

CAPÍTULO 5

Uso de resíduos orgânicos na formulação de substratos para a produção de mudas de espécies florestais nativas da Mata Atlântica

Gabriel Souza Mendonça, Rony Mendes Rodrigues, Sara de Oliveira Olimpio, Ana Terra Bravim dos Santos, Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira, Willian Moreira da Costa, Atanásio Alves do Amaral, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-45-9.c5>

Resumo

A restauração ecológica da Mata Atlântica, um dos biomas mais biodiversos e ameaçados do mundo, demanda estratégias eficientes e sustentáveis para a recomposição da vegetação nativa. Nesse contexto, a produção de mudas de espécies florestais constitui etapa essencial para o sucesso das ações de recuperação. Assim, este estudo teve como objetivo analisar o uso de resíduos orgânicos na formulação de substratos para produção de mudas nativas, considerando aspectos técnicos, microbiológicos e sua aplicação em viveiros, com ênfase em iniciativas comunitárias. A pesquisa se baseou na revisão de literatura científica recente, especialmente de estudos desenvolvidos no Brasil, que abordam as propriedades físicas, químicas e biológicas de substratos alternativos e seus efeitos no desenvolvimento de mudas. Os resultados indicam que resíduos, tais como: casca de café, fibra de coco, casca de arroz carbonizada e bagaço de cana-de-açúcar, apresentam elevado potencial como componentes de substratos, contribuindo para melhorias na estrutura física, retenção de água e disponibilidade de nutrientes. A incorporação desses materiais, entre 30% e 40%, favorece o crescimento vegetal e o desenvolvimento radicular, além de estimular a atividade microbiológica e aumentar a resistência das plantas ao estresse. Seu uso também reduz custos de produção e fortalece viveiros comunitários, configurando-se como alternativa viável e sustentável.

Palavras-chave: Viveiros florestais. Substratos alternativos. Reaproveitamento de resíduos. Microbiota do solo. Crescimento radicular. Sustentabilidade agrícola.

1. Introdução

O avanço da degradação ambiental no território brasileiro, intensificado por processos históricos de uso inadequado do solo, fragmentação florestal e expansão agropecuária, tem imposto desafios significativos às políticas públicas de restauração ecológica. Nesse contexto, destaca-se a necessidade de recomposição de Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Reservas Legais (RLs), especialmente em biomas altamente impactados. A Mata Atlântica, em particular, caracteriza-se por elevados níveis de biodiversidade associados a intensos graus de degradação e fragmentação, o que reforça a urgência de intervenções fundamentadas em princípios ecológicos consistentes (Almeida *et al.*, 2021; Egidio; Souza, 2025).

Diante desse cenário, a produção de mudas de espécies florestais nativas assume papel estratégico nas iniciativas de recuperação, não apenas para a recomposição da cobertura vegetal, mas também para a promoção da resiliência ecológica e da funcionalidade dos ecossistemas restaurados (Rezende *et al.*, 2018; Fonseca *et al.*, 2021). A qualidade dessas mudas está diretamente relacionada a fatores técnicos e operacionais, entre os quais se destaca a composição do substrato.

O substrato deve proporcionar condições adequadas para a germinação, o desenvolvimento do sistema radicular, a nutrição e o crescimento vegetativo das plantas até a fase de rustificação (Rosa *et al.*, 2023). Sob o ponto de vista técnico, materiais utilizados como substrato devem apresentar equilíbrio entre propriedades físicas, químicas e biológicas, incluindo densidade aparente adequada, elevada porosidade total (idealmente entre 50% e 85%), boa capacidade de retenção hídrica, aeração eficiente, capacidade de troca de cátions (CTC) e pH compatível com as exigências das espécies cultivadas (Oliveira *et al.*, 2016; Ferreira *et al.*, 2019).

Tradicionalmente, viveiros comerciais utilizam substratos formulados com terra vegetal, vermiculita, perlita, casca de pinus e, frequentemente, turfa importada. No entanto, a extração da turfa está associada a impactos ambientais negativos significativos, além de elevar os custos de produção, o que limita sua adoção, sobretudo em viveiros de pequeno porte e em iniciativas comunitárias

(Camargo *et al.*, 2021). Esse cenário evidencia a necessidade de alternativas mais sustentáveis e economicamente viáveis.

Nesse sentido, o aproveitamento de resíduos orgânicos de origem agrícola, agroindustrial e urbana tem se destacado como uma estratégia promissora. Materiais como casca de café, casca e palha de arroz, fibra de coco, bagaço de cana-de-açúcar, esterco animal, compostos orgânicos e lodo de esgoto tratado apresentam características físico-químicas que favorecem o desenvolvimento de mudas, sendo cada vez mais investigados como componentes de substratos (Arruda *et al.*, 2017; Alonso *et al.*, 2022).

A Figura 1 apresenta, em um estudo realizado no IFES/UFES, o desempenho da emergência de plântulas de ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha*) em função da substituição parcial do substrato comercial por palha de café. Observa-se que a incorporação desse resíduo agrícola em proporções de até 20% resultou em aumento no número de plântulas emergidas, indicando efeito positivo sobre a germinação.

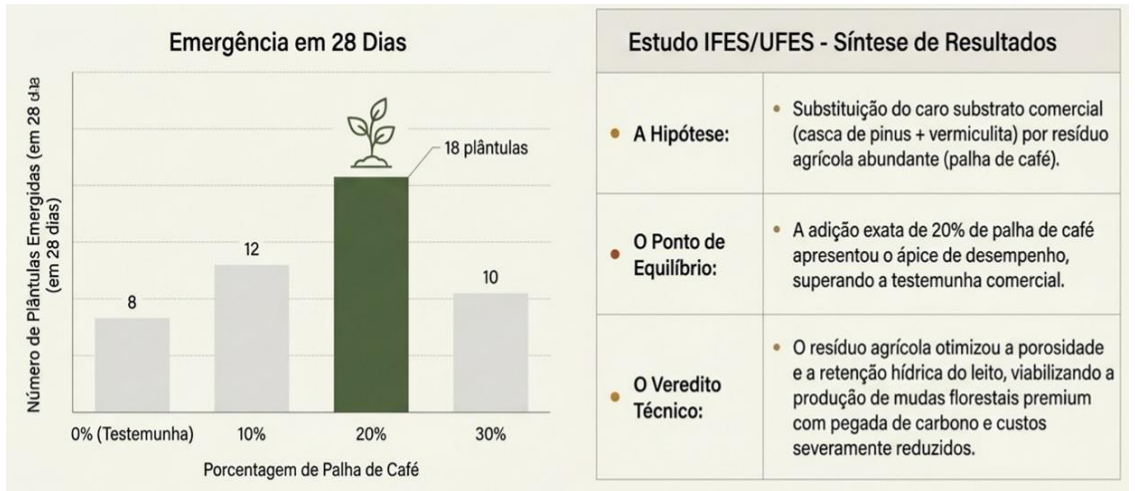


Figura 1. Desempenho da emergência do Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha*) em substituição ao substrato comercial. Fonte: elaborada por Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (NotebookLM).

