

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS MUDAS DE *Carica papaya* L. SUBMETIDAS A DIFERENTES DOSES DO BIOESTIMULANTE ARBOLINA

Veronica Del Carmen Barrientos Rojas¹, Claudio Sergio Marinato², Sara Dosseu-Arantes³

Pós-graduanda em Meio Ambiente, Instituto Federal do Espírito Santo, Ifes.

² Professor, Instituto Federal do Espírito Santo, Ifes, *campus* Linhares.

³ Pesquisadora, Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural – Incaper.

E-mail de contato: verodcbr@gmail.com

Recebido em: 15/11/2025 – Aprovado em: 15/12/2025 – Publicado em: 30/12/2025

DOI: 10.18677/EnciBio_2025D3

RESUMO

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) é uma cultura de grande relevância econômica para o Brasil, especialmente no Espírito Santo, estado que lidera a produção nacional com 38,5% do total. A obtenção de plantas vigorosas e bem nutridas começa com a produção de mudas de qualidade. Diante dos impactos ambientais causados pelo uso excessivo de fertilizantes químicos, produtores têm buscado alternativas sustentáveis, como biofertilizantes e bioestimulantes. Nesse contexto, esta pesquisa avaliou os efeitos do nanofertilizante Arbolina, de origem nacional, aplicado em diferentes doses em mudas de mamoeiro, cultivares Aliança e Tainung 01. O experimento foi conduzido na fazenda experimental do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural- INCAPER, em Linhares-ES. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 2×6, sendo: dois cultivares e seis tratamentos. Após 48 dias da semeadura foram avaliados parâmetros morfológicos e fisiológicos como: número de folhas, área foliar, comprimento e diâmetro do caule, comprimento e volume da raiz, área radicular, teor de clorofila e biomassa seca da parte aérea e radicular. Os resultados demonstraram potencial promissor do uso da Arbolina, possibilitando a redução da aplicação de fertilizantes químicos convencionais no desenvolvimento de mudas mamoeiro, favorecendo uma agricultura mais sustentável e com menor impacto ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Biofertilizante, Nanofertilizantes, Sustentabilidade.

AVALIATION OF THE QUALITY OF *Carica papaya* L. SEEDLINGS SUBJECTED TO DIFFERENT DOSES OF THE ARBOLINA BIOSTIMULANT

ABSTRACT

Papaya (*Carica papaya* L.) is a crop of great economic importance for Brazil, especially in Espírito Santo, the state that leads national production with 38.5% of the total. Obtaining vigorous, well-nourished plants begins with the production of quality seedlings. Given the environmental impacts caused by the excessive use of chemical fertilizers, producers have sought sustainable alternatives, such as biofertilizers and biostimulants. In this context, this study evaluated the effects of the Brazilian nanofertilizer Arbolina, applied at different doses to seedlings of the Aliança and Tainung 01 cultivars. The experiment was conducted at the experimental farm of the Capixaba Institute for Research, Technical Assistance, and Rural Extension

(INCAPER), in Linhares, Espírito Santo. The experimental design was completely randomized in a 2×6 factorial arrangement, consisting of two cultivars and six treatments. Forty-eight days after sowing, morphological and physiological parameters were evaluated, including leaf number, leaf area, stem length and diameter, root length and volume, root area, chlorophyll content, and shoot and root dry biomass. The results demonstrated promising potential for Arbolin, enabling a reduction in the use of conventional chemical fertilizers in the development of papaya seedlings, promoting more sustainable agriculture with a lower environmental impact. **KEYWORDS:** Biofertilizer, Nanofertilizer, Sustainability.

INTRODUÇÃO

O Mamoeiro (*Carica papaya* L.) é uma espécie de grande relevância econômica para o Brasil, atualmente ocupa a segunda colocação em produção mundial (FAO, 2022). O Espírito Santo se destaca na produção nacional e comercialização do produto, por seu clima favorável e práticas agrícolas desenvolvidas, sendo responsável por 38,5% da produção brasileira (SEAG, 2024). Considerando que o ciclo produtivo da planta é relativamente curto, variando de três a quatro anos, torna-se necessária a renovação constante da lavoura com plantas vigorosas e de qualidade homogênea.

O uso de bioestimulantes contribui para melhorar a absorção de nutrientes e a fertilidade do solo reduzindo os efeitos adversos associados aos fertilizantes químicos, ajudando a mitigar a poluição do solo e da água (IBRAHIM *et al.*, 2024). Além disso, tecnologias sustentáveis aplicadas ao manejo agrícola, têm demonstrado elevado potencial para otimizar processos e reduzir impactos ambientais (ANTUNES *et al.*, 2022; SANTOS *et al.*, 2024). Neste contexto, destacam-se as nanopartículas de carbono, que apresentam potencial significativo para promover uma agricultura mais eficiente e sustentável (ZAYTSEVA; NEUMANN, 2016). Gogos *et al.* (2012) ressaltam que essas nanopartículas otimizam a disponibilidade de nutrientes e o crescimento das plantas, atuando como promotores de crescimento e contribuindo para o uso mais eficiente dos fertilizantes.

