

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CAMPUS DE DRACENA**

Giovanni Alexander de Oliveira

**PRODUÇÃO DE MUDAS DE BERINJELA COM
BIOFERTILIZANTE ORIUNDO DE SUBSTRATO EXAURIDO
DE SHIITAKE.**

Dracena

2026

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CAMPUS DE DRACENA**

Giovanni Alexander de Oliveira

**PRODUÇÃO DE MUDAS DE BERINJELA COM
BIOFERTILIZANTE ORIUNDO DE SUBSTRATO EXAURIDO
DE SHIITAKE.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à
Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas
– Unesp, Câmpus de Dracena como parte das
exigências para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Diego Cunha Zied
Co-orientador: Me. Lucas da Silva Alves

Dracena
2026



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Dracena



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
UNESP – CÂMPUS DE DRACENA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: Produção De Mudas De Beringela Com Biofertilizante Oriundo De Substrato Exaurido De Shiitake.

Modalidade: Atividades de pesquisa.

Autor: Giovanni Alexander de Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Diego Cunha Zied.

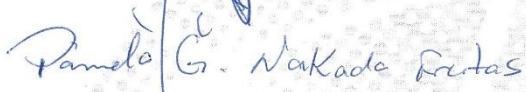
Co-orientador(es): Me. Lucas da Silva Alves.

Número de Créditos: 12

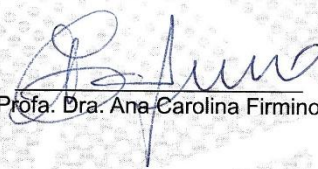
Data da aprovação e correção de acordo com as sugestões da Banca: 26/06/2026



Prof. Dr. Diego Cunha Zied



Profa. Dra. Pâmela Gomes Nakada Freitas



Profa. Dra. Ana Carolina Firmino

Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas – CCG-EA
Rod. Cmte. João Ribeiro de Barros, km 651- Bairro das Antas – CEP: 17900-000 – Dracena/SP - Brasil
Tel. (18) 3821-8200 – www.dracena.unesp.br – ccgea.dracena@unesp.br

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a mim, por não ter desistido diante das dificuldades; à minha mãe, Solange Sampaio, por todo o amor, dedicação e sacrifícios feitos por nossa família, sendo a principal inspiração desta conquista; e ao meu irmão, Gian Lucas, por quem também trilhei esta caminhada, pelos incentivos constante, e por sempre acreditar em mim. Esta vitória também é de vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à FCAT/UNESP pela oportunidade de aprendizado, crescimento pessoal e profissional ao longo dessa caminhada. Ao Centro de Estudos em Cogumelos (CECOG) e aos professores que fizeram parte dessa trajetória, em especial ao meu orientador Diego Zied, pelo suporte, orientação e confiança. Também agradeço aos professores Vitor Barreto, Paulo Lopes, Pamela Nakada e Ana Firmino, que contribuíram de forma importante para a realização deste trabalho.

Agradeço às ações afirmativas da UNESP, que foram fundamentais para que eu pudesse me manter e seguir em frente durante a graduação.

À minha família, que é a base de tudo, meu muito obrigado. À minha mãe, Solange Sampaio, e ao meu irmão, Gian Lucas, por todo o amor, apoio e por estarem comigo em todos os momentos.

À minha avó Neuza Xavier, à minha tia Giovana Oliveira, à minha prima Cecília Couto e ao meu pai Luiz Gustavo, pelo carinho e amor.

Agradeço também à família que a vida me deu, em especial Rosimar e Jeanne Lima, pelo acolhimento e por fazerem parte dessa caminhada.

As minhas amigas Leyde Pereira e Mariana Quintino, que sempre me incentivou a fazer essa faculdade e correr atrás dos meus objetivos.

À minha melhor amiga Bárbara Vicente, por dividir comigo cada momento, os bons, os ruins, os de estresse e de alegria e por me provar que o destino sempre quis nos unir, desde os tempos da UFTM.

Às minhas amigas Larissa Rodrigues e Camilly Mata, que estiveram comigo nas reviravoltas da graduação.

À minha irmã que a UNESP me deu, Vitória Gobbi (Triplex), que chegou do nada e se tornou família. Obrigado pelo carinho, pela amizade e por estar presente nos momentos em que mais precisávamos de apoio. Você me mostrou que família é muito mais do que laços de sangue.

Às repúblicas Eternament, Sófadinhas e 4 de Paus, que foram muito mais que moradia, foram lar. Levo comigo todos os momentos, as risadas e as experiências que vivi com vocês.

Aos meus amigos Luiz e Ângelo, com quem dividi moradia e vivi momentos únicos e inesquecíveis.

Aos amigos que fiz ao longo dessa caminhada — Irmã Rabeta, Xuca, Melissa, Murilo, Lelek, Yumi, Dá Lancha, PCD, Mariana Del Vecchio, Zangada e Caramelo — por tornarem tudo mais leve e especial.

À família Sheik Árabe, em especial à minha amiga Viviane Silveiro, pelo acolhimento e carinho.

Aos meus clubes, Rotaract Club de Jaboticabal e Rotaract Club de Dracena, por me ensinarem muito sobre companheirismo, responsabilidade e o verdadeiro sentido de servir.

Às meninas do primeiro ano, que, dentro da monitoria, me ajudaram a desenvolver o olhar e a responsabilidade de um futuro professor, muito obrigado por confiarem em mim e me inspirarem diariamente.

Aos funcionários Daniel Moreto, Renatinho e Fran Ribas, pelo apoio e por estarem sempre dispostos a ajudar.

E, por fim, ao meu psicólogo Wesley Vitor, que sempre acreditou em mim e me ajudou a enxergar que eu sou capaz de chegar aonde quiser.

A todos que fizeram parte dessa caminhada, direta ou indiretamente, o meu muito obrigado.

“[...] Oro mi má, Oro mi maió, Oro mi maió, Yabado oyeyeo [...]”

RESUMO

A adoção de práticas agrícolas sustentáveis e o reaproveitamento de resíduos agroindustriais, fundamentados nos princípios da economia circular, têm impulsionado a pesquisa por bioinsumos que minimizem o impacto ambiental. O presente estudo objetivou avaliar a eficiência agrônomo de um biofertilizante líquido, elaborado a partir de composto exaurido de shiitake (*Lentinula edodes*), sobre o desenvolvimento e a qualidade de mudas de berinjela (*Solanum melongena* L.). A pesquisa foi conduzida em ambiente protegido, utilizando-se o delineamento experimental inteiramente casualizado com treze tratamentos, os quais compreenderam a combinação de três concentrações (5%, 10% e 15%) e quatro tempos de fermentação (60, 120, 240 e 480 minutos), além de um grupo controle. Aos 55 dias após a semeadura, foram mensurados parâmetros morfológicos, acúmulo de biomassa e o Índice de Qualidade de Dickson (IQD). As soluções apresentaram alterações físico-químicas ao longo da fermentação, caracterizadas pela redução do pH e aumento da condutividade elétrica, indicando maior solubilização de compostos presentes no biofertilizante. Verificou-se a superioridade estatística do tratamento com 15% de concentração e 240 minutos de fermentação (T11), o qual proporcionou os maiores valores médios de altura (7,50 cm), diâmetro do coleto (2,02 mm), comprimento radicular (8,80 cm) e massa seca total (0,13 g). Este tratamento também resultou no maior vigor das mudas, evidenciado pelo Índice de Qualidade de Dickson de 0,023. Conclui-se que o biofertilizante derivado do resíduo de shiitake apresenta viabilidade técnica para o cultivo de berinjela, sendo a combinação de 15% de concentração e 240 minutos de fermentação a mais eficaz para a obtenção de mudas de elevado padrão qualitativo.

Palavras-chave: Biofertilizante. Reaproveitamento. *Lentinula edodes*. *Solanum melongena* L. Resíduos agroindustriais.

ABSTRACT

The adoption of sustainable agricultural practices and the reuse of agro-industrial residues, based on the principles of the circular economy, have driven the search for bio-inputs capable of minimizing environmental impacts. This study aimed to evaluate the agronomic efficiency of a liquid biofertilizer produced from spent shiitake substrate (*Lentinula edodes*) on the growth and quality of eggplant (*Solanum melongena* L.) seedlings. The experiment was conducted under protected conditions using a completely randomized design with thirteen treatments, consisting of the combination of three biofertilizer concentrations (5%, 10%, and 15%) and four fermentation times (60, 120, 240, and 480 minutes), in addition to an untreated control. At 55 days after sowing, morphological traits, biomass accumulation, and the Dickson Quality Index (DQI) were evaluated. The biofertilizer solutions exhibited physicochemical changes throughout the fermentation process, characterized by a decrease in pH and an increase in electrical conductivity, indicating greater solubilization of compounds present in the biofertilizer. The treatment consisting of 15% concentration and 240 minutes of fermentation (T11) showed statistically superior performance, providing the highest mean values for seedling height (7.50 cm), stem diameter (2.02 mm), root length (8.80 cm), and total dry mass (0.13 g). This treatment also resulted in the greatest seedling vigor, as evidenced by a Dickson Quality Index of 0.023. It can be concluded that the biofertilizer derived from spent shiitake substrate is a technically viable alternative for eggplant seedling production, with the combination of 15% concentration and 240 minutes of fermentation being the most effective for producing high-quality seedlings.

Keywords: Biofertilizer. Reuse. *Lentinula edodes*. *Solanum melongena* L. Agro-industrial waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vista aérea do setor de casas de vegetação da FCAT/UNESP, utilizado para a condução do experimento com mudas de berinjela	20
Figura 2 – Disposição das bandejas contendo os tratamentos	22
Figura 3 – Fluxograma ilustrativo das etapas de obtenção do biofertilizante	31
Figura 4 – Semeadura das sementes	32
Figura 5 – Caracterização físico-química das soluções de biofertilizante	36
Figura 6. Potencial hidrogeniônico (pH) das soluções de biofertilizante em função da concentração e do tempo de fermentação.	30
Figura 7. Condutividade elétrica (mS cm^{-1}) das soluções de biofertilizante em função da concentração e do tempo de fermentação.	30
Figura 8. Índice de sólidos dissolvidos (IDS) das soluções de biofertilizante em função da concentração e do tempo de fermentação.	31
Figura 9. Potencial de oxirredução (ORP) das soluções de biofertilizante em função da concentração e do tempo de fermentação.	31
Figura 10. Concentração estimada de cloreto de sódio (NaCl) das soluções de biofertilizante em função da concentração e do tempo de fermentação.	32
Figura 11. Oxigênio dissolvido (OD) das soluções de biofertilizante em função da concentração e do tempo de fermentação.	32
Figura 12. Características biométricas de mudas de berinjela submetidas aos diferentes tratamentos.	36

Figura 13. Produção de biomassa de mudas de berinjela submetidas aos diferentes tratamentos.	38
Figura 14. Massa seca total (MST) de mudas de berinjela submetidas aos diferentes tratamentos.	39
Figura 15. Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas de berinjela submetidas aos diferentes tratamentos.	40
Figura 16. Ranqueamento dos tratamentos com base no Score Integrado.	42
Figura 17. Matriz de correlação entre as variáveis biométricas de mudas de berinjela submetidas a diferentes concentrações e tempos de fermentação do biofertilizante à base de composto exaurido de cogumelo.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos biofertilizantes e principais substâncias ou microrganismos associados	20
Tabela 2 – Temperaturas máximas, mínimas, médias e amplitude térmica registradas durante o período experimental (março a maio de 2025), em Dracena-SP	29
Tabela 3 – Descrição dos tratamentos experimentais	30

LISTA DE SÍMBOLOS

% – Porcentagem

°C – Grau Celsius

cm – Centímetro

dS m⁻¹ – Decisiemens por metro

g – Grama

kg m⁻³ – Quilograma por metro cúbico

L – Litro

m – Metro

mL – Mililitro

mg mL⁻¹ – Miligrama por mililitro

mm – Milímetro

mS cm⁻¹ – Milisiemens por centímetro

mV – Milivolt

pH – Potencial Hidrogeniônico

ppt – Partes por mil

°S – Graus Sul

°W – Graus Oeste

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AKSO – Equipamentos de Medição Akso

ANOVA – Análise de Variância

AP – Altura da Planta

BCC – Carbonato de Cálcio

CE – Condutividade Elétrica

CEC – Composto Exaurido de Cogumelo

CECOG – Centro de Estudos em Cogumelos

CR – Comprimento de Raiz

DC – Diâmetro do Coletor

DIC – Delineamento Inteiramente Casualizado

FCAT – Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas

IDS – Índice de Sólidos Dissolvidos

IQD – Índice de Qualidade de Dickson

MSPA – Massa Seca da Parte Aérea

MSR – Massa Seca da Raiz

MST – Massa Seca Total

NaCl – Cloreto de Sódio

OD – Oxigênio Dissolvido

ONU – Organização das Nações Unidas

OpenAI – Open Artificial Intelligence

ORP – Potencial de Oxirredução

SMS – Spent Mushroom Substrate

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo Geral	18
2.2 Objetivos Específicos	18
3 REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1 Sustentabilidade na agricultura e aproveitamento de resíduos agroindustriais	19
3.2 Biofertilizantes e seu papel nos sistemas agrícolas	21
3.3 Produção de cogumelos e geração de composto exaurido	15
3.4 Cultura da berinjela (<i>Solanum melongena</i> L.)	17
3.5 Qualidade de mudas e Índice de Qualidade de Dickson (IQD)	18
4 MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1 Área experimental	20
4.2 Delineamento experimental	21
4.3 Obtenção e preparo do biofertilizante	23
4.4 Produção e condução das mudas de berinjela	24
4.5 Características avaliadas	26
4.5.1 Altura da planta (cm)	26
4.5.2 Diâmetro do coleto (mm)	26
4.5.3 Número de folhas	26
4.5.4 Comprimento radicular (cm)	27
4.5.5 Massa fresca da parte aérea e da raiz (g)	27
4.5.6 Massa seca da parte aérea e da raiz (g)	27
4.5.7 Massa seca total (g)	27
4.5.8 Índice de Qualidade de Dickson (IQD)	27

4.6 Caracterização das soluções de biofertilizante	28
4.7 Cálculo do Score Integrado	33
4.8 Geração de Figuras	34
4.9 Análise estatística	34
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5.1 Efeito dos tratamentos sobre as características biométricas das mudas.....	36
5.2 Efeito dos tratamentos sobre a produção de biomassa.....	38
5.3 Efeito dos tratamentos sobre a qualidade das mudas	40
5.4 Ranqueamento dos tratamentos por Score Integrado	42
5.5 Correlação entre as variáveis biométricas	44
6 CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por alimentos, fibras e matérias-primas tem levado a uma maior utilização dos recursos naturais. Por esse motivo, a adoção de práticas agrícolas sustentáveis tornou-se cada vez mais necessária para garantir a produção sem comprometer o meio ambiente. Nos últimos anos, o desenvolvimento sustentável ganhou destaque nas discussões relacionadas à agricultura (ONU, 2015). Nesse contexto, a economia circular busca aproveitar materiais que antes eram descartados, reinserindo-os em novos processos produtivos e reduzindo os impactos ambientais (Foster; Roberto; Igari, 2016). No setor agropecuário, a utilização de resíduos orgânicos vem sendo uma estratégia relevante para tornar os sistemas produtivos mais sustentáveis (Muhl; Oliveira, 2022).

