



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

JÉSSIKA DA SILVA FERREIRA

**PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Tabebuia roseoalba* (RIDL.) SANDWICH UTILIZANDO
RECIPIENTES E SUBSTRATOS DE RESÍDUOS ORGÂNICOS**

Prof. Dr. JOSE CARLOS ARTHUR JUNIOR
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2026



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

JÉSSIKA DA SILVA FERREIRA

**PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Tabebuia roseoalba* (RIDL.) SANDWICH UTILIZANDO
RECIPIENTES E SUBSTRATOS DE RESÍDUOS ORGÂNICOS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. JOSE CARLOS ARTHUR JUNIOR
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2026



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA



HOMOLOGAÇÃO Nº 8 / 2026 - DeptSil (12.28.01.00.00.00.00.31)

Nº do Protocolo: 23083.029898/2026-78

Seropédica-RJ, 30 de junho de 2026.

PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Tabebuia roseoalba* (RIDL.) SANDWICH UTILIZANDO
RECIPIENTES E SUBSTRATOS DE RESÍDUOS ORGÂNICOS

JÉSSICA DASILVA FERREIRA

APROVADA EM: 24/06/2026

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. JOSE CARLOS ARTHUR JUNIOR – UFRRJ

Orientador

Enga. Ftal. LARISSA DOS SANTOS COUTO - PPGCAF/UFRRJ

Membro

Enga. Ftal. LETÍCIA TEIXEIRA PIRES - PPGCAF/UFRRJ

Membro

(Assinado digitalmente em 30/06/2026 15:11)

JOSE CARLOS ARTHUR JUNIOR
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptSil (12.28.01.00.00.00.00.31)
Matrícula: 2270076

(Assinado digitalmente em 30/06/2026 15:55)

LETÍCIA TEIXEIRA PIRES
DISCENTE
Matrícula: 20261002420

(Assinado digitalmente em 30/06/2026 18:34)

LARISSA DOS SANTOS COUTO
DISCENTE
Matrícula: 20241002629

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/public/documentos/index.jsp>
informando seu número: **8**, ano: **2026**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO**, data de emissão: **30/06/2026**
e o código de verificação: **46820920c2**

AGRADECIMENTOS

Essa jornada tem um pouco de cada um aqui! “Eu sou a continuação de um sonho”

Sou grata a Deus e todas as energias que se movem por me conceder este privilégio de ocupar espaços inimagináveis.

Agradeço imensamente à minha mãe, Jacqueline, minha rainha. Que nunca mediu esforços pela nossa educação e sempre esteve comigo nos melhores e piores momentos. Amo-te!

A meu tripé. Meus irmãos queridos, Rayanne e Daniel. Obrigada pela base, nós três contra o mundo. Sem vocês sou incompleta, os amos como parte de mim.

À minha família, minha base. Agradeço pelo sangue nordestino que corre em minhas veias. À minha avó, matriarca da família e minhas tias e tios pelo apoio mesmo de longe.

Ao meu amor, Ramon. Obrigada por ser meu companheiro de vida, por sempre acreditar em mim e me presentear com meu pequeno grande amor, Mariah! Sem saber, me cura todos os dias. Amo vocês!

Ao meu filho de quatro patas, Darwin (*in memoriam*). Não te ter aqui, dói demais. Mas saiba que te amo muito e agradeço por você ter me escolhido e me salvado quando eu mais precisei.

O que seria dessa vida sem as amizades que fazemos ao longo do caminho?!
Agradeço às minhas amigas. Que tive a honra de dividir o lar, as dores e as delícias de viver a Rural, sempre com muita leveza, acolhimento e cafezinho da varanda do F133.

Amanda, Miryelle e Rayza. Vocês foram porto seguro em meio ao caos, vocês são muito especiais na minha vida. Amo vocês!

Aninha, Ingrid e Isabella, minhas veteranas. Obrigada por me acolherem, me inspirarem tanto. E também por me apresentarem o Pedro, obrigada por tudo meu amigo.

Beatriz, Celisa, Julyana, Nicole e Victória. As amigas que a floresta e o alojamento me presentearam, obrigada por cada momento compartilhado.

Giovanna e Karol. Obrigada por fazerem parte da minha vida, incentivando o autocuidado sempre. Amo vocês!

Agradeço ao meu orientador, professor Arthur. Pela dedicação, ensinamentos e paciência ao orientar seus alunos. Fez muita diferença em minha jornada!

Agradeço ao seu Tião e Lucas, por todo apoio à condução do meu experimento. Vocês foram fundamentais para que tudo isso acontecesse.

À banca, por aceitarem fazer parte e contribuírem com esta etapa muito importante.

E agradeço à Rural, por tudo que me proporcionou ao longo desses anos. Me orgulho em ser ruralina, por todos os auxílios e alojamento que me permitiram chegar até aqui!
A Universidade Pública é para TODOS, sim!

RESUMO

A crescente demanda por mudas de espécies nativas destinadas à restauração florestal tem impulsionado a busca por sistemas de produção mais sustentáveis, com destaque para o uso de recipientes biodegradáveis e substratos formulados a partir de resíduos orgânicos. Nesse contexto, o aproveitamento de resíduos agroindustriais e urbanos pode contribuir para a redução dos impactos ambientais associados ao uso de recipientes plásticos e de insumos convencionais, além de promover os princípios da economia circular. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento e a qualidade de mudas de ipê-branco (*Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith) produzidas em recipiente biodegradável Biotoco® e em diferentes formulações de substratos compostos por resíduos orgânicos. O experimento foi conduzido no viveiro florestal do Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, em delineamento inteiramente casualizado, com 17 tratamentos e 25 repetições por tratamento. Os substratos foram formulados a partir de combinações de biossólido, composto orgânico, biocarvão e casca de arroz carbonizada, além de substratos comerciais utilizados como testemunhas. As mudas permaneceram em cultivo por 130 dias após o transplante, sendo avaliadas quanto à altura da parte aérea, diâmetro do coleto, massa seca da parte aérea, massa seca radicular, massa seca total e Índice de Qualidade de Dickson (IQD). Os resultados demonstraram influência significativa dos tratamentos sobre todas as variáveis analisadas. As maiores médias de altura foram observadas nos tratamentos contendo composto orgânico associado ao biocarvão (75V_25BC e 50V_50BC), com valores próximos de 24,5 cm. Para o diâmetro do coleto, destacaram-se os tratamentos 50B_50CA, 75V_25BC e 50V_50BC, que apresentaram valores em torno de 5,8 mm. Os maiores valores de IQD também foram obtidos em formulações contendo composto orgânico e biocarvão, evidenciando a elevada qualidade das mudas produzidas. De modo geral, os substratos formulados com resíduos orgânicos apresentaram desempenho igual ou superior aos substratos comerciais fertilizados. Embora tenham ocorrido precipitações elevadas durante o período experimental, ocasionando degradação parcial de alguns recipientes Biotoco®, tal condição não comprometeu o crescimento nem a qualidade final das mudas. Conclui-se que o recipiente biodegradável Biotoco®, associado a substratos formulados com resíduos orgânicos, apresenta potencial para utilização na produção de mudas de *Tabebuia roseoalba*, constituindo uma alternativa promissora aos sistemas convencionais. Contudo, recomenda-se a realização de estudos complementares visando avaliar sua durabilidade e estabilidade física sob diferentes condições ambientais de viveiro.

Palavras-chave: qualidade de mudas; recipientes biodegradáveis; biossólido; economia circular; restauração florestal; sustentabilidade.

ABSTRACT

The increasing demand for native tree seedlings for forest restoration has encouraged the development of more sustainable production systems, particularly through the use of biodegradable containers and substrates formulated from organic residues. In this context, the utilization of agro-industrial and urban wastes can contribute to reducing the environmental impacts associated with plastic containers and conventional inputs, while also promoting the principles of the circular economy. This study aimed to evaluate the growth and quality of white ipê (*Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith) seedlings produced in the biodegradable container Biotoco® and in different substrate formulations composed of organic residues. The experiment was conducted at the forest nursery of the Forestry Institute of the Federal Rural University of Rio de Janeiro, using a completely randomized design with 17 treatments and 25 replicates per treatment. The substrates were formulated using combinations of biosolids, organic compost, biochar, and carbonized rice husk, in addition to commercial substrates used as controls. The seedlings were grown for 130 days after transplanting and evaluated for shoot height, root collar diameter, shoot dry mass, root dry mass, total dry mass, and Dickson Quality Index (DQI). The results showed a significant effect of the treatments on all evaluated variables. The greatest height values were observed in treatments containing organic compost combined with biochar (75V_25BC and 50V_50BC), reaching approximately 24.5 cm. For root collar diameter, the best performances were obtained in treatments 50B_50CA, 75V_25BC, and 50V_50BC, with values around 5.8 mm. The highest DQI values were also recorded in substrates containing organic compost and biochar, indicating the high quality of the produced seedlings. In general, substrates formulated with organic residues performed similarly to or better than fertilized commercial substrates. Although high rainfall occurred during the experimental period, causing partial degradation of some Biotoco® containers, this condition did not negatively affect seedling growth or final quality. It was concluded that the biodegradable Biotoco® container, combined with substrates formulated from organic residues, has potential for the production of *Tabebuia roseoalba* seedlings, representing a promising alternative to conventional production systems. However, further studies are recommended to evaluate its durability and physical stability under different nursery environmental conditions.

Keywords: seedling quality; biodegradable containers; biosolids; circular economy; forest restoration; sustainability.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. Produção de mudas para restauração florestal	2
2.2. Recipiente para produção de mudas	3
2.3. Recipientes biodegradáveis e potencial do bagaço de malte	4
2.4. Substrato para produção de mudas florestais	5
2.4.1. Biossólido	6
2.4.2. Composto orgânico	7
2.4.3. Casca de arroz carbonizada	8
2.4.4. Biocarvão (Biochar)	8
2.5. <i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1. Caracterização do local	10
3.2. Caracterização do experimento	10
3.3. Produção de mudas	13
3.4. Avaliações morfológicas das mudas	13
3.5. Análise de dados	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
5. CONCLUSÕES	22
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Temperatura e precipitação registrada em Seropédica/RJ, por quinzena, entre dezembro de 2025 e abril de 2026 durante a condução do experimento.....	10
Tabela 2 -	Tratamentos experimentais utilizados na produção de mudas de ipê-branco (<i>Tabebuia roseoalba</i>), contendo a composição dos substratos e os recipientes de cultivo.....	12
Tabela 3 -	Valor F calculado da análise de variância para as variáveis mensuradas das mudas de <i>Tabebuia roseoalba</i> aos 130 dias de cultivo.....	15

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Crescimento em altura (H)(1) e em diâmetro do colo (DC)(2) de mudas de *Tabebuia roseoalba* aos 130 dias de cultivo utilizando substratos com proporções puras de biossólido e composto orgânico (A), com 75% de biossólido e composto orgânico (B), com 50% de biossólido e composto orgânico (C), com misturas de três componentes (D) e substratos comerciais (E)..... 16
- Figura 2 - Acúmulo de massa de matéria seca da parte aérea (MSPA)(1), do sistema radicular (MSR) (2) e total (MST)(3), e índice de qualidade de Dickson (IQD) (4) de mudas de *Tabebuia roseoalba* aos 130 dias de cultivo utilizando substratos com proporções puras de biossólido e composto orgânico (A), com 75% de biossólido e composto orgânico (B), com 50% de biossólido e composto orgânico (C), com misturas de três componentes (D) e substratos comerciais (E)..... 19

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por ações de restauração ecológica, recuperação de áreas degradadas e recomposição da vegetação nativa tem ampliado a necessidade de produção de mudas florestais de espécies nativas (Pinto *et al.*, 2021). Nesse cenário, a qualidade do material produzido é determinante, uma vez que influencia diretamente o estabelecimento e o desenvolvimento das plantas durante os meses iniciais após o plantio definitivo no campo (Gülcü *et al.*, 2010).

Sob esta perspectiva, a produção de mudas nativas constitui uma etapa estratégica nos processos de recuperação, regeneração ou reflorestamento, sendo fundamental que estas apresentem alto padrão qualitativo. Mudanças de qualidade superior garantem melhores índices de crescimento e sobrevivência após o plantio definitivo, o que reduz significativamente os custos operacionais com cuidados silviculturais e a necessidade de replantio (Marinho *et al.*, 2017; Rodrigues *et al.*, 2020).

A busca contínua pela otimização dos índices de qualidade tem estimulado a evolução dos métodos produtivos e dos insumos empregados, com destaque para o aprimoramento de recipientes e substratos (Dias, 2011). A definição do modelo de recipiente ideal é condicionada pela morfologia do sistema radicular da espécie, além de envolver análises de viabilidade econômica e operacional (Rodrigues *et al.*, 2023).

Embora os tubetes plásticos ainda sejam amplamente utilizados, a comunidade científica busca novas alternativas que conciliem eficiência técnica, viabilidade econômica e sustentabilidade ambiental, como os recipientes biodegradáveis (Keller *et al.*, 2009). Segundo Iatauro (2004), essa transição é motivada, em grande parte, pela crescente preocupação da sociedade com os impactos ambientais associados ao uso e descarte de materiais derivados do petróleo. Além da geração de resíduos de difícil degradação, os recipientes plásticos demandam operações de coleta, transporte, armazenamento e higienização para possibilitar sua reutilização, o que pode elevar os custos operacionais dos viveiros e aumentar o consumo de água e energia. Nesse contexto, os recipientes biodegradáveis surgem como uma alternativa promissora para reduzir os impactos ambientais e simplificar as etapas operacionais envolvidas na produção de mudas.