Esse desempenho pode ser atribuído, sobretudo, à melhoria das propriedades físicas do substrato, especialmente ao aumento da porosidade e à melhor distribuição dos espaços porosos, o que favorece simultaneamente a retenção de água e a aeração. Essas condições são fundamentais para o

processo germinativo, pois garantem disponibilidade hídrica adequada e oxigenação do embrião, promovendo um ambiente mais favorável ao desenvolvimento inicial das plântulas (Souza, 2025).

Além disso, a adição de palha de café pode contribuir para o incremento da matéria orgânica e da atividade microbiológica do substrato, criando condições mais equilibradas para o estabelecimento inicial das plantas. No entanto, proporções superiores podem comprometer o desempenho, possivelmente em função de alterações na relação C/N ou da presença de compostos fitotóxicos, reforçando a importância do manejo adequado e da definição de proporções ideais de uso (Alonso *et al.*, 2022; Souza, 2025).

A valorização desses resíduos contribui não apenas para a redução dos custos de produção, mas também para a mitigação de impactos ambientais associados ao seu descarte inadequado (Figura 2). Assim, ao integrar eficiência técnica, viabilidade econômica e sustentabilidade ambiental, o uso de resíduos orgânicos na formulação de substratos configura-se como uma alternativa relevante para viveiros florestais e programas de restauração ecológica no Brasil (Souza, 2025).

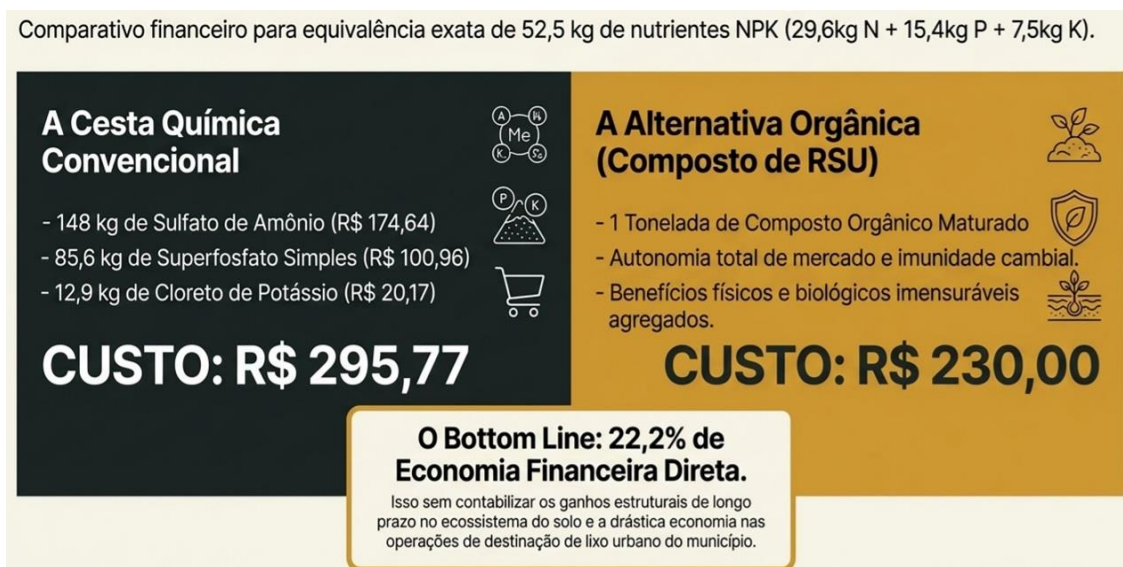


Figura 2. Análise de Desempenho Econômico entre Sistemas Convencionais e Orgânicos. Fonte: elaborada por Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (NotebookLM).

Diante desse contexto, o presente capítulo tem como objetivo analisar criticamente o uso de resíduos orgânicos na formulação de substratos para a produção de mudas de espécies florestais nativas da Mata Atlântica, abordando aspectos técnicos, ambientais e socioeconômicos, bem como suas implicações para a sustentabilidade de sistemas de restauração ecológica.

2. A importância da produção de mudas nativas e do substrato

A produção de mudas de espécies nativas constitui um elo fundamental entre as diretrizes das políticas públicas de restauração ecológica e a efetiva recuperação dos ecossistemas degradados. A qualidade das mudas é determinante para o sucesso do estabelecimento em campo, influenciando diretamente a sobrevivência inicial, o crescimento e a estabilidade das espécies em áreas submetidas a diferentes níveis de degradação ambiental (Fonseca *et al.*, 2021).

O uso de espécies nativas, por sua vez, favorece a manutenção da biodiversidade e a recomposição das funções ecossistêmicas, além de contribuir para o aumento da resiliência dos sistemas restaurados frente às mudanças climáticas e a eventos extremos (Chazdon *et al.*, 2020; Souza, 2025). Além disso, essas espécies apresentam maior adaptação às condições edafoclimáticas locais, o que potencializa o estabelecimento inicial e reduz a dependência de insumos externos, em consonância com os princípios da agroecologia e da restauração baseada na natureza (Rezende *et al.*, 2018).

Nesse contexto, a escolha e o manejo do substrato assumem papel central no processo produtivo. O substrato influencia diretamente a qualidade morfofisiológica das mudas, refletindo-se no vigor, na relação parte aérea/raiz e no acúmulo de biomassa (Ferreira *et al.*, 2019). Propriedades como textura, porosidade, capacidade de retenção hídrica e capacidade de troca de cátions (CTC) são atributos essenciais a serem considerados na sua formulação.

Os atributos que definem o sucesso de um substrato orgânico estão diretamente relacionados à integração equilibrada de suas propriedades físicas, hídricas e biológicas. Do ponto de vista técnico, a adequada definição e o

equilíbrio desses parâmetros são indispensáveis para garantir o desempenho dos substratos na produção de mudas florestais.

Além disso, a atividade microbiológica desempenha papel estratégico na mineralização de nutrientes e na promoção do crescimento vegetal, contribuindo para o desenvolvimento radicular mais eficiente. A estabilidade estrutural do substrato ao longo do tempo também é um fator crítico, pois evita a compactação e assegura a manutenção da aeração e da drenagem adequadas. Outro aspecto relevante refere-se à origem dos materiais utilizados, sendo preferível o uso de resíduos orgânicos locais, o que reduz custos, agrega valor ambiental e fortalece práticas alinhadas à sustentabilidade. Por fim, a adequação do substrato às exigências específicas de cada espécie florestal reforça a necessidade de ajustes técnicos finos, visando maximizar o desempenho das mudas em campo (Figura 3).