Entre os produtos dessa tecnologia destaca-se à Arbolina, um biofertilizante à base de nanopartículas de carbono, por estar composta por 47% deste elemento. Desenvolvido no Brasil por meio de uma parceria entre a Universidade de Brasília (UnB) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Devido ao seu tamanho nanométrico, a Arbolina é mais facilmente absorvida pelas folhas da planta, ativando rotas metabólicas que promovem a absorção de luz de forma mais eficiente, favorecendo o crescimento e o desenvolvimento vegetal (EMBRAPA, 2020).

A empresa Krillrech, fabricante e fornecedora do biofertilizante Arbolina, afirma ter testado o produto em diversas culturas como soja, morango, feijão, tomate, algodão e outras. De acordo com a empresa, os resultados comprovaram o aumento da taxa fotossintética, por meio de um maior aproveitamento da luz e à ativação das enzimas envolvidas na geração de energia para as plantas, além de promover maior desenvolvimento radicular e melhorias na absorção de água e nutrientes (KRILLTECH, 2024).

Diante disso, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes doses de arbolina no desenvolvimento de mudas de mamoeiro, pertencentes a dois grupos varietais: Solo (cv. Aliança) e Formosa (cv. Tainung 01) e o seu potencial como alternativa aos fertilizantes convencionais na produção de mudas, contribuindo para a redução dos impactos ambientais.

MATERIAIS E METODOS

MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES DO CULTIVO

O experimento foi conduzido na fazenda experimental do Incaper, Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, localizado no município de Linhares, situada aproximadamente na latitude 19°25'03" sul e longitude 40°04'35" oeste, conforme dados obtidos no Google Earth Pro (GOOGLE, 2024), região norte do estado do Espírito Santo. O viveiro utilizado para o desenvolvimento das mudas era coberto com tela sombrite preta com 50% de sombreamento, a irrigação foi realizada por microaspersores de 12 litros por hora (l/h) acionados por temporizadores por 10 segundos a cada 30 minutos, sabendo que o clima de Linhares é classificado como tropical úmido (Aw), com verão chuvoso, inverno seco, precipitação anual superior a 1.400 mm e deficiência hídrica no período seco, o que demanda irrigação suplementar (INCAPER, 2024).

Foram colocadas três sementes de *Carica papaya* L. da cv. Aliança e Tainung 01, em tubetes de 50 cm³, contendo Tropstrato HT Hortaliças, constituído por casca de pinus, vermiculita, pg mix 14.16.18, nitrato de potássio, superfosfato simples e turfa. Dentro de cada tubete foram colocadas três sementes a 2,0 a 2,5 cm de profundidade.

Após a emergência das plântulas (15 dias), se efetuou o desbaste mantendo apenas a plântula mais vigorosa por tubete. Para a realização da pesquisa foi utilizado o produto comercial Arbolin Biogenesis® - krilltech (arbolina)

O experimento foi executado utilizando delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 6. Onde o primeiro fator corresponde a duas cultivares: Aliança e Tainung 01, e o segundo, constituído pelas seis doses de Arbolina (0, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25 e 1.5 ml/L). Foram avaliados 4 blocos e 20 plantas por parcela, totalizando 960 mudas. Após 15 dias da semeadura, uma vez feito o desbaste, foi realizada a primeira aplicação com 10 ml da solução de Arbolina via foliar. As aplicações foram realizadas em intervalos semanais, totalizando quatro aplicações no experimento.

Após uma semana da ultima aplicação, se realizou a lavagem das raízes em água corrente, para a retirada do substrato e as mudas foram avaliadas quanto ao desenvolvimento vegetativo e radicular.

As análises do sistema radicular foram realizadas através do *software* WinRHIZO™ (Versão 2024a, Regent Instruments, Inc.), que processa imagens de raízes escaneadas em alta resolução, quantificando seus parâmetros morfológicos. Para realizar as análises das raízes utilizando o *software* WinRHIZO™, foram selecionadas raízes de 5 plantas por parcela e cada raiz foi analisada separadamente.

AValiação DOS TRATAMENTOS

O desenvolvimento das mudas foi avaliado por meio de parâmetros morfológicos da parte aérea e do sistema radicular, bem como por indicadores fisiológicos e de qualidade. Para a parte aérea, mensurou-se o número de folhas (NF) por contagem direta, a área foliar (AF), em cm², utilizando o aparelho de bancada tipo *Scanner Area Meter* LI-3100C, e o comprimento do caule (CC), medido do coleto até a gema apical com régua graduada, com os resultados expressos em centímetros (cm). O diâmetro do caule (DC) foi determinado na região do coleto, com o auxílio de um paquímetro digital de precisão, sendo os valores expressos em milímetros (mm).

A massa seca das diferentes partes da planta foi obtida após secagem em

estufa com circulação forçada de ar, a 65 °C, até peso constante. A seguir, procedeu-se à pesagem em balança analítica de precisão para determinar a massa seca das folhas (MSF), do caule (MSC) e do sistema radicular (MSR), com os resultados expressos em gramas (g). A massa seca total (MST) foi calculada pela soma dessas três frações. A fração da massa foliar (FMF), por sua vez, foi determinada pela razão entre a massa seca das folhas e a massa seca total (FMF = MSF/MST).