Além dos benefícios associados à redução dos impactos ambientais, os recipientes biodegradáveis têm apresentado resultados técnicos satisfatórios que vêm despertando o interesse de empresas e instituições ligadas ao setor florestal (Silva, 2020). Além de reduzir o impacto ambiental por meio da diminuição da geração de resíduos, esses recipientes podem minimizar os danos mecânicos ao sistema radicular durante o plantio, favorecendo o estabelecimento das mudas no campo (Santana *et al.*, 2019). Entretanto, apesar das vantagens ambientais e operacionais associadas a essa tecnologia, sua adoção em larga escala ainda demanda estudos que avaliem aspectos como resistência física, durabilidade durante a permanência das mudas no viveiro e influência sobre o crescimento e a qualidade das plantas produzidas. Dessa forma, a ampliação do conhecimento sobre o desempenho desses recipientes torna-se fundamental para consolidar sua utilização em programas de produção de mudas florestais.

Embora a escolha do recipiente exerça influência direta sobre o desenvolvimento das mudas, a composição do substrato constitui outro fator determinante para o sucesso da produção de mudas resilientes e aptas a superar as adversidades do ambiente de plantio (Santos *et al.*, 2013; Trazzi *et al.*, 2014). No caso específico da produção de mudas, a utilização de resíduos orgânicos como substrato pode elevar os teores de matéria orgânica e nutrientes, favorecendo o crescimento pleno das plantas e gerando economia com fertilizantes minerais, além de proporcionar benefícios ambientais (Trigueiro e Guerrini, 2003).

Apesar dos avanços observados no desenvolvimento de recipientes biodegradáveis e na utilização de resíduos orgânicos como componentes de substratos para produção de mudas florestais, ainda existem lacunas de conhecimento relacionadas à interação entre recipientes biodegradáveis e substratos formulados com resíduos orgânicos, bem como aos seus efeitos sobre o crescimento, a qualidade e o potencial de utilização das mudas em campo. Grande parte das pesquisas têm avaliado isoladamente o desempenho de recipientes alternativos ou de diferentes composições de substratos, havendo menor disponibilidade de estudos que integrem essas tecnologias em um mesmo sistema produtivo, especialmente para espécies nativas destinadas à restauração ambiental (Wendling *et al.*, 2007; Trazzi *et al.*, 2013; Kratz *et al.*, 2015). Além disso, informações sobre a viabilidade técnica do uso de recipientes orgânicos associados a substratos formulados a partir de resíduos orgânicos ainda são limitadas para diversas espécies florestais nativas, incluindo o ipê-branco (*Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith), cuja produção de mudas apresenta elevada relevância para programas de arborização e recuperação de áreas degradadas (Carneiro, 1995; Dutra *et al.*, 2016). Dessa forma, estudos que avaliem conjuntamente recipientes biodegradáveis e substratos alternativos podem contribuir para o desenvolvimento de sistemas de produção mais sustentáveis, economicamente viáveis e ambientalmente adequados para viveiros florestais.

Diante deste cenário, o presente trabalho foi desenvolvido com o propósito de avaliar o potencial de utilização de recipientes e substratos produzidos a partir de resíduos orgânicos como alternativa ao sistema convencional de produção de mudas. Para tanto, objetivou-se avaliar o crescimento e a qualidade de mudas de ipê-branco (*Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith) produzidas em recipientes orgânicos sob diferentes combinações de substratos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Produção de mudas para restauração florestal

A restauração florestal constitui uma das principais estratégias para recuperação de ecossistemas degradados, conservação da biodiversidade e recomposição dos serviços ecossistêmicos. No Brasil, a intensificação das ações de restauração ecológica tem sido impulsionada tanto por exigências legais quanto pela necessidade de recuperação de áreas degradadas por atividades agrícolas, pecuárias, minerárias e urbanas. Nesse contexto, a utilização de mudas de espécies nativas produzidas em viveiros florestais representa uma das técnicas mais empregadas para acelerar o restabelecimento da vegetação e favorecer os processos naturais de sucessão ecológica (Rodrigues *et al.*, 2009; Durigan *et al.*, 2011).

A restauração por meio do plantio de mudas é considerada uma estratégia ativa de recuperação ambiental, uma vez que promove o estabelecimento inicial da vegetação, reduzindo limitações relacionadas à dispersão de sementes, à competição com espécies invasoras e à baixa resiliência de áreas altamente degradadas (Marcuzzo, Araújo e Gasparin, 2015). Além disso, a utilização de espécies nativas contribui para a manutenção da diversidade biológica, para a proteção dos recursos hídricos e para a recuperação das funções ecológicas dos ecossistemas florestais (Zabotto *et al.*, 2019).

O sucesso dos programas de restauração depende diretamente da qualidade das mudas utilizadas. Mudas vigorosas apresentam maiores taxas de sobrevivência e crescimento após o plantio, possibilitando redução dos custos operacionais relacionados à manutenção, irrigação complementar e replantio. Em contrapartida, mudas de baixa qualidade frequentemente apresentam desenvolvimento limitado, maior suscetibilidade a estresses ambientais e menor capacidade de estabelecimento em campo (Carneiro, 1995; Marinho *et al.*, 2017).

A qualidade das mudas florestais pode ser avaliada por meio de características morfológicas e fisiológicas que refletem seu potencial de desempenho após o plantio. Entre os principais parâmetros utilizados destacam-se a altura da parte aérea, o diâmetro do coleto, a produção de massa seca da parte aérea e das raízes, bem como índices de qualidade que integram diferentes variáveis de crescimento, como o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) (Carneiro, 1995; Gomes e Paiva, 2011).

Entretanto, a obtenção de mudas de elevada qualidade depende de diversos fatores relacionados ao sistema de produção. Aspectos como a qualidade genética e fisiológica das sementes, às condições ambientais do viveiro, o manejo hídrico e nutricional, o tipo de recipiente e a composição do substrato influenciam diretamente o crescimento das plantas durante a fase de viveiro (Gonçalves *et al.*, 2000; Costa *et al.*, 2015). Dessa forma, o desenvolvimento de técnicas que permitam otimizar esses fatores é fundamental para aumentar a eficiência dos viveiros florestais e garantir a produção de mudas adequadas às exigências dos programas de restauração.

Além dos aspectos técnicos, a busca por sistemas produtivos mais sustentáveis tem incentivado a utilização de materiais alternativos na produção de mudas, especialmente aqueles oriundos do reaproveitamento de resíduos orgânicos e agroindustriais. Essa abordagem está alinhada aos princípios da economia circular, contribuindo simultaneamente para a redução dos impactos ambientais e para a diminuição dos custos de produção (Kratz *et al.*, 2015).

Nesse cenário, dois componentes assumem papel de destaque na determinação da qualidade das mudas: os recipientes utilizados para o crescimento radicular e os substratos responsáveis pelo fornecimento de suporte físico, água e nutrientes. O desempenho desses componentes influencia diretamente o desenvolvimento inicial das plantas e, consequentemente, o sucesso dos plantios de restauração florestal.

2.2. Recipiente para produção de mudas

Os recipientes constituem um dos principais componentes do sistema de produção de mudas florestais, pois exercem influência direta sobre o desenvolvimento do sistema radicular, a absorção de água e nutrientes, o manejo no viveiro e o desempenho das mudas após o plantio em campo. A escolha do recipiente adequado deve considerar características da espécie produzida, custos operacionais, facilidade de manejo e qualidade final das mudas (Wendling e Dutra, 2010).

Historicamente, diferentes recipientes foram utilizados na produção de mudas florestais, incluindo sacolas plásticas, laminados, vasos e tubetes. Atualmente, os tubetes plásticos produzidos a partir de polietileno ou polipropileno destacam-se como os recipientes mais utilizados nos viveiros florestais brasileiros, principalmente devido à sua durabilidade, facilidade de manuseio, otimização do espaço físico e compatibilidade com sistemas mecanizados de produção (Almeida, 2016).

A adoção dos tubetes representou um avanço significativo na tecnologia de produção de mudas, permitindo maior padronização dos recipientes, melhor controle das condições de crescimento e aumento da eficiência operacional dos viveiros. Além disso, a utilização desses recipientes favorece a produção em larga escala, contribuindo para o atendimento da crescente demanda por mudas destinadas a reflorestamentos comerciais e projetos de restauração ecológica (Owston, 1990).

As características físicas dos recipientes influenciam diretamente o desenvolvimento das mudas. O volume disponível para o crescimento radicular afeta a capacidade de exploração do substrato, o armazenamento de água e nutrientes e a formação do sistema radicular. Recipientes de menor volume podem restringir o crescimento das raízes e comprometer o

desenvolvimento das plantas, enquanto recipientes maiores tendem a favorecer o crescimento, embora possam aumentar os custos de produção e transporte (Gomes *et al.*, 2003).

Além do volume, o formato dos recipientes também desempenha papel importante na arquitetura radicular das mudas. Sistemas que promovem a poda aérea das raízes ou dificultam seu enovelamento tendem a produzir mudas com melhor qualidade e maior potencial de crescimento após o plantio (Wendling e Dutra, 2010).

Apesar das vantagens operacionais proporcionadas pelos recipientes plásticos, sua utilização está associada a desafios ambientais importantes. Por serem derivados de recursos não renováveis, esses materiais apresentam lenta degradação no ambiente e geram resíduos cuja destinação adequada nem sempre é realizada. Estima-se que a decomposição de determinados plásticos possa demandar centenas de anos, contribuindo para o acúmulo de resíduos sólidos e para o aumento dos impactos ambientais associados à atividade produtiva (Muñoz Flores *et al.*, 2011; Moreira *et al.*, 2010).

Além dos impactos relacionados ao descarte, os recipientes plásticos exigem etapas adicionais de coleta, transporte, armazenamento e higienização para possibilitar sua reutilização nos viveiros. Essas operações demandam mão de obra, consumo de água e energia, elevando os custos operacionais do sistema produtivo (Iatauro, 2004; Paula, 2022).

Outro aspecto relevante refere-se ao processo de expedição e plantio das mudas. A retirada do torrão dos recipientes pode provocar danos mecânicos ao sistema radicular, especialmente quando as raízes apresentam forte aderência às paredes do recipiente ou quando o substrato possui baixa estabilidade estrutural. Esses danos podem comprometer o estabelecimento inicial das plantas e reduzir seu desempenho em campo (Dias, 2011).

Diante dessas limitações, a busca por alternativas que conciliem eficiência técnica, viabilidade econômica e sustentabilidade ambiental tem estimulado o desenvolvimento de novos materiais para a fabricação de recipientes. Nesse contexto, os recipientes biodegradáveis surgem como uma alternativa promissora, capaz de reduzir a geração de resíduos plásticos e simplificar diversas etapas operacionais da produção de mudas. O desenvolvimento desses recipientes está associado ao crescente interesse pela utilização de resíduos orgânicos e agroindustriais como matéria-prima, contribuindo para a implementação de sistemas produtivos mais sustentáveis e alinhados aos princípios da economia circular.

2.3. Recipientes biodegradáveis e potencial do bagaço de malte

A crescente preocupação com os impactos ambientais decorrentes do uso de materiais plásticos tem impulsionado o desenvolvimento de recipientes biodegradáveis para a produção de mudas florestais. Esses recipientes são produzidos a partir de matérias-primas renováveis ou resíduos orgânicos, apresentando a capacidade de sofrer decomposição biológica após o plantio, reduzindo a geração de resíduos sólidos e os custos associados ao recolhimento e descarte dos recipientes convencionais (Ferraz, 2006; Guerra *et al.*, 2017).

Os recipientes biodegradáveis apresentam diversas vantagens em relação aos recipientes plásticos tradicionais. Entre elas destacam-se a eliminação da necessidade de retirada do recipiente durante o plantio, a redução dos danos mecânicos ao sistema radicular e a simplificação das operações de transporte, armazenamento e higienização realizadas nos viveiros (Wendling e Dutra, 2010). Além disso, o plantio conjunto da muda e do recipiente favorece a manutenção da integridade do torrão e reduz o estresse de transplantio, contribuindo para o estabelecimento inicial das plantas no campo (Viégas, 2015).

Após o plantio, esses recipientes passam gradualmente por processos de degradação física, química e biológica, permitindo que as raízes atravessem suas paredes e colonizem o

solo adjacente. Esse comportamento pode favorecer o crescimento radicular e reduzir restrições físicas ao desenvolvimento das plantas (Guragain *et al.*, 2015).

Entretanto, apesar das vantagens observadas, a utilização de recipientes biodegradáveis ainda demanda estudos relacionados à resistência mecânica durante a fase de viveiro, à velocidade de degradação após o plantio e à influência desses materiais sobre o crescimento e a qualidade das mudas produzidas. Dessa forma, a busca por matérias-primas alternativas para a fabricação desses recipientes constitui uma importante linha de pesquisa voltada ao desenvolvimento de sistemas produtivos mais sustentáveis.

Entre os resíduos com potencial para aplicação na produção de recipientes biodegradáveis destaca-se o bagaço de malte, principal subproduto gerado pela indústria cervejeira. Esse material é obtido após a etapa de brassagem, correspondendo à fração sólida remanescente da extração dos açúcares fermentescíveis do malte, sendo constituído principalmente por cascas, fibras e resíduos da estrutura celular dos grãos (Mussatto, Dragone e Roberto, 2006).

A geração de bagaço de malte ocorre em grandes quantidades. Estima-se que aproximadamente 20 kg desse resíduo sejam produzidos para cada 100 litros de cerveja fabricados, tornando-o um dos principais resíduos da indústria cervejeira (Saraiva *et al.*, 2019). Considerando que o Brasil produz cerca de 15,34 bilhões de litros de cerveja anualmente (Brasil, 2025), isso equivale a uma geração de aproximadamente 3,07 milhões de toneladas de bagaço de malte por ano, criando a necessidade de alternativas ambientalmente adequadas para seu reaproveitamento.

