

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ  
BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL

CLEUDECI DOS SANTOS FRAZÃO CAMPOS

**GERMINAÇÃO E PRODUÇÃO DE BOMBA DE SEMENTE DE CASTANHA-DA -  
AMAZÔNIA COMO POTENCIAL PARA REFLORESTAMENTO**

LARANJAL DO JARI

2025

CLEUDECI DOS SANTOS FRAZÃO CAMPOS

**GERMINAÇÃO E PRODUÇÃO DE BOMBA DE SEMENTE DE CASTANHA-DA-AMAZÔNIA COMO POTENCIAL PARA REFLORESTAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia Florestal do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá – Ifap – Campus Laranjal do Jari, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Dr. Diego Armando Silva da Silva

Coorientador: Dr. Wallace Júnio Reis

LARANJAL DO JARI

2025

Biblioteca Institucional - IFAP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

- C198g Campos, Cleudeci dos Santos Frazão  
Germinação e produção de bomba de semente de Castanha-da-Amazônia como potencial para reflorestamento / Cleudeci dos Santos Frazão Campos - Laranjal do Jari, 2025.  
36 f. : il.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Laranjal do Jari, Bacharelado em Engenharia Florestal, 2025.
- Orientador: Dr. Diego Armando Silva da Silva.  
Coorientador: Dr. Wallace Júnio Reis.
1. Reflorestamento. 2. Germinação. 3. Bombas de sementes. I. Silva, Dr. Diego Armando Silva da , orient. II. Reis, Dr. Wallace Júnio , coorient. III. Título.
- 

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica do IFAP  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

CLEUDECI DOS SANTOS FRAZÃO CAMPOS

**GERMINAÇÃO E PRODUÇÃO DE BOMBA DE SEMENTE DE CASTANHA-DA-AMAZÔNIA COMO POTENCIAL PARA REFLORESTAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado á coordenação do curso Superior de Bacharelado em Engenharia Florestal como requisito avaliativo para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Dr. Diego Armando Silva da Silva

**BANCA EXAMINADORA**

Diego Armando Silva da Silva  
Prof. do Ensino Básico,  
Técnico em Tecnologia  
Mat. SIAPE 424702

---

Prof. Dr. Diego Armando Silva da Silva (Orientador)  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

*Anderson Pedro Bernardina Batista*

---

Prof. Anderson Pedro Bernardina Batista  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** CATARINA MIRANDA NASCIMENTO  
Data: 22/12/2025 09:39:0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Catarina Miranda Nascimento  
Engenheira Florestal- CREA nº 1522114955  
Autônoma

Apresentado em: 19/12 /2025.

Conceito/ Nota: 9,5

*Dedico aos meus pais, cuja força e amor me acompanham mesmo à distância.*

*Cada passo que dei foi sustentado por tudo o que vocês são e por tudo o que me ensinaram.*

*Esta conquista é de vocês. Obrigada por acreditarem em mim até quando eu mesma*

*Duvidei.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, que me sustentou em cada passo e me deu forças nos momentos em que pensei em desistir.

À minha família, em especial aos meus irmãos Cleudinete e Creudivaldo, por todo amor, apoio e pelas palavras que sempre me impulsionaram a seguir adiante, mesmo quando eu queria desistir. Vocês são a minha base.

Ao meu orientador, Diego Armando Silva, pela paciência, dedicação e pela forma competente com que guiou este trabalho, compartilhando sua experiência e conhecimento ao longo de todo o curso e durante nossa pesquisa.

À minha dupla da faculdade e da vida, Bruna Gomes e Diego Rodrigues, por estarem comigo em cada etapa, sempre com parceria, apoio.

A todos os professores que contribuíram para minha formação e para o desenvolvimento deste trabalho.

À CADAM, pelos recursos disponibilizados para a realização deste estudo, fundamentais para o avanço e conclusão desta pesquisa.

Aos meus amigos do trabalho, pela torcida, apoio nos dias mais desafiadores.

À minha amiga Keila, que sempre me ajudou, apoiou e acreditou em mim. Sua ajuda fez toda a diferença no meu caminho.

E ao meu filho de quatro patas, Brian, meu companheiro fiel nas horas de estudo, que trouxe conforto e amor quando eu mais precisei.

“A disciplina é a ponte entre metas e realizações.”

(Jim Rohn)

## RESUMO

A produção de bombas de sementes constitui uma técnica promissora, de baixo custo e adequada para ações de reflorestamento, especialmente em áreas degradadas ou de difícil acesso. Essa abordagem consiste em encapsular sementes em esferas de argila associadas a diferentes substratos, garantindo proteção e condições favoráveis até o início da germinação. Este estudo teve como objetivo produzir e avaliar bombas de sementes contendo castanha-da-Amazônia (*Bertholletia excelsa*), espécie de elevada relevância ecológica e socioeconômica, analisando a eficiência germinativa em diferentes composições de substrato. Foram testados três tratamentos, combinando argila e terra preta com os seguintes materiais: vermiculita (T1), substrato comercial para horta/pomar/jardim (T2) e esterco bovino curtido (T3). As sementes passaram previamente por estratificação em substrato úmido para a superação da dormência. O experimento foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado, com 48 bombas de sementes e avaliações realizadas a cada 12 dias ao longo de 60 dias, analisando-se a taxa de germinação, a altura das plântulas e o número de folhas. Os resultados demonstraram que o Tratamento 1 apresentou a maior taxa de germinação (75%), evidenciando a eficiência da vermiculita devido à sua elevada capacidade de retenção hídrica. Os tratamentos 2 e 3 apresentaram germinação de 50% e 44%, respectivamente. No entanto, para as variáveis altura e número de folhas, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, indicando que todos os substratos foram capazes de sustentar o desenvolvimento inicial das plântulas de maneira semelhante. Esses achados confirmam a viabilidade da técnica de bombas de sementes para a propagação da castanheira, ao mesmo tempo em que demonstram flexibilidade quanto ao uso de diferentes substratos ou à necessidade de avaliar o experimento por mais tempo e com novos tratamentos. Conclui-se que a técnica apresentou, neste estudo inicial, potencial para aplicação em programas de restauração ecológica na Amazônia, contribuindo para a recuperação de áreas degradadas por meio de métodos acessíveis, eficientes e de fácil implementação.

Palavras-chave: *Bertholletia excelsa*; bombas de sementes; dormência; germinação; reflorestamento; substrato.