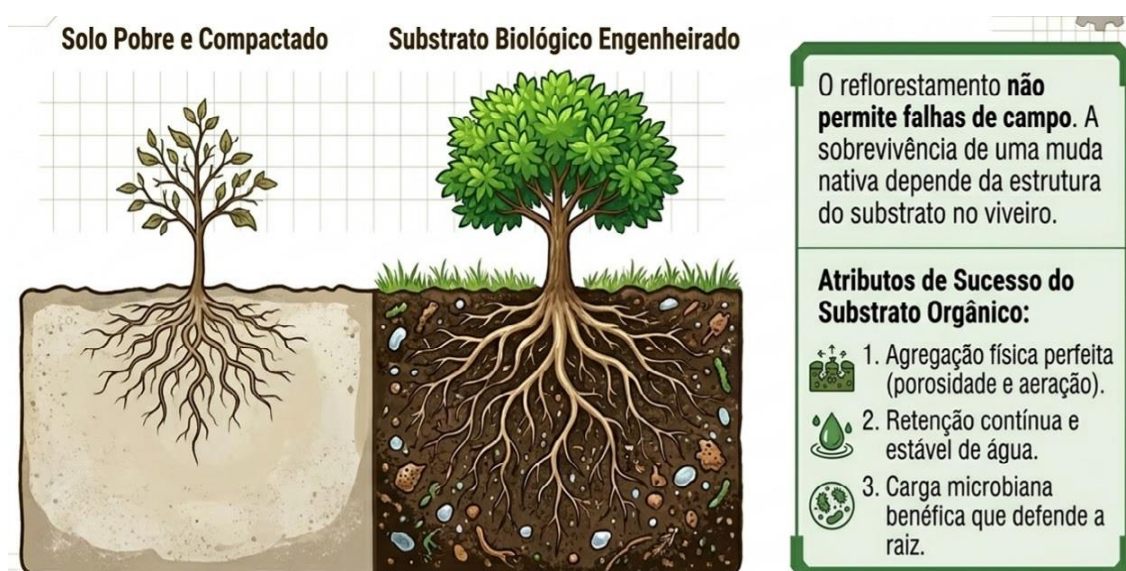


Figura 3. Mudas de alta *performance* como vetores de regeneração ecossistêmica. Fonte: elaborada por Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (NotebookLM).

A sinergia entre propriedades físicas, químicas e biológicas determina a qualidade final do substrato e, consequentemente, o vigor das mudas produzidas. Nesse sentido, a Tabela 1 apresenta valores de referência para atributos físicos e químicos considerados ideais, servindo como base para a formulação e avaliação de materiais alternativos, bem como para o ajuste de

misturas que atendam às exigências das diferentes espécies nativas (Fragoso *et al.*, 2016; Ferreira *et al.*, 2019).

Os atributos que definem o sucesso de um substrato orgânico estão diretamente relacionados à integração equilibrada de suas propriedades físicas, hídricas e biológicas. Do ponto de vista físico, destaca-se a adequada agregação estrutural, responsável por garantir níveis ideais de porosidade e aeração, favorecendo o crescimento radicular e as trocas gasosas. Em termos hídricos, o substrato deve apresentar capacidade de retenção de água contínua e estável, assegurando disponibilidade hídrica às mudas sem comprometer a drenagem.

Tabela 1. Parâmetros físicos e químicos ideais de substratos para produção de mudas florestais

Parâmetro	Faixa recomendada	Importância para as mudas
Densidade aparente (g cm ⁻³)	0,2 – 0,8	Evita a compactação do substrato e favorece o crescimento radicular
Porosidade total (%)	50 – 85	Proporciona equilíbrio entre retenção de água e aeração
Macroporosidade (%)	20 – 30	Essencial para aeração e respiração radicular
Microporosidade (%)	25 – 55	Responsável pela retenção de água disponível para as plantas
Capacidade de retenção de água	Alta	Garante disponibilidade hídrica adequada ao desenvolvimento das mudas
pH	5,0 – 6,5	Faixa ideal para a absorção de nutrientes
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	0,5 – 2,0	Indica níveis adequados de sais solúveis, evitando toxidez
Matéria orgânica (%)	> 20	Atua como fonte de nutrientes e melhora a estrutura do substrato
Capacidade de troca de cátions (CTC)	Média a alta	Favorece a retenção e a disponibilidade de nutrientes
Relação C/N	10:1 – 20:1	Indica estabilidade do material orgânico e equilíbrio na mineralização de nutrientes

Fonte: Adaptada de Fragoso *et al.* (2016) e Ferreira *et al.* (2019).

No aspecto biológico, a presença de uma microbiota benéfica e funcional desempenha papel fundamental, especialmente pela interação com o sistema radicular, contribuindo para a ciclagem de nutrientes e a promoção do crescimento vegetal. Essa interação planta-microrganismo aumenta a resiliência das mudas e favorece sua adaptação às condições de campo.

Além disso, o substrato deve apresentar estabilidade física ao longo do tempo, resistindo à compactação e mantendo condições adequadas para o desenvolvimento do sistema radicular (Souza *et al.*, 2021). Substratos estruturalmente estáveis contribuem para a manutenção da porosidade e da aeração, fatores essenciais para o crescimento saudável das mudas. No entanto, muitos substratos comerciais são formulados com materiais de alto custo ou associados a impactos ambientais relevantes, como a turfa, cuja extração ocorre em ecossistemas úmidos e ecologicamente sensíveis. Nesse contexto, a busca por alternativas mais sustentáveis tem direcionado a atenção para o uso de materiais regionais, de menor custo e reduzida pegada ecológica (Figura 4).

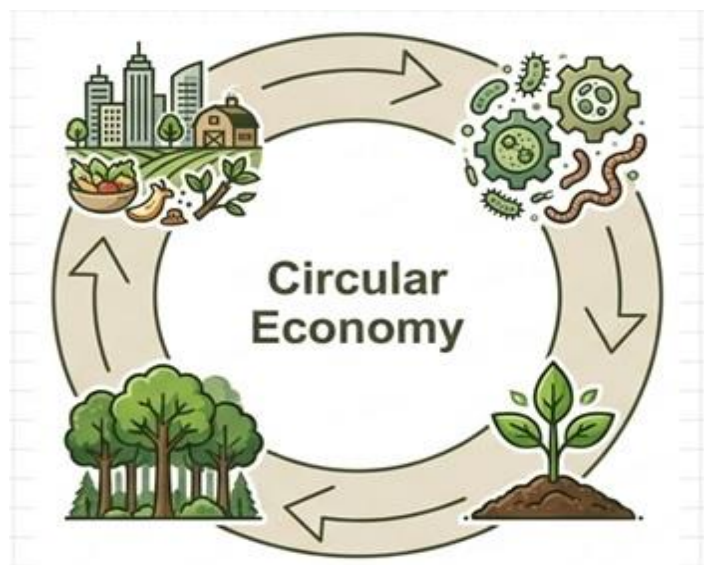


Figura 4. Sinergia Nutricional: A Eficiência Biológica de Substratos Orgânicos Circulares. Fonte: elaborada por Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (NotebookLM).