Do ponto de vista químico, o bagaço de malte apresenta composição notavelmente rica, contendo cerca de 70% de fibras, 20% de proteínas, 1,2% de mono e diácidos fenólicos, além de vitaminas do complexo B (Rech e Zorzan, 2017), características que ampliam seu potencial de utilização em diferentes processos produtivos. Sua elevada disponibilidade e seu caráter renovável tornam esse material particularmente interessante para aplicações relacionadas à economia circular e ao aproveitamento sustentável de resíduos agroindustriais.

Além dos benefícios ambientais associados à redução do descarte inadequado, a utilização do bagaço de malte como matéria-prima para recipientes biodegradáveis pode agregar valor a um resíduo de baixo custo, contribuindo para a diminuição dos impactos ambientais gerados pela indústria cervejeira e para o desenvolvimento de produtos ambientalmente mais sustentáveis (Santiago, 2023; Arantes *et al.*, 2024).

Nesse contexto, a avaliação do desempenho de recipientes produzidos a partir desse resíduo torna-se relevante, especialmente quando associada ao uso de substratos alternativos capazes de potencializar a qualidade das mudas produzidas.

2.4. Substrato para produção de mudas florestais

Além do recipiente utilizado, a composição do substrato constitui um dos fatores mais importantes para o sucesso da produção de mudas florestais. Durante a fase de viveiro, o substrato é responsável por fornecer suporte físico ao sistema radicular, armazenar água, disponibilizar nutrientes e permitir adequada troca gasosa, influenciando diretamente o crescimento e a qualidade das mudas (Gonçalves e Poggiani, 1996).

As propriedades físicas do substrato exercem papel fundamental no desenvolvimento vegetal. Características como densidade aparente, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e capacidade de retenção de água determinam o equilíbrio entre disponibilidade hídrica e aeração, fatores essenciais para o funcionamento adequado do sistema radicular (Fermino, 2014).

Sob o aspecto químico, o substrato deve apresentar disponibilidade adequada de nutrientes, pH compatível com as exigências da espécie cultivada, baixa salinidade e ausência de compostos potencialmente tóxicos. Além disso, a presença de matéria orgânica contribui para o aumento da capacidade de troca de cátions, retenção de nutrientes e melhoria das condições físicas do meio de crescimento (Carneiro e Vieira, 2020).

Difícilmente um único material apresenta todas as características desejáveis para a produção de mudas. Por esse motivo, a formulação de substratos normalmente envolve a combinação de diferentes componentes, buscando equilibrar propriedades físicas, químicas e biológicas de acordo com as exigências da espécie produzida (Gomes e Paiva, 2011).

Nos últimos anos, a utilização de resíduos orgânicos e agroindustriais como componentes de substratos tem recebido crescente atenção por parte da comunidade científica. Além de reduzir custos de produção, essa estratégia favorece o reaproveitamento de resíduos que poderiam causar impactos ambientais quando descartados inadequadamente. Entre os materiais mais estudados destacam-se os bio sólidos, compostos orgânicos, casca de arroz carbonizada e biocarvão, que apresentam potencial para substituir parcial ou totalmente componentes convencionais utilizados na produção de mudas florestais (Kratz *et al.*, 2015; Trazzi *et al.*, 2014).

Dessa forma, a avaliação de materiais alternativos para formulação de substratos representa uma importante ferramenta para o desenvolvimento de sistemas produtivos mais sustentáveis e economicamente viáveis, contribuindo simultaneamente para o aproveitamento de resíduos e para a produção de mudas de elevada qualidade.

2.4.1. Bio sólido

Entre os resíduos orgânicos com potencial para utilização em substratos florestais, o bio sólido destaca-se pela elevada disponibilidade e pelo elevado teor de matéria orgânica e nutrientes. Esse material corresponde ao lodo gerado em estações de tratamento de esgoto sanitário que, após processos de estabilização e adequação às normas ambientais vigentes, pode ser utilizado com segurança em atividades agrícolas e florestais (Poggiani *et al.*, 2000; Abreu *et al.*, 2017).

A incorporação de bio sólidos aos substratos promove melhorias significativas nas propriedades químicas e físicas do meio de cultivo. Entre os principais benefícios destacam-se o aumento do teor de matéria orgânica, a elevação da capacidade de troca de cátions, o fornecimento de nutrientes essenciais e a melhoria da estrutura física do substrato (Santos *et al.*, 2014).

Além disso, a elevada concentração de carbono orgânico favorece a retenção de nutrientes, melhora a atividade microbiológica e contribui para a estabilidade estrutural do substrato. O bio sólido também apresenta quantidades expressivas de nitrogênio e fósforo, elementos frequentemente requeridos em grandes quantidades durante a fase inicial de crescimento das mudas (Bonini *et al.*, 2015; Bovi *et al.*, 2007).

A liberação gradual dos nutrientes presentes no bio sólido constitui outra vantagem importante, uma vez que reduz perdas por lixiviação e proporciona suprimento nutricional contínuo durante o período de viveiro (Assenheimer, 2009; Oliveira *et al.*, 2018).

Diversos estudos demonstram a viabilidade técnica do uso de bio sólidos na produção de mudas florestais, inclusive para espécies nativas utilizadas em programas de restauração ambiental (Silva *et al.*, 2022; Oliveira, 2022). Contudo, sua utilização deve ser precedida por análises químicas e ambientais rigorosas, especialmente em relação à presença de metais pesados e outros contaminantes potencialmente tóxicos (Usman *et al.*, 2012).

Além dos benefícios agrônômicos, o aproveitamento desse resíduo contribui para a redução dos custos de produção de mudas como a diminuição do uso de fertilizantes minerais

e otimização da irrigação, reduzindo impactos ambientais associados ao descarte do lodo em aterros sanitários, fortalecendo os princípios da economia circular e da sustentabilidade na produção florestal (Zabotto *et al.*, 2022).

2.4.2. Composto orgânico

A crescente geração de resíduos orgânicos urbanos, agrícolas e agroindustriais tem impulsionado o desenvolvimento de alternativas sustentáveis para seu reaproveitamento. Nesse contexto, a compostagem destaca-se como uma das principais tecnologias para transformação desses resíduos em insumos de valor agrônômico, contribuindo para a redução dos impactos ambientais associados ao descarte inadequado e para a promoção da economia circular (Brasil, 2010).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, estabelece diretrizes para o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos no Brasil, incentivando práticas como a compostagem e a reciclagem da fração orgânica dos resíduos urbanos. Estima-se que aproximadamente 45% dos resíduos sólidos domiciliares produzidos no país sejam constituídos por matéria orgânica passível de compostagem, evidenciando o potencial dessa técnica como ferramenta de gestão ambiental (Brasil, 2022b).

A compostagem consiste em um processo biológico aeróbio controlado, no qual microrganismos transformam resíduos orgânicos em um material estável, rico em substâncias húmicas e nutrientes. Durante esse processo, fatores como temperatura, umidade, aeração e relação carbono/nitrogênio influenciam diretamente a velocidade de decomposição e a qualidade do composto produzido (Abreu, 2017).

O produto final, denominado composto orgânico, apresenta coloração escura, textura homogênea e elevado teor de matéria orgânica estabilizada. Sua incorporação em substratos promove melhorias significativas nas propriedades físicas, químicas e biológicas do meio de cultivo, favorecendo o crescimento das plantas e a atividade microbiana benéfica (Sartori *et al.*, 2012).

Na produção de mudas florestais, os compostos orgânicos têm sido amplamente utilizados como componentes de substratos devido à sua capacidade de fornecer nutrientes de forma gradual, aumentar a retenção de água e melhorar a estrutura física do meio. Além disso, sua utilização pode reduzir significativamente os custos relacionados à aquisição de fertilizantes minerais e substratos comerciais (Faria *et al.*, 2016; Sediyaama *et al.*, 2014).

Outro aspecto relevante refere-se ao equilíbrio nutricional proporcionado pela matéria orgânica estabilizada. Segundo Müller (2012), sistemas de produção que utilizam adubação orgânica frequentemente apresentam maior eficiência no aproveitamento dos nutrientes pelas plantas, resultando em crescimento equilibrado e desenvolvimento mais uniforme das mudas.

Dessa forma, a utilização de compostos orgânicos em substratos florestais representa uma alternativa técnica e ambientalmente viável, contribuindo simultaneamente para o reaproveitamento de resíduos e para a obtenção de mudas de elevada qualidade.

2.4.3. Casca de arroz carbonizada

A casca de arroz carbonizada (CAC) é um dos materiais alternativos mais utilizados na formulação de substratos para produção de mudas, devido às suas características físicas favoráveis ao desenvolvimento do sistema radicular. Trata-se de um resíduo obtido a partir da carbonização controlada da casca de arroz, processo que reduz o volume do material e promove alterações estruturais capazes de melhorar suas propriedades físicas (Wagner Júnior, Couto e Quezada, 2003).

Uma das principais características da casca de arroz carbonizada é sua baixa densidade, que contribui para a redução do peso dos recipientes e facilita as operações de transporte e manejo das mudas. Além disso, apresenta elevada macroporosidade, proporcionando excelente drenagem e adequada circulação de oxigênio na região radicular (Saidelles *et al.*, 2009).

A elevada aeração proporcionada pela CAC favorece o crescimento das raízes e reduz problemas associados ao excesso de umidade, como a ocorrência de doenças radiculares e a redução da atividade respiratória das plantas. Entretanto, devido à sua limitada capacidade de retenção hídrica, sua utilização isolada geralmente não é recomendada, sendo necessária sua associação com materiais que apresentem maior microporosidade e capacidade de armazenamento de água (Wagner Júnior, Couto e Quezada, 2003).

Outro benefício da carbonização está relacionado à eliminação de sementes de plantas invasoras, organismos patogênicos e nematóides, aumentando a segurança fitossanitária do substrato. Adicionalmente, a casca carbonizada apresenta teores consideráveis de potássio e cálcio, nutrientes importantes para o crescimento vegetal (Saidelles *et al.*, 2009).

Diversos estudos demonstram a eficiência da casca de arroz carbonizada quando associada a materiais como fibra de coco, biossólidos, compostos orgânicos e casca de pinus, contribuindo para a obtenção de substratos com propriedades físicas adequadas à produção de mudas florestais (Kratz *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2012).

As propriedades físicas da CAC também podem ser modificadas por meio da granulometria das partículas. Partículas maiores tendem a aumentar a macroporosidade, enquanto partículas menores elevam a microporosidade e a capacidade de retenção de água. Portanto, o ajuste da granulometria pode ser utilizado para adequar o substrato às exigências específicas das espécies cultivadas (Fermino, 2003).

2.4.4. Biocarvão (Biochar)

O biocarvão, também conhecido como biochar, é um material rico em carbono obtido por meio da pirólise de resíduos orgânicos sob condições de baixa disponibilidade de oxigênio. Durante esse processo ocorre a decomposição térmica da biomassa, resultando na formação de um material altamente poroso e estável, com propriedades físicas e químicas favoráveis ao uso agrícola e florestal (Liu *et al.*, 2014; Schutyser *et al.*, 2018).

As transformações estruturais promovidas pela pirólise aumentam significativamente a área superficial do material e favorecem a formação de microporos, ampliando sua capacidade de retenção de água e adsorção de nutrientes (Song *et al.*, 2014). Essas características tornam o biocarvão um material de grande interesse para formulação de substratos destinados à produção de mudas.

Além de atuar como condicionador físico, o biocarvão influencia positivamente diversos atributos químicos do substrato. Estudos demonstram que sua incorporação pode elevar o pH, aumentar a capacidade de troca de cátions e melhorar a disponibilidade de nutrientes essenciais para o crescimento vegetal (Trazzi *et al.*, 2018).

Outra característica importante refere-se à sua elevada estabilidade química. Diferentemente de outros resíduos orgânicos que sofrem rápida decomposição, o biocarvão permanece por longos períodos no ambiente, contribuindo para a manutenção das propriedades do substrato ao longo do ciclo de produção das mudas (He, Zhong e Yang, 2017).

O uso do biocarvão também está associado à valorização de resíduos provenientes da indústria madeireira e da produção de carvão vegetal, promovendo o reaproveitamento de materiais que poderiam ser descartados inadequadamente (Melo, 2019; Siqueira, 2022). Dessa forma, sua utilização está alinhada aos princípios da sustentabilidade e da economia circular.

Na produção de mudas florestais, a incorporação de biocarvão em substratos pode favorecer o desenvolvimento radicular, aumentar a eficiência do uso da água e melhorar a absorção de nutrientes pelas plantas. Esses efeitos contribuem para a produção de mudas mais vigorosas e com maior potencial de sobrevivência após o plantio em campo (Lima *et al.*, 2016; Pimenta *et al.*, 2019).

Entretanto, os resultados obtidos podem variar em função da matéria-prima utilizada, das condições de pirólise e das proporções incorporadas ao substrato, reforçando a necessidade de avaliações específicas para cada situação de cultivo (Petter *et al.*, 2012).

2.5. *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith

O ipê-branco (*Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith), pertencente à família Bignoniaceae, é uma espécie arbórea nativa do Brasil com ampla ocorrência nos biomas Cerrado, Mata Atlântica e em áreas de transição entre diferentes formações vegetais. A espécie apresenta distribuição relativamente ampla no território nacional, sendo frequentemente encontrada em formações florestais estacionais e ambientes sujeitos a períodos de déficit hídrico (Feres *et al.*, 2012; Zuntini e Lohmann, 2016).