## ABSTRACT

Seed bomb production has emerged as a promising and low-cost technique for reforestation, particularly in degraded or hard-to-access areas. This approach consists of encapsulating seeds within clay spheres combined with different substrates, providing protection and favorable conditions until germination begins. This study aimed to produce and evaluate seed bombs containing Brazil nut (*Bertholletia excelsa*), a species of high ecological and socioeconomic importance, assessing germination efficiency across different substrate compositions. Three treatments were tested, combining clay and black soil with the following materials: vermiculite (T1), commercial garden substrate (T2), and cured cattle manure (T3). The seeds were previously stratified in moist substrate to overcome dormancy. The experiment followed a completely randomized design with 48 seed bombs, and evaluations were conducted every 12 days over a 60-day period, analyzing germination rate, seedling height, and number of leaves. The results showed that Treatment 1 presented the highest germination rate (75%), highlighting the efficiency of vermiculite due to its high water-retention capacity. Treatments 2 and 3 achieved germination rates of 50% and 44%, respectively. However, for the variables height and number of leaves, no statistically significant differences were observed between the treatments, indicating that all substrates were able to support the initial development of seedlings in a similar way. These findings confirm the viability of the seed bomb technique for the propagation of the Brazil nut tree, while also demonstrating flexibility regarding the use of different substrates or the need to evaluate the experiment over a longer period and with new treatments. It is concluded that the technique showed, in this initial study, potential for application in ecological restoration programs in the Amazon, contributing to the recovery of degraded areas through accessible, efficient, and easy-to-implement methods.

Keywords: *Bertholletia excelsa*; seed bombs; dormancy; germination; reforestation; substrate.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Localização do Viveiro de mudas Ikê Verde.....                   | 18 |
| Figura 2 - Castanha-da-Amazônia após a quebra da dormência .....            | 19 |
| Figura 3 - A: Substratos; B: Elaboração das bombas de sementes.....         | 20 |
| Figura 4 - Demonstração do Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC)..... | 21 |
| Figura 5 - Fluxograma do Experimento .....                                  | 24 |
| Figura 6 -Total de Bombas de sementes germinadas .....                      | 27 |
| Figura 7 - Médias de número de germinações dos 3 tratamentos. ....          | 28 |
| Figura 8 - Média das variáveis de n° de folhas e Altura das Plântulas ..... | 30 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Análise de Variância (ANOVA) do número de germinação sob diferentes tratamentos .....        | 27 |
| Tabela 2 - Análise de Variância (ANOVA) de alturas das plântulas sob diferentes tratamentos .....       | 29 |
| Tabela 3 - Análise de Variância (ANOVA) número de folhas das plântulas sob diferentes tratamentos ..... | 30 |

## SUMÁRIO

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO.....</b>   | <b>11</b> |
| <b>2</b>     | <b>FUNDAMENTOS PARA O REFLORESTAMENTO COM CASTANHA-DA-AMAZÔNIA.....</b>              | <b>13</b> |
| <b>2.1</b>   | <b>Reflorestamento e Recuperação de áreas degradadas .....</b>                       | <b>13</b> |
| <b>2.2</b>   | <b>Importância da Castanha-da-Amazônia (<i>Bertholletia excelsa</i>). .....</b>      | <b>14</b> |
| <b>2.3</b>   | <b>Germinação de Sementes de Castanheira .....</b>                                   | <b>15</b> |
| <b>2.4</b>   | <b>Bombas de Sementes como Estratégia de Reflorestamento .....</b>                   | <b>16</b> |
| <b>3</b>     | <b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>   | <b>18</b> |
| <b>3.1</b>   | <b>Caracterização da pesquisa .....</b>  | <b>18</b> |
| <b>3.2</b>   | <b>Área de estudo .....</b>  | <b>18</b> |
| <b>3.3</b>   | <b>Instrumentos e Procedimentos de Coleta de Dados .....</b>                         | <b>19</b> |
| <b>3.4</b>   | <b>Quebra de dormência .....</b>   | <b>19</b> |
| <b>3.5</b>   | <b>Preparação dos Substratos e Produção das Bombas de Sementes .....</b>             | <b>19</b> |
| <b>3.6</b>   | <b>Delineamento Experimental e Avaliação da Eficiência .....</b>                     | <b>20</b> |
| <b>3.7</b>   | <b>Eficiência da germinação das bombas de sementes .....</b>                         | <b>21</b> |
| <b>3.8</b>   | <b>Análise de Dados .....</b>  | <b>21</b> |
| <b>4</b>     | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>  | <b>22</b> |
| <b>4.1</b>   | <b>Desenvolvimento do Experimento e confecção da bomba de semente .....</b>          | <b>22</b> |
| <b>4.2</b>   | <b>Avaliação dos substratos analisados: germinação de bombas de sementes .....</b>   | <b>25</b> |
| <b>4.2.1</b> | <b>Desempenho do Tratamento 1 – Argila + Vermiculita + Terra Preta .....</b>         | <b>25</b> |
| <b>4.2.2</b> | <b>Desempenho do Tratamento 2 – Argila + Substrato Comercial + Terra Preta .....</b> | <b>25</b> |
| <b>4.2.3</b> | <b>Desempenho do Tratamento 3 – Argila + Esterco Bovino + Terra Preta .....</b>      | <b>26</b> |
| <b>4.2.4</b> | <b>Comparação Geral entre os Tratamentos .....</b>                                   | <b>26</b> |
| <b>4.2.5</b> | <b>Variável número de germinações .....</b>  | <b>27</b> |
| <b>4.2.6</b> | <b>Implicações para a Produção de Bombas de Sementes .....</b>                       | <b>28</b> |
| <b>4.3</b>   | <b>Análise das Variáveis Altura e Número de Folhas .....</b>                         | <b>29</b> |
| <b>5</b>     | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>  | <b>32</b> |
|              | <b>REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>33</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A degradação ambiental constitui um dos principais desafios da sociedade contemporânea, caracterizando-se pela deterioração dos recursos naturais provocada por atividades humanas que desconsideram os limites dos ecossistemas e as necessidades das futuras gerações (Silva *et al.*, 2025). Nesse cenário, o reflorestamento torna-se uma estratégia essencial para a recuperação de áreas degradadas (Silva, 2023).

As *seed balls*, uma técnica de peletização de sementes, são comumente associadas a Masanobu Fukuoka, agricultor e filósofo japonês, que desenvolveu a “agricultura natural”, método que dispensa lavoura, controle de ervas daninhas e aplicação de fertilizantes ou pesticidas (Emídio, 2021).

A castanha-da-Amazônia (*Bertholletia excelsa*), espécie nativa de elevada importância ecológica e socioeconômica, representa um recurso estratégico para programas de restauração florestal (Wadt *et al.*, 2023). Entretanto, a dormência fisiológica das sementes limita sua germinação, resultando em emergência lenta, irregular e com baixos percentuais de plântulas (Dionisio *et al.*, 2019).

A escolha adequada de substratos pode favorecer a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas, uma vez que esse material desempenha funções essenciais, como suporte físico, disponibilidade de água e nutrientes e aeração (Ribeiro *et al.*, 2024). Assim, avaliar diferentes substratos torna-se fundamental para potencializar o desempenho germinativo da espécie.