Os biofertilizantes são insumos obtidos pela decomposição ou fermentação da matéria orgânica, mostrando capacidade de fornecer nutrientes, promover processos biológicos e colaborar para a melhora das características físicas, químicas e biológicas. Além de serem uma alternativa aos fertilizantes convencionais, favorecem o aproveitamento de resíduos orgânicos disponíveis e fortalecem práticas agrícolas vinculadas à sustentabilidade (Stuchi, 2015).

O desenvolvimento de biofertilizantes líquidos tem chamado a atenção pela facilidade de utilização e pelo potencial agrônomo relacionado à presença de nutrientes e microrganismos benéficos. O processo de fermentação auxilia na decomposição da matéria orgânica, na disponibilização de nutrientes e no desenvolvimento de comunidades microbianas capazes de cooperar na solubilização de compostos e no equilíbrio biológico do sistema produtivo (Pais *et al.*, 2025). Compostos líquidos derivados da compostagem apresentam quantidades significativas de macro e micronutrientes (Avancini, 2020). Entre os resíduos com potencial de reaproveitamento destaca-se o composto exaurido de cogumelo, ou Spent Mushroom Substrate (SMS), que apresenta aptidão para reuso agrícola, promovendo a economia circular e reduzindo resíduos (Postinguel, 2023).

Amplamente cultivada em diversas regiões do mundo, a berinjela (*Solanum melongena* L.) possui relevante valor econômico para o mercado de hortaliças e importância para a agricultura familiar. A obtenção de mudas de qualidade é

fundamental para o sucesso do cultivo, pois interfere diretamente na instalação das plantas e no seu desempenho ao longo do ciclo produtivo (Santos *et al.*, 2021).

No cultivo de mudas, o emprego de resíduos orgânicos e de biofertilizantes pode favorecer a obtenção de plantas mais robustas e com melhor desempenho inicial. Santos *et al.* (2021) destacam que a composição do substrato afeta diretamente características como altura das plantas, diâmetro do caule, desenvolvimento das raízes e produção de biomassa, justificando a busca por materiais alternativos para a produção sustentável de hortaliças.

Apesar dos avanços relacionados ao uso de biofertilizantes e ao reaproveitamento de resíduos agroindustriais, ainda são limitadas as informações sobre a utilização de biofertilizantes líquidos produzidos a partir do composto exaurido de cogumelo, especialmente considerando diferentes concentrações e tempos de fermentação. Diante disso, objetivou-se avaliar o potencial agrônomo de biofertilizante líquido à base de resíduo de cogumelo exaurido no desenvolvimento inicial de plantas de berinjela, considerando diferentes concentrações e tempos de fermentação, visando contribuir para a geração de tecnologias sustentáveis aplicáveis aos sistemas de produção agrícola.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial agronômico de um biofertilizante produzido a partir do composto exaurido de shiitake na produção de mudas de berinjela, considerando diferentes concentrações e tempos de fermentação e seus efeitos sobre o crescimento, a biomassa e a qualidade das mudas.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar diferentes concentrações e tempos de fermentação do biofertilizante.
- Analisar o crescimento e desenvolvimento das mudas.
- Avaliar características morfológicas e biomassa.
- Determinar a qualidade das mudas pelo Índice de Qualidade de Dickson (IQD).
- Comparar os tratamentos com o controle (sem biofertilizante).

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Sustentabilidade na agricultura e aproveitamento de resíduos agroindustriais

A agricultura desempenha um papel fundamental no desenvolvimento socioeconômico vindo a ser o principal responsável pela produção de insumos como alimentos, fibras, energia e matérias-primas destinadas a diversos setores produtivos. Porém com o aumento da carência de recursos e o aumento populacional vem agravado a carga nos ecossistemas naturais, tornando indispensável adesão modelos produtivos capazes de conciliar eficiência econômica e conservação ambiental. Com isso, a sustentabilidade tem se afirmado como um dos principais pilares para o desenvolvimento agrícola moderno, visando suprir às necessidades atuais sem comprometer a disponibilidade de recursos para as futuras gerações (Tiossi; Simon, 2021).

A grande preocupação vinculada ao sistema de produção convencional e aos impactos ambientais tem intensificado debates sobre formas inovadoras de produção e consumo. O modelo econômico linear, fundamentado na lógica de extração, produção, consumo e descarte, tem demonstrado limitações diante da crescente demanda por recursos naturais e do aumento da geração de resíduos. Segundo Cruz, Ferrer e Souza (2024), O esgotamento dos recursos naturais e a piora de problemas socioambientais estão ligados a continuação do uso desses métodos, que enaltecem a necessidade de promoção do proveito dos recursos disponíveis.

A economia circular tem sido apresentada como um modelo capaz de integrar crescimento econômico, preservação ambiental e uso racional dos recursos naturais, sendo uma alternativa para essa realidade Tiossi e Simon (2021) apontam que a economia circular contribui para o conceito de sustentabilidade logo que incentiva a permanência dos materiais nos ciclos produtivos pelo maior tempo possível, reduzindo desperdícios e promovendo a valorização de recursos anteriormente considerados resíduos. Isto posto que o modelo agrega no fortalecimento de práticas sustentáveis e ampliar a eficiência dos sistemas produtivos.

A produção agroindustrial gera grandes volumes de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, adesão de premissas da economia circular traz benefícios para

desenvolvimento de estratégias direcionadas ao reaproveitamento de resíduos gerados ao longo das cadeias produtivas. No meio rural, quando não são encaminhados de forma correta, podem provocar impactos ambientais relevantes. Contudo, grande parte desses materiais possui alto potencial de reaproveitamento, possibilitando sua conversão em novos produtos e insumos com valor econômico e agrícola (Vaz Júnior, 2020).

Com os avanços tecnocientíficos dispõe da oportunidade de transformar a biomassa desses resíduos em insumos com maior valor empregado, tal qual biocombustíveis, biomateriais, produtos químicos, bioenergia e bioinsumos agrícolas. Da forma que possibilita a diminuição de negligências ambientais e juntamente gera possibilidades bioeconomias (Vaz Júnior (2020).

Os resíduos agroindustriais não devem ser compreendidos apenas como materiais descartáveis, mas como potenciais fontes de matéria-prima para novos processos produtivos. Oliveira e Mendes (2021) ressaltam que o crescimento da agroindústria tem aumentado significativamente a geração de resíduos orgânicos, especialmente oriundos do processamento de frutas, hortaliças e outros produtos agrícolas. Muitos desses resíduos apresentam composição rica em nutrientes, fibras e compostos bioativos, possibilitando seu aproveitamento em novas formulações e aplicações industriais, reduzindo desperdícios e agregando valor aos materiais anteriormente descartados.

Além dos benefícios econômicos, o aproveitamento de resíduos agroindustriais apresenta importantes vantagens ambientais. Segundo Oliveira e Mendes (2021), o descarte inadequado desses materiais pode provocar problemas relacionados à geração de chorume, contaminação do solo e de recursos hídricos, além da emissão de odores decorrentes da decomposição da matéria orgânica. Nesse sentido, estratégias voltadas ao reaproveitamento desses resíduos contribuem para minimizar impactos ambientais e promover maior eficiência no uso dos recursos disponíveis ao longo das cadeias produtivas.

A busca por sistemas agrícolas mais sustentáveis também tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias baseadas em processos biológicos. A dependência de fertilizantes e defensivos químicos tem sido associada a diversos problemas ambientais, estimulando a adoção de alternativas que favoreçam a manutenção da produtividade agrícola com menor impacto ao ambiente. Gomes *et al.* (2021) destacam que a utilização de microrganismos eficientes constitui uma estratégia

promissora para promover a ciclagem de nutrientes, a degradação da matéria orgânica e a disponibilização de substâncias benéficas ao desenvolvimento vegetal, fortalecendo práticas agrícolas sustentáveis.

Nesse contexto, os bioinsumos vêm ganhando destaque como ferramentas importantes para a agricultura moderna. Silva *et al.* (2024) ressaltam que esses produtos desempenham papel relevante na redução da dependência de insumos sintéticos, contribuindo para a melhoria da saúde do solo, da eficiência nutricional das plantas e da sustentabilidade dos sistemas produtivos. Além disso, a utilização de materiais biológicos e resíduos orgânicos para sua produção fortalece os princípios da economia circular e amplia as possibilidades de reaproveitamento de recursos dentro da atividade agrícola.

Diante desse cenário, o aproveitamento de resíduos agroindustriais associado ao desenvolvimento de bioinsumos representa uma estratégia alinhada aos princípios da sustentabilidade, da economia circular e da bioeconomia. A transformação de resíduos em produtos de valor agrônômico permite reduzir impactos ambientais, promover a reciclagem de nutrientes e fortalecer sistemas produtivos mais eficientes. Entre os materiais com potencial para essa finalidade destacam-se os resíduos oriundos da produção de cogumelos, cujo reaproveitamento vem despertando crescente interesse científico em função de sua composição e de suas possibilidades de aplicação na agricultura sustentável.

3.2 Biofertilizantes e seu papel nos sistemas agrícolas

A busca por sistemas agrícolas mais sustentáveis tem impulsionado o desenvolvimento e a adoção de tecnologias capazes de reduzir a dependência de fertilizantes minerais e defensivos químicos convencionais. Nesse contexto, os insumos têm se destacado como importantes ferramentas para promover a fertilidade do solo, aumentar a eficiência nutricional das plantas e contribuir para a sustentabilidade dos sistemas produtivos. De maneira geral, os bioinsumos são produtos obtidos a partir da fermentação ou decomposição controlada de materiais orgânicos de origem vegetal, animal ou microbiana, contendo nutrientes, substâncias bioativas e microrganismos capazes de favorecer o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Costa; Barros; Freire, 2023).

Os biofertilizantes exercem múltiplas funções nos sistemas agrícolas, atuando não apenas como fontes de nutrientes, mas também como promotores da atividade biológica do solo. Esses insumos estimulam a atividade microbiana, promovem o fornecimento equilibrado de nutrientes e aumentam a resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos. Além disso, sua utilização está associada à melhoria da qualidade dos produtos agrícolas e ao incremento da produtividade, sem causar impactos ambientais negativos frequentemente relacionados ao uso excessivo de fertilizantes sintéticos (Costa; Barros; Freire, 2023).

Os produtos podem ser classificados de acordo com sua composição e mecanismo de ação, incluindo produtos à base de microrganismos, compostos orgânicos, resíduos enriquecidos e outros bioestimulantes. Esses insumos podem disponibilizar nutrientes, favorecer o crescimento das plantas, melhorar as propriedades do solo e aumentar a tolerância vegetal a condições de estresse, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação dos biofertilizantes e principais substâncias ou microrganismos associados.

Tipo de biofertilizante	Substâncias ou microrganismos associados	Principais funções
Biofertilizantes de microrganismos	<i>Rhizobium</i> , <i>Azotobacter</i> , <i>Azospirillum</i> , cianobactérias	Fixação biológica de nitrogênio, aumentando a disponibilidade desse nutriente para as plantas.
	<i>Bacillus</i> spp. e <i>Pseudomonas</i> spp.	Favorece a absorção desse nutriente pelas raízes.
	Fungos micorrízicos arbusculares	Ampliação da absorção de água e nutrientes.
	<i>Pseudomonas</i> spp. e <i>Bacillus</i> spp.	Promoção do crescimento vegetal.
Biofertilizantes de compostos orgânicos	Ácidos húmicos e ácidos fúlvicos	Melhoram a estrutura do solo, a retenção de água e a disponibilidade de nutrientes.
	Extratos de algas marinhas.	Estimulam o crescimento e aumentam a tolerância das plantas a estresses ambientais.
	Extratos vegetais	Atuam como bioestimulantes, favorecendo o desenvolvimento vegetal.
Biofertilizantes compostos	Compostos de resíduos orgânicos.	Fornecimento gradual de nutrientes e melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.
Outros biofertilizantes	Aminoácidos	Participam do metabolismo vegetal.
	Enriquecidos com micronutrientes	Complementam a nutrição vegetal.
	Consórcios microbianos	Associação de diferentes microrganismos com efeitos complementares na promoção do crescimento vegetal.

Fonte: Adaptado de AgroAdvance (2026).

A crescente valorização dos biofertilizantes está diretamente relacionada às limitações do modelo agrícola convencional. O uso contínuo de fertilizantes químicos pode provocar alterações na fertilidade do solo, contaminação ambiental e redução da biodiversidade microbiana. Nesse cenário, os biofertilizantes surgem como alternativas capazes de fornecer nutrientes de maneira gradual e sustentável, contribuindo para a manutenção dos processos ecológicos fundamentais ao funcionamento dos agroecossistemas e favorecendo sistemas produtivos de base ecológica (Programa de Fortalecimento da Viticultura Familiar da Serra Gaúcha, 2012).