No contexto da economia circular, os substratos orgânicos não devem ser compreendidos como meros substitutos paliativos de fertilizantes químicos, mas como componentes estruturantes de um novo paradigma produtivo, baseado na

valorização dos ciclos naturais e no uso eficiente dos recursos. A incorporação de resíduos orgânicos na formulação de substratos representa uma estratégia que transcende a substituição de insumos, ao promover a recirculação de nutrientes, o aumento da matéria orgânica no solo e a restauração de processos ecológicos fundamentais. Nesse sentido, o domínio técnico sobre a matéria orgânica, sua origem, processamento e aplicação, constitui um dos pilares para a construção de sistemas produtivos mais resilientes e sustentáveis (Mendonça *et al.*, 2026)

Sob essa perspectiva, os resíduos deixam de ser passivos ambientais e passam a assumir papel estratégico na construção da sustentabilidade do futuro. Ao serem reinseridos nos sistemas produtivos, esses materiais contribuem para a formação de solos mais vivos, estruturados e férteis, capazes de sustentar o desenvolvimento de espécies florestais e a recuperação de ecossistemas degradados. Assim, pode-se afirmar que os resíduos orgânicos, quando adequadamente manejados, representam as “florestas do futuro”, pois viabilizam não apenas a produção de mudas de qualidade, mas também a reconstrução das bases ecológicas necessárias para a restauração ambiental em larga escala (Souza, 2025).

Dessa forma, a integração entre conhecimento técnico, saberes tradicionais e evidências oriundas da pesquisa científica mostra-se fundamental para subsidiar a escolha de substratos adequados e promover a produção de mudas de alta qualidade em viveiros de diferentes escalas (Rosa *et al.*, 2023). Essa articulação permite não apenas a validação científica de práticas empíricas, mas também a adaptação de tecnologias às realidades locais, considerando a disponibilidade de recursos e as condições ambientais específicas.

Além disso, favorece a construção de soluções mais acessíveis e eficientes, ampliando a autonomia produtiva de viveiros comunitários e fortalecendo a sustentabilidade dos sistemas de produção. Nesse contexto, o diálogo entre diferentes formas de conhecimento torna-se essencial para o desenvolvimento de estratégias inovadoras e socialmente inclusivas na produção de mudas florestais.

Ressalta-se, ainda, que a formulação de substratos deve contemplar não apenas atributos físicos e químicos, mas também aspectos biológicos, como a

presença de microrganismos benéficos. Esses organismos desempenham papel relevante na promoção do crescimento vegetal, na ciclagem de nutrientes e na melhoria da eficiência nutricional, contribuindo para a produção de mudas mais vigorosas e melhor adaptadas às condições de campo (Silva *et al.*, 2022).

3. Potencial biotecnológico de resíduos orgânicos como matriz de substratos

O uso de resíduos orgânicos como componentes de substratos para a produção de mudas de espécies nativas tem ganhado destaque nos últimos anos, configurando-se não apenas como alternativa para a destinação ambientalmente adequada desses materiais, mas também como estratégia técnica eficiente. Muitos desses resíduos apresentam características físico-químicas favoráveis, como elevada porosidade, alto teor de matéria orgânica e aporte significativo de macro e micronutrientes, além de contribuírem para o desenvolvimento do sistema radicular e para o estímulo à microbiota benéfica do substrato (Alonso *et al.*, 2022) (Figura 5).



Figura 5. Interdependência funcional do solo: a sinergia entre atributos físicos, químicos e biológicos. Fonte: Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (NotebookLM).

A casca de café, por exemplo, apresenta propriedades relevantes quando devidamente compostada, como elevada capacidade de troca de cátions (CTC), boa retenção hídrica e fornecimento de nutrientes, especialmente potássio e magnésio. Estudos indicam que sua incorporação em substratos favorece o

crecimento de mudas de espécies como *Joannesia princeps* e *Inga vera* subsp. *affinis*, além de contribuir para a redução dos custos de produção (Almeida *et al.*, 2021; Faria *et al.*, 2021). Contudo, seu uso *in natura* não é recomendado, em função da presença de compostos fenólicos e da elevada relação C/N, sendo necessária a compostagem prévia para redução da fitotoxicidade e estabilização do material (Silva *et al.*, 2020) (Figura 6).



Figura 6. Processamento biológico da casca de café: transformação em substrato de alta performance. Fonte: Maurício Novaes (2026), adaptado de Silva *et al.* (2020) e Almeida *et al.* (2021); Faria *et al.* (2021), com auxílio de ferramenta de IA (Google Gemini).

A fibra de coco, por sua vez, destaca-se por sua estrutura fibrosa, baixa densidade, elevada porosidade e boa capacidade de drenagem, características que a tornam amplamente utilizada em viveiros comerciais e experimentais, especialmente após processos adequados de lavagem e maturação (Silva *et al.*, 2025).

Outros resíduos de relevância incluem o bagaço de cana-de-açúcar, a casca de arroz carbonizada e o esterco curtido. O bagaço, após compostagem, contribui para o aumento do teor de matéria orgânica estável e para o fornecimento gradual de nutrientes. A casca de arroz carbonizada, por sua vez, melhora a aeração do substrato e reduz riscos de encharcamento e apodrecimento radicular, enquanto o esterco curtido atua como importante fonte de nutrientes e microrganismos benéficos.

Adicionalmente, o uso de biossólidos e lodo de esgoto tratado, desde que em conformidade com as normas ambientais e sanitárias vigentes, tem sido validado por estudos que demonstram seu potencial para enriquecer substratos com nitrogênio, fósforo e micronutrientes (Arruda *et al.*, 2017; CONAMA, 2020; Alonso *et al.*, 2022). O aproveitamento desses materiais está alinhado aos princípios da economia circular, contribuindo para a redução de passivos ambientais e para a promoção de sistemas produtivos mais sustentáveis.

A Figura 7 ilustra exemplos de resíduos orgânicos processados utilizados na formulação de substratos, evidenciando a diversidade de materiais disponíveis para uso em viveiros florestais. Ressalta-se que o desempenho desses insumos está diretamente relacionado ao seu processamento prévio e às proporções empregadas nas misturas, aspectos fundamentais para garantir a qualidade final do substrato.