Além de sua relevância ecológica, o ipê-branco possui elevado valor paisagístico devido à intensa floração branca que ocorre durante a estação seca, característica que favorece sua utilização em arborização urbana, paisagismo e recuperação ambiental. Sua madeira apresenta densidade moderada e pode ser empregada em usos internos na construção civil e em pequenos artefatos de madeira (Lorenzi, 1992).

A espécie apresenta crescimento relativamente rápido durante as fases iniciais de desenvolvimento, característica desejável em programas de restauração florestal. Sua adaptação às condições de baixa disponibilidade hídrica e a diferentes tipos de solo amplia seu potencial de utilização em projetos de recuperação de áreas degradadas e recomposição da vegetação nativa (Lorenzi, 2008).

Do ponto de vista ecológico, o ipê-branco desempenha papel importante na recomposição da biodiversidade, fornecendo recursos florais para polinizadores e contribuindo para o restabelecimento das interações ecológicas em ambientes restaurados. Em razão dessas características, a espécie é frequentemente recomendada para programas de restauração ecológica e enriquecimento florestal (Zuntini e Lohmann, 2016).

A propagação da espécie ocorre predominantemente por sementes. A emergência das plântulas geralmente ocorre entre oito e dezoito dias após a semeadura, dependendo das condições ambientais e da qualidade fisiológica do lote utilizado. Embora apresente boa capacidade germinativa, as sementes são classificadas como ortodoxas e podem apresentar perda gradual de viabilidade durante o armazenamento, exigindo cuidados específicos para manutenção de sua qualidade (Abbade e Takaki, 2014).

Considerando sua importância ecológica, paisagística e econômica, a produção de mudas de alta qualidade constitui etapa fundamental para ampliar a utilização da espécie em programas de restauração florestal. Nesse contexto, o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis envolvendo recipientes biodegradáveis e substratos formulados a partir de resíduos orgânicos pode contribuir para otimizar a produção de mudas de ipê-branco, reduzindo custos e impactos ambientais associados aos sistemas convencionais de produção.

Embora a espécie tenha figurado em listas anteriores de conservação, atualmente não consta entre as espécies ameaçadas de extinção na mais recente avaliação oficial da flora brasileira, publicada pelo Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2022a). Ainda assim, sua utilização em programas de restauração permanece relevante para a conservação da biodiversidade e para a recuperação de ecossistemas degradados.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização do local

A pesquisa foi realizada no viveiro florestal Fernando Luiz de Oliveira Capellão, no Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), situado em Seropédica, RJ (22°45'S e 43°41'W). A classificação climática segundo Köppen para a área é Aw e a precipitação média anual na região é de 1245 mm, conforme dados históricos da estação meteorológica da PESAGRO-RJ (Abreu *et al.*, 2017). Ao longo do período experimental a temperatura máxima média foi de 30,6 °C e a precipitação acumulada foi de 721 mm (Brasil, 2026) (Tabela 1).

Tabela 1 - Temperatura e precipitação registrada em Seropédica/RJ, por quinzena, entre dezembro de 2025 e abril de 2026 durante a condução do experimento.

Quinzena	Período	Média temperatura máxima (°C)		Σ precipitação (mm)	
		No período	Últimos 5 anos	No período	Últimos 5 anos
1 ^a	01 a 15/12	31,2	29,9	69,5	78,2
2 ^a	16 a 31/12	32,2	29,5	11,0	91,3
3 ^a	01 a 15/01	32,7	29,7	37,7	133,9
4 ^a	16 a 31/01	29,2	31,9	139,2	80,9
5 ^a	01 a 15/02	31,3	31,2	121,3	100,7
6 ^a	16 a 28/02	30,8	31,7	99,6	85,6
7 ^a	01 a 15/03	28,6	31,1	68,7	84,6
8 ^a	16 a 31/03	30,0	30,8	37,6	63,1
9 ^a	01 a 15/04	30,0	28,7	136,1	52,6

Fonte: Adaptado de BRASIL (2026). Elaborada pela própria autora.

3.2. Caracterização do experimento

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), constituído por 17 tratamentos (Tabela 2), com 25 repetições por tratamento, sendo cada muda considerada uma unidade experimental.

Os substratos foram formulados a partir de combinações de quatro resíduos orgânicos: biossólido (B), composto orgânico (V), biocarvão (BC) e casca de arroz carbonizada (CA), além de dois substratos comerciais utilizados como referência, Mecplant® (MEC) e Carolina Soil® (CS).

Para a formulação dos substratos, o biossólido e o composto orgânico foram considerados componentes de maior densidade aparente e maior disponibilidade de nutrientes, atuando principalmente como fontes de matéria orgânica e elementos minerais. Por sua vez, o biocarvão e a casca de arroz carbonizada foram utilizados como condicionadores físicos, caracterizados por elevada porosidade, baixa densidade aparente e reduzida contribuição

nutricional, favorecendo a aeração e a drenagem do substrato. O biocarvão foi adquirido da empresa AgriFERT e a casca de arroz carbonizada foi obtida comercialmente junto à empresa Aimirim.

O biossólido utilizado no estudo foi fornecido pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE), sendo proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Alegria, localizada no bairro do Caju, Rio de Janeiro. O processo de tratamento na ETE Alegria compreende as etapas de decantação primária, adensamento e biodigestão anaeróbia, o que promove a redução de patógenos e a estabilização da matéria orgânica. Após a biodigestão, o lodo é submetido à centrifugação para desidratação. Para fins experimentais, o material foi submetido a um processo natural de solarização por 45 dias em local seco e arejado, logo após, triturado por meio de um triturador orgânico para homogeneizar as partículas. Assim, visando a higienização complementar e a redução da umidade, conforme descrito por Abreu *et al.* (2019). A depender da variação conforme a existência e/ou concentração dos microrganismos, este material pode ser classificado como biossólido de Classe A ou B de acordo com a Resolução CONAMA nº 375/2006, sendo apto para uso agrícola e florestal devido aos seus elevados teores de nitrogênio, fósforo e matéria orgânica (Abreu, 2014).

O composto orgânico utilizado na formulação dos substratos foi fornecido pela empresa VideVerde, situada em Cachoeiras de Macacu, RJ. Este material é proveniente de um processo industrial de compostagem aeróbica realizado por meio do revolvimento mecânico de leiras em galpões cobertos. A matéria-prima empregada consiste em uma mistura balanceada entre resíduos sólidos orgânicos de origem comercial e agentes estruturantes vegetais triturados (VideVerde, 2024).

O ciclo de produção estende-se por 60 dias e compreende etapas fundamentais para a qualidade do produto final. Inicialmente, ocorre a fase termofílica, na qual a intensa atividade microbiana eleva a temperatura do material a níveis superiores a 55°C. Esse aquecimento é essencial para a sanitização do composto, pois promove a eliminação de microrganismos patogênicos e de sementes de plantas invasoras. Após o pico térmico, o material passa pela fase de maturação e humificação, resultando na estabilização da matéria orgânica e no aumento da CTC. Por fim, o composto é submetido ao peneiramento industrial para garantir uma granulometria fina e homogênea, o que facilita o preenchimento em recipientes utilizados na produção das mudas. De acordo com as diretrizes institucionais da empresa, o material é classificado como um fertilizante orgânico Classe A, atuando como um condicionador de solo que melhora as propriedades físicas e químicas do sistema radicular (VideVerde, 2024).

O recipiente utilizado foi um recipiente biodegradável comercialmente denominado Biotoco[®]. Esse recipiente é produzido a partir de resíduos orgânicos à base de bagaço de malte e apresenta 12,2 cm de altura, 6,1 cm de diâmetro superior e 4,2 cm de diâmetro na base. Seu volume interno útil para o preenchimento com substrato é de aproximadamente 110 cm³. Entretanto, em função da espessura média de suas paredes (8,8 mm), constituídas por material orgânico biodegradável, o recipiente apresenta volume total aproximado de 300 cm³.

Dessa forma, além do volume interno destinado ao acondicionamento do substrato, o recipiente possui uma estrutura composta por material orgânico passível de biodegradação, que potencialmente pode contribuir para a nutrição da muda. O modelo utilizado é fabricado pela empresa Toco Engenharia e Inovação Ambiental Ltda. e encontra-se protegido por patente de invenção registrada no Brasil sob o número BR 102020013631-3.

Para os tratamentos contendo os substratos comerciais Mecplant[®] e Carolina Soil[®], foram utilizados tanto o recipiente biodegradável Biotoco[®] quanto tubetes de polipropileno com capacidade volumétrica de 280 cm³. Esses tratamentos foram incluídos como testemunhas do experimento, permitindo comparar o desempenho das mudas produzidas em um recipiente biodegradável inovador com aquele obtido em recipientes convencionais amplamente utilizados na produção comercial de mudas florestais. A adoção dos dois recipientes

possibilitou avaliar se o Biotoco[®] apresenta potencial técnico para substituir os tubetes plásticos, tomando como referência substratos comerciais já consolidados e amplamente utilizados em viveiros.

Tabela 2 - Tratamentos experimentais utilizados na produção de mudas de ipê-branco (*Tabebuia roseoalba*), contendo a composição dos substratos e os recipientes de cultivo.

Tratamento (código)	Composição do substrato (proporção volumétrica)	Recipiente
1 – 100B	100% biossólido	Biotoco
2 – 75B_25BC	75% biossólido + 25% biocarvão	Biotoco
3 – 75B_25CA	75% biossólido + 25% casca de arroz carbonizada	Biotoco
4 – 50B_50BC	50% biossólido + 50% biocarvão	Biotoco
5 – 50B_50CA	50% biossólido + 50% casca de arroz carbonizada	Biotoco
6 – 100V	100% composto orgânico	Biotoco
7 – 75V_25BC	75% composto orgânico + 25% biocarvão	Biotoco
8 – 75V_25CA	75% composto orgânico + 25% casca de arroz carbonizada	Biotoco
9 – 50V_50BC	50% composto orgânico + 50% biocarvão	Biotoco
10 – 50V_50CA	50% composto orgânico + 50% casca de arroz carbonizada	Biotoco
11 – 50B_50V	50% biossólido + 50% composto orgânico	Biotoco
12 – B_V_BC	33,3% biossólido + 33,3% composto orgânico + 33,3% biocarvão	Biotoco
13 – B_V_CA	33,3% biossólido + 33,3% composto orgânico + 33,3% casca de arroz carbonizada	Biotoco
14 – MEC_BT	Mecplant [®]	Biotoco
15 – CS_BT	Carolina Soil [®]	Biotoco
16 – MEC_T	Mecplant [®]	Tubete
17 – CS_T	Carolina Soil [®]	Tubete

Nota: B = biossólido; V = composto orgânico; BC = biocarvão; CA = casca de arroz carbonizada; MEC = substrato comercial Mecplant[®]; CS = substrato comercial Carolina Soil[®]; BT = recipiente biodegradável Biotoco[®]; T = tubete de polipropileno com volume de 280 cm³. As proporções dos componentes dos substratos foram definidas em base volumétrica.

Os substratos comerciais Mecplant[®] e Carolina Soil[®] receberam fertilização mineral de base, composta pela incorporação de 150 g de N, 300 g de P₂O₅ e 100 g de K₂O por metro cúbico de substrato. Como fontes de nutrientes foram utilizados sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. Para o suprimento de micronutrientes, foram adicionados 150 g m⁻³ de FTE BR-12 (1,8% de B; 0,8% de Cu; 3,0% de Fe; 2,0% de Mn e 0,1% de Mo), conforme protocolo proposto por Gonçalves *et al.* (2000).

Os substratos formulados com biossólido e composto orgânico não receberam fertilização mineral de base nem fertilização de cobertura durante o período experimental. Esse procedimento foi adotado com o objetivo de avaliar o potencial desses resíduos orgânicos como componentes de substrato e fontes de nutrientes para o crescimento das mudas, em comparação aos substratos comerciais convencionalmente utilizados na produção florestal e submetidos ao manejo nutricional recomendado.

A manutenção nutricional das mudas produzidas nos substratos comerciais foi realizada mensalmente por meio de fertilização de cobertura. Para tanto, foi preparada uma solução nutritiva contendo 200 g de N e 180 g de K₂O para cada 100 L de água, utilizando-se sulfato de

amônio e cloreto de potássio como fontes dos nutrientes, conforme recomendação de Gonçalves *et al.* (2000). A aplicação foi realizada manualmente, utilizando-se uma seringa graduada para fornecer 10 mL da solução por muda.

A irrigação foi realizada por meio de sistema de aspersão, com lâmina média diária de 15 mm, distribuída em dois turnos de irrigação. O manejo da irrigação foi ajustado ao longo do experimento em função da demanda hídrica das mudas e das condições climáticas observadas durante o período de crescimento.

3.3. Produção de mudas

As sementes de ipê-branco (*Tabebuia roseoalba*) utilizadas no experimento foram coletadas de árvores matrizes localizadas em vias públicas do município de Piracicaba, SP. Após a coleta, as sementes foram beneficiadas e submetidas à semeadura indireta em sementeiras preenchidas com areia lavada. As sementes foram distribuídas uniformemente sobre o substrato e cobertas com uma fina camada de areia. A irrigação foi realizada, no mínimo, duas vezes ao dia, de modo a manter condições adequadas de umidade para a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas.

Durante a primeira semana após a emergência, as plântulas permaneceram sob ambiente sombreado, utilizando-se tela de sombreamento (sombrite), com o objetivo de reduzir o estresse causado pela radiação solar direta e favorecer seu estabelecimento inicial.