A ação desses insumos está intimamente relacionada à presença de microrganismos benéficos que participam de diversos processos biológicos no solo. Esses organismos atuam na decomposição da matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes, na fixação biológica de nitrogênio e na solubilização de elementos minerais essenciais para o desenvolvimento vegetal. Dessa forma, contribuem para a manutenção da fertilidade do solo e para o equilíbrio dos ecossistemas agrícolas (Silva *et al.*, 2026).

Além da disponibilização de nutrientes, muitos produtos apresentam ação bioestimulante. Microrganismos promotores de crescimento vegetal podem atuar diretamente sobre as plantas por meio da produção de substâncias que favorecem o crescimento radicular, aumentam a absorção de nutrientes e estimulam mecanismos fisiológicos associados ao desenvolvimento vegetal. Esses processos contribuem para o aumento do vigor e do desempenho das culturas agrícolas (Lopes *et al.*, 2021).

Os avanços na microbiologia agrícola e na biotecnologia têm ampliado significativamente as possibilidades de utilização dos bioinsumos. Atualmente, diversos produtos são formulados a partir de bactérias, fungos e outros microrganismos capazes de promover benefícios agrônômicos específicos. Esses organismos podem atuar como biofertilizantes, bioestimulantes e agentes de biocontrole, contribuindo simultaneamente para o aumento da produtividade e para a redução da dependência de insumos químicos (Lopes *et al.*, 2021).

Outra característica relevante dos biofertilizantes é sua capacidade de contribuir para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas sobre a agricultura. Esses produtos podem auxiliar as plantas a tolerar condições de estresse abiótico, como déficit hídrico, temperaturas extremas e limitações nutricionais, tornando-se

ferramentas estratégicas para aumentar a resiliência dos sistemas produtivos diante dos desafios impostos pelas alterações climáticas globais (Canuto, 2025).

A produção de insumos também se destaca por seu potencial de aproveitamento de resíduos orgânicos provenientes de diferentes cadeias produtivas. Resíduos agroindustriais, esterco animal, restos vegetais e subprodutos do processamento de alimentos podem ser transformados em insumos agrícolas de elevado valor agrônômico por meio de processos fermentativos. Essa prática contribui para reduzir passivos ambientais, fortalecer a economia circular e agregar valor a materiais anteriormente considerados resíduos (Silva; Guimarães, 2025).

Além dos resíduos vegetais e agroindustriais, outras fontes alternativas vêm sendo exploradas para a produção de biofertilizantes, incluindo resíduos da indústria pesqueira e do beneficiamento de camarão. Esses materiais apresentam elevado potencial nutricional e podem ser convertidos em bioinsumos eficientes por meio da ação de microrganismos fermentadores. O desenvolvimento de métodos de controle de qualidade e padronização tem contribuído para garantir a segurança, a eficiência e a estabilidade desses produtos (Lima, 2025).

Diante desse cenário, os biofertilizantes consolidam-se como ferramentas essenciais para a construção de sistemas agrícolas mais sustentáveis, produtivos e resilientes. Seus benefícios vão além do fornecimento de nutrientes, abrangendo a melhoria da qualidade biológica do solo, o estímulo ao crescimento vegetal, a reciclagem de resíduos orgânicos e a mitigação dos impactos ambientais da agricultura convencional. Nesse contexto, sua utilização reforça o papel dos bioinsumos na transição para modelos produtivos alinhados aos princípios da agroecologia, da economia circular e da sustentabilidade agrícola (Costa; Barros; Freire, 2023).

3.3 Produção de cogumelos e geração de composto exaurido

A fungicultura tem se destacado como uma atividade agrícola capaz de contribuir simultaneamente para a produção de alimentos, a geração de renda e o aproveitamento sustentável de resíduos orgânicos. Além de produzir alimentos com elevado valor nutricional, o cultivo de cogumelos apresenta potencial para minimizar perdas ao longo da cadeia agroalimentar, uma vez que utiliza resíduos agrícolas como

matéria-prima para a produção dos substratos de cultivo. Dessa forma, a atividade vem sendo reconhecida como uma alternativa sustentável, especialmente em sistemas produtivos voltados à economia circular e ao reaproveitamento de recursos (Faria; Correia; Mansani, 2022).

O cultivo de cogumelos comestíveis baseia-se principalmente na utilização de materiais lignocelulósicos, como palhadas, serragens, bagaços, cascas e outros resíduos agrícolas. Esses materiais servem como fonte de carbono e energia para o desenvolvimento do micélio, permitindo a conversão de resíduos de baixo valor econômico em alimentos de alto valor agregado. Essa característica torna a fungicultura uma atividade ambientalmente interessante, pois contribui para a reciclagem de biomassa e para a redução do acúmulo de resíduos agroindustriais (Vieira Júnior, 2025).

Durante o processo produtivo, os substratos são colonizados pelos fungos e utilizados para a formação dos corpos de frutificação, que correspondem aos cogumelos comercializados. Após os ciclos de produção, entretanto, grande parte do material permanece disponível, originando um resíduo conhecido internacionalmente como Spent Mushroom Substrate (SMS) ou, em português, composto exaurido de cogumelo (CEC). Esse material corresponde ao substrato remanescente após a colheita dos cogumelos e é gerado em grandes quantidades pelas unidades produtoras (Donato, 2021).

O composto exaurido apresenta características físicas, químicas e biológicas que despertam interesse para diferentes aplicações agrícolas. Embora tenha sido utilizado pelo fungo durante o cultivo, o material ainda contém quantidades significativas de matéria orgânica, nutrientes e compostos resultantes da degradação parcial dos resíduos originais. Por esse motivo, o SMS não deve ser considerado apenas um resíduo, mas sim um material com potencial para reutilização em diferentes sistemas produtivos (Assis, 2022).

Com a expansão da produção de cogumelos, a geração de composto exaurido tem aumentado progressivamente, tornando seu manejo um desafio para os produtores. Quando descartado inadequadamente em aterros ou diretamente no ambiente, esse material pode ocasionar problemas relacionados ao acúmulo de resíduos orgânicos e à perda de recursos potencialmente aproveitáveis. Em contrapartida, sua reutilização permite reduzir impactos ambientais e agregar valor a um subproduto da cadeia produtiva dos cogumelos (Postingue, 2023).

Diversos estudos têm demonstrado que o composto exaurido pode ser empregado como componente de substratos, condicionador de solo e fonte de matéria orgânica para diferentes culturas agrícolas. Além disso, pesquisas recentes têm explorado novas possibilidades de reaproveitamento desse material, reforçando seu potencial dentro dos princípios da economia circular e da agricultura sustentável. Nesse contexto, o composto exaurido de cogumelo surge como uma matéria-prima promissora para a produção de bioinsumos agrícolas, incluindo biofertilizantes obtidos por processos fermentativos, tema diretamente relacionado ao presente estudo (Vieira Júnior, 2025).

3.4 Cultura da berinjela (*Solanum melongena* L.)

A berinjela (*Solanum melongena* L.) é uma hortaliça pertencente à família Solanaceae, a mesma do tomate, pimentão, jiló e batata. Originária das regiões tropicais do Oriente, especialmente da Índia, a espécie foi introduzida em diferentes partes do mundo ao longo dos séculos e atualmente é cultivada em diversas regiões de clima tropical e subtropical. No Brasil, seu cultivo consolidou-se como uma importante alternativa para a produção de hortaliças destinadas ao mercado in natura e ao processamento agroindustrial (Ribeiro *et al.*, 1998).

A espécie apresenta hábito de crescimento arbustivo, caule semilenhoso e sistema radicular vigoroso, podendo atingir profundidades superiores a um metro em condições favoráveis. As plantas apresentam porte elevado, podendo atingir aproximadamente 1,4 a 1,8 m de altura, além de flores hermafroditas e frutos classificados botanicamente como bagas, que variam quanto ao formato, tamanho e coloração conforme a cultivar utilizada (Santos; Rosa, 2020).

A berinjela é considerada uma cultura exigente em calor, apresentando melhor desenvolvimento em regiões com temperaturas elevadas e boa disponibilidade de radiação solar. Além disso, adapta-se melhor a solos profundos, bem drenados, ricos em matéria orgânica e com adequada disponibilidade de água, condições que favorecem o crescimento vegetativo, o florescimento e a produção de frutos (Ribeiro *et al.*, 1998).

Nos últimos anos, o interesse pela cultura tem aumentado devido não apenas à sua importância econômica, mas também às propriedades nutricionais e funcionais

de seus frutos. A berinjela apresenta elevado teor de água, fibras, vitaminas e compostos bioativos, sendo frequentemente associada à alimentação saudável e à prevenção de doenças relacionadas ao estresse oxidativo (Santos; Rosa, 2020).

A implantação da cultura é realizada predominantemente por meio do transplante de mudas, tornando essa etapa fundamental para o sucesso do cultivo. Mudas vigorosas apresentam maior capacidade de estabelecimento no campo, melhor desenvolvimento inicial e maior potencial produtivo, sendo a qualidade do substrato um dos fatores mais importantes para a obtenção de mudas de elevado padrão agrônomo (Pereira, 2020).

Nesse contexto, a busca por substratos alternativos e insumos de origem orgânica tem despertado crescente interesse entre pesquisadores e produtores, principalmente em sistemas de produção que visam reduzir custos e aumentar a sustentabilidade agrícola. O uso de materiais orgânicos na produção de mudas tem se mostrado uma estratégia promissora para melhorar o desenvolvimento inicial das plantas e favorecer seu desempenho após o transplante (Pereira, 2020).

3.5 Qualidade de mudas e Índice de Qualidade de Dickson (IQD)

A produção de mudas constitui uma das etapas mais importantes do sistema produtivo de hortaliças, uma vez que o sucesso do cultivo depende diretamente da utilização de mudas com elevada qualidade genética, fisiológica e sanitária. O estabelecimento inicial das plantas influencia o crescimento subsequente, a capacidade de adaptação às condições de campo e o potencial produtivo da cultura, tornando a fase de viveiro determinante para o desempenho final das plantas (Nascimento; Pereira, 2016).

A qualidade das mudas está associada a diferentes fatores, incluindo a qualidade das sementes, as características do substrato, o manejo da irrigação, a nutrição mineral e as condições ambientais de produção. A interação desses fatores influencia diretamente o desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular, sendo essencial para a obtenção de mudas uniformes, vigorosas e aptas ao transplante (Nascimento; Pereira, 2016).

Na avaliação da qualidade de mudas, características morfológicas como altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas, massa fresca e massa seca da parte

aérea e das raízes são amplamente utilizadas por permitirem uma análise do crescimento vegetal e do vigor das plantas. Esses parâmetros possibilitam identificar o desempenho das mudas em diferentes condições de cultivo e são frequentemente empregados em pesquisas envolvendo substratos e bioinsumos agrícolas (Medeiros *et al.*, 2018).

Entretanto, a análise isolada dessas variáveis pode não representar adequadamente a qualidade das mudas, uma vez que o desenvolvimento equilibrado entre a parte aérea e o sistema radicular é fundamental para o estabelecimento das plantas após o transplântio. Nesse contexto, o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) destaca-se como uma ferramenta eficiente para a avaliação integrada do vigor das mudas, por considerar simultaneamente diferentes características morfológicas relacionadas ao crescimento vegetal (Medeiros *et al.*, 2018).

O IQD é considerado um dos principais indicadores de qualidade de mudas por incorporar em seu cálculo parâmetros relacionados à robustez e ao equilíbrio da distribuição de biomassa na planta. Dessa forma, valores mais elevados do índice indicam mudas com maior potencial de sobrevivência e desenvolvimento após o transplântio, sendo amplamente utilizado em estudos de produção de mudas de espécies agrícolas, florestais e frutíferas (Veloso *et al.*, 2023).

Considerando que o presente estudo avalia diferentes concentrações e tempos de fermentação de um biofertilizante à base de resíduo de cogumelo exaurido, a utilização de parâmetros morfológicos associados ao Índice de Qualidade de Dickson possibilita uma análise mais abrangente dos efeitos dos tratamentos sobre o desenvolvimento das mudas de berinjela. Dessa forma, a avaliação conjunta dessas variáveis permite identificar não apenas o crescimento das plantas, mas também a qualidade e o equilíbrio estrutural das mudas produzidas (Medeiros *et al.*, 2018).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Câmpus de Dracena, localizada no município de Dracena, estado de São Paulo, a 421 m de altitude, sob as coordenadas geográficas de 21°29' S e 51°52' W.

A condução experimental ocorreu entre os meses de março e maio de 2025, período correspondente à estação do outono na região de Dracena-SP. O experimento foi realizado em casa de vegetação (Figura 1), ambiente que proporciona maior controle das condições de cultivo e reduz a influência direta das variações climáticas externas. As temperaturas da registradas durante o período experimental encontram-se apresentadas na Tabela 2.

Figura 1. Vista aérea do setor de casas de vegetação da FCAT/UNESP, utilizado para a condução do experimento com mudas de berinjela.



Fonte: Google Earth (2026).

Tabela 2. Temperaturas máximas, mínimas, médias e amplitude térmica registradas durante o período experimental (março a maio de 2025), em Dracena - SP.

Período	Temperatura Média (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Amplitude Térmica (°C)
Março/2025	27,9	38,3	19,9	18,4
Abril/2025	22,3	35,7	14,2	21,5
Maió/2025	23,8	32,3	6,8	25,5

Fonte: Estação Meteorológica da FCAT/UNESP, Campus de Dracena - SP. Adaptado pelo autor (2026).

4.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), constituído por 13 tratamentos, correspondentes à combinação de três concentrações de biofertilizante líquido à base de composto exaurido de cogumelo e quatro tempos de fermentação, além de um tratamento controle sem aplicação do biofertilizante.