Diante disso, este estudo integra um projeto em desenvolvimento que investiga técnicas inovadoras de restauração ecológica na Amazônia, incluindo o uso de bombas de sementes da castanheira como alternativa sustentável para o reflorestamento. O problema central que orienta esta pesquisa é: *como viabilizar a germinação eficiente da castanha-da-Amazônia e sua aplicação por meio de bombas de sementes em ações de recuperação ambiental?*

Para responder a essa questão, o objetivo geral do estudo foi produzir bombas de sementes de castanha-da-Amazônia e analisar a germinação das sementes em diferentes substratos. Os objetivos específicos foram:

- Testar três substratos distintos para produção das bombas de sementes;
- Analisar a viabilidade da técnica de bombas de sementes;
- Avaliar a taxa de germinação das sementes submetidas à quebra de dormência pelo método de estratificação.

Por fim, este trabalho está estruturado da seguinte forma: o Capítulo 1 apresenta a contextualização, justificativa, problema e objetivos. O Capítulo 2 reúne os fundamentos

teóricos sobre degradação ambiental, legislação e a importância da castanheira para a restauração ecológica. O Capítulo 3 descreve os procedimentos metodológicos. O Capítulo 4 apresenta e discute os resultados, e o Capítulo 5 reúne as conclusões e recomendações para estudos futuros.

## 2 FUNDAMENTOS PARA O REFLORESTAMENTO COM CASTANHA-DA-AMAZÔNIA

### 2.1 Reflorestamento e Recuperação de áreas degradadas

A degradação ambiental decorrente de desmatamento, incêndios e alterações no uso do solo tem comprometido a integridade do ecossistema amazônico, reduzindo sua capacidade de armazenar carbono, alterando sua estrutura florestal e ameaçando a biodiversidade (Silva *et al.*, 2022). As florestas secundárias, também chamadas de capoeiras, surgem por meio da regeneração natural da vegetação em áreas previamente desmatadas, geralmente após terem sido utilizadas temporariamente para atividades agrícolas ou pecuárias, permitindo que a floresta retorne espontaneamente após o abandono dessas atividades (Salomão *et al.*, 2024). O uso de bombas de sementes é uma estratégia eficaz de reflorestamento, pois utiliza materiais biodegradáveis, não prejudiciais ao meio ambiente, e contribui para a recuperação de áreas degradadas pelo desmatamento, configurando uma alternativa de baixo custo adequada a diferentes tipos de solo (Mendes *et al.*, 2023).

Segundo a Resolução CONAMA nº 01/1986, impacto ambiental é qualquer modificação nas características físicas, químicas ou biológicas do ambiente resultante de atividades humanas que possa afetar a saúde, o bem-estar da população, a biota, a economia, a estética ou a qualidade dos recursos naturais (Brasil, 1986). Entretanto, abordagens mais recentes ampliam esse conceito ao considerar que os impactos ambientais devem ser avaliados também quanto à sua magnitude, duração, reversibilidade e aos efeitos cumulativos e sinérgicos das ações antrópicas sobre os sistemas naturais e socioeconômicos (Sánchez, 2020).

Diversos instrumentos legais orientam a recuperação ambiental no Brasil, dentre eles o Plano Nacional de Meio Ambiente (PNMA), a Resolução CONAMA nº 237/1997 e o Código Florestal (MMA, 2015). A definição do método de restauração depende da caracterização da área, do ecossistema, do agente causador da degradação e do modelo de recuperação adotado.

Um ecossistema é considerado restaurado quando seus elementos bióticos e abióticos são capazes de manter o desenvolvimento sem a intervenção humana. À medida que os recursos naturais tornam-se mais escassos, os desafios para a recuperação tornam-se maiores. Nesse sentido, os Planos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) desempenham papel estratégico ao orientar o diagnóstico, planejamento e monitoramento das ações de restauração. A recuperação ambiental compreende intervenções realizadas com intuito de restituir as

condições de um ambiente natural degradado ou alterado a um estado próximo ao seu original, em parte ou em sua totalidade” (Ibama, 2022).

As técnicas de reflorestamento, com uso de espécies nativas ou exóticas, têm sido amplamente adotadas para enfrentar a degradação do solo e mitigar os efeitos das mudanças climáticas, ao mesmo tempo em que promovem oportunidades de geração de renda (Ramineh *et al.*, 2023). A restauração pode ocorrer de forma passiva, intermediária ou ativa, variando desde a regeneração natural até o plantio misto com finalidades ecológicas ou produtivas (Salomão *et al.*, 2020).

A castanha-da-Amazônia (*Bertholletia excelsa*) é amplamente utilizada em projetos de reflorestamento e sistemas agroflorestais devido à sua capacidade de rebrota, plasticidade fenotípica e boa adaptação a diferentes níveis de irradiância (Ferreira *et al.*, 2012; Scoles *et al.*, 2011; Souza *et al.*, 2017). A espécie possui madeira valorizada e é protegida por legislação específica (Decreto nº 5.975/2006), que estabelece sua conservação e estimula seu plantio para recomposição ambiental (Souza, 2017).

## **2.2 Importância da Castanha-da-Amazônia (*Bertholletia excelsa*).**

A castanha da Amazônia é uma espécie emblemática do bioma amazônico, desempenhando funções essenciais na ciclagem de nutrientes, na manutenção da biodiversidade e na estruturação da floresta (Lima *et al.*, 2021). Além do valor ecológico, possui grande relevância socioeconômica por meio da produção de castanhas, atividade que movimenta cadeias extrativistas em todo o Norte do país (Mariosa *et al.*, 2024)

O fruto da castanheira, o ouriço, contém de 10 a 25 sementes e apresenta elevado valor nutricional, com cerca de 17% de proteína (Dias *et al.*, 2012). O processamento da castanha, entretanto, gera grandes volumes de resíduos, como cascas e ouriços, que podem chegar a 1,4 tonelada para cada tonelada de castanha limpa. Esses materiais, embora ricos em nutrientes como cálcio, magnésio, ferro e fósforo, possuem baixa capacidade de retenção de água, limitando seu uso como substrato agrícola (Santana, 2020; Soares *et al.*, 2014).

Dada sua importância ecológica e econômica, a conservação dos castanhais e a proteção da espécie são fundamentais para a manutenção dos ecossistemas amazônicos (Tófoli *et al.*, 2023).

### 2.3 Germinação de Sementes de Castanheira

A castanha-da-Amazônia (*Bertholletia excelsa*) é uma espécie de elevada relevância ecológica, econômica e sociocultural. Contudo, sua propagação por sementes é limitada devido às particularidades estruturais do tegumento, à presença de dormência e às exigências ambientais específicas para germinação. Tais dificuldades estão relacionadas principalmente ao comportamento recalcitrante das sementes, que não toleram dessecação intensa e apresentam sensibilidade a variações térmicas, além da imaturidade embrionária no momento da dispersão (Bonjovani e Barbedo, 2008; Embrapa, 1980).