Aos 30 dias após a semeadura, quando as plântulas apresentavam pelo menos dois pares de folhas definitivas, foi realizado o transplante para os recipientes experimentais, preenchidos com as respectivas formulações de substrato descritas anteriormente. A utilização da semeadura indireta seguida de transplante teve como objetivo uniformizar o material vegetal empregado no experimento, reduzindo possíveis variações associadas à germinação e ao crescimento inicial das plântulas, de modo a permitir que as diferenças observadas ao longo do período experimental fossem atribuídas, com maior confiabilidade, aos tratamentos avaliados.

Após um breve período de aclimação pós-transplante, as mudas foram mantidas a pleno sol, dispostas sobre bancadas suspensas em viveiro florestal, onde permaneceram por 130 dias, quando foram realizadas as avaliações morfológicas previstas no experimento.

3.4. Avaliações morfológicas das mudas

Após 130 dias de permanência nos recipientes experimentais, as mudas de ipê-branco (*Tabebuia roseoalba*) foram submetidas a avaliações morfológicas destinadas à caracterização do crescimento e da qualidade das mudas produzidas.

Inicialmente, foram realizadas avaliações não destrutivas em todas as mudas experimentais, determinando-se a altura da parte aérea (H) e o diâmetro do coleto (DC). A altura foi medida desde a superfície do substrato até a gema apical, utilizando-se régua milimetrada. O diâmetro do coleto foi mensurado na região de transição entre a raiz e a parte aérea, ao nível da superfície do substrato, por meio de paquímetro digital.

Para a determinação da biomassa seca, foram amostradas cinco mudas por tratamento, selecionadas de forma representativa. As mudas foram seccionadas na região do coleto, separando-se a parte aérea do sistema radicular. As raízes foram cuidadosamente removidas dos recipientes e lavadas em água corrente sobre peneiras de malha fina para a completa remoção do substrato aderido. No caso das mudas produzidas em recipientes biodegradáveis Biotoco®, todo o material remanescente do recipiente aderido ao sistema radicular foi removido manualmente antes da secagem, de modo a evitar interferências na determinação da biomassa das raízes.

Posteriormente, a parte aérea e o sistema radicular foram acondicionados separadamente em sacos de papel identificados e submetidos à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 48 horas, ou até atingirem massa constante. Após a secagem, as amostras foram pesadas em balança analítica com precisão de 0,001 g, obtendo-se a massa seca da parte aérea (MSPA) e a massa seca do sistema radicular (MSR). A massa seca total (MST) foi calculada pelo somatório da MSPA e da MSR.

Com base nas variáveis morfológicas e de biomassa, foi calculado o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), proposto por Dickson *et al.* (1960), considerado um dos principais indicadores integrados da qualidade de mudas florestais, por incorporar atributos de crescimento, robustez e equilíbrio da distribuição de biomassa entre a parte aérea e o sistema radicular.

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

Onde:

MST = massa seca total (soma da parte aérea + raiz) em g muda⁻¹;

H = altura da parte aérea em cm;

DC = diâmetro do coleto (colo) em mm;

MSPA = massa seca da parte aérea em gramas g muda⁻¹;

MSR = massa seca da raiz (sistema radicular) em g muda⁻¹.

3.5. Análise de dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando-se o software SISVAR, versão 5.8 (Ferreira, 2019). Previamente à análise de variância, foram verificadas a normalidade dos resíduos e a homogeneidade das variâncias, de modo a atender aos pressupostos do modelo estatístico adotado. Quando constatado efeito significativo dos tratamentos pelo teste F ($p \leq 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de agrupamento de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade. Os resultados foram expressos por meio das médias dos tratamentos, sendo consideradas estatisticamente diferentes aquelas pertencentes a grupos distintos formados pelo teste de Scott-Knott.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância (ANOVA) revelou que a composição dos substratos exerceu influência significativa ($p < 0,01$) sobre todas as variáveis morfológicas e índices de qualidade avaliados nas mudas de ipê-branco (*Tabebuia roseoalba*) aos 130 dias de cultivo (Tabela 3). A significância observada para todas as variáveis avaliadas indica que as diferentes composições dos substratos afetaram o desenvolvimento das mudas, refletindo-se tanto nos parâmetros de crescimento da parte aérea quanto do sistema radicular. Resultados semelhantes têm sido reportados para diversas espécies florestais nativas, nos quais o substrato constitui um dos

principais fatores responsáveis pelas variações no desempenho morfológico e na qualidade das mudas produzidas em viveiro (Santos *et al.*, 2013).

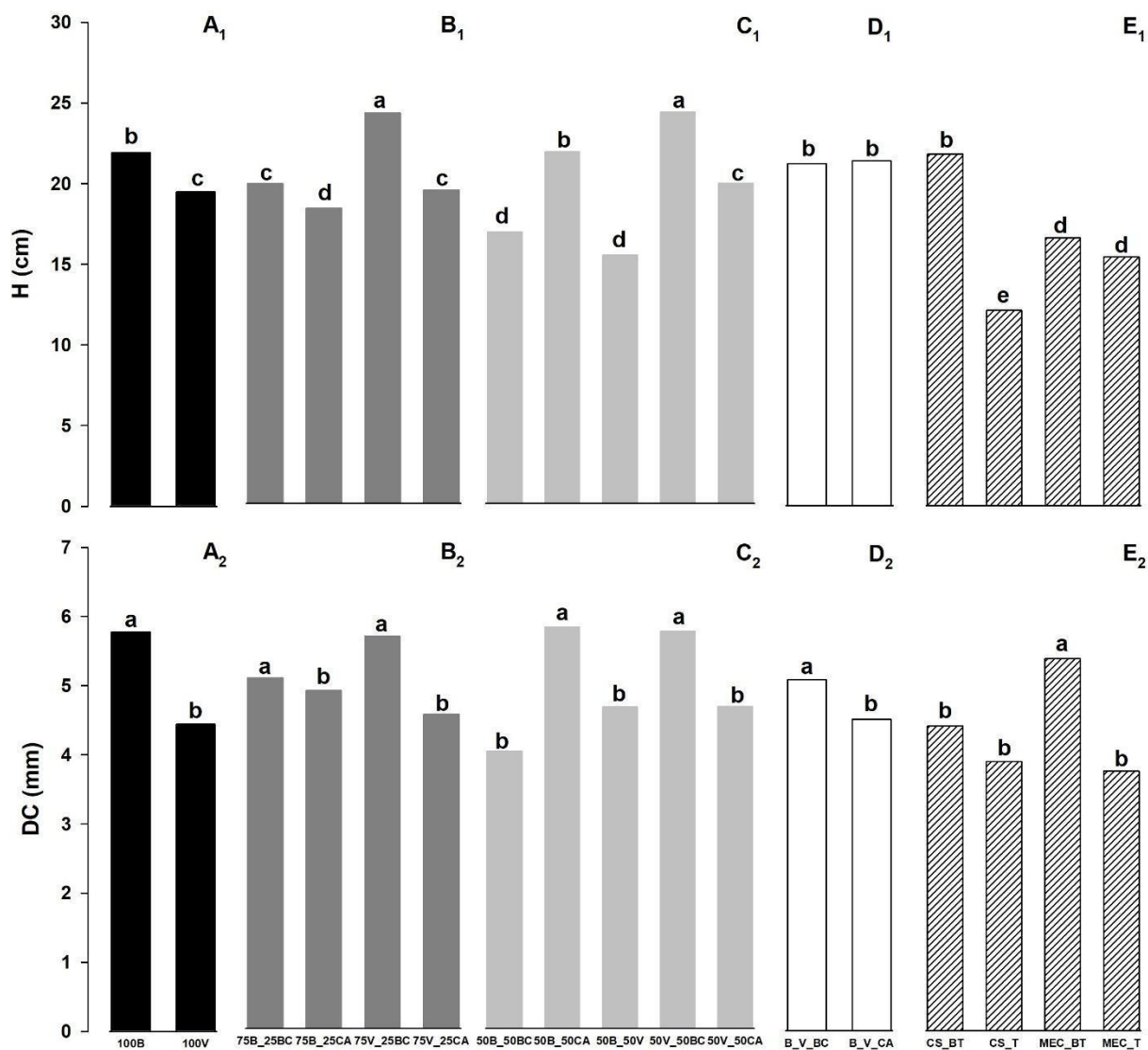
Tabela 3 - Valor F calculado da análise de variância para as variáveis mensuradas das mudas de *Tabebuia roseoalba* aos 130 dias de cultivo.

Fonte de variação	GL	H	DC	MSPA	MSR	MST	IQD
Substrato	16	18,542**	4,723**	7,758**	9,045**	9,088**	5,951**
Resíduo	102						

‘**’: nível de significância 0,01 pelo teste F

Os tratamentos influenciaram significativamente o crescimento das mudas de ipê-branco, sendo observados os maiores valores de altura da parte aérea nos tratamentos 75V_25BC e 50V_50BC, que atingiram aproximadamente 24,5 cm aos 130 dias de cultivo (Figura 1). Esses valores foram superiores aos obtidos nos tratamentos comerciais, especialmente Carolina Soil® em tubete (CS_T), que apresentou altura média próxima de 12 cm.

Figura 1 - Crescimento em altura (H)(1) e em diâmetro do colo (DC)(2) de mudas de *Tabebuia roseoalba* aos 130 dias de cultivo utilizando substratos com proporções puras de biossólido e composto orgânico (A), com 75% de biossólido e composto orgânico (B), com 50% de biossólido e composto orgânico (C), com misturas de três componentes (D) e substratos comerciais (E).



Biossólido (B); Composto orgânico da Vide Verde (V); casca de arroz carbonizada (CA); biocarvão (BC); Carolina Soil® (CS); MecPlant® (MEC); tubete (T); biotoco (BT). Médias seguidas de letras diferentes diferem estatisticamente entre si pelo teste de médias de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Fonte: elaborado pela autora.

Considerando que a altura da parte aérea é um importante indicador do crescimento inicial e da capacidade competitiva das mudas após o plantio (Gomes; Paiva, 2011), os resultados evidenciam o potencial dos substratos formulados com resíduos orgânicos para a produção de mudas de *Tabebuia roseoalba*.

Os tratamentos com composto orgânico da Vide Verde (V) associado ao biocarvão (BC) apresentaram os maiores valores de altura, indicando que essa combinação favoreceu o crescimento da espécie. Além disso, a manutenção do elevado crescimento nos tratamentos 75V_25BC e 50V_50BC demonstra que o aumento da proporção de biocarvão de 25 para 50% não comprometeu o desenvolvimento das mudas. Esse resultado possui relevância prática, pois indica a possibilidade de reduzir a proporção do componente orgânico principal sem perdas de

desempenho, contribuindo para o aproveitamento de resíduos e para a redução dos custos de produção.

Para o diâmetro do coleto, variável considerada um dos melhores indicadores da qualidade das mudas e de seu potencial de sobrevivência após o plantio (Carneiro, 1995; Gomes *et al.*, 2002), destacaram-se os tratamentos 50B_50CA, 75V_25BC e 50V_50BC, com valores próximos de 5,8 mm (Figura 1). Os menores valores foram observados nos tratamentos comerciais CS_T e MEC_T, com diâmetros inferiores a 4,0 mm. Segundo Gomes *et al.* (2002), mudas com maiores diâmetros tendem a apresentar maior resistência ao tombamento, melhor equilíbrio morfológico e maior capacidade de adaptação às condições de campo.

Os resultados indicam que tanto o biossólido quanto o composto orgânico podem ser empregados com sucesso na formulação de substratos para a espécie. Entretanto, o composto orgânico apresentou desempenho superior para o crescimento em altura, enquanto o biossólido mostrou desempenho semelhante quando considerada a variável diâmetro do coleto. Esse comportamento sugere que ambos os resíduos possuem potencial para utilização na produção de mudas, embora possam atuar de forma distinta sobre os parâmetros morfológicos avaliados.

Os resultados obtidos neste estudo foram semelhantes aos observados na literatura para espécies do gênero *Tabebuia*. Mendonça *et al.* (2024), trabalhando com a mesma espécie e avaliando as mudas aos 120 dias após o transplante, registraram valores máximos de 22 cm para altura e 7,8 mm para diâmetro do coleto nos tratamentos contendo adição de brita ao substrato. De forma semelhante, Ferreira (2025), avaliando mudas de ipê-branco (*Tabebuia roseoalba*) aos 120 dias após a semeadura, observou altura média de 18 cm e diâmetro do coleto de 6,3 mm. Resultados próximos também foram relatados por Cruz *et al.* (2004), que verificaram, aos 120 dias após a repicagem, altura média de 22,2 cm e diâmetro do coleto de 7,56 mm para mudas do gênero *Tabebuia* cultivadas sob condição de 24% de saturação por bases do substrato. Dessa forma, os valores de crescimento observados no presente estudo encontram-se dentro da faixa reportada na literatura para espécies desse gênero, corroborando o potencial das condições de cultivo adotadas.