Os tratamentos foram distribuídos três concentrações do biofertilizante (5%, 10% e 15%) combinadas com quatro tempos de fermentação (60, 120, 240 e 480 minutos). Adicionalmente, foi incluído um tratamento controle (0%), sem aplicação do biofertilizante, utilizado como referência para comparação dos resultados.

Cada tratamento ocupou uma faixa contendo 27 células nas bandejas de produção de mudas. Para a realização das avaliações biométricas, foram selecionadas aleatoriamente 13 mudas por tratamento, consideradas como amostras experimentais. As demais plantas foram mantidas como bordadura, com a finalidade de reduzir possíveis efeitos de borda e contribuir para a uniformidade das condições de cultivo.

As bandejas foram mantidas em ambiente protegido e dispostas sobre bancadas, buscando garantir condições homogêneas de crescimento durante todo o período experimental. A disposição das bandejas durante a condução do experimento é apresentada na Figura 2. Os tratamentos experimentais avaliados, bem como as respectivas concentrações e tempos de fermentação, encontram-se descritos na Tabela 3.

Figura 2. Disposição das bandejas contendo os tratamentos.



Fonte: Acervo do autor (2025).

Tabela 3. Descrição dos tratamentos experimentais.

Tratamento	Concentração	Tempo de fermentação
T1	5%	60 min
T2	5%	120 min
T3	5%	240 min
T4	5%	480 min
T5	10%	60 min
T6	10%	120 min
T7	10%	240 min
T8	10%	480 min
T9	15%	60 min
T10	15%	120 min
T11	15%	240 min
T12	15%	480 min
T0	0% (controle)	—

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

4.3 Obtenção e preparo do biofertilizante

O biofertilizante utilizado no experimento foi obtido a partir de composto exaurido proveniente do cultivo comercial do cogumelo shiitake (*Lentinula edodes*), disponibilizado após a finalização de experimentos conduzidos no Centro de Estudos em Cogumelos (CECOG), vinculado à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT/UNESP), Câmpus de Dracena. O composto exaurido corresponde ao substrato remanescente após o ciclo produtivo do cogumelo, constituindo um resíduo agroindustrial com potencial para reaproveitamento agrícola.

A formulação do composto utilizado era composta por 72% de serragem de eucalipto, 12,5% de farelo de trigo, 12,5% de farelo de arroz, 1% de carbonato de cálcio e 2% de sulfato de cálcio, apresentando aproximadamente 70% de umidade. Após o término da produção dos cogumelos, o material foi coletado e destinado à obtenção do biofertilizante líquido utilizado no presente estudo.

Inicialmente, o composto exaurido foi submetido à secagem natural e posterior desagregação mecânica, visando a obtenção de um material mais homogêneo para o preparo das soluções. Após esse processo, o material foi pesado em balança digital de precisão para obtenção das concentrações estabelecidas para cada tratamento.

Foram preparadas três soluções contendo concentrações de 5%, 10% e 15% de composto exaurido, utilizando recipientes plásticos individuais com capacidade para 2 L. Após a adição do material sólido à água, as misturas foram homogeneizadas manualmente durante cinco minutos para promover a dispersão do composto e o início do processo fermentativo.

As soluções permaneceram em fermentação nas instalações do Centro de Estudos em Cogumelos (CECOG), sob temperatura ambiente média de aproximadamente 25,5 °C. Durante o processo fermentativo foram realizadas coletas após 60, 120, 240 e 480 minutos, correspondendo aos tempos avaliados experimentalmente. Antes de cada coleta, as soluções foram novamente homogeneizadas durante cinco minutos para garantir a uniformidade da suspensão e a representatividade das amostras obtidas.

Após cada período de fermentação, as amostras foram submetidas à filtração para remoção das partículas sólidas remanescentes, obtendo-se a fração líquida utilizada como biofertilizante. Os extratos obtidos foram acondicionados em frascos plásticos âmbar com válvula spray de 100 mL e utilizados no mesmo dia do preparo e

aplicação, evitando alterações físico-químicas decorrentes do armazenamento prolongado.

A obtenção do biofertilizante compreendeu as seguintes etapas: (1) preparo do composto exaurido de shiitake; (2) preparo das soluções nas concentrações de 5%, 10% e 15%; (3) homogeneização inicial; (4) fermentação por 60, 120, 240 e 480 minutos; (5) nova homogeneização; (6) filtração das soluções; e (7) acondicionamento do biofertilizante em frascos para aplicação. Esse procedimento está ilustrado na Figura 3.

Figura 3. Fluxograma ilustrativo das etapas de obtenção do biofertilizante (Preparo das concentrações, fermentação, homogeneização, filtração e armazenamento.)



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio da inteligência artificial ChatGPT (OpenAI, 2026).

4.4 Produção e condução das mudas de berinjela

Foram utilizadas sementes comerciais de berinjela (*Solanum melongena* L.) cultivar Embu Preta Comprida (Figura 4), caracterizada pela produção de frutos cilíndricos de coloração roxo-escuro, ampla adaptação às condições de cultivo e boa tolerância à antracnose e phomopsis (Isla Sementes, 2026).

A semeadura foi realizada em 20 de março de 2025, utilizando bandejas de poliestireno expandido contendo 162 células, preenchidas com substrato comercial

Carolina Soil®. O substrato utilizado possui composição à base de turfa de sphagno, vermiculita e calcário, sendo amplamente empregado na produção de mudas hortícolas devido às suas características físicas e químicas favoráveis ao desenvolvimento radicular. De acordo com as especificações do fabricante, o material apresenta condutividade elétrica de $0,7 \text{ dS m}^{-1}$, pH de $5,5 \pm 0,25$, capacidade de retenção de água de 350% e densidade seca de 130 kg m^{-3} (Carolina Soil, 2026).

Figura 4. Semeadura das sementes.



Fonte: Acervo do autor (2025).

Após a semeadura, as bandejas foram mantidas em casa de vegetação pertencente à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT/UNESP), Câmpus de Dracena. A irrigação foi realizada manualmente duas vezes ao dia, no período da manhã e ao final da tarde, visando manter condições adequadas de umidade para a germinação e o desenvolvimento das mudas. Com o objetivo de minimizar possíveis efeitos ambientais decorrentes da posição das bandejas no interior da casa de vegetação, como diferenças de luminosidade, temperatura e circulação de ar, as bandejas foram reposicionadas semanalmente durante todo o período experimental.

A primeira aplicação dos tratamentos foi realizada aos 20 dias após a semeadura das plântulas, diretamente no colo das mudas, utilizando pipeta graduada. Em cada célula foram aplicados o volume de 2 mL por célula foi definido com base em testes preliminares, visando umedecer uniformemente o substrato sem provocar lixiviação ou encharcamento da solução. A segunda aplicação foi realizada 20 dias após a primeira, seguindo o mesmo procedimento e volume de aplicação.

As mudas permaneceram em ambiente protegido durante todo o período experimental, recebendo os tratos culturais necessários para seu adequado desenvolvimento. As avaliações biométricas foram realizadas aos 55 dias após a semeadura, quando foram selecionadas aleatoriamente 13 mudas por tratamento para determinação das características de crescimento e qualidade das mudas.

4.5 Características avaliadas

As avaliações foram realizadas aos 55 dias após a semeadura das plântulas, utilizando 13 mudas selecionadas aleatoriamente em cada tratamento. Foram analisadas características morfológicas e biométricas relacionadas ao crescimento e à qualidade das mudas de berinjela.

4.5.1 Altura da planta (cm)

A altura das mudas foi determinada com auxílio de régua graduada, medindo-se a distância entre o colo da planta e o ápice da muda, sendo os resultados expressos em centímetros.

4.5.2 Diâmetro do coleto (mm)

O diâmetro do coleto foi obtido com auxílio de paquímetro digital, realizando-se a medição na região do colo da planta. Os resultados foram expressos em milímetros.

4.5.3 Número de folhas

O número de folhas foi determinado por meio da contagem direta das folhas completamente expandidas presentes em cada muda no momento da avaliação.

4.5.4 Comprimento radicular (cm)

Após a retirada das mudas das bandejas, o sistema radicular foi cuidadosamente lavado em água corrente para remoção do substrato aderido às raízes. Em seguida, foi determinado o comprimento da raiz principal com auxílio de régua graduada, sendo os resultados expressos em centímetros.

4.5.5 Massa fresca da parte aérea e da raiz (g)

Após as avaliações morfológicas, as mudas foram separadas em parte aérea e sistema radicular. As massas frescas foram determinadas imediatamente após a coleta utilizando balança analítica, sendo os resultados expressos em gramas.

4.5.6 Massa seca da parte aérea e da raiz (g)

Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C durante 72 horas. Após esse período, as amostras foram novamente pesadas em balança analítica para obtenção da massa seca da parte aérea e da massa seca da raiz.

4.5.7 Massa seca total (g)

A massa seca total foi obtida pela soma da massa seca da parte aérea e da massa seca do sistema radicular de cada muda.

4.5.8 Índice de Qualidade de Dickson (IQD)

A qualidade das mudas foi avaliada por meio do Índice de Qualidade de Dickson (IQD), considerado um dos principais indicadores da robustez e do equilíbrio morfológico das plantas. O índice foi calculado conforme proposto por Dickson, Leaf e Hosner (1960), utilizando a seguinte equação:

$$\text{IQD} = \text{MST} / [(\text{AP}/\text{DC}) + (\text{MSPA}/\text{MSR})]$$

em que:

IQD = Índice de Qualidade de Dickson;

MST = massa seca total (g);

AP = altura da planta (cm);

DC = diâmetro do coleto (mm);

MSPA = massa seca da parte aérea (g);

MSR = massa seca da raiz (g).

Os valores obtidos permitiram avaliar o efeito dos diferentes tratamentos sobre o crescimento e a qualidade das mudas de berinjela produzidas sob ambiente protegido.

4.6 Caracterização das soluções de biofertilizante

As soluções de biofertilizante obtidas a partir do composto exaurido de *Lentinula edodes* foram submetidas à caracterização físico-química após cada período de fermentação. As avaliações foram realizadas nas soluções correspondentes às concentrações de 5%, 10% e 15%, submetidas aos tempos de fermentação de 60, 120, 240 e 480 minutos.

Os equipamentos utilizados para determinação dos parâmetros físico-químicos encontram-se apresentados na Figura 5.

Figura 5. Caracterização físico-química das soluções de biofertilizante.



Fonte: Acervo do autor (2025).

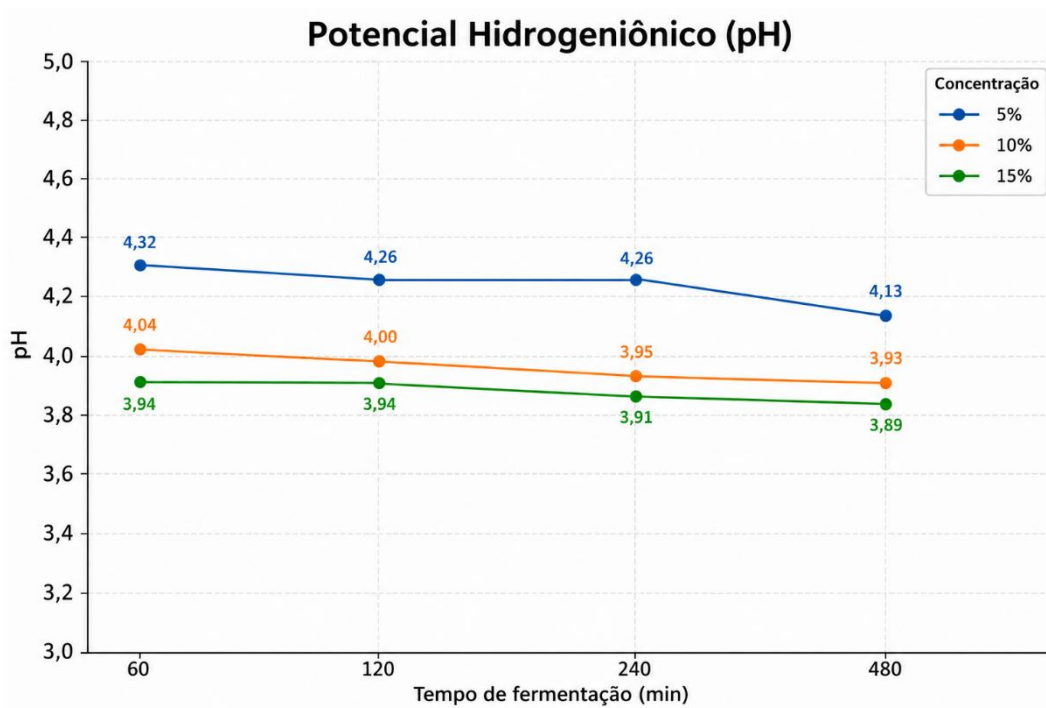
Foram determinados os valores de potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), índice de sólidos dissolvidos (IDS), concentração estimada de cloreto de sódio (NaCl), potencial de oxirredução (ORP) e oxigênio dissolvido (OD). As análises foram realizadas imediatamente após cada período de fermentação utilizando medidor multiparâmetro de bancada modelo AK151 (Akso®), previamente calibrado conforme as recomendações do fabricante.

Os parâmetros avaliados foram utilizados para caracterizar as alterações físico-químicas promovidas pelas diferentes concentrações do composto exaurido e pelos tempos de fermentação empregados na obtenção dos biofertilizantes.

Como as determinações foram realizadas sem repetição analítica para cada solução, os dados obtidos foram utilizados para análises descritivas e exploratórias, não sendo submetidos à análise de variância.