As sementes de *Bertholletia excelsa* possuem testas espessas e altamente lignificadas, funcionando como barreira ao fluxo de água e oxigênio, o que contribui para a dormência predominantemente física. Essa estrutura rígida protege o embrião contra danos mecânicos, ataque de predadores e perda de umidade, porém retarda o início da germinação e limita sua uniformidade. Estudos clássicos já destacavam que a imaturidade do embrião e a presença de compostos inibidores também influenciam a irregularidade no processo germinativo (Kainer et al., 1999).

A literatura científica demonstra que a manutenção das sementes em ambientes com umidade adequada favorece a embebição e acelera o desenvolvimento embrionário, reduzindo a ação de inibidores fisiológicos. Pesquisas sobre sementes amazônicas recalcitrantes indicam que a saturação hídrica moderada e condições térmicas estáveis contribuem para o metabolismo germinativo, sendo fatores determinantes para a sobrevivência e germinação de espécies tropicais sensíveis à dessecação (Lucas et al., 2012; Cusi-Auca et al., 2018).

No caso específico da castanheira, a superação das barreiras físicas impostas pelo tegumento tem sido um dos principais focos de investigação. Diversos estudos evidenciam que técnicas de escarificação podem aumentar significativamente a germinação. Relatórios técnicos da EMBRAPA indicam que tanto a escarificação mecânica quanto a remoção parcial da testa aumentam a absorção de água e reduzem o tempo de emergência (Embrapa, 1980). Resultados semelhantes foram obtidos por Cusi-Auca et al., (2018), que observaram maior velocidade e uniformidade germinativa em sementes submetidas à remoção parcial do tegumento.

Além disso, estudos sobre regeneração natural e recrutamento da castanheira destacam que a baixa taxa de germinação e a elevada mortalidade de plântulas reforçam a necessidade de técnicas aprimoradas de produção de mudas, principalmente em iniciativas de restauração e manejo sustentável (Tonini, 2019).

Dessa forma, intervenções físicas no tegumento, especialmente a escarificação mecânica, associadas ao manejo adequado da umidade e da temperatura constituem estratégias fundamentais para otimizar a germinação de *Bertholletia excelsa*. Tais práticas são essenciais para programas de produção de mudas, recuperação de áreas degradadas e ações de conservação que buscam aumentar o sucesso da regeneração natural e artificial da espécie na Amazônia.

## 2.4 Bombas de Sementes como Estratégia de Reflorestamento

A restauração ecológica tem se consolidado como uma estratégia essencial para a conservação da biodiversidade e a recuperação de ecossistemas degradados, especialmente em regiões tropicais onde a pressão antrópica é intensa. Um dos desafios centrais desses projetos é a propagação de espécies nativas de forma eficiente, econômica e de baixo impacto ambiental.

Nesse contexto, o uso das chamadas bombas de sementes, também conhecidas como *seed balls*, tem ganhado destaque como uma técnica inovadora de reflorestamento. Essa abordagem favorece a dispersão de sementes em áreas de difícil acesso e cria um microambiente protetor que eleva as taxas de germinação e sobrevivência das plântulas. Conforme Saikia *et al.* (2023), essa técnica, redescoberta pelo agricultor natural japonês Masanobu Fukuoka, representa um método simples, duradouro e de baixo custo, com grande potencial para a multiplicação de plantas.

Inspiradas nos princípios da permacultura, as bombas de sementes enfatizam soluções sustentáveis, respeitando os ciclos naturais e promovendo a regeneração do solo. Moura *et al.*, (2020) e Souza *et al.*, (2018) descrevem-nas como pequenas esferas compostas por argila, solo e matéria orgânica, que protegem as sementes contra predadores, extremos climáticos e perda de umidade. Essa composição cria um microambiente que favorece a germinação contínua e uniforme, aumentando o sucesso das emergências.

Além da proteção física, a composição das bombas exerce papel determinante no fornecimento de nutrientes essenciais. Estudos demonstram que a adição de matéria orgânica melhora a retenção de água e garante maior disponibilidade de nutrientes para as plântulas, fatores que influenciam diretamente a taxa de germinação e o vigor inicial das plantas (Atkinson, 2003; Saikia *et al.*, 2023). Essa capacidade de criar um ambiente controlado nos estágios iniciais do desenvolvimento é uma das principais vantagens da técnica em relação à semeadura direta, especialmente em solos degradados e pobres em nutrientes, onde a competição com espécies invasoras é intensa (Meli *et al.*, 2017; Holl e Aide, 2011).

Outro aspecto relevante é a escolha criteriosa das espécies e a preparação adequada das sementes. Fatores como idade, qualidade fisiológica, tratamentos pré-germinativos e época de lançamento das bombas influenciam diretamente o sucesso do plantio. Em regiões tropicais, por exemplo, recomenda-se realizar a dispersão no início da estação chuvosa, garantindo que as bombas absorvam água suficiente para iniciar a germinação, como observado por Saikia *et al.*, (2023). A utilização de um conjunto diverso de espécies favorece a formação de mosaicos vegetacionais semelhantes às comunidades originais, promovendo a recuperação de solos, fauna e processos ecológicos (Chazdon, 2014; Aronson *et al.*, 2020).

Além dos benefícios ecológicos, o uso de bombas de sementes possui vantagens práticas e logísticas significativas. Por serem leves, compactas e de fácil dispersão, podem ser lançadas manualmente ou por meio de drones, permitindo alcançar áreas remotas sem grandes investimentos em infraestrutura (Cárdenas *et al.*, 2022). Essa viabilidade torna a técnica particularmente relevante para programas de restauração em larga escala, como aqueles implementados em florestas tropicais amazônicas, áreas urbanas degradadas ou regiões de difícil acesso, onde métodos convencionais de plantio seriam inviáveis.

Em síntese, o uso de bombas de sementes representa uma convergência entre conhecimento tradicional, princípios da permacultura e técnicas modernas de restauração ecológica. Essa estratégia não apenas aumenta a eficiência da propagação de espécies nativas, mas também contribui para a recuperação de processos ecológicos essenciais, fortalecendo a resiliência dos ecossistemas. A literatura indica que, quando bem planejadas e aplicadas, as bombas de sementes podem ser uma ferramenta poderosa para enfrentar os desafios da degradação ambiental e da perda de biodiversidade, promovendo a regeneração de áreas degradadas de forma sustentável e economicamente viável (Saikia *et al.*, 2023; Moura *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2018; Atkinson, 2003).