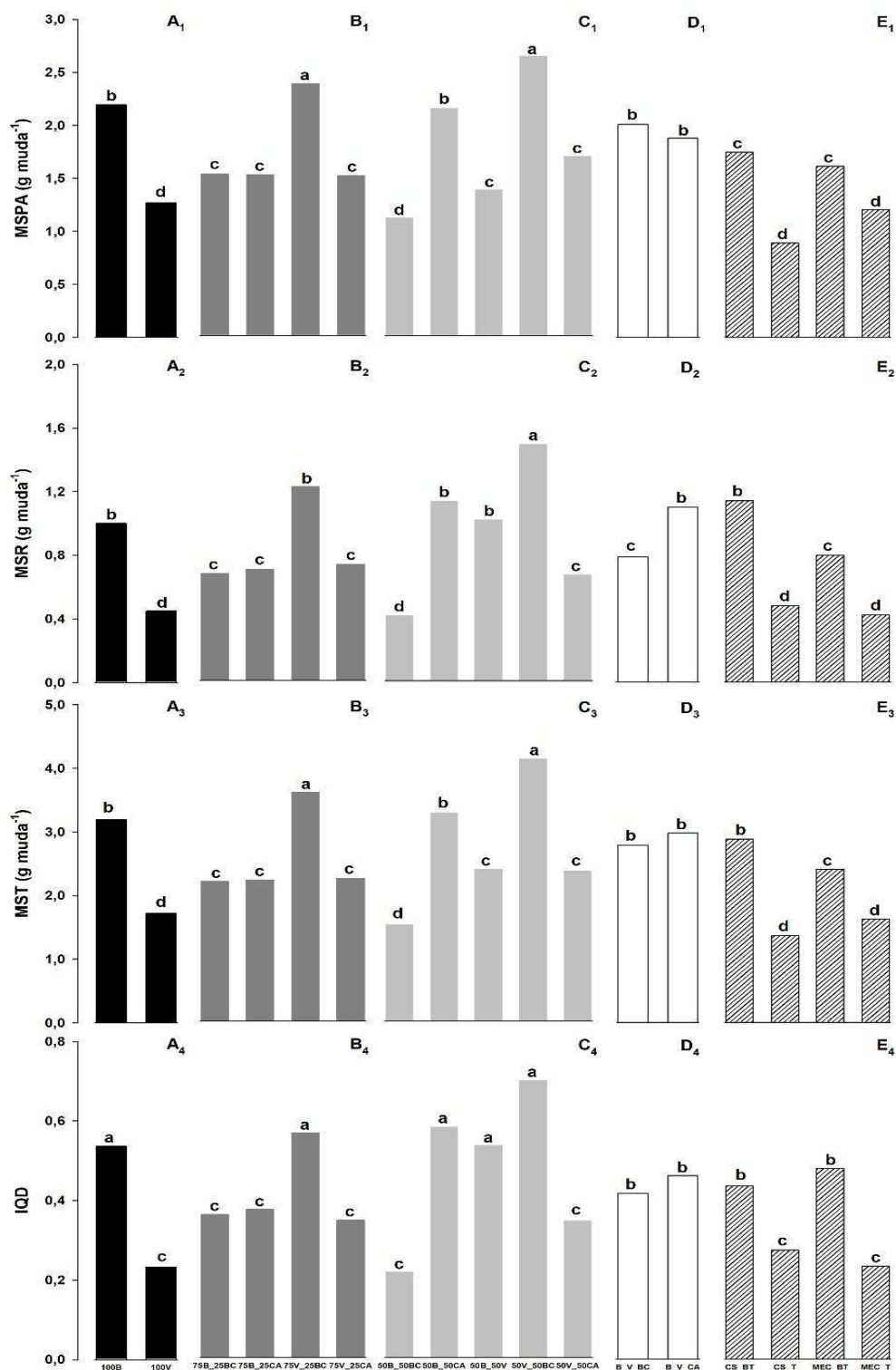
Em relação aos componentes condicionadores, observa-se que o biocarvão esteve presente nos tratamentos que proporcionaram os maiores valores de altura, enquanto a casca de arroz carbonizada apresentou resultados igualmente promissores quando associada ao biossólido. Dessa forma, os resultados não permitem afirmar a superioridade de um material sobre o outro para todas as variáveis analisadas, mas indicam que ambos podem ser utilizados como componentes alternativos na formulação de substratos para produção de mudas florestais. Resultados semelhantes têm sido relatados por Kratz *et al.* (2013) e Wendling *et al.* (2006), que observaram desempenho satisfatório de resíduos agroindustriais como componentes de substratos para espécies florestais nativas.

Os substratos comerciais apresentaram desempenho inferior aos substratos formulados com resíduos orgânicos, especialmente quando utilizados em tubetes. Entretanto, essa diferença não parece estar relacionada ao volume dos recipientes, uma vez que as capacidades volumétricas dos recipientes avaliados são semelhantes e o Biotoco[®] apresenta, inclusive, menor volume efetivamente preenchido com substrato. Dessa forma, o melhor desempenho observado nos tratamentos conduzidos em Biotoco[®] pode estar associado às características do próprio recipiente. Estudos desenvolvidos na UFRRJ (Lima, 2024; Ferreira, 2025) têm demonstrado que recipientes produzidos com resíduos orgânicos, especialmente aqueles contendo bagaço de malte em sua composição, podem disponibilizar nutrientes ao longo do cultivo e favorecer o crescimento das mudas. Além do benefício ao desenvolvimento das plantas, a utilização do Biotoco[®] reduz a quantidade de substrato necessária para produção das mudas, representando uma alternativa técnica e ambientalmente interessante para viveiros florestais.

De maneira geral, os resultados obtidos demonstram que os substratos formulados com resíduos orgânicos apresentaram desempenho superior aos substratos comerciais para a produção de mudas de *T. roseoalba*. Destacam-se especialmente as combinações entre composto orgânico e biocarvão. Embora não tenham sido avaliadas diretamente as propriedades físicas e químicas dos substratos, estudos relatam que o biocarvão pode contribuir para melhorias na retenção de água, aeração e disponibilidade de nutrientes, favorecendo o crescimento vegetal (Lehmann; Joseph, 2015).

As diferenças observadas no crescimento das mudas refletiram-se diretamente na produção de biomassa (Figura 2). O tratamento 50V_50BC apresentou os maiores valores de massa seca da parte aérea (2,65 g muda⁻¹), massa seca radicular (1,50 g muda⁻¹) e massa seca total (4,15 g muda⁻¹), destacando-se estatisticamente em relação à maior parte dos demais tratamentos. O tratamento 75V_25BC também apresentou elevado acúmulo de biomassa, com massa seca total próxima de 3,60 g muda⁻¹, enquanto o tratamento 100B alcançou aproximadamente 3,20 g muda⁻¹ (Figura 2). Em contrapartida, os menores valores foram observados no tratamento CS_T, cuja massa seca total foi inferior a 1,5 g muda⁻¹ (Figura 2).

Figura 2 - Acúmulo de massa de matéria seca da parte aérea (MSPA)(1), do sistema radicular (MSR) (2) e total (MST)(3), e índice de qualidade de Dickson (IQD) (4) de mudas de *Tabebuia roseoalba* aos 130 dias de cultivo utilizando substratos com proporções puras de bioossólido e composto orgânico (A), com 75% de bioossólido e composto orgânico (B), com 50% de bioossólido e composto orgânico (C), com misturas de três componentes (D) e substratos comerciais (E)



Bioossólido (B); Composto orgânico da Vide Verde (V); casca de arroz carbonizada (CA); biocarvão (BC); Carolina Soil® (CS); MecPlant® (MEC); tubete (T); biotoco (BT). Médias seguidas de letras diferentes diferem estatisticamente entre si pelo teste de médias de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Fonte: elaborado pela autora.

A produção de biomassa é considerada um dos indicadores mais confiáveis da resposta das mudas às condições de cultivo, por representar o resultado acumulado dos processos fisiológicos de absorção de água, nutrientes e fotossíntese ao longo do período de crescimento (Gomes e Paiva, 2011). Nesse sentido, o maior acúmulo de matéria seca observado nos tratamentos contendo composto orgânico e biocarvão evidencia a eficiência dessas formulações em sustentar o crescimento das mudas de *T. roseoalba*.

Resultados semelhantes foram observados por Kratz *et al.* (2013), que verificaram incremento na produção de biomassa de mudas florestais utilizando substratos formulados com resíduos renováveis, demonstrando que materiais alternativos podem substituir substratos convencionais sem prejuízo ao desenvolvimento das plantas. Da mesma forma, Delarmelina *et al.* (2014) relataram que resíduos orgânicos incorporados aos substratos favoreceram significativamente o crescimento e o acúmulo de matéria seca em espécies florestais nativas.

O elevado desempenho do tratamento 100B também merece destaque (Figura 2). Diversos estudos têm demonstrado o potencial do bio sólido como componente de substratos para produção de mudas florestais devido à elevada concentração de matéria orgânica e nutrientes essenciais ao crescimento vegetal (Caldeira *et al.*, 2012; Trigueiro e Guerrini, 2003). Os resultados obtidos corroboram essas observações e evidenciam que o bio sólido pode constituir uma alternativa viável para a produção de mudas de ipê-branco.

Outro aspecto relevante foi o desenvolvimento do sistema radicular nos tratamentos de maior desempenho. Segundo Carneiro (1995), a produção de raízes constitui um dos principais atributos relacionados ao estabelecimento das mudas em campo, uma vez que determina a capacidade de exploração do solo e a tolerância a condições adversas após o plantio. Assim, o maior acúmulo de biomassa radicular observado nos tratamentos contendo composto orgânico e biocarvão (Figura 2) pode representar vantagem competitiva para o estabelecimento inicial das mudas.

Destaca-se ainda que os tratamentos formulados com resíduos orgânicos não receberam fertilização mineral de base e de cobertura. Mesmo assim, apresentaram desempenho semelhante ou superior aos substratos comerciais fertilizados. Esse resultado reforça observações de Caldeira *et al.* (2013), que verificaram elevado potencial nutricional de resíduos orgânicos utilizados na produção de mudas florestais, contribuindo para reduzir a dependência de fertilizantes minerais e os custos de produção.

Os resultados do Índice de Qualidade de Dickson (IQD) confirmaram a superioridade dos tratamentos que apresentaram maior crescimento e acúmulo de biomassa, destacando-se o tratamento 50V_50BC, com valor aproximado de 0,71 (Figura 2). Segundo Dickson *et al.* (1960), o IQD é considerado um dos indicadores mais completos da qualidade de mudas, pois integra atributos relacionados à robustez, ao equilíbrio morfológico e à distribuição da biomassa entre parte aérea e raízes.

Além do tratamento 50V_50BC, os tratamentos 75V_25BC, 50B_50CA, 50B_50V e 100B apresentaram valores entre aproximadamente 0,53 e 0,59, demonstrando que diferentes combinações de resíduos orgânicos foram capazes de produzir mudas de elevada qualidade. Esses resultados são consistentes com aqueles observados por Gomes *et al.* (2002), que destacam que mudas com maiores valores de IQD apresentam maior potencial de sobrevivência e crescimento após o plantio.

A presença simultânea de tratamentos contendo bio sólido e composto orgânico entre os maiores IQDs indica que ambos os resíduos possuem potencial para a produção de mudas de qualidade. Resultados semelhantes foram relatados por Caldeira *et al.* (2012) e Abreu *et al.* (2017), que observaram valores elevados de IQD em mudas produzidas com substratos formulados a partir de resíduos orgânicos, atribuindo esse comportamento ao fornecimento gradual de nutrientes e às condições favoráveis ao desenvolvimento radicular.

O destaque do tratamento 50B_50CA também demonstra que a casca de arroz carbonizada pode desempenhar papel semelhante ao do biocarvão na obtenção de mudas de qualidade. Segundo Wendling *et al.* (2006), materiais com elevada estabilidade física e boa capacidade de aeração favorecem o crescimento radicular e contribuem para o equilíbrio morfológico das mudas, refletindo diretamente nos valores de IQD.

Considerando que o IQD é amplamente utilizado como indicador do desempenho potencial das mudas após o plantio (Hunt, 1990), os resultados obtidos reforçam o potencial dos substratos formulados com resíduos orgânicos para utilização em programas de restauração florestal, recuperação de áreas degradadas e arborização urbana, especialmente por aliar qualidade das mudas e aproveitamento sustentável de resíduos.

A comparação entre os tratamentos comerciais produzidos em Biotoco® e em tubetes de polipropileno demonstrou, de forma consistente, desempenho superior ou semelhante ao do recipiente biodegradável. Para a altura da parte aérea, produção de biomassa e Índice de Qualidade de Dickson (IQD), os tratamentos MEC_BT e CS_BT apresentaram resultados superiores aos respectivos tratamentos conduzidos em tubetes convencionais.

Além do crescimento e da qualidade das mudas, a estabilidade física dos recipientes constitui um aspecto importante a ser avaliado sob as condições ambientais de viveiro. Durante a condução do experimento em Seropédica, foram registradas precipitações intensas (Tabela 1), que comprometeram a integridade estrutural de parte dos recipientes Biotoco®, ocasionando rompimentos e degradação do material. Esse processo, frequentemente observado em recipientes biodegradáveis submetidos à elevada umidade, resultou na exposição parcial do sistema radicular e, em alguns casos, em danos às raízes. Apesar dessas alterações físicas, as mudas produzidas nos recipientes Biotoco® apresentaram desempenho semelhante ou superior ao observado nos tubetes plásticos em diversos tratamentos avaliados. Esses resultados sugerem que a estrutura e a composição do recipiente, associadas aos substratos utilizados, foram capazes de proporcionar condições adequadas para o crescimento das mudas de ipê-branco (*Tabebuia roseoalba*). Dessa forma, mesmo diante da degradação parcial observada, o Biotoco® demonstrou potencial para utilização na fase de viveiro, constituindo uma alternativa promissora aos recipientes plásticos convencionais.

Considerando que as diferenças entre os recipientes não podem ser explicadas apenas pelo volume de substrato disponibilizado, os resultados sugerem que características inerentes ao próprio Biotoco® possam ter contribuído para o desenvolvimento das mudas. Nesse contexto, estudos realizados na UFRRJ (Couto, 2023; Ferreira, 2025; Lima, 2024; Silva, 2020; Vieira, 2022) têm demonstrado o potencial de recipientes produzidos com resíduos orgânicos, especialmente aqueles contendo bagaço de malte, para a produção de mudas florestais, associando desempenho agrônomo satisfatório ao aproveitamento de resíduos agroindustriais.