As análises do sistema radicular incluíram a obtenção do comprimento radicular total (CRT), somando-se o comprimento de todas as raízes presentes na amostra, com os valores expressos em cm. Também foram determinados parâmetros morfológicos das raízes por meio do software WinRHIZO™ (versão 2024a, Regent Instruments, Inc.), que processa imagens de raízes escaneadas em alta resolução, permitindo quantificações precisas.

Para avaliação da qualidade das mudas, foi calculado o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), conforme Equação 1, proposta por Dickson, Leaf e Hosner (1960), considera a relação entre massa seca total, comprimento e diâmetro do caule, bem como a razão entre massa seca da parte aérea e massa seca das raízes.

$$IQD = \frac{MST}{\frac{CC}{DC} + \frac{MSPA}{MSR}} \quad (1)$$

em que,

MST = massa seca total,

CC = comprimento do caule,

DC = diâmetro do caule,

MSPA= massa seca parte aérea,

MSR=massa seca da raiz.

Outro parâmetro utilizado foi o índice de robustez (IR), obtido pela Equação 2, com o resultado expresso em cm /cm.

$$IR = \frac{H}{DC} \quad (2)$$

em que,

CC= comprimento do caule,

DC=diâmetro do caule.

Por fim, foram incluídas avaliações fisiológicas, como o teor relativo de clorofila, estimado com medidor portátil SPAD (modelo 502, Konica Minolta®, Japão), em uma folha completamente expandida, e o índice de clorofila, determinado com o clorofilômetro eletrônico ClorofiLOG (modelo CFL 1030), o qual fornece os valores dos índices de clorofila a, b e total.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade e analisados por meio da análise de variância, sendo as médias verificadas pela análise de regressão considerando 5% de probabilidade de erro. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, correspondendo a metodologia adotada por

Santana *et al.* (2024). Para fazer as análises estatísticas se utilizou o software SISVAR versão 4.3 assim como fez Santos *et al.* (2020). Foram consideradas equações com coeficiente de determinação (R^2) $\geq 70\%$.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Embora os bioestimulantes, geralmente contribuam para a melhoria da qualidade das mudas, sua eficácia pode variar de acordo com o tipo e a concentração utilizada, bem como em função das condições ambientais. Estudos como o de Moura *et al.* (2020) apontam que doses elevadas de determinados bioestimulantes podem causar efeitos adversos sobre os parâmetros de crescimento. Por isso, é essencial a realização de pesquisas que busquem estabelecer a dose certa para cada espécie e cultivar (Mota *et al.*, 2023).

Na tabela 1, observa-se que ambas das cultivares de mamoeiro, apresentaram comportamento semelhante em relação aos diferentes parâmetros morfológicos avaliados, quando submetidos às diferentes doses de Arbolina testadas. Houve incrementos significativos nas características de comprimento da parte aérea e do sistema radicular, além de diferenças relevantes em relação ao volume de raízes, sendo observado um crescimento proporcional ao aumento da dose aplicada do produto.

O Índice de robustez (IR), não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, tal resultado pode ser explicado pelo fato de que este Índice é uma medida relativa, ou seja, quando dois parâmetros, neste caso, comprimento e diâmetro, crescem proporcionalmente, o valor da razão tende a permanecer constante. Não entanto, isso não indica ausência de efeito do bioestimulante, considerando que os parâmetros morfológicos analisados, confirmam que as mudas tratadas com Arbolina apresentaram maior desenvolvimento.

TABELA 1 - Parâmetros morfológicos e índice de robustez de mudas de mamão (independente das cultivares) submetidas às diferentes doses do bioestimulante arbolina - Linhares, ES- Brasil 2025.

Dosagem de Arbolina	Cc (cm)	Dc (mm)	Crt (cm)	Vr (ml)	IR
Controle	5,56c	1,19b	627,71e	0,0922c	5,15a
0,50 ml/L	5,77c	1,27b	993,00d	0,1767c	5,01a
0,75 ml/L	6,85b	1,54b	1401,35c	0,2800b	4,9a
1,00 ml/L	7,48b	1,85a	1626,01b	0,4032a	4,7a
1,25 ml/L	7,99a	1,90a	1713,52b	0,4388a	4,24a
1,50 ml/L	8,35a	1,93a	1974,10a	0,4871a	4,15a
Media Geral	7,00	1,62	1389,26	3,13	4,69
Cv (%)	9,40	22,53	11,87	19,43	19,37