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

#### 3.1 Caracterização da pesquisa

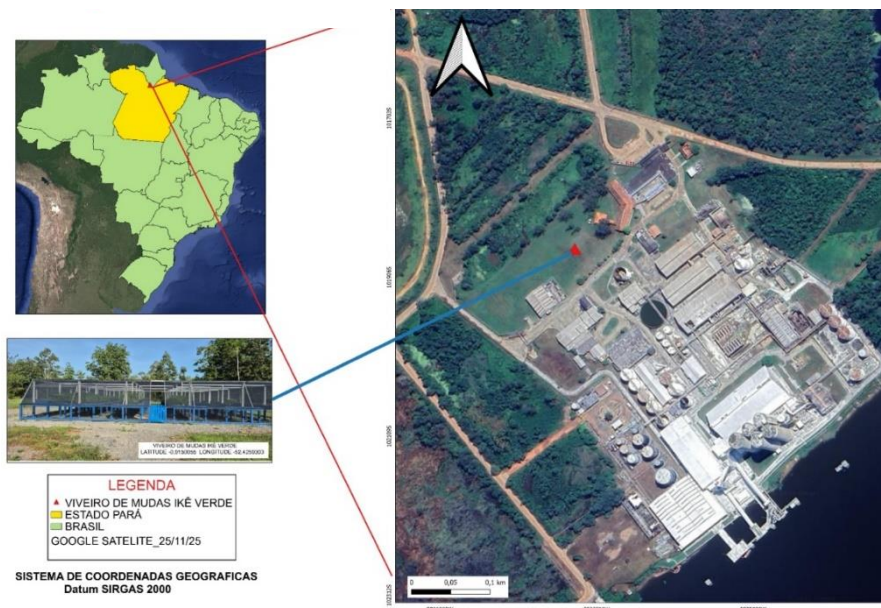
A pesquisa caracteriza-se como aplicada, por propor uma solução prática para a restauração ambiental por meio da produção de bombas de sementes com castanha da Amazônia. Quanto aos procedimentos, trata-se de um estudo experimental, baseado em testes de germinação e avaliação da eficiência das bombas de sementes. A abordagem é quantitativa, uma vez que os resultados foram analisados por meio de dados numéricos, indicadores de desempenho e análise estatística.

#### 3.2 Área de estudo

O experimento foi conduzido no Viveiro de Mudanças Ikê Verde, de uma empresa mineradora de Caulim da Amazônia, localizada na Vila Munguba, Distrito de Monte Dourado, Município de Almeirim (PA). O viveiro possui uma capacidade de produção anual de aproximadamente 50.000 mudas.

A escolha do local se deu pela infraestrutura adequada ao cultivo e monitoramento das plântulas (figura 1).

Figura 1 - Localização do Viveiro de mudas Ikê Verde



Fonte: Adaptado de Google Earth (2025)

### 3.3 Instrumentos e Procedimentos de Coleta de Dados

As sementes de castanha-da-Amazônia (*Bertholletia excelsa*) foram coletadas em castanhais georreferenciados na Reserva Extrativista do Rio Cajari (AP), nas coordenadas Latitude -0,562916 e Longitude -52,306336, a partir de mapeamento prévio de produtividade de frutos no Vale do Jari. A escolha das árvores matrizes considerou critérios de produtividade e sanidade, garantindo representatividade genética e qualidade das sementes.

Após a coleta, as sementes foram selecionadas e submetidas à superação da dormência. Posteriormente, realizou-se a preparação dos substratos, a confecção das bombas de sementes e o registro periódico das variáveis de desenvolvimento das mudas, incluindo taxa de germinação, altura e número de folhas.

### 3.4 Quebra de dormência

A superação da dormência foi realizada por meio de estratificação em substrato úmido, conforme recomendações de Wadt *et al.*, (2021). As sementes foram dispostas em camadas alternadas de substrato umedecido dentro de recipiente fechado, mantendo umidade e temperatura estáveis. O método utilizado favorece a porcentagem e a uniformidade da germinação, considerando que a castanheira apresenta dormência fisiológica pronunciada, a Figura 2 ilustra as castanhas-da-Amazônia após a aplicação do procedimento de quebra de dormência.

Figura 2 - Castanha-da-Amazônia após a quebra da dormência



Fonte: Autora (2025)

### 3.5 Preparação dos Substratos e Produção das Bombas de Sementes

Foram testadas três formulações de substrato:

### I. Argila + Vermiculita + Terra preta (T1)

A vermiculita é um material estéril, leve e com elevada capacidade de retenção de água, amplamente empregada em testes de germinação e produção de mudas.

### II. Argila + Substrato comercial + Terra preta (T2)

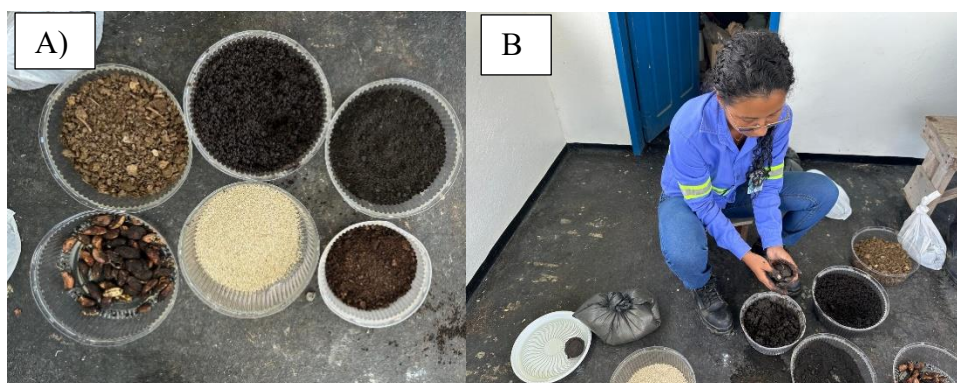
O substrato comercial continha material orgânico decomposto com esterco, contribuindo para a nutrição inicial e para a melhoria da estrutura física das bombas.

### III. Argila + Esterco bovino + Terra preta (T3)

O esterco bovino curtido é amplamente utilizado devido ao bom fornecimento de nutrientes e à melhoria das características físico-químicas do substrato (SILVA et al., 2023).

A argila e a terra preta foram coletadas nas dependências da empresa CADAM S.A. Cada formulação recebeu 30 g do componente principal (substrato comercial, esterco ou vermiculita), ajustando-se os demais elementos até atingir a consistência adequada para moldagem das bombas, conforme ilustrado na Figura 3a (preparo dos substratos) e na Figura 3b (moldagem das bombas de sementes).

Figura 3 - A: Substratos; B: Elaboração das bombas de sementes



Fonte: Autora (2025)

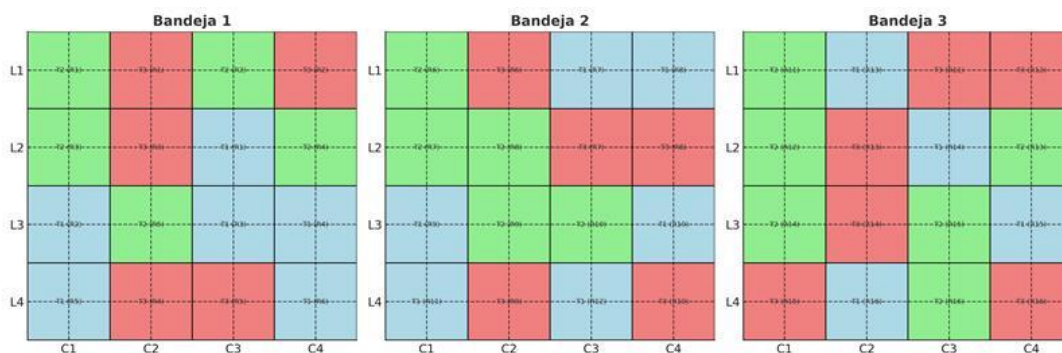
## 3.6 Delineamento Experimental e Avaliação da Eficiência

O experimento seguiu um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com três tratamentos (substratos) e 16 repetições cada, totalizando 48 bombas de sementes, conforme ilustrado na Figura 4. As bombas de sementes foram mantidas sob irrigação duas vezes ao dia (manhã e tarde). As avaliações ocorreram a cada 12 dias, totalizando cinco medições.