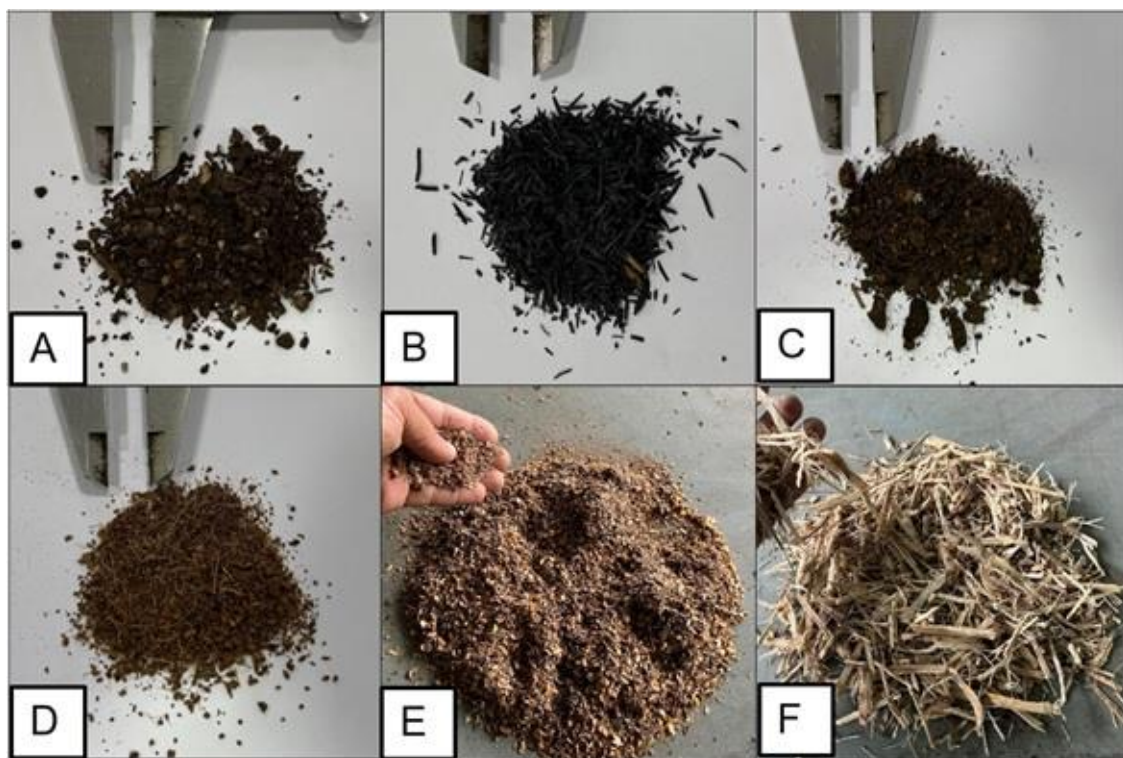


Figura 7. Variedade de substratos orgânicos. A) Substrato processado de casca de pinus; B) Substrato processado de palha de arroz carbonizado; C) Substrato processado de esterco bovino; D) Substrato processado de fibra de coco; E) Substrato de casca de café; F) Substrato de bagaço de cana-de-açúcar. Fonte: Acervo do IFES campus Alegre, 2025.

A casca de pinus processada (A) é amplamente utilizada na produção de mudas devido à sua boa estrutura física, elevada porosidade e resistência à decomposição, contribuindo para a aeração e estabilidade do substrato. No entanto, apresenta baixo teor de nutrientes, sendo geralmente utilizada em mistura com outros materiais.

A palha de arroz carbonizada (B) destaca-se por sua elevada macroporosidade, favorecendo a drenagem e prevenindo a compactação do substrato. Trata-se de um material leve, estável e com baixa retenção de água, sendo indicado para compor misturas que necessitam de maior aeração.

O esterco bovino curtido (C) atua como importante fonte de nutrientes, especialmente nitrogênio, fósforo e potássio, além de estimular a atividade microbológica. Seu uso deve ser criterioso, garantindo adequada compostagem para evitar fitotoxicidade e contaminações.

A fibra de coco (D) apresenta baixa densidade, elevada capacidade de retenção hídrica e boa aeração, sendo um dos materiais mais versáteis na formulação de substratos. Após lavagem e maturação, torna-se um componente estável e eficiente.

A casca de café (E), quando compostada, fornece nutrientes e melhora a retenção de água, além de contribuir para a estrutura do substrato. Entretanto, seu uso requer tratamento prévio para redução de compostos fitotóxicos.

Por fim, o bagaço de cana-de-açúcar (F), após compostagem, atua como fonte de matéria orgânica estável, melhorando as propriedades físicas do substrato e promovendo liberação gradual de nutrientes.

De forma geral, a combinação desses materiais permite a formulação de substratos equilibrados, ajustando propriedades físicas, químicas e biológicas conforme as exigências das espécies e as condições de produção em viveiros florestais.

4. Aspectos microbiológicos e biológicos do substrato

A qualidade biológica dos substratos, frequentemente subestimada, desempenha papel decisivo na formação de mudas saudáveis, vigorosas e

resilientes. A presença de microrganismos benéficos no substrato contribui para a promoção do crescimento vegetal, aumento da absorção de nutrientes e maiores resistências das plantas a pragas, doenças e estresses ambientais (Camargo *et al.*, 2021).

Dentre os principais grupos de interesse, destacam-se os microrganismos promotores do crescimento de plantas (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria – PGPR), como bactérias do gênero *Azospirillum*, além dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), amplamente reconhecidos por sua atuação na ampliação da área de absorção radicular e na melhoria da nutrição mineral. A compostagem de resíduos orgânicos favorece a colonização por esses microrganismos benéficos, ao mesmo tempo em que reduz a presença de patógenos (Figura 8). Nesse sentido, substratos orgânicos compostados têm sido associados ao aumento da diversidade e da atividade microbiana, contribuindo para o equilíbrio biológico e para a supressão de organismos fitopatogênicos (Fontan *et al.*, 2025).