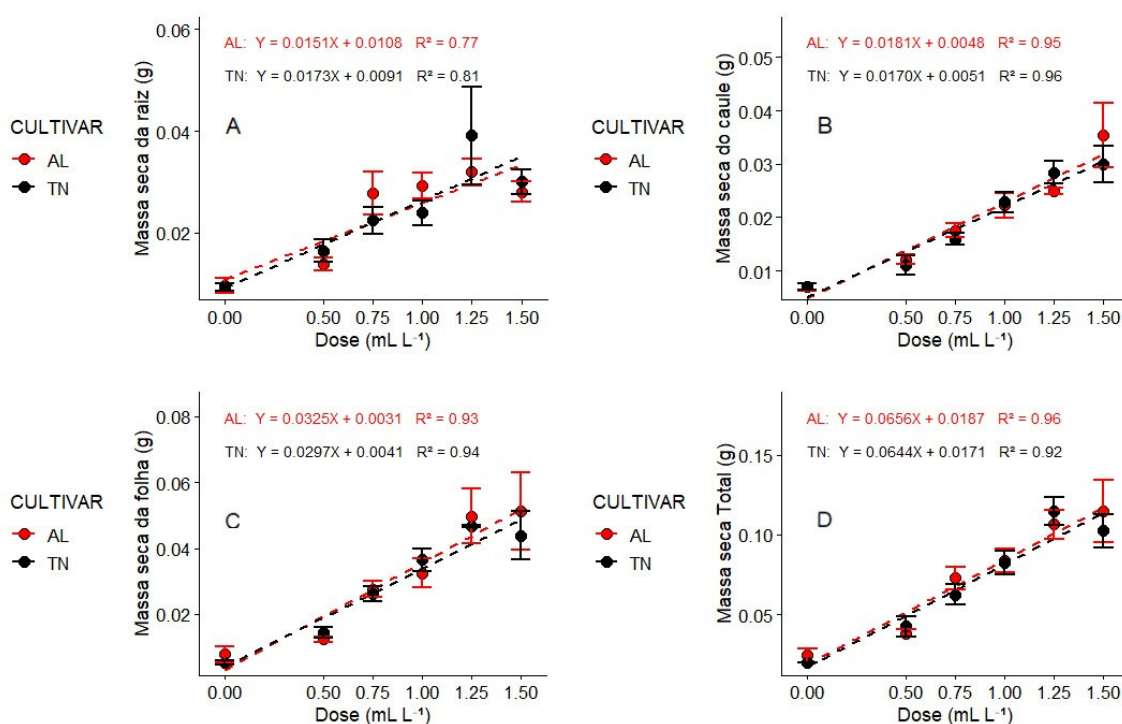
Fonte: Barrientos Rojas (2025).
Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Cc (comprimento de caule), Dc (diâmetro do Caule), Crt (comprimento raiz total), Vr (Volume de raiz), IR (Índice de Robustez, Cc/Dc).

Os dados da Tabela 1 indicam que, embora não tenham sido observadas diferenças significativas entre as cultivares, há variação, entre as diferentes concentrações do produto aplicado. Sendo as melhores respostas obtidas nas doses

de 1,25 ml/L e 1,5 ml/L, onde o bioestimulante Arbolina mostrou-se efetivo para o crescimento de mudas de mamoeiro, reforçando seu potencial para aplicação em diferentes culturas. Estudos anteriores apontam que a aplicação de bioestimulantes e nanofertilizantes podem melhorar significativamente a eficiência fisiológica das plantas, favorecendo a fotossíntese, o balanço hormonal e a alocação de fotoassimilados, resultando em maior produção de biomassa (CALVO *et al.*, 2014).

A matéria seca total (MST), estimada a partir da soma dos pesos das diferentes partes da planta, é um parâmetro confiável para avaliar o desenvolvimento geral das plantas, permitindo a análise precisa dos componentes sólidos pois reflete de forma integrada o acúmulo de biomassa nos diversos órgãos vegetais. Na Figura 1, observam-se as curvas correspondentes às matérias secas de cada parte das plântulas, obtidas após a remoção de toda a umidade, processo de secagem.

Figura 1. Matéria Seca das mudas de mamoeiro submetidas às diferentes doses de arbolina. A - Matéria Seca da Raiz (MSR); B - Matéria Seca Parte do Caule (MSC); C - Matéria Seca da Folha (MSF) D - Matéria Seca Total (MST).