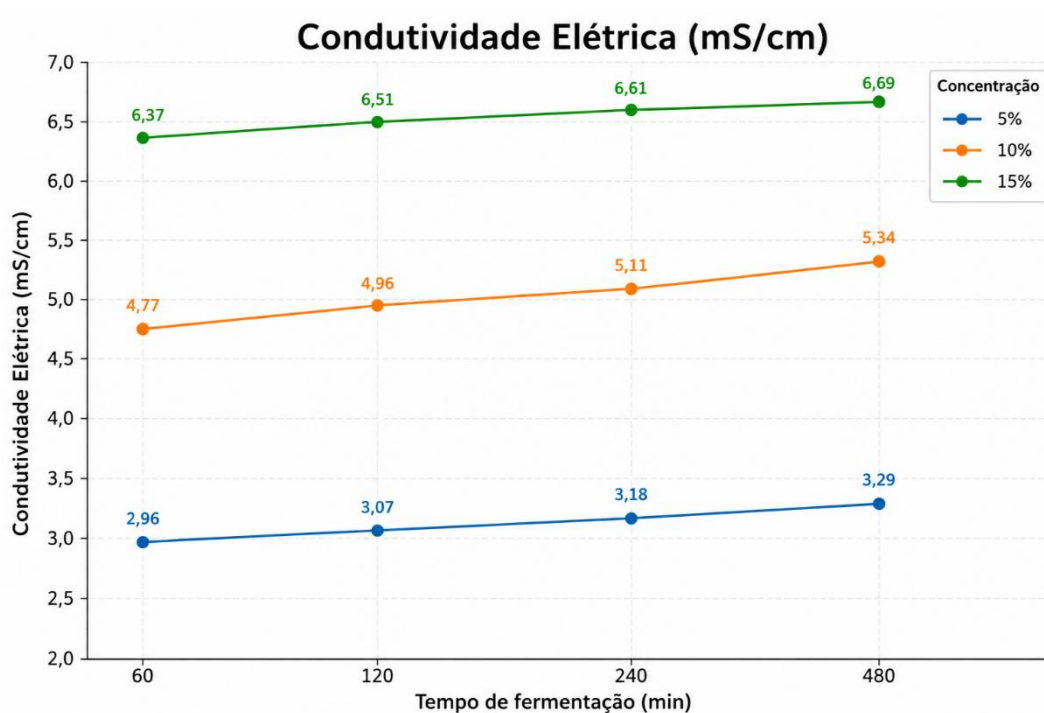
A Figura 5 ilustra o procedimento de caracterização físico-química das soluções, enquanto os valores obtidos para cada parâmetro são apresentados nas Figuras 6 a 11, permitindo visualizar a variação das características físico-químicas em função das diferentes concentrações e tempos de fermentação.

Figura 6. Potencial hidrogeniônico (pH) das soluções de biofertilizante em função da concentração e do tempo de fermentação.



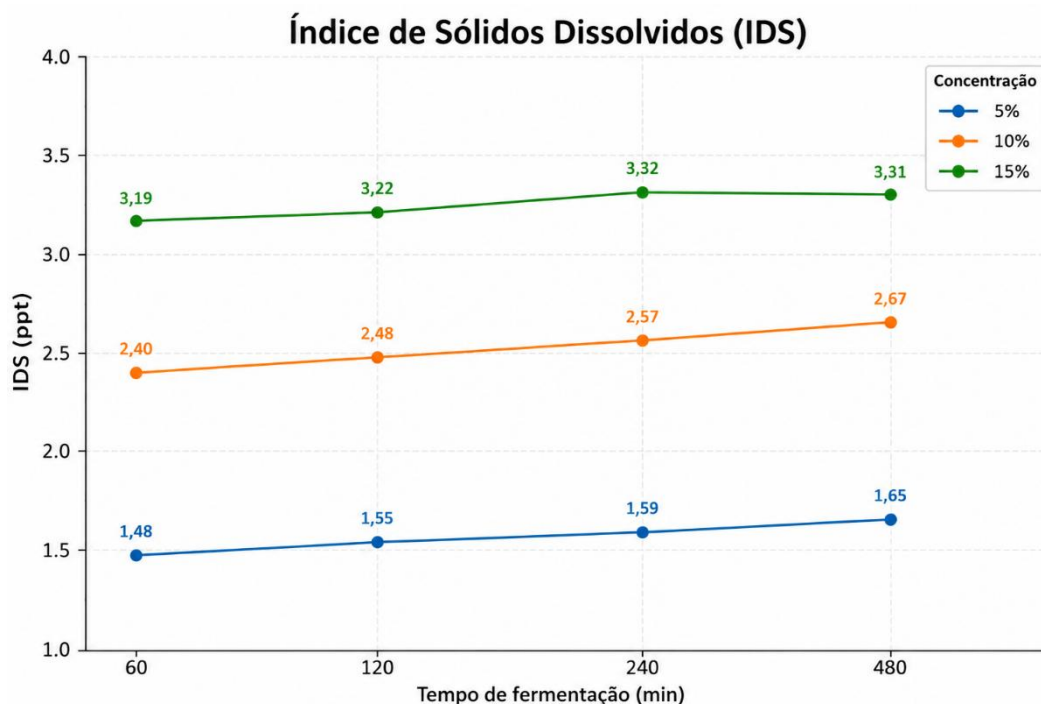
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 7. Condutividade elétrica (mS/cm) das soluções de biofertilizante em função da concentração e do tempo de fermentação.



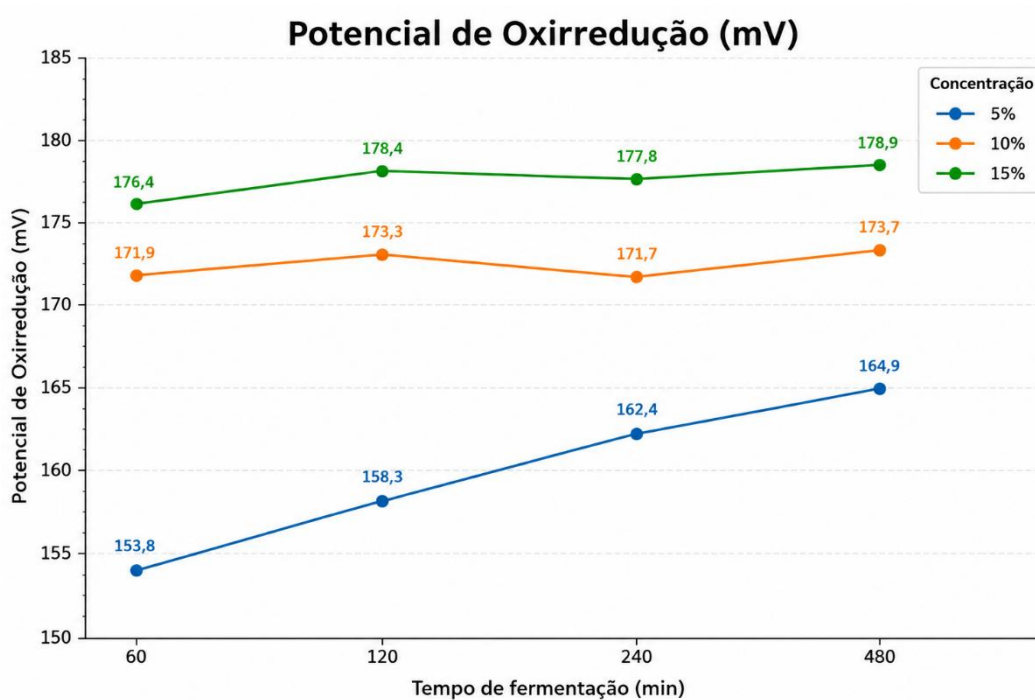
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 8. Índice de sólidos dissolvidos (IDS) das soluções de biofertilizante em função da concentração e do tempo de fermentação.



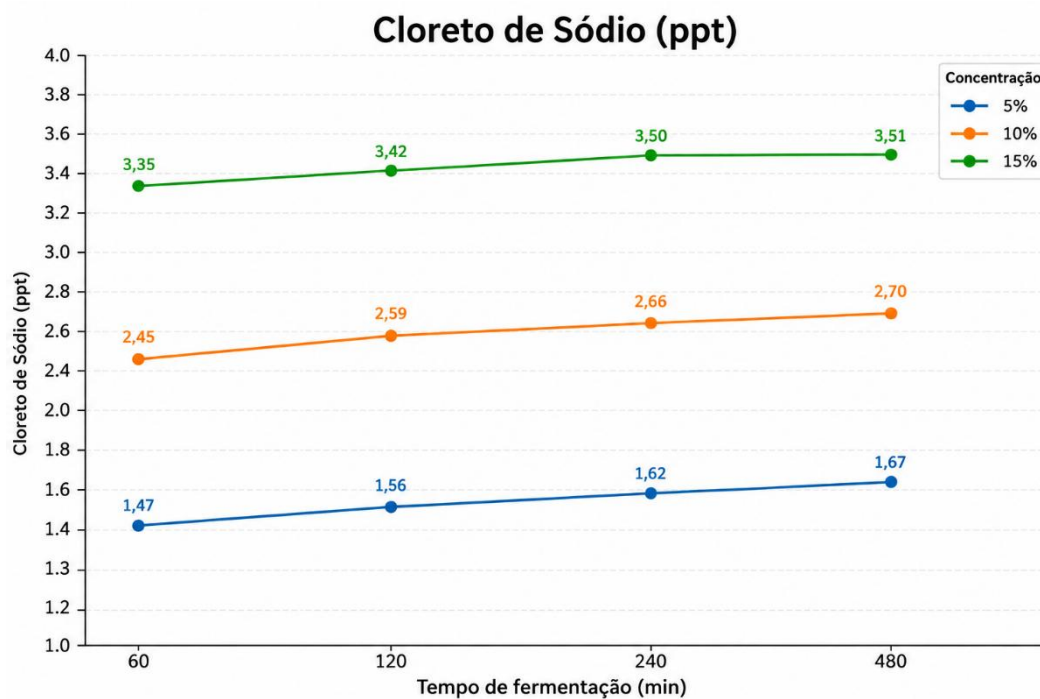
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 9. Potencial de oxirredução (mV) das soluções de biofertilizante em função da concentração e do tempo de fermentação.



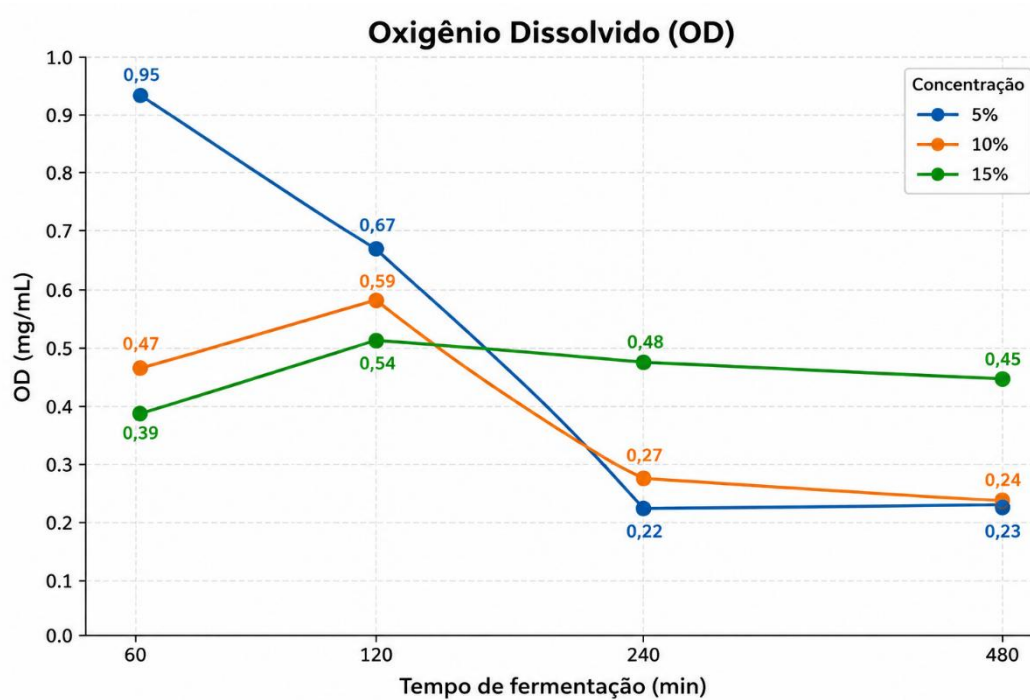
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 10. Concentração estimada de cloreto de sódio (NaCl) das soluções de biofertilizante em função da concentração e do tempo de fermentação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 11. Oxigênio dissolvido (OD) das soluções de biofertilizante em função da concentração e do tempo de fermentação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.7 Cálculo do Score Integrado

Com o objetivo de obter uma avaliação geral do desempenho dos tratamentos, foi calculado um Score Integrado considerando as principais variáveis relacionadas à qualidade das mudas. Para o cálculo foram utilizados os valores médios do Índice de Qualidade de Dickson (IQD), massa seca total (MST), diâmetro do coleto (DC), altura da planta (AP) e comprimento de raiz (CR).

Como essas variáveis apresentam unidades e escalas diferentes, os dados foram inicialmente normalizados pelo método mínimo–máximo, conforme a Equação 1.

$$X_{\text{norm},i} = (X_i - X_{\text{min}})/(X_{\text{max}} - X_{\text{min}})$$

Em que:

$X_{\text{norm},i}$ = valor normalizado da variável;

X_i = valor observado para o tratamento;

X_{min} = menor valor observado para a variável;

X_{max} = maior valor observado para a variável.

Após a normalização, foi calculado o Score Integrado utilizando pesos diferentes para cada variável. Os pesos foram atribuídos com base na relevância agronômica das variáveis para a qualidade das mudas, priorizando o IQD por integrar múltiplos atributos morfológicos. Os pesos utilizados foram 40% para IQD, 25% para massa seca total, 20% para diâmetro do coleto, 10% para altura da planta e 5% para comprimento de raiz.

O cálculo foi realizado conforme a Equação 2:

$$\text{Score Integrado} = 0,40 \times \text{IQD}_{\text{norm}} + 0,25 \times \text{MST}_{\text{norm}} + 0,20 \times \text{D}_{\text{norm}} + 0,10 \times \text{H}_{\text{norm}} + 0,05 \times \text{CR}_{\text{norm}}$$

O valor final do score varia de 0 a 1, sendo que valores mais próximos de 1 indicam melhor desempenho geral do tratamento, enquanto valores próximos de 0 indicam menor desempenho dentro das condições avaliadas.