Além dos resultados obtidos neste estudo, recipientes biodegradáveis vêm sendo apontados como alternativas promissoras aos recipientes plásticos convencionais, tanto pelo potencial de redução dos impactos ambientais quanto pela possibilidade de simplificar as operações de plantio (Dumroese *et al.*, 2011). Dessa forma, os resultados indicam que o Biotoco® apresenta potencial para utilização na produção de mudas de *Tabebuia roseoalba*, conciliando qualidade das mudas e sustentabilidade do sistema produtivo.

De modo geral, os resultados demonstraram que a composição do substrato exerce influência sobre o crescimento e a qualidade das mudas de *Tabebuia roseoalba*. As formulações contendo composto orgânico da Vide Verde associado ao biocarvão destacaram-se entre os tratamentos de melhor desempenho para altura, diâmetro do coleto, produção de biomassa e Índice de Qualidade de Dickson, evidenciando o potencial desses materiais para a produção de mudas florestais. O biossólido também apresentou resultados promissores, especialmente quando associado à casca de arroz carbonizada, demonstrando sua viabilidade como componente de substratos. Além disso, os resíduos orgânicos avaliados foram capazes de

produzir mudas de elevada qualidade mesmo na ausência de fertilização mineral complementar, reforçando seu potencial como fonte de nutrientes e como alternativa sustentável aos substratos convencionais. Por fim, o desempenho satisfatório do Biotoco® indica que recipientes biodegradáveis produzidos a partir de resíduos agroindustriais podem contribuir simultaneamente para a qualidade das mudas e para a sustentabilidade dos sistemas de produção florestal, representando uma estratégia promissora para viveiros destinados à restauração ecológica, recuperação de áreas degradadas e arborização urbana.

5. CONCLUSÕES

A composição dos substratos influenciou significativamente o crescimento e a qualidade das mudas de *Tabebuia roseoalba*, evidenciando a importância da escolha dos componentes do substrato para a produção da espécie.

As formulações contendo composto orgânico da Vide Verde associado ao biocarvão, especialmente os tratamentos 75V_25BC e 50V_50BC, proporcionaram os melhores resultados para altura, diâmetro do coleto, produção de biomassa e Índice de Qualidade de Dickson.

O biossólido apresentou potencial para utilização na produção de mudas de *T. roseoalba*, destacando-se quando associado à casca de arroz carbonizada e apresentando desempenho compatível com os melhores tratamentos para algumas das variáveis avaliadas.

Os substratos formulados com resíduos orgânicos produziram mudas de qualidade igual ou superior àquelas obtidas nos substratos comerciais, mesmo sem a utilização de fertilização mineral complementar.

O recipiente biodegradável Biotoco® apresentou desempenho superior ou semelhante ao dos tubetes de polipropileno para a maioria das variáveis avaliadas, evidenciando seu potencial para a produção de mudas de *T. roseoalba*. Contudo, a ocorrência de degradação parcial dos recipientes em condições de elevada umidade sugere a necessidade de aperfeiçoamentos ou avaliações complementares quanto à sua estabilidade física durante a fase de viveiro.

A utilização conjunta de recipientes biodegradáveis e substratos formulados com resíduos orgânicos constitui uma alternativa tecnicamente viável e ambientalmente promissora para a produção de mudas de ipê-branco.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBADE, L. C.; TAKAKI, M. Teste de germinação de sementes de *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith submetidas a diferentes condições de armazenamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 313-320, 2014.
- ABREU, A. H. M. **Biossólido na produção de mudas florestais da Mata Atlântica**. 2014. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.
- ABREU, A. H. M.; ALONSO, J. M.; MELO, L. A. D.; LELES, P. S. D. S.; SANTOS, G. R. D. Caracterização de biossólido e potencial de uso na produção de mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 3, p. 591-599, 2019.
- ABREU, A. H. M.; MARZOLA, L. B.; MELO, L. A. D.; LELES, P. S. D. S.; ABEL, E. L.; ALONSO, J. M. Resíduos sólidos urbanos na produção de mudas de *Lafoensia pacari*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 2, p. 83-87, 2017.

ABREU, M. J. I. **Compostagem e vermicompostagem de resíduos orgânicos: fundamentos e aplicações**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2017.

ALMEIDA, D. S. Produção de sementes e mudas florestais. In: **Recuperação ambiental da Mata Atlântica**. 3. ed. rev. e ampl. Ilhéus: Editus, 2016. cap. 12, p. 170-182.

ARANTES, G. C. A.; SILVA, S. C. D.; DUTRA, R. C.; DRUMMOND, A. L.; GHESTI, G. F. Utilização do bagaço de malte para preparação de bioplásticos: Uma proposta de economia circular ao setor cervejeiro. **Química Nova**, Brasília, v. 47, n. 1, e-20240023, p.1-6, 2024.

ASSENHEIMER, A. Benefícios do uso de biossólidos como substratos na produção de mudas de espécies florestais. **Ambiência**, Paraná, v. 5, n. 2, p. 321-330, 2009.

BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C.; MONTANARI, R. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 4, p. 310-317, 2015.

BOVI, M. L. A.; GODOY JUNIOR, G.; MALDONADO, C.A. B. Lodo de esgoto e produção de palmito em pupunheira. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 31, p.153-166, 2007.

BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Agritempo**: Sistema de Monitoramento Agrometeorológico. Campinas: Embrapa Agricultura Digital, 2026. Disponível em: <https://www.agritempo.gov.br/>. Acesso em: 18 jun. 2026.

BRASIL. **Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Anuário da Cerveja 2025**: ano referência 2024. Brasília, DF: MAPA/Secretaria de Defesa Agropecuária, 2025. 68 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Portaria MMA n.º 148, de 7 de junho de 2022. **Lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção**. Brasília, DF: MMA, 2022a.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Planares**. Coordenação de André Luiz Felisberto França et al. Brasília, DF: MMA, 2022b. 209 p. Disponível em: <https://portal-api.sinir.gov.br/wp-content/uploads/2022/07/Planares-B.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2026.

CALDEIRA, M. V.; DELARMELINA, W. M.; PERONI, L.; GONÇALVES, E. O.; SILVA, A. G. Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 155-163, 2013.

CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; LÜBE, S. G.; GOMES, D. R.; GONÇALVES, E. O.; ALVES, A. F. Biossólido na composição de substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis*. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 77-84, 2012.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná / Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1995. 451 p.

CARNEIRO, R. S. A.; VIEIRA, C. R. Produção de mudas de espécies florestais em substrato contendo esterco de aves ou esterco bovino. **Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, Londrina, v. 24, n. 4, p. 386-395, 2020.

COSTA, E.; DIAS, J. G.; LOPES, K. G.; BINOTTI, F. F. S.; CARDOSO, E. D. Telas de sombreamento e substratos na produção de mudas de *Dipteryx alata* Vog. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 22, n. 3, p. 416-425, 2015.

- COUTO, L. D. S. **Biossólido e Fertilurb como substrato para produção de mudas de espécies florestais**. 2023. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2023.
- CRUZ, C. A. F. e; PAIVA, H. N. de; GOMES, K. C. de O.; GUERRERO, C. R. A. Efeito de diferentes níveis de saturação por bases no desenvolvimento e qualidade de mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standley). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 66, p. 100-107, 2004.
- CUNHA, A. O.; ANDRADE, L. A.; BRUNO, R. L. A.; SILVA, J. A. L.; SOUZA, V. C. E. Efeitos de substratos e das dimensões dos recipientes na qualidade das mudas de *Tabebuia impetiginosa* (Mart. ex DC.) Standl. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 507-516, 2005.
- DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W.; FARIA, J. C. T.; GONÇALVES, E. O.; ROCHA, F. L. F. Diferentes substratos para a produção de mudas de *Sesbania virgata*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 2, p. 224-233, 2014.
- DIAS, B. A. S. **Análise comparativa de tubetes biodegradáveis e de polietileno na produção de mudas de *Paratecoma peroba* (Record & Mell) Kuhl.** 2011. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.
- DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, Mattawa, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.
- DUMROESE, R. K.; LANDIS, T. D.; PINTO, J. R.; HAEN, K. M.; WILKINSON, K. M.; DAVIS, A. S. Meeting forest restoration challenges: using biodegradable containers. **Native Plants Journal**, Madison, v. 12, n. 1, p. 5-17, 2011.
- DURIGAN, G.; MELO, A. C. G.; MAX, J. C. M.; VILAS BÔAS, O.; CONTIERI, W. A.; RAMOS, V. S. **Manual para recuperação da vegetação de Cerrado**. São Paulo: SMA/IF, 2011.
- DUTRA, T. R.; MASSAD, M. D.; SARMENTO, M. F. Q.; MATOS, P.; OLIVEIRA, J. C. Fertilizante de liberação lenta no crescimento e qualidade de mudas de canafístula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.). **Floresta**, Curitiba, v. 46, n. 4, p. 491-498, 2016.
- FARIA, J. C. T.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; ROCHA, R. L. F. Substratos alternativos na produção de mudas de *Mimosa setosa* Benth. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 4, p. 1075-1086, 2016.
- FERES, J. M.; SEBBENN, A. M.; GUIDUGLI, M. C.; MESTRINER, M. A.; MORAES, M. L. T.; ALZATE-MARIN, A. L. Mating system parameters at hierarchical levels of fruits, individuals and populations in the Brazilian insect-pollinated tropical tree *Tabebuia roseoalba* (Bignoniaceae). **Conservation Genetics**, Dordrecht, v. 13, n. 2, p. 393-405, 2012.
- FERMINO, M. H. **Métodos de análise para caracterização física de substratos para plantas**. 2003. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- FERMINO, M. H. **Substratos: composição, caracterização e métodos de análise**. Porto Alegre: Gênese, 2014. 111 p.
- FERRAZ, M. V. **Avaliação de tubetes biodegradáveis para a produção de petúnia-comum (*Petunia × hybrida*)**. 2006. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

- FERREIRA, A. C. C. **Comportamento de espécies arbóreas produzidas em recipiente à base de resíduo de malte**. 2025. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2025.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Brazilian Journal of Biometrics**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.
- GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; BARROS, N. F. Parâmetros morfológicos na avaliação de qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.
- GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização NPK. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 113-127, 2003.
- GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais: propagação sexuada**. 3. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011. 116 p.
- GONÇALVES, J. L. M.; POGGIANI, F. Substratos para produção de mudas florestais. In: **Congresso latino-americano de ciência do solo**, 13., 1996, Águas de Lindóia. Anais... Piracicaba: Sociedade Latino-Americana de Ciência do Solo, 1996.
- GONÇALVES, J. L. M.; SANTARELLI, E. G.; MORAES NETO, S. P.; MANARA, M. P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 309-350.
- GUERRA, M. S.; BARBOSA, M. S.; COSTA, E.; VIEIRA, G. H. C. Recipiente biodegradável e substratos para mudas de maracujazeiro. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 4, n. 3, p. 50-54, 2017.
- GÜLCÜ, S.; GÜLTEKIN, H. C.; ÇELİK, S.; ESER, Y.; GÜRLEVIK, N. The effects of different pot length and growing media on seedling quality of *Juniperus excelsa* Bieb. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v. 9, n. 14, p. 2101-2107, 2010.
- GURAGAIN, Y. N.; SCOTT, J.; WILLIAMS, K. Biodegradable containers in nursery production systems. **HortTechnology**, Alexandria, v. 25, n. 3, p. 325-330, 2015.
- HE, L. L.; ZHONG, Z. K.; YANG, H. M. Effects on soil quality of biochar and straw amendment in conjunction with chemical fertilizers. **Journal of integrative agriculture**, Beijing, v. 16, n. 3, p. 704-712, 2017.
- HUNT, G. A. Effect of styroblock design and cooper treatment on morphology of conifer seedlings. In: ROSE, R.; CAMPBELL, S. J.; LANDIS, T. D. (ed.). Target seedling symposium: **Proceedings, combined meeting of the Western Forest Nursery Associations**. Fort Collins: USDA Forest Service, 1990. p. 218-222.
- IATAURO, R. A. **Avaliação energética da substituição de tubetes de plástico por tubetes biodegradáveis na produção de mudas de aroeira-Schinus terebinthifolius Raddi**. 2004. Tese (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.
- KELLER, L.; LELES, P. S. D. S.; OLIVEIRA NETO, S. N. D.; COUTINHO, R. P.; NASCIMENTO, D. F. D. Sistema de blocos prensados para produção de mudas de três espécies arbóreas nativas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 305-314, 2009.
- KRATZ, D.; WENDLING, I.; PIRES, P. P. Miniestaquia de *Eucalyptus benthamii* x *E. dunnii* em substratos a base de casca de arroz carbonizada. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 96, p. 547-556, 2012.