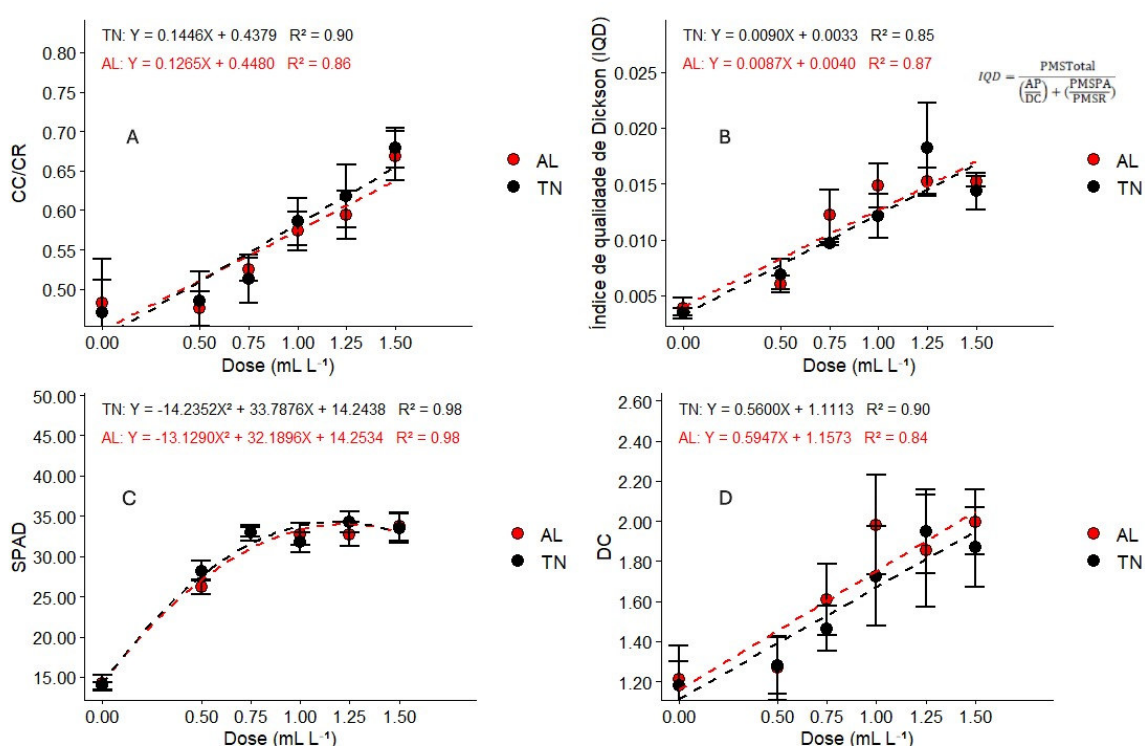
Fonte: Barrientos Rojas (2025)

Os resultados apresentados na Figura 1, indicam um aumento linear nas massas secas das raízes, das folhas, do caule e na MST com o incremento das doses de Arbolina, revelando que a aplicação do biofertilizante favoreceu o acúmulo de biomassa. Esse efeito positivo nas mudas possivelmente está relacionado à maior biodisponibilidade de nutrientes e ao estímulo dos processos metabólicos associados ao crescimento vegetal. Entre as cultivares avaliadas, a Aliança apresentou desempenho ligeiramente superior à Tainung 01.

Na Figura 2A, o IR equivalente a razão entre comprimento do caule e

comprimento da raiz descreve-se por uma reta ascendente, indicando que o desenvolvimento da parte aérea supera o crescimento radicular. Esse comportamento sugeriu que a plântula direciona proporcionalmente mais recursos ao alongamento do caule em relação ao sistema radicular, embora ainda seja possível observar um aumento no comprimento das raízes, assegurando suporte estrutural e capacidade de absorção compatível com o aumento de biomassa foliar. Este processo acontece porque a Arbolina foi aplicada via foliar, o que possibilitou sua absorção primeiramente pelas estruturas da parte aérea, e depois transportados pelo floema para outras partes da planta.

Figura 2. Qualidade de mudas de mamoeiro submetidas às diferentes doses de arbolina. A – Índice de Robustez (IR); B - Índice de Qualidade de Dickson (IQD); C - Teor relativo de clorofila (SPAD); D - Diâmetro do caule.



Fonte: Barrientos Rojas (2025)

Na avaliação da qualidade de mudas, destaca-se o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), Figura 2B. Valores mais elevados deste Índice indicam mudas mais equilibradas, vigorosas e com melhor potencial de adaptação no campo. Os resultados apresentados na pesquisa, sugerem que a aplicação foliar do biofertilizante nanotecnológico Arbolina, promoveu um desenvolvimento morfofisiológico das mudas, na medida que se aumentou a dose do produto; houve um incremento progressivo no valor do IQD para ambas cultivares, com destaque para a dose de 1,25 ml/L do produto, isso significa que esta doses foi a mais eficiente entre os tratamentos, pois apresentou os valores do índices mais elevados. Segundo Dickson *et al.* (1960), este índice permite comparar os resultados das práticas de manejo do viveiro, sendo útil na avaliação da qualidade relativa da colheita das mudas em qualquer ano.

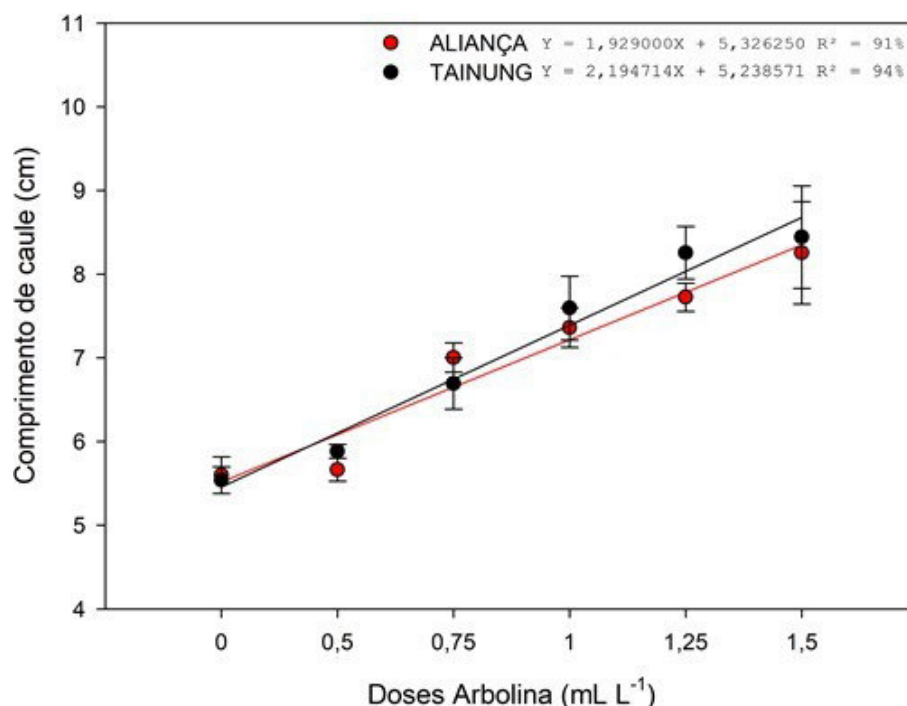
Observa-se na Figura 2C, que os valores de teor relativo de clorofila (SPAD)