4.8 Geração de Figuras

As figuras esquemáticas e os fluxogramas utilizados para representação do delineamento experimental, preparo das soluções e condução do experimento foram elaborados pelo autor com auxílio de ferramentas de inteligência artificial generativa, sendo posteriormente revisados e adaptados para representar fielmente os procedimentos adotados neste estudo.

4.9 Análise estatística

Os dados obtidos nas avaliações biométricas das mudas foram inicialmente submetidos à verificação dos pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente.

Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) em delineamento inteiramente casualizado, considerando os tratamentos como fator fixo. Quando constatado efeito significativo pelo teste P ($p \leq 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As variáveis analisadas compreenderam altura da planta, diâmetro do coleto, número de folhas, comprimento da raiz principal, massa fresca da parte aérea, massa fresca da raiz, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, massa seca total e Índice de Qualidade de Dickson (IQD).

Para as variáveis que eventualmente não atenderam aos pressupostos da análise de variância, foram consideradas transformações dos dados ou análises complementares adequadas, visando garantir a confiabilidade dos resultados obtidos.

Os parâmetros físico-químicos das soluções de biofertilizante (pH, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais, concentração estimada de NaCl e potencial de oxirredução) foram avaliados por meio de análise descritiva, uma vez que não houve repetições analíticas para essas determinações. Adicionalmente, foram realizadas análises exploratórias de correlação entre as características das soluções e as variáveis biométricas das mudas, visando identificar possíveis tendências de associação entre a composição dos biofertilizantes e o desenvolvimento vegetal.

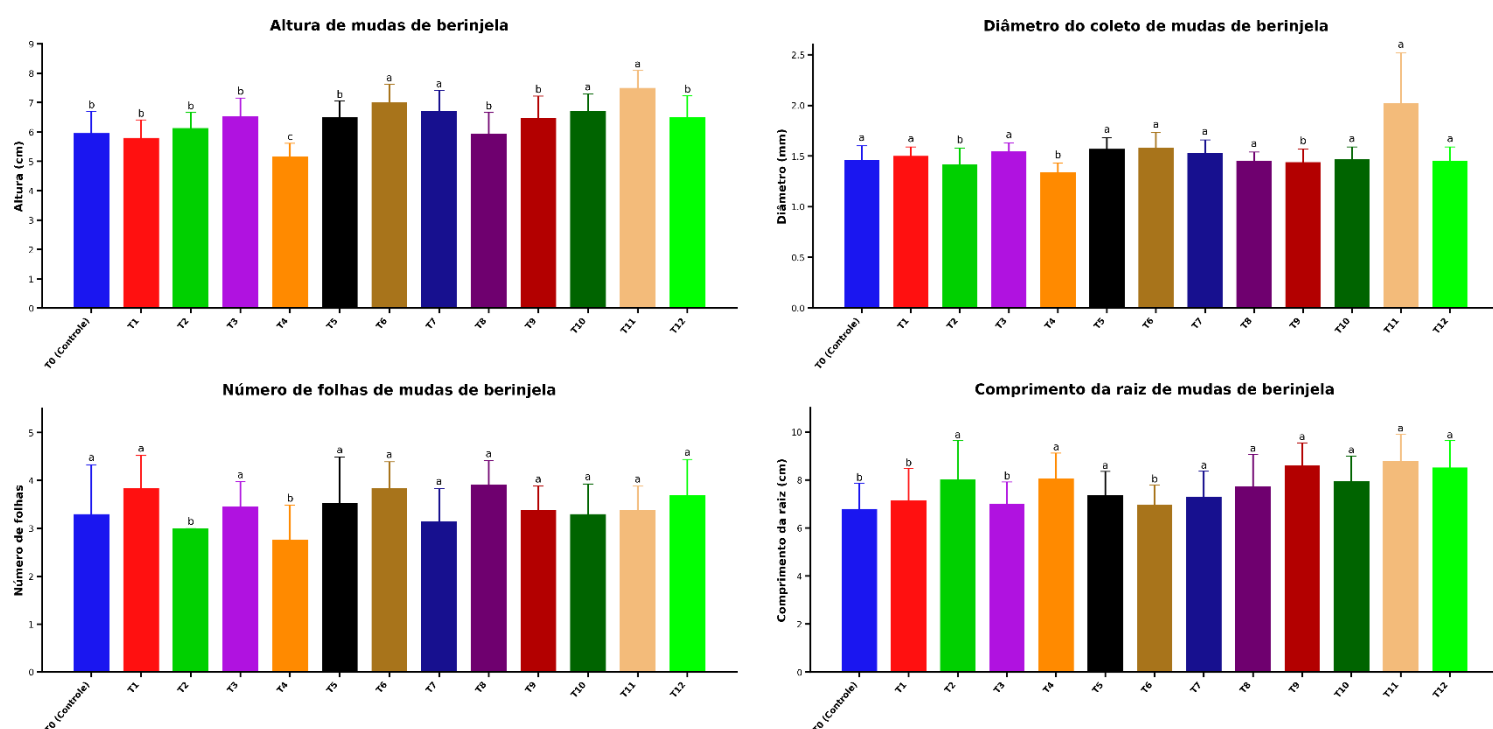
Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R adotando-se nível de significância de 5%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Efeito dos tratamentos sobre as características biométricas das mudas

As características biométricas das mudas de berinjela foram influenciadas pelos diferentes tratamentos avaliados (Tabela 5). Houve diferenças significativas para altura das mudas, diâmetro do coleto, número de folhas e comprimento de raiz, evidenciando que as diferentes concentrações do biofertilizante e os tempos de fermentação promoveram respostas distintas durante o desenvolvimento inicial das plantas.

Figura 12. Características biométricas de mudas de berinjela submetidas aos diferentes tratamentos.



T0: Controle; T1–T4: biofertilizante a 5% (60, 120, 240 e 480 min); T5–T8: biofertilizante a 10%; T9–T12: biofertilizante a 15%. Barras seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Em relação à altura das mudas, os maiores valores foram observados nos tratamentos T11 (15%/240 min), T6 (10%/120 min), T7 (10%/240 min) e T10 (15%/120 min), que compuseram o grupo estatístico superior, com médias variando entre 6,72 e 7,50 cm. O tratamento T11 destacou-se por apresentar a maior altura média (7,50 cm), enquanto T4 (5%/480 min) apresentou o menor valor (5,16 cm). Esses resultados

sugerem que concentrações mais elevadas do biofertilizante associadas a tempos intermediários de fermentação favoreceram o crescimento em altura das mudas. Segundo Martins (2022), o composto exaurido de cogumelo apresenta potencial para utilização agrícola devido à presença de matéria orgânica e nutrientes remanescentes do cultivo dos fungos.

Para o diâmetro do coleto, o tratamento T11 também apresentou o maior valor médio (2,02 mm), diferindo dos tratamentos T2, T4 e T9, classificados no grupo inferior. Os demais tratamentos apresentaram valores intermediários, variando entre 1,46 e 1,59 mm. O maior diâmetro do coleto observado em T11 indica a formação de mudas mais robustas, característica frequentemente associada à maior resistência e melhor estabelecimento após o transplântio. Correa *et al.* (2019) relatam que mudas com maiores diâmetros apresentam maior potencial de sobrevivência em campo devido à maior capacidade de desenvolvimento radicular.

O comprimento de raiz variou entre 6,81 e 8,81 cm. O tratamento T11 apresentou o maior comprimento radicular (8,81 cm), embora não tenha diferido estatisticamente dos tratamentos T9, T12, T4, T2, T10, T8, T5 e T7. Por outro lado, o tratamento controle apresentou a menor média (6,81 cm). O desenvolvimento adequado do sistema radicular é fundamental para a absorção de água e nutrientes e para o estabelecimento das plantas após o transplântio. Costa *et al.* (2012) destacam que mudas produzidas sob condições adequadas de nutrição apresentam melhor desenvolvimento vegetativo e radicular, refletindo em maior qualidade das plantas produzidas.

Em relação ao número de folhas, verificou-se menor amplitude de resposta entre os tratamentos. O tratamento T8 (10%/480 min) apresentou a maior média, com 3,92 folhas por planta, não diferindo da maioria dos tratamentos avaliados. Os menores valores foram observados nos tratamentos T2 (3,00 folhas) e T4 (2,77 folhas), únicos pertencentes ao grupo estatístico inferior. Esses resultados indicam que, embora o biofertilizante tenha influenciado essa característica, o número de folhas apresentou menor sensibilidade às diferentes combinações de concentração e tempo de fermentação. Alves *et al.* (2022) relatam que disponibilizar nutrientes e compostos orgânicos para meio de cultivo é essencial, as plantas são favorecidas principalmente com resíduos gerados pela produção de cogumelos.

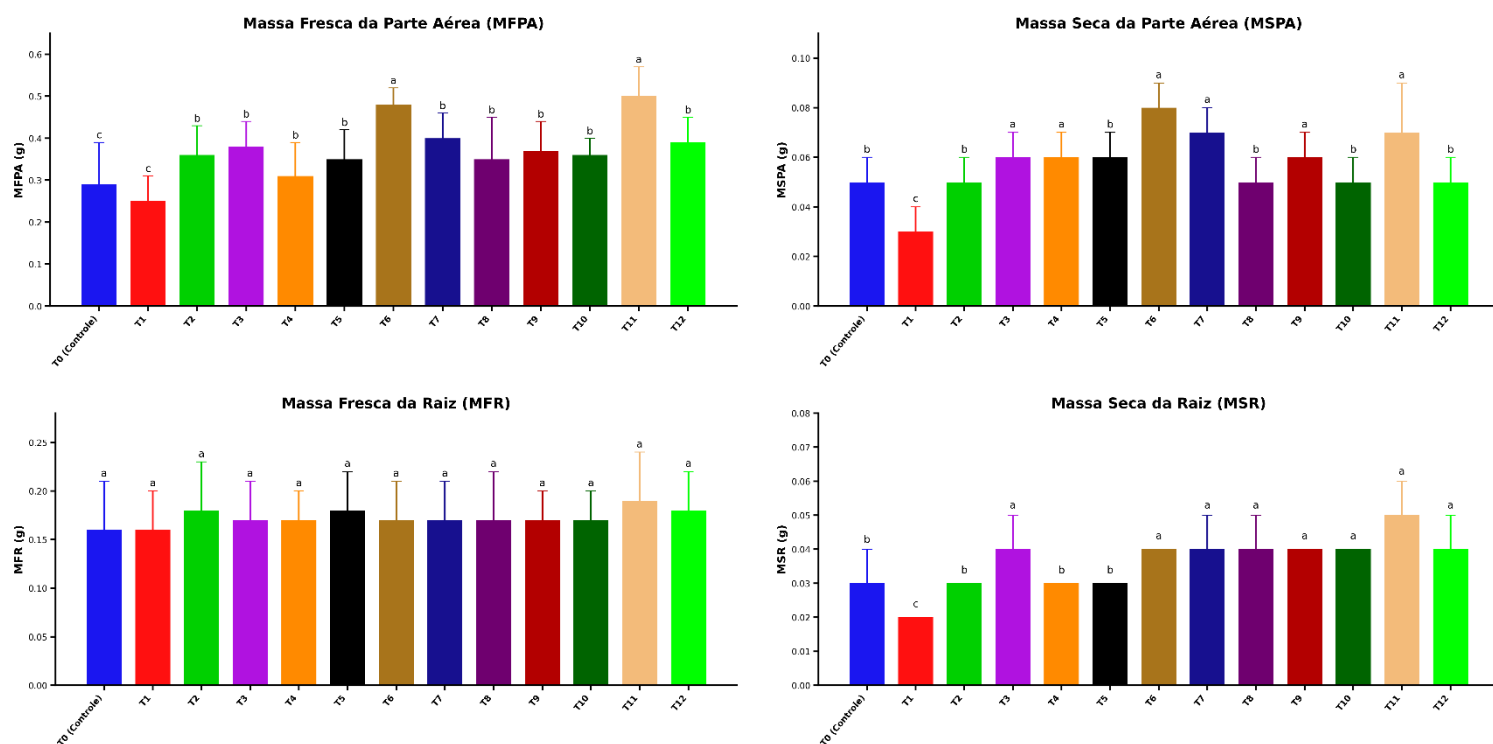
De maneira geral, os resultados evidenciam que a utilização do biofertilizante à base de composto exaurido de cogumelo favoreceu o desenvolvimento biométrico das

mudas de berinjela, com destaque para o tratamento T11 (15%/240 min), que apresentou desempenho superior para a maioria das variáveis avaliadas. Esse comportamento demonstra que a combinação entre maior concentração do biofertilizante e tempo intermediário de fermentação proporcionou condições mais favoráveis ao crescimento inicial das mudas.

5.2 Efeito dos tratamentos sobre a produção de biomassa.

A produção de biomassa das mudas de berinjela foi influenciada pelos diferentes tratamentos avaliados (Tabela 6). Houve diferenças significativas para massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e massa seca total (MST), comprovando que as concentrações e os tempos afetaram o acúmulo de biomassa durante o desenvolvimento das mudas.

Figura 13. Produção de biomassa de mudas de berinjela submetidas aos diferentes tratamentos.