As variáveis analisadas incluíram:

- taxa de germinação
- altura das plântulas
- número de folhas

Figura 4 - Demonstração do Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC)



Fonte: Autora (2025)

### 3.7 Eficiência da germinação das bombas de sementes

A eficiência de germinação representa a proporção de sementes que iniciam o processo germinativo sob condições adequadas de cultivo. Esse indicador é essencial para avaliar a qualidade das sementes, a adequação do substrato e a eficácia das técnicas empregadas no experimento. Valores elevados de eficiência indicam maior viabilidade fisiológica e condições favoráveis ao desenvolvimento inicial das plântulas, enquanto taxas reduzidas podem refletir falhas no manejo, variações ambientais, baixa qualidade das sementes ou características próprias da espécie.

A eficiência de germinação foi calculada conforme a fórmula:

**Eficiência (%) = (Número total de sementes germinadas × 100) / Número de bombas elaboradas**

Onde:

- **Número total de sementes germinadas** corresponde à quantidade de bombas germinadas em cada tratamento;
- **Número de bombas elaboradas** corresponde ao total de repetições realizadas para cada experimento (16 unidades);
- **100** é o fator de conversão para porcentagem.

### 3.8 Análise de Dados

Os dados foram organizados em planilhas e submetidos à análise de variância (ANOVA). A partir disso, avaliou-se a eficiência dos substratos e o desempenho germinativo das sementes da castanheira, buscando identificar os tratamentos mais promissores para o uso em bombas de sementes voltadas ao reflorestamento.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Desenvolvimento do Experimento e confecção da bomba de semente

O acompanhamento do experimento foi conduzido de forma sistemática ao longo de todo o período de avaliação, permitindo a observação detalhada das etapas de confecção, secagem e desenvolvimento das bombas de sementes, bem como da emergência e crescimento inicial das plântulas. Foram realizadas visitas periódicas para o monitoramento do estado físico das bombas, da manutenção da umidade, de eventuais alterações estruturais após a secagem e do início do processo germinativo.

Durante as observações, registrou-se tanto o surgimento das primeiras estruturas germinativas quanto a ocorrência de falhas, como bombas que não se romperam ou que apresentaram sinais de deterioração. O registro contínuo desses eventos possibilitou avaliar não apenas a eficiência de germinação, mas também o comportamento e a durabilidade das bombas ao longo do tempo, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada do funcionamento da técnica. O monitoramento foi complementado por registros fotográficos das diferentes etapas do experimento, permitindo documentar visualmente a evolução das bombas de sementes e das plântulas (Figura 5) e subsidiando a interpretação dos resultados obtidos.

A confecção das bombas de sementes foi realizada de forma manual, utilizando-se de 30 g de cada substrato principal previamente selecionado. A argila e a terra preta foram adicionadas em proporções suficientes para possibilitar a moldagem adequada ao redor da semente, garantindo sua completa cobertura e proteção. Inicialmente, os materiais foram homogeneizados até a obtenção de uma mistura uniforme, à qual as sementes foram incorporadas individualmente. Em seguida, a massa foi moldada em formato esférico, envolvendo a semente de maneira compacta, porém sem aplicação de pressão excessiva, de modo a preservar sua viabilidade fisiológica.

A experiência prática de confecção das bombas de sementes mostrou-se simples, intuitiva e de fácil replicação, não exigindo o uso de equipamentos sofisticados ou conhecimentos técnicos avançados. Esse aspecto evidenciou o potencial da técnica não apenas como estratégia de restauração ambiental, mas também como ferramenta pedagógica voltada à educação ambiental. Durante o processo, observou-se que a manipulação direta dos materiais favorece a compreensão da função de cada componente, destacando-se o papel da argila na proteção física

da semente e da terra preta no fornecimento de nutrientes essenciais para o estabelecimento inicial da plântula.

Considerando sua aplicação futura, a técnica apresenta elevada viabilidade para ser empregada em cursos, oficinas e ações extensionistas direcionadas às comunidades locais. A simplicidade do método, aliada ao baixo custo dos insumos e à facilidade de execução, permite que diferentes públicos aprendam e reproduzam a confecção das bombas de sementes, estimulando o engajamento comunitário em ações de restauração de áreas degradadas. Dessa forma, a técnica contribui para o fortalecimento do vínculo entre o conhecimento científico e os saberes populares, promovendo a participação ativa das comunidades em iniciativas de conservação ambiental.

Figura 5 - Fluxograma do Experimento



Fonte: Autora (2025)

## **4.2 Avaliação dos substratos analisados: germinação de bombas de sementes**

A análise dos dados revelou diferenças significativas no desempenho germinativo entre os três tratamentos testados. O Tratamento 1 apresentou o maior número de bombas germinadas (12 unidades), seguido pelo Tratamento 2 (8 germinações) e pelo Tratamento 3 (7 germinações). As taxas de germinação correspondentes foram de 75% para o T1, 50% para o T2 e 44% para o T3, conforme detalhado a seguir:

### **4.2.1 Desempenho do Tratamento 1 – Argila + Vermiculita + Terra Preta**

O Tratamento 1 apresentou o melhor desempenho germinativo, com taxa de eficiência de 75%, resultado que pode ser explicado pelas propriedades físico-hídricas da vermiculita. Estudos como o de Martins *et al.*, (2012) demonstram que esse material, por ser leve, poroso e de alta capacidade de retenção de água, contribui para manter um microambiente estável e constantemente úmido, reduzindo as oscilações de hidratação que normalmente afetam a fase inicial de germinação. Para espécies sensíveis e de germinação lenta, como *Bertholletia excelsa*, essa estabilidade é essencial. Assim, o desempenho superior do T1 está alinhado com a literatura que aponta a vermiculita como um meio eficaz para favorecer a embebição e acelerar o processo germinativo.