aumentaram significativamente até um ponto máximo, seguido de decréscimo. A dose correspondente à maior taxa de absorção de clorofila foi de 1,25 ml/L para o cultivar Aliança e aproximadamente 1,19 ml/L para o cultivar Tainung 01. Esse comportamento do incremento dos valores de SPAD, indicam que as nanopartículas de carbono atuaram estimulando os processos fotossintéticos e a assimilação de nutrientes, promovendo maior síntese de clorofila (GOGOS *et al.*, 2012; ZAYTSEVA; NEUMANN, 2016). As doses correspondentes ao ponto máximo foram próximas entre si e situa-se dentro de uma faixa segura para ambos os genótipos, garantindo um equilíbrio favorável entre eficiência fotossintética e desenvolvimento saudável das mudas. Um crescimento vegetativo robusto é essencial para maximizar a captura de luz solar, realizar fotossíntese e desencadear processos fitoquímicos na planta (OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2011).

O diâmetro do caule, indicador importante da robustez e vigor das mudas, apresentado na Figura 2D, apresentou aumento proporcional ao incremento das doses. Tais efeitos são coerentes com estudos que demonstram o potencial de bioestimulantes à base de nanomateriais em promover o crescimento integrado das plantas, com maior eficiência fisiológica, absorção de nutrientes e capacidade de adaptação a diferentes condições edafoclimáticas (CALVO *et al.*, 2014).

A aplicação de Arbolina, em ambas as cultivares, exibiu uma relação linear ascendente entre a dose do biofertilizante e alongamento do caule, indicando resposta proporcional à quantidade de produto aplicado (Figura 3).

Figura 3. Qualidade de mudas de mamoeiro submetidas às diferentes doses de Arbolina para duas cultivares em relação ao comprimento do caule.



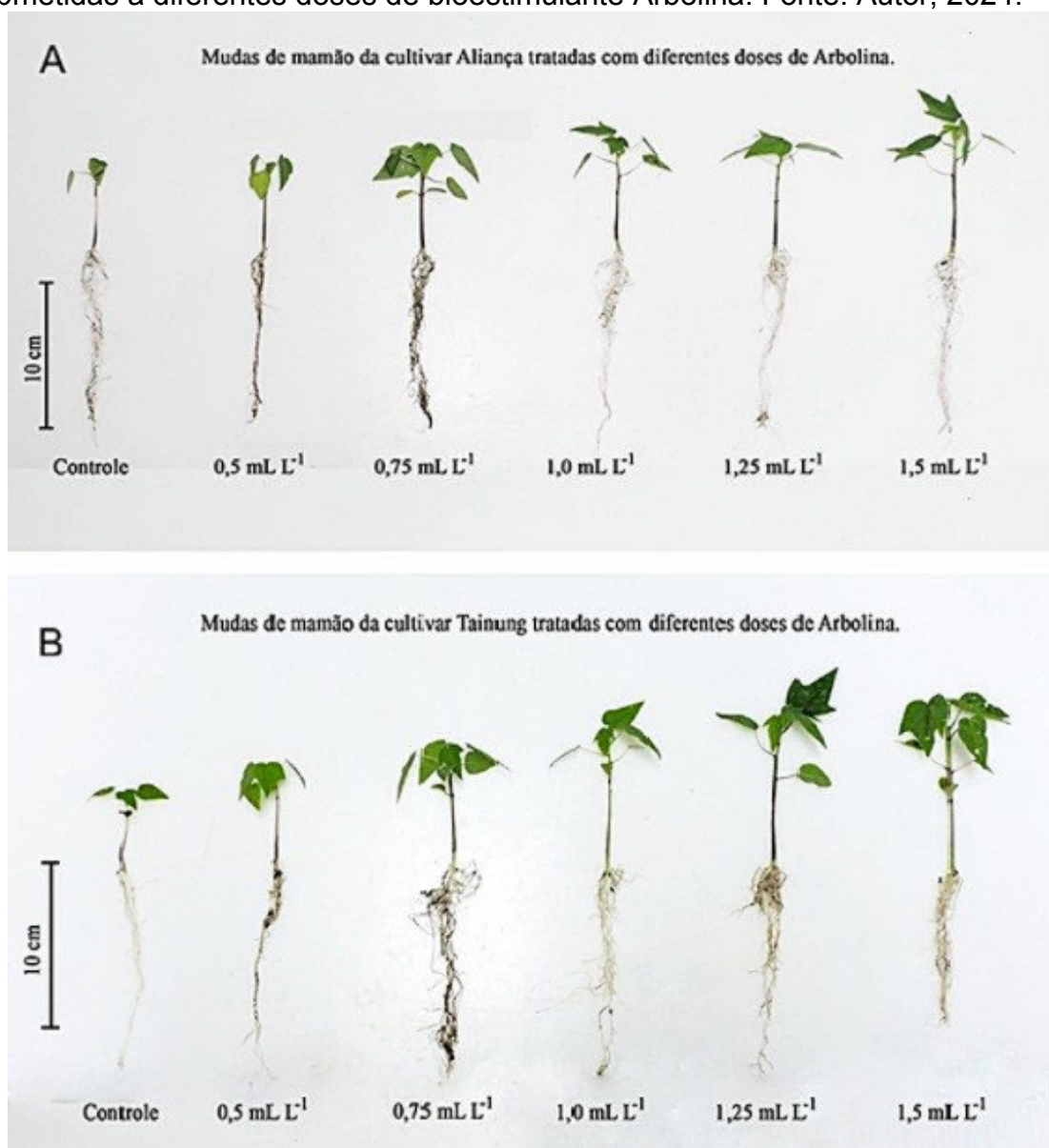
Fonte: Barrientos Rojas (2025)