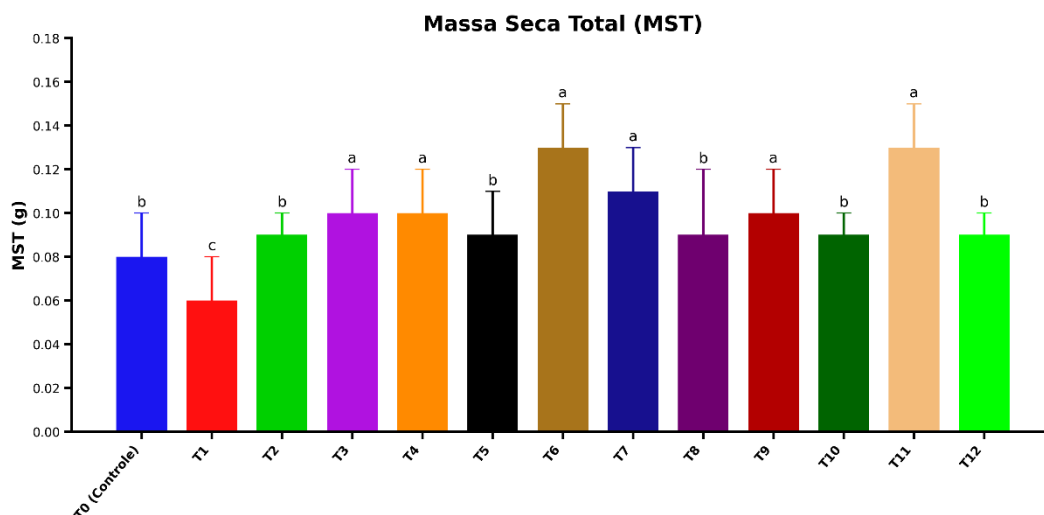
T0: Controle; T1–T4: biofertilizante a 5% (60, 120, 240 e 480 min); T5–T8: biofertilizante a 10%; T9–T12: biofertilizante a 15%. Barras seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Para a massa fresca da parte aérea, os maiores valores foram observados nos tratamentos T11 (0,507 g) e T6 (0,489 g), que formaram o grupo estatístico superior, enquanto os menores valores foram registrados em T1 (0,255 g) e no tratamento controle (0,294 g). Em relação à massa seca da parte aérea, o tratamento T6 apresentou a maior média (0,084 g), não diferindo estatisticamente de T11, T7, T3 e T9, enquanto T1 apresentou o menor acúmulo de biomassa seca (0,038 g). Esses resultados indicam que o biofertilizante favoreceu o crescimento da parte aérea das mudas, principalmente nas combinações intermediárias e mais concentradas.

Para a biomassa radicular, T6 apresentou a maior massa fresca da raiz (0,513 g), seguido pelos tratamentos T11 (0,461 g) e T7 (0,454 g). Já para a massa seca da raiz, o maior valor foi observado em T11 (0,054 g), seguido por T6 (0,048 g) e T7 (0,045 g), enquanto T1 apresentou o menor acúmulo de matéria seca radicular (0,024 g). O adequado desenvolvimento do sistema radicular é essencial para o estabelecimento das mudas após o transplântio, pois está diretamente relacionado à capacidade de absorção de água e nutrientes. Costa *et al.* (2012) destacam que mudas produzidas sob condições adequadas de cultivo apresentam maior vigor e melhor desempenho em campo.

A massa seca total variou entre 0,062 e 0,132 g, sendo os maiores valores observados nos tratamentos T6 (0,132 g) e T11 (0,131 g), que não diferiram estatisticamente de T7, T3, T9 e T4. O menor valor foi registrado em T1 (0,062 g), enquanto o tratamento controle apresentou valor intermediário (0,084 g). A massa seca total é considerada um importante indicador do crescimento das mudas, pois representa o acúmulo efetivo de biomassa produzido durante o ciclo de desenvolvimento (Figura 14).

Figura 14. Massa seca total (MST) de mudas de berinjela submetidas aos diferentes tratamentos.



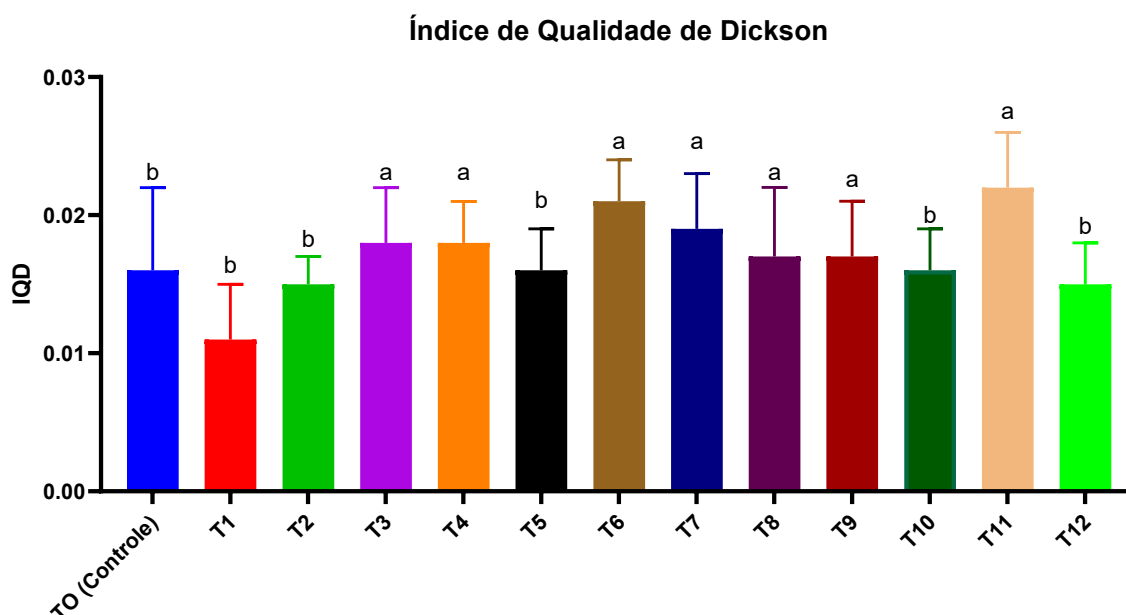
T0: Controle; T1–T4: biofertilizante a 5% (60, 120, 240 e 480 min); T5–T8: biofertilizante a 10%; T9–T12: biofertilizante a 15%. Barras seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

De maneira geral, os resultados evidenciam que a utilização do biofertilizante à base de composto exaurido de cogumelo favoreceu o acúmulo de biomassa das mudas de berinjela, com destaque para os tratamentos T11 (15%/240 min) e T6 (10%/120 min), que apresentaram desempenho superior para a maioria das variáveis avaliadas. Esses resultados reforçam o potencial do reaproveitamento do composto exaurido de cogumelo como alternativa sustentável para a produção de mudas, contribuindo para o aproveitamento de resíduos agroindustriais e para a redução da dependência de insumos convencionais.

5.3 Efeito dos tratamentos sobre a qualidade das mudas

A média do Índice de Qualidade de Dickson (IQD) das mudas de berinjela submetidas aos diferentes tratamentos encontra-se apresentada na Figura 15.

Figura 15. Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas de berinjela.



T0: Controle; T1–T4: biofertilizante a 5% (60, 120, 240 e 480 min); T5–T8: biofertilizante a 10%; T9–T12: biofertilizante a 15%. Barras seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Houve diferença significativa entre os tratamentos para o Índice de Qualidade de Dickson (IQD). O tratamento T11 (15%/240 min) apresentou o maior valor médio (0,023), não diferindo estatisticamente dos tratamentos T6 (10%/120 min), T7 (10%/240 min), T4 (5%/480 min), T3 (5%/240 min), T9 (15%/60 min) e T8 (10%/480 min). O menor valor foi observado no tratamento T1 (5%/60 min), com média de 0,011. O tratamento controle apresentou IQD de 0,014, pertencendo ao grupo estatístico inferior.

O Índice de Qualidade de Dickson é considerado um dos principais parâmetros para avaliação da qualidade de mudas, pois integra diferentes características morfológicas em uma única variável, permitindo uma análise mais completa do padrão de desenvolvimento das plantas. Dessa forma, valores mais elevados de IQD indicam mudas mais equilibradas e potencialmente mais aptas ao estabelecimento após o transplante.

Os resultados demonstram que os tratamentos T11, T6 e T7 apresentaram os maiores índices de qualidade, coincidindo com os melhores desempenhos observados para altura, diâmetro do coleto, comprimento radicular e acúmulo de

biomassa. Esse comportamento evidencia que a aplicação do biofertilizante favoreceu simultaneamente diferentes características de crescimento das mudas.

A caracterização físico-química das soluções demonstrou que os tratamentos de maior desempenho apresentaram maiores valores de condutividade elétrica e sólidos dissolvidos totais, indicando maior disponibilidade de compostos oriundos do processo fermentativo. Segundo Martins (2022), o composto exaurido de cogumelo apresenta potencial agrônomo devido à presença de matéria orgânica e nutrientes capazes de contribuir para o desenvolvimento vegetal e melhoria da qualidade das mudas.

O IQD é amplamente utilizado como indicador de qualidade por considerar simultaneamente parâmetros relacionados ao crescimento da parte aérea e do sistema radicular. Correa *et al.* (2019) destacam que a utilização de resíduos orgânicos na produção de mudas pode resultar em melhorias no desenvolvimento das plantas, refletindo em índices superiores de qualidade quando comparados a tratamentos convencionais.

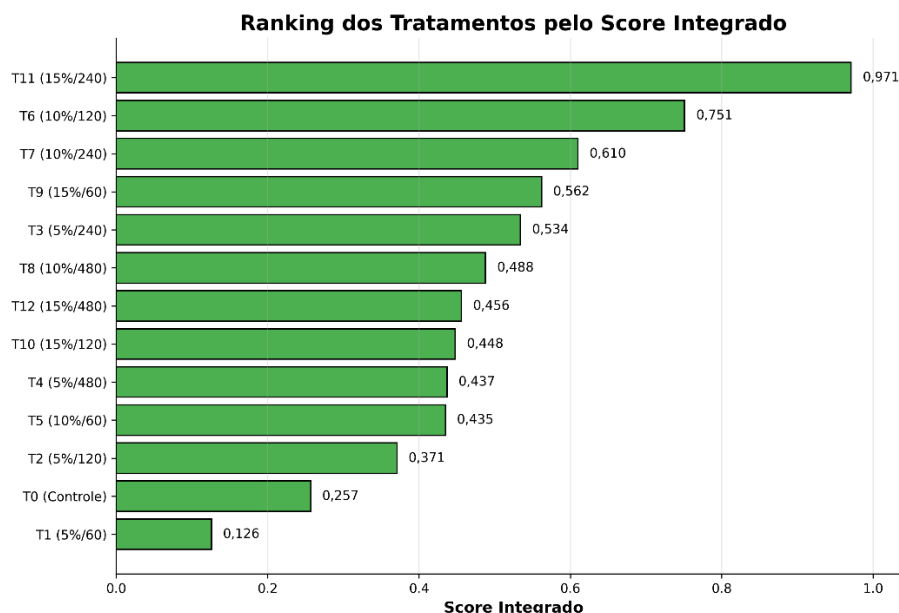
De forma semelhante, Alves *et al.* (2022) relatam que resíduos provenientes da produção de cogumelos apresentam potencial para utilização agrícola devido à capacidade de fornecer nutrientes e compostos orgânicos que favorecem o crescimento vegetal. Esses efeitos podem explicar os maiores valores de IQD observados nos tratamentos que receberam o biofertilizante.

De maneira geral, os resultados indicam que a utilização do biofertilizante à base de composto exaurido de cogumelo contribuiu para a produção de mudas de melhor qualidade, com destaque para o tratamento T11 (15%/240 min), que apresentou o maior Índice de Qualidade de Dickson entre os tratamentos avaliados.

5.4 Ranqueamento dos tratamentos por Score Integrado

Com o objetivo de reunir em uma única análise as principais características relacionadas à qualidade das mudas, foi calculado o Score Integrado dos tratamentos (Figura 16). Para esse cálculo foram considerados o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), a massa seca total, o diâmetro do coleto, a altura da planta e o comprimento de raiz.

Figura 16. Ranqueamento dos tratamentos com base no Score Integrado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Os resultados demonstraram que o tratamento T11 (15%/240 min) apresentou o maior score integrado (0,971), indicando o melhor desempenho geral entre os tratamentos avaliados. Esse resultado confirma o comportamento observado nas análises individuais, nas quais esse tratamento apresentou destaque para altura, diâmetro do coleto, biomassa e IQD.

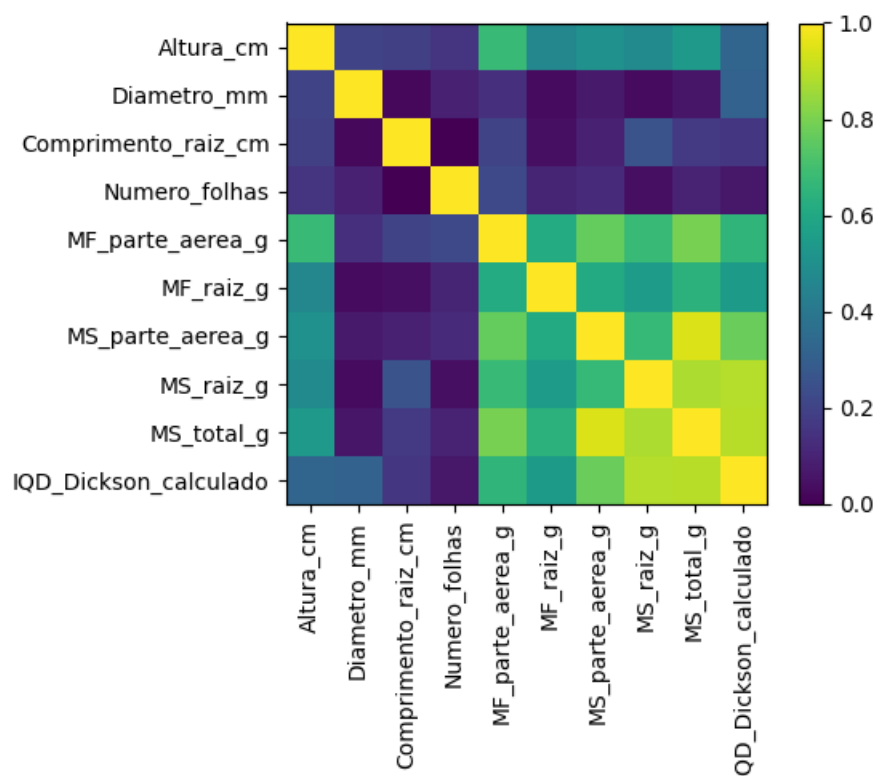
Os tratamentos T6 (10%/120 min) e T7 (10%/240 min) também apresentaram elevados valores de score, ocupando a segunda e terceira colocação no ranking. Por outro lado, o tratamento T1 (5%/60 min) apresentou o menor valor observado (0,126), indicando menor desempenho quando consideradas todas as variáveis avaliadas em conjunto.