### **4.2.2 Desempenho do Tratamento 2 – Argila + Substrato Comercial + Terra Preta**

O Tratamento 2 obteve desempenho intermediário, com taxa de eficiência de 50%. Substratos comerciais tendem a apresentar boa capacidade de aeração e nutrição inicial, especialmente quando compostos por material orgânico estabilizado, o que explica a viabilidade observada. Pesquisas internacionais sobre “*seed balls*” aplicadas à restauração ecológica, como o estudo realizado na Nova Zelândia por Griffiths *et al.*, (2025), demonstram que substratos comerciais conferem boa estrutura às *seed balls* e favorecem a emergência inicial das plântulas, embora nem sempre garantam estabilidade hídrica semelhante à proporcionada pela vermiculita. Dessa forma, o comportamento intermediário do T2 era esperado e reflete a dependência de fatores como granulometria, grau de compostagem e capacidade de retenção de água do substrato utilizado.

### 4.2.3 Desempenho do Tratamento 3 – Argila + Esterco Bovino + Terra Preta

O Tratamento 3 apresentou a menor taxa de germinação (44%), apesar do maior potencial nutricional teórico em relação aos demais. Esse desempenho reduzido pode estar relacionado à presença de compostos fitotóxicos encontrados em esterco bovino não completamente estabilizado, como amônio, ácidos orgânicos e subprodutos da decomposição microbiana. Esses compostos têm sido amplamente apontados pela literatura, como evidenciado em Eckhardt *et al.*, (2021), como limitadores da germinação, pois podem aumentar a condutividade elétrica do substrato e comprometer o balanço osmótico necessário à embebição das sementes. Além disso, a atividade microbiana ativa pode gerar microaquecimento no interior das bombas, criando condições desfavoráveis à germinação. No caso de sementes grandes, como as da castanheira, tais variações podem ser ainda mais sensíveis.

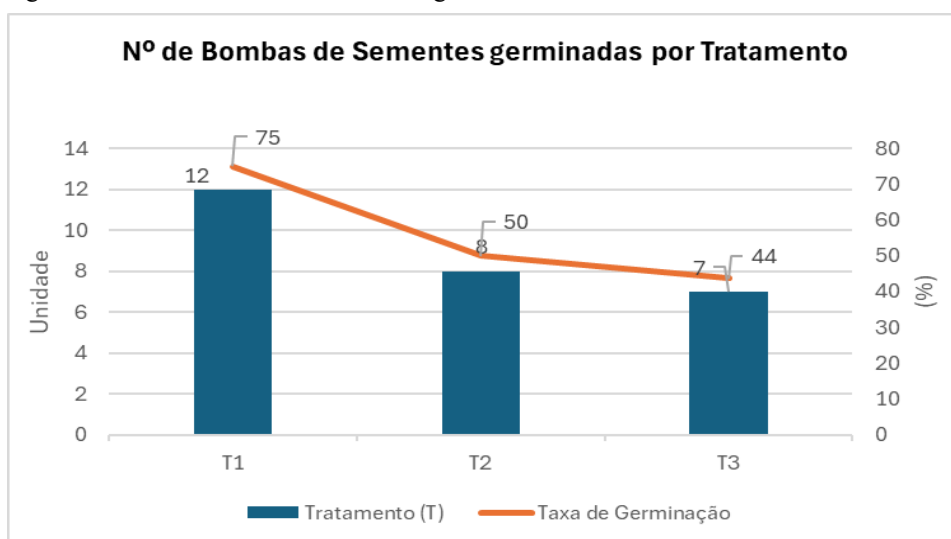
### 4.2.4 Comparação Geral entre os Tratamentos

A variação observada entre os três tratamentos evidencia que pequenas alterações na composição e na estrutura física dos substratos influenciam diretamente a eficiência germinativa. Enquanto o T1 se destacou por apresentar maior estabilidade hídrica e baixa fitotoxicidade, o T2 demonstrou um desempenho intermediário, porém alinhado ao que é reportado na literatura sobre o uso de substratos comerciais.

Os resultados obtidos situam-se dentro da faixa registrada por Verteiro *et al.*, (2025), que apontam uma média de germinação de 62,8%, com variações entre 0% e 87%.

A relação numérica entre o número de indivíduos germinados e suas respectivas taxas de germinação é apresentada na Figura 6.

Figura 6 -Total de Bombas de sementes germinadas



Fonte: Autora (2025).

#### 4.2.5 Variável número de germinações

A análise de variância (ANOVA) de fator único indicou a ausência de diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos quanto ao número de germinações, conforme apresentado na Tabela 1 e na Figura 7.

Tabela 1 - Análise de Variância (ANOVA) do número de germinação sob diferentes tratamentos

Anova: fator único

##### RESUMO

| Grupo | Contagem | Soma | Média | Variância  |
|-------|----------|------|-------|------------|
| T1    | 16       | 12   | 0,75  | 0,2        |
| T2    | 16       | 8    | 0,50  | 0,26666667 |
| T3    | 16       | 7    | 0,44  | 0,2625     |

##### ANOVA

| Fonte da variação | SQ      | gl | MQ         | F      | valor-P | F crítico |
|-------------------|---------|----|------------|--------|---------|-----------|
| Entre grupos      | 0,875   | 2  | 0,4375     | 1,8000 | 0,1769  | 3,2043    |
| Dentro dos grupos | 10,9375 | 45 | 0,24305556 |        |         |           |
| Total             | 11,8125 | 47 |            |        |         |           |

Fonte: Autora (2025).

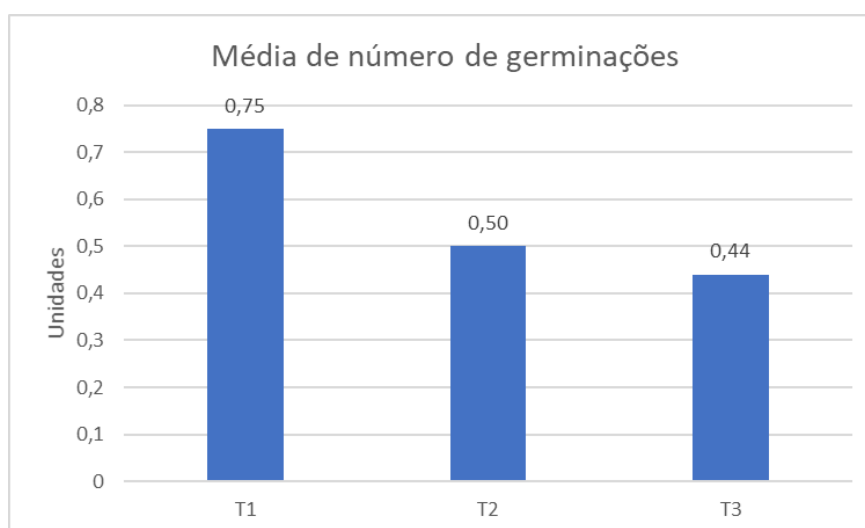
As médias foram:

- T1: 0,75 un.
- T2: 0,50 un.
- T3: 0,44 un.

Os resultados estatísticos indicaram:

- F calculado: 1,8000
- F crítico: 3,2043
- p-valor: 0,1769

Figura 7 - Médias de número de germinações dos 3 tratamentos.