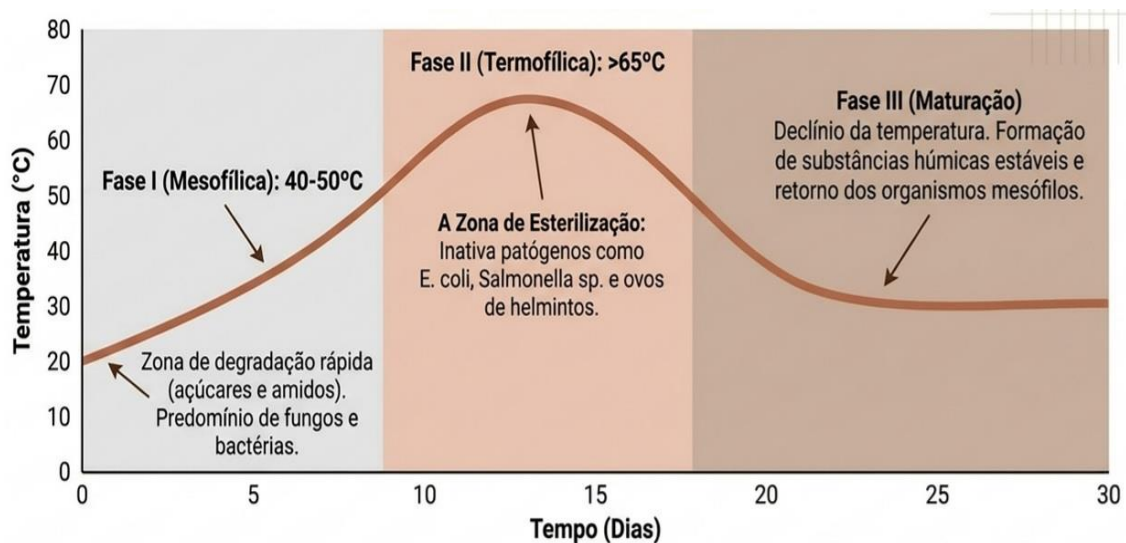


Figura 8. Atividade termofílica e liberação de calor na compostagem tradicional. Fonte: elaborada por Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (NotebookLM).

A eficiência desse processo, entretanto, está diretamente relacionada às condições em que a compostagem é conduzida, uma vez que parâmetros como temperatura, umidade, aeração e relação C/N influenciam a dinâmica e a sucessão microbiana. Durante as fases termofílica e de maturação, ocorre a

degradação de compostos orgânicos complexos e a redução de microrganismos patogênicos, resultando em um material mais estável, seguro e biologicamente ativo (Sousa; Ceccon; Marques, 2018; Silva; Rodrigues; Lopes, 2020).

Além disso, para esses mesmos autores, a compostagem favorece a formação de substâncias húmicas, que melhoram as propriedades físicas e químicas do substrato, ao mesmo tempo em que estimulam a atividade de microrganismos benéficos. Dessa forma, o uso de compostos orgânicos bem estabilizados potencializa os efeitos positivos da microbiota e contribui para a produção de mudas mais vigorosas e adaptadas às condições de campo.

Corroborando esses aspectos, estudos indicam que substratos formulados a partir de resíduos agroindustriais apresentam maior diversidade microbiana e podem induzir mecanismos de resistência sistêmica nas plantas (Silva *et al.*, 2022). Esse fator é particularmente relevante em sistemas de restauração ecológica, nos quais as condições edáficas frequentemente são limitantes, e a microbiota exerce papel central na ciclagem de nutrientes e no estabelecimento inicial das mudas. Evidências experimentais demonstram que a incorporação de compostos orgânicos em proporções entre 30% e 40% pode maximizar o crescimento das mudas, promovendo maior desenvolvimento radicular e acúmulo de biomassa, efeitos diretamente associados à atividade microbiológica do substrato (Fontan *et al.*, 2025).

Além disso, substratos ricos em matéria orgânica favorecem a formação de agregados estáveis, melhorando a estrutura do solo, aumentando a infiltração de água e reduzindo processos erosivos. Esses efeitos são potencializados pela interação entre raízes e microrganismos simbiotes, o que reforça a importância da dimensão biológica na formulação de substratos. Dessa forma, a incorporação planejada de resíduos orgânicos contribui não apenas para o desempenho das mudas, mas também para a melhoria da qualidade do solo nas áreas restauradas (Camargo *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2022).

Nesse contexto, destaca-se que a qualidade biológica do substrato e do solo está diretamente associada à diversidade e à interação entre organismos de diferentes escalas, incluindo microrganismos (bactérias, fungos e actinomicetos), meso-organismos ou mesofauna (como ácaros e colêmbolos) e macrorganismos (como minhocas e insetos do solo) (Figura 9).

Os microrganismos atuam principalmente na decomposição da matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes, enquanto os mesorganismos contribuem para a fragmentação dos resíduos e para a regulação das populações microbianas. Já os macrorganismos desempenham papel fundamental na estruturação física do solo, promovendo a formação de bioporos, a agregação e a melhoria da infiltração de água. A atuação integrada desses grupos biológicos favorece a construção de um solo funcional e dinâmico, essencial para o estabelecimento e desenvolvimento das mudas, especialmente em áreas em processo de restauração ecológica.



Figura 9. A biota como vetor de valor: transformação orgânica em sistemas de biorrefinaria. Fonte: Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (NotebookLM).

Nesse contexto, evidências recentes indicam que a presença de rizobactérias e fungos benéficos aumentam a eficiência no uso de nutrientes e a sobrevivência das mudas após o transplante, particularmente em ambientes degradados. Esses resultados reforçam o papel estratégico da microbiota na promoção do crescimento vegetal e na estabilidade dos sistemas restaurados, destacando sua importância nos processos de restauração ecológica (Braga *et al.*, 2024).

5. Viveiros comunitários: autonomia, inovação e políticas de incentivo

O uso de resíduos orgânicos como insumos na produção de mudas configura-se como uma estratégia promissora para o fortalecimento de viveiros comunitários e de programas de restauração ecológica com enfoque social. Em diversos contextos, comunidades rurais, assentamentos agroecológicos e coletivos ambientalistas enfrentam limitações financeiras e logísticas para a aquisição de substratos comerciais, o que torna o reaproveitamento de resíduos uma alternativa tecnicamente viável e ambientalmente sustentável (Moura *et al.*, 2020) (Figura 10).



Figura 10. Produção coletiva de mudas em comunidades rurais. Fonte: elaborada por Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (Google Gemini).

Além da redução de custos, essa prática contribui para o fortalecimento da autonomia produtiva dos viveiros, ao mesmo tempo em que valoriza saberes tradicionais e o uso de recursos locais. Nesse sentido, políticas públicas voltadas à restauração ecológica, como o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg) e iniciativas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), podem incorporar o uso de substratos sustentáveis como critério de incentivo, elegibilidade ou bonificação. Tal abordagem permite articular metas ambientais à geração de trabalho e renda, promovendo modelos de restauração mais inclusivos e territorialmente integrados (Fonseca *et al.*, 2021).