- KRATZ, D.; WENDLING, I.; PIRES, P. P.; SOUZA JÚNIOR, L. Substratos renováveis na produção de mudas florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 84, p. 299-310, 2015.
- KRATZ, D.; WENDLING, I.; PIRES, P. P.; SOUZA, P. V. D. Utilização de resíduos renováveis como componentes de substratos para produção de mudas florestais. *Floresta*, Curitiba, v. 43, n. 3, p. 507-516, 2013.
- LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: science, technology and implementation**. 2. ed. London: Routledge, 2015. 944 p.
- LIMA, A. M. D. S. **Uso de recipiente de bagaço de malte na produção de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong com doses crescentes de fertilização**. 2024. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2024.
- LIMA, S. L.; MARIMON JUNIOR, B. H.; MELO-SANTOS, K. D. S.; REIS, S. M.; PETTER, F. A.; VILAR, C. C.; MARIMON, B. S. Biochar in the management of nitrogen and phosphorus to produce angico seedlings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 2, p. 120-131, 2016.
- LINHARES JÚNIOR, M. M. **Produção de recipientes biodegradáveis à base de resíduos agroindustriais para mudas florestais**. 2016. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2016.
- LIU, C.; WANG, H.; KARIM, A. M.; SUN, J.; WANG, Y. LIU. Catalytic fast pyrolysis of lignocellulosic biomass. **Chemical Society Reviews**, Cambridge, v. 43, n. 22, p. 7594-7623, 2014.
- LOHMANN, L. G. **Tabebuia in Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Available at: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB114338>>. [consulta publica uc citacao acesso em](#) 18 mai.2026.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. v. 1. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 352 p.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 5. ed. Nova Odessa: Plantarum, 2008. v. 1.
- MARCUZZO, S. B.; ARAÚJO, M. M.; GASPARIN, E. Plantio de espécies nativas para restauração de áreas em unidades de conservação: um estudo de caso no sul do Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 45, n. 1, p. 129-140, 2015.
- MARINHO, P. H. A.; DE SOUSA, R. M.; GIONGO, M.; VIOLA, M. R.; DE SOUZA, P. B. Influence of different substrates on seedling production in the flamboyant *Delonix regia* (Bojer ex Hook) Raf. **Revista Agroambiente**, Boa Vista, v.11, n.1, p. 40-46, 2017.
- MELO, L. A. **Utilização de biocarvão na produção de mudas florestais**. 2019. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2019.
- MENDONÇA, V. M. M.; MOMOLLI, D. R.; ABREU, A. H. M. de; RIBEIRO, J. C.; CALDEIRA, M. V. W.; ALONSO, J. M.; MACHADO, D. L.; SANTOS, G. L. dos; SOUZA, H. N. de; ZONTA, E.; PEREIRA, M. G. Drill cuttings from oil exploration improve properties of substrate and growth of Ipê-branco (*Tabebuia roseoalba*) seedlings. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 48, p., 2024.

MOREIRA, E. J. C.; MELO, L. A.; TEIXEIRA, L. A. F. Utilização de tubetes biodegradáveis na produção de mudas de espécies florestais nativas. In: REUNIÃO REGIONAL DA SBPC EM LAVRAS/MG, 2010, Lavras. **Anais [...]**. Lavras: SBPC, 2010.

MÜLLER, D. H. **Características de adubos orgânicos, efeitos no solo e no desempenho da bananeira**. 2012. Tese (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

MUÑOZ FLORES, H.J.; MAGAÑA, J.J.G.; ÁVALOS, V.M.C.; GUTIÉRREZ, G.O.; VEGA, Y.Y.M. Características morfológicas de plántulas de dos especies forestales tropicales propagadas en contenedores biodegradables y charolas styroblock. **Revista mexicana de ciencias forestales**, México, v. 2, n. 8, p. 21-34, 2011.

MUSSATTO, S. I.; DRAGONE, G.; ROBERTO, I. C. Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications. **Journal of Cereal Science**, London, v. 43, n. 1, p. 1-14, 2006.

OLIVEIRA, D. P. F.; RUIZ, A. M. M.; BROETTO, F.; ZABOTTO, A. R.; KÜHN, I. E.; ANDRADE, T. C. O.; MACHUCA, L. M. R. Lodo de esgoto: Uso do lodo de esgoto em plantas. in: RAMOS, E. G.; ZUÑIGA, E. A.; MACHUCA, L. M. **Estresse das plantas cultivadas & protocolos de análise**. Botucatu, Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 2018. p. 51-58.

OLIVEIRA JÚNIOR; J. F., DELGADO; R. C., GOIS, G.; LANNES, A.; DIAS, F. O. SOUZA; J. C.; SOUZA, M. Análise da precipitação e sua relação com sistemas meteorológicos em Seropédica, Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 2, p. 140-149, 2014.

OLIVEIRA, L. R. **Lodo de esgoto na composição de substrato para produção de mudas de *Peltophorum dubium* Benth., para arborização urbana**. 2023. 26 f. Monografia (Especialização em Arborização Urbana) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2023.

OWSTON, P. W. Container seedling production systems in tropical forest nurseries. **Tree Planters' Notes**, Washington, v. 41, n. 2, p. 3-8, 1990.

PAULA, Y. L. D. **Tubetes biodegradáveis a base de cera de abelha e resíduos da castanha-de-caju**. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba, 2022.

PETTER, F. A.; MADARI, B. E.; SILVA, M. A. S.; CARVALHO, M. T. M.; MARIMON JÚNIOR, B. H.; PACHECO, L. P. Fertilidade do solo e produtividade do arroz de terras altas no Cerrado após aplicação de "biochar". **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, p. 699-706, 2012.

PINTO, V. V. F.; BUENO, M. M.; ANTUNES, L. F. D. S.; ALONSO, J. M.; ABAURRE, G. W. Crescimento de mudas de *Poincianella pluviosa* (DC.) LP Queiroz em diferentes substratos e lâminas de irrigação. **Madera y bosques**, México, v. 27, n. 1, p. 1-12, 2021.

PIMENTA, A. S.; OLIVEIRA MIRANDA, D. N.; CARVALHO, D. M. A. B.; SILVA, D. G. G. C.; OLIVEIRA, E. M. M. Effects of biochar addition on chemical properties of a sandy soil from northeast Brazil. **Arabian Journal of Geosciences**, Heidelberg, v. 12, n. 3, p. 70, 2019.

POGGIANI, F.; GUEDES, M. C.; BENEDETTI, V.; POGGIANI, F.; GUEDES, M. C.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais: I. reflexo no ciclo dos nutrientes. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariuna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 163-178.

- RECH, K. P. M.; ZORZAN, V. **Aproveitamento de resíduos da indústria cervejeira na elaboração de cupcake**. 2017. Monografia (Tecnologia em Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2017.
- RODRIGUES, A. B. M.; GIULIATTI, N. M.; PEREIRA JÚNIOR, A. Aplicação de metodologias de recuperação de áreas degradadas nos biomas brasileiros. **Brazilian Applied Science Review**, Curitiba, v. 4, n. 1, p. 333-369, 2020.
- RODRIGUES, R. R.; LIMA, R. A. F.; GANDOLFI, S.; NAVE, A. G. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation**, Barking, v. 142, n. 6, p. 1242-1251, 2009.
- RODRIGUES, J. C. W.; CAMPOS, M. C. C.; BERGAMIN, A. C.; SILVA, M. D. N. D.; LIMA, R. A.; SANTOS, R. D. A importância da produção de mudas de essências florestais na região Amazônica: uma revisão sistemática. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, Ariquemes, v. 14, n. 1, p. 10-24, 2023.
- SAIDELLES, F. L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; SCHIRMER, W. N.; SPERANDIO, H. V. Casca de arroz carbonizada como substrato para produção de mudas de tamboril-da-mata e garapeira. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 4, supl. 1, p. 1173-1186, 2009.
- SANTANA, J. A. S.; COSTA, T. L. N.; SILVA, B. R. F.; BARBOSA JUNIOR, V. C.; COSTA, M. P.; CANTO, J. L. Utilização de recipientes biodegradáveis de bambu no desenvolvimento de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 9, p. 15912-15921, 2019.
- SANTIAGO, P. P. **Aproveitamento do bagaço de malte como fonte de bioativos utilizando solvente eutético profundo integrado a ultrassom**. 2023. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.
- SANTOS, F. E.; KUNZ, S. H.; CALDEIRA, M. V. W.; AZEVEDO, C. H. S.; RANGEL, O. J. P. Características químicas de substratos formulados com lodo de esgoto para produção de mudas florestais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 9, p. 971-979, 2014.
- SANTOS, F. E. V.; LUCHESE, A. V.; LENHARD, N. R.; GONÇALVES, M. C. Qualidade de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan produzidas em diferentes substratos com lodo de esgoto e casca de arroz. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria, v. 1, n. 3, p. 55-62, 2013.
- SARAIVA, B. R.; AGUSTINHO, B. C.; VITAL, A. C. P.; STAUB, L.; MATUMOTO-PINTRO, P. T. Effect of brewing waste (malt bagasse) addition on the physicochemical properties of hamburgers. **Journal of Food Processing and Preservation**, Hoboken, v. 43, n. 10, p. e14135, 2019.
- SARTORI, V. C.; RIBEIRO, R. T. S.; PAULETTI, G. F.; PANSERA, M. R.; RUPP, L. C. D.; VENTURIN, L. **Cartilha para agricultores (compostagem)**: produção de fertilizantes a partir de resíduos orgânicos. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, 2012. 16 p.
- SCHUTYSER, W.; RENDERS, T.; VAN DEN BOSCH, S.; KOELEWIJN, S. F.; BECKHAM, G. T.; SELS, B. F. Chemicals from lignin: an interplay of lignocellulose fractionation, depolymerisation, and upgrading. **Chemical Society Reviews**, Cambridge, v. 47, n. 3, p. 852-908, 2018.
- SEDIYAMA, M. A. N.; SANTOS, I. C. dos; LIMA, P. C. de. Cultivo de hortaliças no sistema orgânico. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. supl., p. 829-837, 2014.

- SILVA, A. C. R. **Desenvolvimento e avaliação de recipientes biodegradáveis para produção de mudas florestais**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2020.
- SILVA, O. M. C.; ALMEIDA, R. S.; EVANGELISTA, D. V. P.; MONTEIRO, E. C. Uso alternativo do bio sólido como constituinte de substrato para produção de mudas de espécies florestais: uma revisão sistemática. **Editora Científica Digital**, São Paulo, v. 1, p. 264-273, 2022.
- SILVA, R. B. G.; SIMÕES, D.; SILVA, M. R. Qualidade de mudas clonais de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em função do substrato. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 3, p. 297-302, 2012.
- SIQUEIRA, E. S. **Uso de biochar na composição de substratos para produção de mudas de espécies florestais**. 2022. 64 f. Tese (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Agrícola de Jundiá, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba, 2022.
- SONG, X. D.; XUE, X. Y.; CHEN, D. Z.; HE, P. J.; DAI, X. H. Application of biochar from sewage sludge to plant cultivation: Influence of pyrolysis temperature and biochar-to-soil ratio on yield and heavy metal accumulation. **Chemosphere**, Oxford, v. 109, p. 213-220, 2014.
- TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. Concentração e quantidade de nutrientes em mudas de teca produzidas em substratos orgânicos. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 19-31, 2014.
- TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; REIS, E. F.; SILVA, A. G. Produção de mudas florestais em substratos renováveis. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 2, p. 289-300, 2013.
- TRAZZI, P. A.; HIGA, A. R.; DIECKOW, J.; MANGRICH, A. S.; HIGA, R. C. V. Biocarvão: realidade e potencial de uso no meio florestal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 875-887, 2018.
- TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. Uso de bio sólido como substrato para produção de mudas de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 150-162, dez. 2003.
- USMAN, K.; KHAN, S.; GHULAM, S.; KHAN, M. U.; KHAN, N.; KHAN, M. A.; KHALIL, S. K. Sewage sludge: an important biological resource for sustainable agriculture and its environmental implications. **American Journal of Plant Sciences**, Irvine, v. 3, n. 12, p. 1708-1721, 2012.
- VIDEVERDE. **Composto Orgânico: a reciclagem de nutrientes**. Rio de Janeiro: VideVerde, 2024. Disponível em: <https://videverde.com.br/>. Acesso em: 10 jun. 2026.
- VIÉGAS, L. B. **Viabilidade do recipiente biodegradável na produção de mudas florestais nativas**. 2015. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.
- VIEIRA, M. R. **Uso de recipientes de resíduos orgânicos na produção de mudas de *Libidibia ferrea* Mart. ex. Tul.** 2022. Tese (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2022.
- WAGNER JÚNIOR, A.; COUTO, M.; QUEZADA, A. Efeito de diferentes substratos durante a aclimatização de plantas micropropagadas do porta-enxerto mirabolano 29C (*Prunus cerasifera* Ehrh.) em casa de vegetação. **Current Agricultural Science and Technology**, Pelotas, v. 9, n. 2, p. 125-128, 2003.
- WENDLING, I.; DUTRA, L. F.; GROSSI, F. **Produção de mudas de espécies lenhosas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 56 p.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F. **Produção de mudas de eucalipto por sementes**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. cap. 1, p. 13-47.

WENDLING, I.; GUASTALA, D.; DEDECEK, R. A. Características físicas e químicas de substratos para produção de mudas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 209-220, 2007.

ZABOTTO, A. R.; COSTA, C. S.; JOCA, T. A. C.; BROETTO, F. Contextualização econômica e ambiental da silvicultura brasileira de florestas plantadas. In: ZABOTTO, A. R. (org.). **Estudos sobre impactos ambientais: uma abordagem contemporânea**. Botucatu: FEPAF, 2019. p. 187-197.

ZABOTTO, A. R.; SANTOS, P. L. F.; BROETTO, F.; GUERINI, I. A. Uso do lodo de esgoto na composição de substrato para produção de mudas de espécies arbóreas brasileiras. **Revista Geociências - UNG-Ser**, Guarulhos, v. 21, n. 1, p. 50-63, 2022.

ZUNTINI, A. R.; LOHMANN, L. G. *Tabebuia roseoalba* (Ipê-branco). In: VIEIRA, R. F.; CAMILLO, J.; CORADIN, L. (ed.). **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Centro-Oeste**. Brasília, DF: MMA, 2016. p. 1071-1077.