. Effect of Diurnal Temperature Alternations on Plant Growth and Mineral Composition in Cucumber, Melon and Watermelon. Pakistan Journal of Biological Sciences. 2014;17(8):1030-1036. DOI: 10.3923/pjbs.2014.1030.1036. [acesso 05 set. 2026] Disponível em: https://scialert.net/abstract/?doi=pjbs.2014.1030.1036

[26] Ngosong C, Nkiambuo BN, Tanyi CB, et al. Comparative Study of Soil and Foliar NPK Fertilizers

on the Yield and Income of Cucumber (Cucumis sativus L.). Asian Journal of Advances in Agricultural Research. 2018;8(3):1-9. DOI: 10.9734/ajaar/2018/45721. [acesso 16 set. 2026] Disponível em: https://journalajaar.com/index.php/AJAAR/article/view/156

[27] Mondal MF, Asaduzzaman M, Kobayashi Y, et al. Recovery from autotoxicity in strawberry by supplementation of amino acids. Scientia Horticulturae. 2013;164:137-144. DOI: 10.1016/j.scienta.2013.09.019. [acesso 16 set. 2026] Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423813004780

[28] García-Cano C, Ferrández-Gómez B, Jordá JD, et al. Enhanced Growth of Cucumber (Cucumis sativus L.) Through Amino Acids and Seaweed Extracts for the Use in Organic Agriculture. Journal of Plant Growth Regulation. 2025;44(6):3205-3218. DOI: 10.1007/s00344-024-11611-5. [acesso 19 set. 2026] Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s00344-024-11611-5

[29] Alfosea-Simón M, Simón-Grao S, Zavala-Gonzalez EA, et al. Application of Biostimulants Containing Amino Acids to Tomatoes Could Favor Sustainable Cultivation: Implications for Tyrosine, Lysine, and Methionine. Sustainability. 2020;12(22):9729. DOI: 10.3390/su12229729. [acesso 19 set. 2026] Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/22/9729

[30] Souza MWL, Oliveira FA de, Torres SB, et al. Exogenous application of biostimulant in zucchini (Cucurbita pepo L.) subjected to salt stress. Revista Ciência Agronômica. 2020;51(3):e20207116. DOI: 10.5935/1806-6690.20200055. [acesso 20 set. 2026] Disponível em: https://www.scielo.br/j/rca/a/q8Cbx3tv9T4PGnKcxpFy3mP/?lang=pt

[31] Khandaker MM, Buang EA, Badaluddin NA, et al. The stimulatory effects of fish waste effluent on cucumber photosynthesis, flower formation and fruit development grown in Peat Moss. Bioscience Research. 2021;18(1):863-873. [acesso 20 set. 2026] Disponível em: https://www.isisn.org/BR18(1)2021/863-873-18(1)2021BR20-502.pdf

[32] Hikosaka S, Sugiyama N. Effects of Exogenous Plant Growth Regulators on Yield, Fruit Growth, and Concentration of Endogenous Hormones in Gynoecious Parthenocarpic Cucumber (Cucumis sativus L.). The Horticulture Journal. 2015;84(4):342-349. DOI: 10.2503/hortj.MI-051. [acesso 24 set. 2026] Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/hortj/84/4/84_MI-051/_article

[33] de Lint PJAL, Heij G. Night temperature and flower abortion of glasshouse cucumber (Cucumis sativus L.). Netherlands Journal of Agricultural Science. 1982;30(4):331-339. DOI: 10.18174/njas.v30i4.16971. [acesso 24 set. 2026] Disponível em: https://library.wur.nl/ojs/index.php/njas/article/view/16971

[34] Maboko MM, Du Plooy CP, Chiloane S. Yield and Mineral Content of Hydroponically Grown Mini-Cucumber (Cucumis sativus L.) as Affected by Reduced Nutrient Concentration and Foliar Fertilizer Application. HortScience. 2017;52(12):1728-1733. DOI: 10.21273/HORTSCI12496-17. [acesso 26 set. 2026] Disponível em: https://journals.ashs.org/view/journals/hortsci/52/12/article-p1728.xml

[35] Méndez-López A, García-Santiago JC, González-Méndez LM, et al. Impacto de nanofertilizantes en el rendimiento y calidad de pepino bajo condiciones de invernadero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 2024;15(4):e3343. DOI: 10.29312/remexca.v15i4.3343. [acesso 27 set. 2026] Disponível em: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342024000400108

[36] Disciglio G, Tarantino A, Frabboni L, et al. Yield and Fruit Characteristics of Tomato Crops Grown with Mineral Macronutrients: Impact of Organo-Mineral Fertilizers through Foliar or Soil Applications. Plants. 2024;13(11):1458. DOI: 10.3390/plants13111458. [acesso 27 set. 2026] Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11174471/