Adicionalmente, a adoção de políticas que incentivem o uso de resíduos orgânicos na produção de mudas contribui para o enfrentamento de um dos principais desafios ambientais contemporâneos: a gestão adequada dos resíduos sólidos orgânicos. Essa prática está alinhada aos princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos, ao promover a valorização, reciclagem e reaproveitamento de materiais, reduzindo os impactos associados ao descarte inadequado (Santos *et al.*, 2021).

Há de se destacar a importância de iniciativas de educação ambiental e capacitação técnicas voltadas à compostagem, ao manejo de substratos e à produção de mudas. A articulação entre universidades, organizações não governamentais, órgãos públicos e comunidades locais é fundamental para a difusão dessas práticas e para a consolidação de cadeias produtivas sustentáveis (Egidio; Souza, 2025).

Nesse contexto, o uso de resíduos orgânicos na produção de mudas transcende sua dimensão técnica, configurando-se também como instrumento de transformação social e territorial (Moura *et al.*, 2020; Camargo *et al.*, 2021). Assim, a integração entre práticas agroecológicas, políticas públicas e organização social constitui um eixo estratégico para a ampliação das ações de restauração ecológica em escala local e regional (Figura 11).



Figura 11. Sinergia entre manejo de resíduos orgânicos e princípios agroecológicos. Fonte: Maurício Novaes (2026), com auxílio de ferramenta de IA (NotebookLM).

A representação apresentada na Figura 11 evidencia que a gestão integrada de resíduos orgânicos, quando orientada pelos princípios da agroecologia, potencializa não apenas a eficiência produtiva, mas também a construção de territórios mais sustentáveis e inclusivos. Nesse sentido, a articulação entre saberes locais e conhecimento técnico-científico fortalece práticas de economia circular, reduz a dependência de insumos externos e promove maior autonomia dos produtores.

Além disso, iniciativas coletivas, como associações, cooperativas e programas institucionais, ampliam a capacidade de implantação dessas práticas, favorecendo a geração de renda, a inclusão social e a conservação ambiental. Assim, o manejo adequado de resíduos orgânicos se consolida como uma estratégia multifuncional, capaz de integrar dimensões ecológicas, econômicas e sociais no contexto da restauração e do desenvolvimento sustentável.

6. Considerações

A incorporação de resíduos orgânicos na produção de mudas de espécies nativas da Mata Atlântica configura-se como uma estratégia tecnicamente consistente e alinhada aos princípios da sustentabilidade ambiental, econômica e social. Evidências da literatura científica demonstram que materiais como casca de café, fibra de coco, casca de arroz carbonizada e bagaço de cana-de-açúcar, quando devidamente processados, apresentam potencial para substituir ou complementar substratos convencionais, promovendo melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos substratos e, consequentemente, na qualidade das mudas produzidas.

Além dos ganhos técnicos, essa abordagem contribui significativamente para a gestão sustentável de resíduos orgânicos, reduzindo a pressão sobre aterros sanitários e minimizando impactos ambientais associados ao descarte inadequado. Do ponto de vista econômico, a utilização desses materiais permite a redução dos custos de produção, ampliando o acesso a insumos por pequenos produtores e viveiros comunitários. Sob a perspectiva social, destaca-se a valorização de conhecimentos locais e o fortalecimento de iniciativas coletivas, especialmente em territórios rurais e periurbanos.

No âmbito das políticas públicas, recomenda-se que programas voltados à restauração ecológica incorporem critérios relacionados à sustentabilidade dos insumos utilizados, incentivando o uso de substratos alternativos e soluções baseadas na natureza. A integração dessa prática a instrumentos como o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) e programas nacionais de restauração pode potencializar benefícios ambientais e socioeconômicos, ao mesmo tempo em que promove a transição para modelos produtivos mais circulares e de baixo impacto.

Do ponto de vista científico e tecnológico, torna-se fundamental o desenvolvimento de estudos experimentais que avaliem diferentes combinações de resíduos orgânicos, considerando variáveis como proporções ideais, estabilidade do material, dinâmica de liberação de nutrientes e interação com a microbiota do substrato. Também se destaca a necessidade de investigações voltadas ao desempenho das mudas em campo, incluindo taxas de sobrevivência, crescimento inicial e adaptação a condições edáficas adversas, aspectos ainda pouco explorados em estudos de longo prazo.

A variabilidade regional na disponibilidade e composição dos resíduos orgânicos constitui outro fator relevante, exigindo abordagens territorializadas. Estados com forte base agroindustrial, como o Espírito Santo, apresentam ampla diversidade de materiais com potencial de uso, o que reforça a importância da elaboração de protocolos técnicos regionais. Tais protocolos devem contemplar critérios padronizados de avaliação física, química e biológica dos substratos, além de diretrizes para compostagem, manejo e proporções de mistura, assegurando qualidade, eficiência produtiva e segurança agrônoma.

Adicionalmente, recomenda-se a implantação de sistemas de monitoramento e certificação da qualidade dos substratos produzidos, bem como a criação de indicadores que permitam avaliar seus impactos em termos de desempenho das mudas e sustentabilidade dos sistemas produtivos. A integração entre pesquisa científica, extensão rural e práticas locais é essencial para viabilizar a transferência de tecnologia e a adoção dessas inovações em diferentes contextos produtivos.

Por fim, a consolidação do uso de resíduos orgânicos na produção de mudas depende de uma abordagem sistêmica, que articule conhecimento

técnico, políticas públicas e engajamento social. Ao promover a circularidade de recursos, a redução de custos e a melhoria da qualidade das mudas, essa prática contribui diretamente para o fortalecimento de estratégias de restauração ecológica mais resilientes, inclusivas e adaptadas às realidades regionais, ampliando o alcance e a efetividade das ações de recomposição da Mata Atlântica.

7. Referências

ALMEIDA, R. S.; NIERI, E. M.; MONTEIRO, E. C. S.; SILVA, O. M. C.; MELO, L. A. Reaproveitamento de resíduos de café em substratos para produção de mudas de *Joannesia princeps*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 41, e201902047, 2021. DOI: <https://doi.org/10.4336/2021.pfb.41e201902047>. Disponível em: <https://pfb.sede.embrapa.br/pfb/article/view/2089>. Acesso em: 15 jul. 2025.

ALONSO, J. M.; PEREIRA, R. N.; ABEL, E. L. D. Sewage sludge as substrate in *Schinus terebinthifolia* Raddi seedlings commercial production. **Scientific Reports**, v. 12, p. 17245, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21314-0>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-21314-0>. Acesso em: 16 jul. 2025.