O biofertilizante foi aplicado via aspersão, na parte aérea da planta, e esperado que sua absorção pela superfície da foliar promova os primeiros efeitos fisiológicos nessa região. Assim, os resultados apresentados na Figura 3 corroboram evidências de que nanomateriais de carbono aumentam a disponibilidade de

nutrientes e podem atuar como sistemas de liberação controlada, otimizando o aproveitamento fisiológico das plantas (GOGOS *et al.*, 2012; ZAYTSEVA; NEUMANN, 2016). Esses efeitos positivos também têm sido observados no uso da Arbolina em diferentes culturas, como morangueiro (BUSATO *et al.*, 2021) e antúrio (SILVA *et al.*, 2025).

Após o período de aplicação dos tratamentos, o aspecto visual das mudas, demonstrou aumento progressivo no crescimento em altura e desenvolvimento do sistema radicular à medida que as doses aumentaram, com desempenho máximo observado na concentração de 1,25 mL/L. A partir dessa dose, observou-se uma estabilização ou leve redução no vigor aparente das plantas (Figura 4).

FIGURA 4. Mudanças de *carica papaya* L. das cultivares Aliança (A) e Tainung (B), submetidas a diferentes doses de bioestimulante Arbolina. Fonte: Autor, 2024.



Fonte: Barrientos Rojas (2025)

A análise visual das mudas corroboraram os dados quantitativos, reforçando que o biofertilizante Arbolina promoveu um desenvolvimento morfológico mais

equilibrado e vigoroso das mudas, especialmente até a dosagem de 1,25 ml/L o que reforça seu potencial para melhorar a qualidade de mudas de mamoeiro, segundo resultados observados para outros cultivares (BUSATO *et al.*, 2021; VIEIRA *et al.*, 2024; SILVA *et al.*, 2025).

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicaram que a aplicação foliar da Arbolina promoveu crescimento significativo em parâmetros morfológicos e fisiológicos essenciais ao desenvolvimento inicial das plantas. A resposta positiva foi observada em ambas das cultivares (Aliança e Tainung 01), com destaque para a cultivar Aliança, que apresentou maior sensibilidade ao bioestimulante.

A dose de 1,25 ml/L destacou-se como a mais eficiente, promovendo o melhor desempenho morfológico das mudas, sem indícios de toxicidade. No entanto, são ainda necessários estudos complementares para validar seus efeitos em outras culturas, além de testar novas dosagens e combinações com outros insumos agrícolas.

A aplicação de Arbolina pode permitir a redução do uso excessivo de fertilizantes sintéticos, sem comprometer o desempenho das plantas, promovendo um sistema de produção mais eficiente e ambientalmente responsável.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, B. M.; JORDAN, R. A.; MOTOMIYA, A. V. D. A.; SANTOS, R. C.; MOREIRA JÚNIOR, O. Electrical performance of a Water-Cooled PVT System with forced and natural circulation. **Engenharia Agrícola**, 42, e20220108. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v42nepe20220108/2022>

BUSATO, J.G.; BUTRUILLE, N.M.D.S.; RODRIGUES, M.O.; PAULA, A.M.D.; ALENCAR, E.R.D. Estimulo ao crescimento de morangueiro a partir da adição de nanocomposto de carbono (ARBOLINA). **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v.2, n.3, p.1, 2021. DOI: <https://doi.org/10.51189/rema/1324>

CALVO, P.; NELSON, L.; KLOEPPER, J.W. Agricultural uses of plant biostimulants. Plant and soil, **Dordrecht**, v. 383, n. 1-2, p. 3–41, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>.