De maneira geral, o ranqueamento confirmou a superioridade do tratamento T11, demonstrando que a concentração de 15% associada ao tempo de fermentação de 240 minutos proporcionou os melhores resultados para o desenvolvimento das mudas de berinjela. Além disso, o score integrado permitiu uma avaliação conjunta das principais variáveis analisadas, reunindo características relacionadas ao crescimento, acúmulo de biomassa e qualidade das mudas. A maior participação do Índice de Qualidade de Dickson no cálculo do score justifica-se por sua ampla utilização na avaliação da qualidade e do equilíbrio morfológico de mudas (DICKSON *et al.*, 1960).

5.5 Correlação entre as variáveis biométricas

A correlação entre as variáveis biométricas avaliadas nas mudas de berinjela submetidas aos diferentes tratamentos encontra-se apresentada na Figura 17.

Figura 17. Matriz de correlação entre as variáveis biométricas de mudas de berinjela submetidas a diferentes concentrações e tempos de fermentação do biofertilizante à base de composto exaurido de cogumelo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A análise de correlação evidenciou associações positivas entre a maioria das variáveis avaliadas. As maiores correlações foram observadas entre massa seca total e massa seca da parte aérea, massa seca total e massa seca da raiz, bem como entre o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) e as variáveis relacionadas ao acúmulo de biomassa. Também foram observadas correlações positivas entre altura das mudas e as variáveis de massa fresca e massa seca, indicando que plantas mais altas apresentaram maior acúmulo de biomassa durante o período experimental.

O comprimento de raiz apresentou correlação positiva com massa seca da raiz, massa seca total e IQD, demonstrando que o desenvolvimento radicular contribuiu

para a qualidade final das mudas. Em contrapartida, o número de folhas apresentou correlações de baixa magnitude com a maioria das características avaliadas, sugerindo menor influência dessa variável sobre os parâmetros de crescimento e qualidade das mudas.

As elevadas correlações observadas entre as variáveis relacionadas à biomassa indicam que o crescimento da parte aérea e do sistema radicular ocorreu de forma integrada ao longo do experimento. Segundo Motta *et al.* (2024), características biométricas relacionadas ao acúmulo de matéria fresca e matéria seca constituem importantes indicadores da qualidade de mudas, uma vez que refletem diretamente o desenvolvimento vegetal e a eficiência na utilização dos recursos disponíveis no ambiente de cultivo.

A forte associação observada entre o IQD e as variáveis de biomassa confirma a eficiência desse índice como ferramenta para avaliação da qualidade de mudas. Dickson *et al.* (1960) destacam que o IQD integra diferentes características morfológicas em um único parâmetro, permitindo uma avaliação mais abrangente do padrão de crescimento e vigor das plantas.

6 CONCLUSÃO

Conclui-se que o biofertilizante líquido produzido a partir do composto exaurido de cogumelo apresenta potencial agrônômico para a produção de mudas de berinjela, atendendo ao objetivo proposto neste estudo. A utilização desse insumo influenciou o desenvolvimento das mudas, demonstrando que diferentes concentrações e tempos de fermentação resultam em respostas distintas quanto às características morfológicas, ao acúmulo de biomassa e à qualidade das plantas.

Entre os tratamentos avaliados, a concentração de 15% associada ao tempo de fermentação de 240 minutos mostrou-se a mais eficiente, proporcionando mudas mais vigorosas e com melhor qualidade, evidenciada pelo desempenho superior nas variáveis analisadas e pelo maior Índice de Qualidade de Dickson.

A análise de correlação demonstrou que as variáveis relacionadas ao acúmulo de biomassa foram as que mais contribuíram para a qualidade das mudas de berinjela produzidas com o biofertilizante à base de composto exaurido de cogumelo, evidenciando a importância do desenvolvimento equilibrado entre parte aérea e sistema radicular para a obtenção de mudas vigorosas.

Dessa forma, o estudo comprovou que o aproveitamento do composto exaurido de cogumelo para a produção de biofertilizantes líquidos constitui uma alternativa viável e sustentável, agregando valor a um resíduo agroindustrial e reforçando os princípios da economia circular aplicados à produção agrícola.

REFERÊNCIAS

ALVES, Lucas da Silva et al. Aplicação de substrato de cogumelos do sol usados em substituição de fertilizantes sintéticos na cobertura de milho. *Agronomia*, v. 12, n. 11, p. 2884, 2022.

AKSO PRODUTOS ELETRÔNICOS LTDA. Equipamentos para análises físico-químicas: AK151 e MP516. São Leopoldo, RS: Akso Instrumentos, 2026. Disponível em: <https://www.akso.com.br>. Acesso em: 02 jun. 2026.

ASSIS, Pedro Henrique Mesquita Sutter de. **Composto exaurido de *Agaricus subrufescens* como substrato na produção de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong**. 2022. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2022.

AVANCINI, Anita Ribas. **Caracterização de compostos líquidos provenientes de compostagem e sua aplicação em culturas agrícolas**. 2020. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.

CANUTO, Rafaela Belker Soares. **Biofertilizantes na agricultura moderna: soluções sustentáveis para o estresse abiótico e os impactos das mudanças climáticas**. 2025. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2025.

CORREA, B. A., Parreira, M. C., Martins, J. D. S., Ribeiro, R. C., & Silva, E. D. Reaproveitamento de resíduos orgânicos regionais agroindustriais da Amazônia Tocantina como substratos alternativos na produção de mudas de alface. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 1, p. 97-104, 2019.

CAROLINA SOIL. Substratos Carolina Soil. Disponível em: <https://carolinasoil.com.br/substratos-carolina-soil/>. Acesso em: 22 mai. 2026.

COSTA, E.; LEAL, P. A. M.; BENETT, C. G. S.; BENETT, K. S. S.; SALAMENE, L. C. P. Formação de mudas e produção de frutos de berinjela. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 3, p. 546-550, 2012.

COSTA, Magna Maria Macedo Nunes; BARROS, Maria Auxiliadora Lemos de; FREIRE, Rosa Maria Mendes. **Biofertilizantes**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2023. 27 p. (Documentos, 292).

CRUZ, Paulo Marcio; FERRER, Gabriel Real; SOUZA, Maria Cláudia Silva Antunes de. Economia circular como alternativa à economia linear: desafios e contribuições à sustentabilidade. **Revista de Estudos Constitucionais, Hermenêutica e Teoria do Direito**, São Leopoldo, v. 16, n. 1, p. 90-112, 2024.

DE SÁ MOTTA, Ivo *et al.* Utilização de Resíduos de Pescado na Composição de Substratos para Produzir Mudas de Alface. **Cadernos de Agroecologia**, v. 19, n. 2, 2024.

DICKSON, A.; LEAF, A.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, West Mattawa, v. 36, p. 10-13, 1960.

DONATO, Roberto de Lima. **Produção de mudas de *Bixa orellana* L. em compostos exauridos de cogumelos e substrato comercial**. 2021. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Dracena, 2021.

FARIA, Kamila Krinski; CORREIA, Marcos José; MANSANI, Giordana Correia. **Cogumelos e segurança alimentar: a fungicultura como estratégia de minimizar ou compensar perdas na produção de alimentos**. *Cadernos de Agroecologia*, Pelotas, v. 17, n. 3, 2022.

FIGUEIREDO, Lucio Lambert de. **Bokashis e biofertilizantes para produção orgânica de alimentos na agricultura familiar**. 2020. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2020.

FOSTER, Allan; ROBERTO, Samanta Souza; IGARI, Alexandre Toshiro. **Economia circular e resíduos sólidos: uma revisão sistemática sobre a eficiência ambiental e econômica**. In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 2016, São Paulo. *Anais [...]*. São Paulo: [s.n.], 2016.

GOMES, João Paulo Andrade *et al.* **Uso de microrganismos eficientes como alternativa para agricultura sustentável: um referencial teórico**. In: **Agroecologia: métodos e técnicas para uma agricultura sustentável**. [S.l.]: [s.n.], 2021. p. 340-355.

GOOGLE LLC. *Google Earth Pro*. Versão 7.3.7. Mountain View, 2026. Disponível em: <https://earth.google.com/>. Acesso em: 16 maio 2026.

ISLA SEMENTES. Berinjela Embu Preta Comprida. Disponível em: <https://www.isla.com.br/berinjela-embu-preta-comprida-env-linha-super-und-59-61>. Acesso em: 22 mai. 2026.

LIMA, Thalison Vinícius Gomes de. **Implementação e melhoria contínua de controle de qualidade de um biofertilizante obtido a partir da fermentação de resíduos da indústria de beneficiamento do camarão**. 2025. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biotecnologia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2025.

LOPES, Monyck Jeane dos Santos *et al.* **Biotecnologia microbiana: inoculação, mecanismos de ação e benefícios às plantas**. *Research, Society and Development*, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 12, e356101220585, 2021.

MARTINS, A. M. **Potencial agrônomo do composto exaurido de cogumelo na produção vegetal**. 2022. Dissertação (Mestrado em Agronomia), 2022.

MEDEIROS, Maria do Bom Conselho Lacerda *et al.* **Índice de qualidade de Dickson e característica morfológica de mudas de pepino produzidas em**

diferentes substratos alternativos. *Agroecossistemas*, v. 10, n. 1, p. 159-173, 2018.

MUHL, Diego Durante; OLIVEIRA, Letícia de. **Tecnologias para a economia circular na agropecuária.** *Iheringia, Série Botânica*, Porto Alegre, v. 77, e2022008, 2022.

NASCIMENTO, Warley Marcos; PEREIRA, Ricardo Borges (ed.). **Produção de mudas de hortaliças.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2016. 308 p.

OLIVEIRA, Giovanni Alexander de; PARRAS, Rafael; BORGES, Fernanda de Freitas. **Estímulo à produção e consumo sustentáveis por meio de tecnologia.** *Ciência & Tecnologia: Fatec-JB, Jaboticabal*, v. 12, n. 1, p. 66-70, 2020.

OLIVEIRA, Vanessa Caroline de; MENDES, Fabrícia Queiroz. **Formulação de novos produtos a partir do aproveitamento de resíduos agroindustriais: uma revisão narrativa.** In: **Ciências Agrárias: o avanço da ciência no Brasil.** [S.l.]: [s.n.], 2021. p. 98-115.

OPENAI. ChatGPT. San Francisco: OpenAI, 2026. Disponível em: <https://chatgpt.com>. Acesso em: 1 jun. 2026.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável.** [S.l.]: ONU, 2015.

PAIS, Ana Karolina Leite *et al.* **Reutilização de água residual de piscicultura na produção de biofertilizantes líquidos.** *Revista Ouricuri*, Juazeiro, v. 15, n. 1, p. 3-23, 2025.

PEREIRA, Marcia Makaline Rodrigues. *Produção de mudas de berinjela em diferentes tipos de substratos alternativos.* 2020. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Pombal, PB, 2020.

POSTINGUEL, Rafael Barros. **Primeiros estudos de reutilização de composto exaurido de cogumelo (*Agaricus bisporus*) para a produção sustentável de eucalipto (*Eucalyptus urograndis*).** 2023. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Dracena, 2023.

PROGRAMA DE FORTALECIMENTO DA VITICULTURA FAMILIAR DA SERRA GAÚCHA. **Biofertilizantes.** [S.l.]: [s.n.], 2012.

SANTOS, Ana Maria Maciel dos *et al.* **Substratos alternativos para a produção de mudas de tomate e berinjela.** *Revista Verde*, Pombal, v. 16, n. 2, p. 206-212, 2021.

SILVA, André Felipe Gouveia da *et al.* **Potencial dos bioinsumos para a agricultura sustentável: uma análise a partir de suas características, conceitos e vantagens.** *Revista Mirante*, Anápolis, v. 17, n. 2, p. 250-265, 2024.

SILVA, Antônio Veimar da *et al.* **Importância dos microrganismos do solo para a produtividade agrícola e o equilíbrio ambiental.** *Revista Tópicos*, [S.l.], 2026.

SILVA, Gabrielle dos Santos; GUIMARÃES, Camila Carla. **Resíduos agroindustriais para a produção de biofertilizantes: uma alternativa sustentável para a agricultura familiar.** *Ciência & Tecnologia: Fatec Nilo De Stéfani*, Jaboticabal, v. 17, n. 1, e17118, 2025.

STUCHI, Julia Franco (ed. téc.). **Biofertilizante: um adubo líquido de qualidade que você pode fazer.** Brasília, DF: Embrapa, 2015. 16 p.

TIOSSI, Fabiano Martin; SIMON, Alexandre Tadeu. **Economia circular: suas contribuições para o desenvolvimento da sustentabilidade.** *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 11912-11927, 2021.

VAZ JÚNIOR, Sílvio. **Aproveitamento de resíduos agroindustriais: uma abordagem sustentável.** Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2020. 26 p. (Documentos, 31).

VELOSO, Karina Teixeira *et al.* **Índice de qualidade de Dickson de mudas de variedades de maracujazeiro.** In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFLA, 36., 2023, Lavras. *Resumo expandido*. Lavras: UFLA, 2023.

VIEIRA JÚNIOR, Wagner Gonçalves. **Avaliação da eficiência e viabilidade do substrato exaurido de cogumelo em ciclos subsequentes de *Pleurotus ostreatus* e *Lentinula edodes*.** 2025. 122 f. Tese (Doutorado em Microbiologia Agropecuária) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2025.