ARRUDA, S. B.; SILVA, F. A. M.; FERRAZ, M. V.; SILVA, R. B.; BIM, O. J. B. Biossólido em substratos para produção de mudas de *Handroanthus chrysotrichus*. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 211-225, 2017. DOI: <https://doi.org/10.24278/2178-5031.2017.29.2.206>. Disponível em: <https://rif.emnuvens.com.br/revista/issue/view/5>. Acesso em: 15 jul. 2025.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 498, de 19 de agosto de 2020**. Dispõe sobre critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólidos em solos e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 161, p. 265–269, 21 ago. 2020. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/index.php?id=726&option=com_sisconama&view=attonormativo. Acesso em: 6 abr. 2026.

CAMARGO, M. F.; SILVA, L. P.; RIBEIRO, W. S. et al. Atividade microbiológica em substratos compostos por resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 45, e0210090, 2021. DOI: https://doi.org/10.36783/18069657_rbcS20210090.

CHAZDON, R. L.; LINDENMAYER, D.; GUARIGUATA, M. R.; CROUZEILLES, R.; BENAYAS, J. M. R.; CHAVERO, E. L. Fostering natural forest regeneration on former agricultural land through economic and policy interventions. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 4, 043002, 2020.

DI FILIPPO, L. D. et al. A receptor-mediated landscape of druggable and targeted nanomaterials for gliomas. **Materials Today Bio**, v. 20, p. 100671, 2023.

EGIDIO, L. S.; SOUZA, M. N. Recuperação de áreas degradadas na Mata Atlântica: 23 anos de restauração ecológica e agrofloresta na Estância São Lucas, Guaçuí – ES. Restoration of degraded areas in the Atlantic Forest: 23 years of ecological restoration and agroforestry in the Estância São Lucas, Guaçuí, ES. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, v. 14, p. 230-241, 2025. Home page: <https://periodicos.unievangelica.edu.br/index.php/fronteiras/article/view/7988>. DOI: 10.21664/2238-8869.2025v14i3.7988.

FARIA, J. C. T.; PINTO, V. M. O.; GONÇALVES, D. S.; SOUZA, D. M. S. C.; FERNANDES, S. B.; BRONDANI, G. E. A compostagem da casca de café carbonizada favorece a produção de mudas de ingá. *Nativa, Sinop*, v. 8, n. 2, p. 224–230, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v8i2.9119>. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/9119>. Acesso em: 15 jul. 2025.

FERREIRA, D. A.; SOUZA, M. V.; OLIVEIRA, J. H. R.; FREITAS, L. M. Parâmetros morfológicos e fisiológicos na avaliação da qualidade de mudas florestais. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 47, n. 124, p. 719–728, 2019.

FONSECA, T. L.; FERNANDES, G. W.; CAMPOS-FILHO, E. M.; SOARES, D. C. Políticas públicas e restauração ecológica no Brasil. *Cadernos de Agroecologia*, Brasília, v. 16, n. 2, 2021.

FONTAN, I. C. I.; CASTRO, F. M.; CARVALHO, G. W. A.; HERCULANO, A. C. O.; GOMES, M. T. C. Composto orgânico no substrato de mudas de interesse na restauração florestal da Mata Atlântica. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 18, e14167, 2025. DOI: 10.17765/2176-9168.2025v18e14167. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/14167>. Acesso em: 16 abr. 2026.

FRAGOSO, R. O.; STUEPP, C. A.; CARPANEZZI, A. A.; WENDLING, I.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S. Substratos renováveis na produção de mudas de *Ficus enormis* proveniente de jardim clonal. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 36, n. 88, p. 537–541, 2016. DOI: 10.4336/2016.pfb.36.88.1246. Disponível em: <https://pfb.sede.embrapa.br/pfb/article/view/1246>. Acesso em: 20 mar. 2026.

LOPES, E. D.; AMARAL, C. L. F.; NOVAES, A. B. Parâmetros morfofisiológicos na avaliação da qualidade de mudas de três espécies florestais. *Revista Agrogeoambiental*, v. 8, n. 3, 2015. DOI: 10.18406/2316-1817v8n32016834. Disponível em: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/834>. Acesso em: 15 jul. 2025.

MENDONÇA, R. L. P. D.; ARRUDA, L. F. L.; PENNA JÚNIOR, C. O.; SOUZA, M. N. Viabilidade econômica de sistemas agroflorestais com café arábica na microrregião Caparaó Capixaba, sul do estado do Espírito Santo. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, v. 15, p. 163-191, 2026. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2026v15i1.8364>.

MOURA, R.; SILVA, C. O.; REZENDE, A. C.; FERREIRA, M. A. Uso de resíduos orgânicos e políticas públicas de incentivo à restauração. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v. 11, n. 1, p. 160-174, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v11n1.2020.26350>.

REZENDE, C. L. *et al.* From hotspot to hopespot: an opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 16, n. 4, p. 208–214, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.10.002>.

ROSA, R.; MARTINS, L. D.; SANTOS, F. N.; OLIVEIRA, R. S. Aplicação de fibra de coco como substrato na produção de mudas de espécies nativas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 199–206, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-053620230216>.

SILVA, C. F.; ALVES, P. H. S.; CORRÊA, R. S. Fungos micorrízicos arbusculares em mudas florestais produzidas com diferentes substratos. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 65, n. 2, e20210436, 2022. DOI: <https://doi.org/10.22491/rca.2022.v65.2.196492>.

SILVA, M. C.; RODRIGUES, A. S.; LOPES, J. C. Dinâmica das fases térmica e de maturação na compostagem de resíduos orgânicos: uma revisão técnica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 55, e01234, p. 1-12, jan. 2020.

SILVA, O. M. C.; HERNÁNDEZ, M. M.; ARAUJO, G. C. R.; CUNHA, F. L.; EVANGELISTA, D. V. P.; LELES, P. S. S.; MELO, L. A. Potencial uso da casca de café como constituinte de substrato para produção de mudas de espécies florestais. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 4, p. 1161–1175, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509842500>.

SILVA, R. M.; CABRAL, J. M. S.; AQUINO, A. F.; SILVA, J. E. S.; SILVA, T. F. Substratos para produção de mudas de plantas de espécies nativas, hortaliças e suculentas. **Revista Contemporânea**, v. 5, n. 4, e7886, 2025. DOI: [10.56083/RCV5N4-041](https://doi.org/10.56083/RCV5N4-041).

SOUSA, G. G.; CECCON, P. R.; MARQUES, P. A. A. Composição e fases do processo de compostagem de resíduos agroindustriais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 4, p. 250-256, 2018.

SOUZA, L. F.; ALMEIDA, R. S.; SANTOS, A. P. Utilização da casca de café na produção de mudas nativas da Mata Atlântica. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 28, n. 4, e20190235, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2019-0235>.

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em gestão ambiental vol. IV**. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2025. 346 p. ISBN: 978-65-84548-36-7. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-36-7>.