DICKSON, A.; LEAF, A.; HOSNER, J.F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forest Chronicle**, West Mattawa, v. 36, p. 10-13, 1960. DOI: <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>

EMBRAPA. **Arbolina: biofertilizante nanotecnológico para agricultura sustentável**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/8046/arbolina>. Acesso em: 28 abr. 2025.

FAOSTAT. **Food and agriculture organization of the United Nations**. 2022. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/>. Acesso em: 10 out. 2024.

GOOGLE. **Google Earth Pro**. Imagem de *Linhares, Espírito Santo, Brasil*. Data da captura: 15 jun. 2024. Versão 7.3. Disponível em: <https://earth.google.com/>. Acesso em: 02 dez. 2025.

GOGOS, A.; KNAUER, K.; BUCHELI, T.D. Nanomaterials in plant protection and fertilization: current state, foreseen applications, and research priorities. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 39, p. 9781-9792, 2012. <https://doi.org/10.1021/jf302154y>

IBRAHIM, U.B.; FARDAMI, A.Y.; SABITU, M.; ALIYU, A.; JODI, A.M.; *et al.*; The attributes of biofertilizer as an alternative to chemical fertilizer: a mini review. **Umyu Scientifica Journal**, Umaru Musa Yar'adua University Katsina Nigeria, Faculty of Natural and Applied Sciences, v. 3, n. 1, p. 208-214, 2024. DOI: <https://doi.org/10.56919/usci.2431.023>

INCAPER. **Meteorologia – Série Histórica e Monitoramento Agroclimático**. Vitória: Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, 2024. Disponível em: <https://meteorologia.incaper.es.gov.br/>. Acesso em: 02 dez. 2025.

KRILLTECH. **Arbolina: inovação nanotecnológica para a agricultura sustentável**. 2024. Disponível em: <https://www.krilltech.com.br>. Acesso em: 12 out. 2024.

MOTA, G. A., SANTOS, R. C., DOS SANTOS, J. A., LOVATTO, J., GEISENHOF, L. O., *et al.* Smart sensors and Internet of Things (IoT) for sustainable environmental and agricultural management. **Caderno Pedagógico**, v. 20, n. 7, p. 2692-2714, 2023. DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv20n7-014>

MOURA, E.A.; OLIVEIRA, L.M.; MENDONÇA, V.; MENDONÇA, L.M.F.; FIGUEIREDO, F.R.A.; *et al.*; Production of Formosa papaya seedlings irrigated with wastewater and application of biostimulant. **Comunicata Scientiae**, 11, e3153, 2020. <https://doi.org/10.14295/cs.v11i0.3153>

OLIVEIRA JÚNIOR, O.A.; CAIRO, P.A.R.; NOVAES, A.B. Características morfofisiológicas associadas à qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla* produzidas em diferentes substratos. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 35, n. 6, p. 1173-1180, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000700003>

SANTANA, C. S., SANTOS, R. C., DE CARVALHO, T. I., JORDAN, R. A., SANCHES, A. C., *et al.* Artificial neural network for assessment of impacts of rural anthropization in a tropical climate region. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 2, p. 1071-1085, 2024. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.2.p1071-1085>

SANTOS, R. C., LOVATTO, J., SANCHES, A. C., GOMES, E. P., DE SOUZA, C. M. A. Expert systems as a tool to manage accident risks in grain storage facilities. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 41, n. 1, p. 87-94, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0375.2020v41n1p87>

SANTOS, R. C., BARÉA, R., SANCHES, A. C., GOMES FILHO, R. R., MACHADO, S. T., *et al.* Fuzzy inference algorithm for quantifying thermal comfort in peri-urban environments. **Environment, Development and Sustainability**, p. 1-25, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05831-8>

SEAG – Secretaria de Estado de Agricultura, Abastecimento, Arquitetura e Pesca do Espírito Santo. **Produção agrícola capixaba**. Vitória: SEAG, 2024. Disponível em: <https://seag.es.gov.br/Not%C3%ADcia/espírito-santo-e-o-maior-produtor-e-exportador-de-mamão-do-brasil>. Acesso em: 28 abr. 2025.

SILVA, J.V.B.; CASTRO, A.C.R.; TANIGUCHI, C.A.K.; SILVA, F.R.; MARTINS, N.F.; DO VALE, J.C. Estímulo do crescimento de mudas de antúrio com o uso da Arbolina. **Ornamental Horticulture**, v.31, e312879, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1590/2447-536X.v31>

VIEIRA, N.Q.B.; SIMÕES, W.L.; SILVA, J.A.B.; SALVIANO, A.M.; SILVA, J.S.; *et al.*; Cultivation of yellow melon subjected to different irrigation levels and application of Arbolina biostimulant. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 37, e12452, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252024v3712452rc>

ZAYTSEVA, O.; NEUMANN, G. Carbon nanomaterials: production, impact on plant development, agricultural and environmental applications. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 3, n. 17, p. 1-26, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0070-8>