Fonte: Aurora (2025).

Como  $F < F$  crítico e  $p > 0,05$ , conclui-se que as diferenças numéricas observadas não foram suficientes para caracterizar efeito significativo dos substratos em relação ao número de germinações. A maior de fonte de variação ocorreu entre os grupos ( $MQ = 0,4375$ ), e não dentro deles ( $MQ = 0,2431$ ). Isso indica que os tratamentos apresentaram alguma diferença entre si, sugerindo uma tendência de que o fator estudado possa influenciar o resultado. No entanto, essa diferença não foi suficiente para alcançar significância estatística no nível de 5%.

#### 4.2.6 Implicações para a Produção de Bombas de Sementes

Os resultados indicam que substratos com maior retenção hídrica e boa aeração apresentam maior eficiência para a produção de bombas de sementes de castanheira. O T1 mostrou-se o mais indicado para ações de restauração ecológica, sobretudo em ambientes onde a umidade é

fator limitante. A pesquisa reforça a relevância de testes prévios na elaboração de bombas de sementes, contribuindo para aprimorar a técnica em programas de recuperação ambiental.

### 4.3 Análise das Variáveis Altura e Número de Folhas

A avaliação das variáveis altura e número de folhas das plântulas revelou um padrão consistente entre os três tratamentos testados. A análise de variância (ANOVA) de fator único indicou ausência de diferenças estatisticamente significativas tanto para o crescimento em altura quanto para a produção foliar, demonstrando que os diferentes substratos utilizados não exerceram influência comprovada sobre o desenvolvimento inicial das mudas.

Para a variável altura, as médias observadas foram de 2,93 cm (T1), 1,89 cm (T2) e 1,35 cm (T3). Embora o Tratamento 1 tenha apresentado maior média, o teste estatístico indicou  $F$  calculado = 2,1557, valor inferior ao  $F$  crítico = 3,2043, com  $p = 0,1276$ , confirmando a inexistência de diferenças significativas entre os tratamentos, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Análise de Variância (ANOVA) de alturas das plântulas sob diferentes tratamentos

Anova: fator único

RESUMO

| <i>Grupo</i> | <i>Contagem</i> | <i>Soma</i> | <i>Média</i> | <i>Variância</i> |
|--------------|-----------------|-------------|--------------|------------------|
| T1           | 16              | 46,9        | 2,93125      | 6,815625         |
| T2           | 16              | 30,2        | 1,8875       | 4,929166667      |
| T3           | 16              | 21,6        | 1,35         | 2,649333333      |

ANOVA

| <i>Fonte da variação</i> | <i>SQ</i>  | <i>gl</i> | <i>MQ</i>  | <i>F</i> | <i>valor-P</i> | <i>F crítico</i> |
|--------------------------|------------|-----------|------------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos             | 20,68625   | 2         | 10,3431    | 2,1556   | 0,1276         | 3,2043           |
| Dentro dos grupos        | 215,911875 | 45        | 4,79804167 |          |                |                  |
| Total                    | 236,598125 | 47        |            |          |                |                  |

Fonte: Autora (2025).

Resultados semelhantes foram observados para a variável número de folhas. As médias registradas foram de 1,94 (T1), 1,16 (T2) e 0,92 (T3). Assim como na avaliação de altura, não houve diferenças estatisticamente significativas ( $F$  calculado = 2,1850;  $p = 0,1243$ ), reforçando

que os diferentes substratos não afetaram de forma mensurável a produção foliar das plântulas., conforme tabela 3.

Tabela 3 - Análise de Variância (ANOVA) número de folhas das plântulas sob diferentes tratamentos

Anova: fator único

RESUMO

| Grupo | Contagem | Soma | Média  | Variância |
|-------|----------|------|--------|-----------|
| T1    | 16       | 31   | 1,9375 | 2,9105    |
| T2    | 16       | 18,6 | 1,1625 | 1,953167  |
| T3    | 16       | 14,8 | 0,925  | 1,295333  |

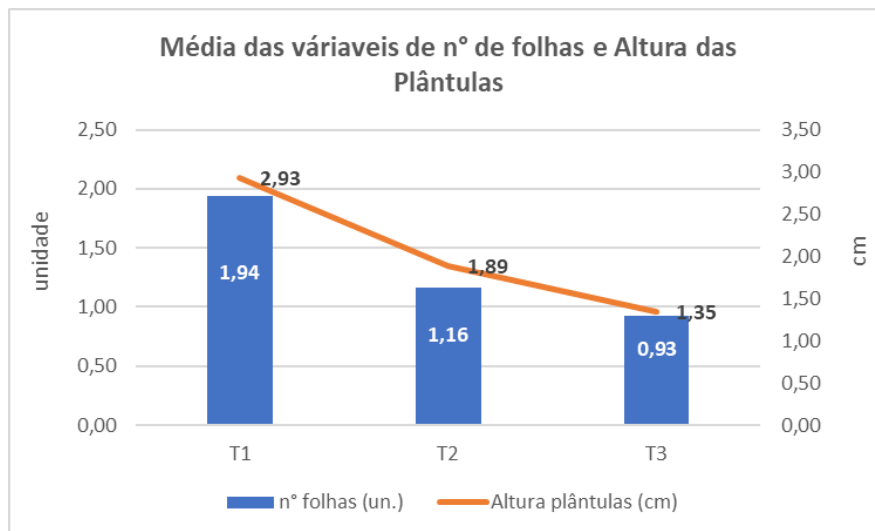
ANOVA

| Fonte da variação | SQ          | gl | MQ       | F        | valor-P  | F crítico |
|-------------------|-------------|----|----------|----------|----------|-----------|
| Entre grupos      | 8,971666667 | 2  | 4,485833 | 2,185014 | 0,124267 | 3,204317  |
| Dentro dos grupos | 92,385      | 45 | 2,0530   |          |          |           |
| Total             | 101,3566667 | 47 |          |          |          |           |

Fonte: Autora (2025).

A representação gráfica das médias das variáveis altura das plântulas e número de folhas pode ser visualizada na Figura 8, apresentado a seguir.

Figura 8 - Média das variáveis de n° de folhas e Altura das Plântulas



Fonte: Autora (2025).

Autores como Bonamigo *et al.*, (2016) destacam que, nas fases iniciais de desenvolvimento, muitas espécies apresentam crescimento lento, irregular e altamente sensível a pequenas variações de umidade, luminosidade e vigor individual. Esses fatores podem reduzir a

capacidade de detecção de diferenças entre tratamentos quando as condições gerais de cultivo são relativamente homogêneas. Assim, mesmo quando um substrato apresenta médias numericamente superiores, isso não necessariamente resulta em diferença estatisticamente significativa, como observado no presente estudo (Bonamigo *et al.*, 2016).

Dessa forma, os resultados obtidos indicam que os três substratos avaliados apresentaram desempenho semelhante no desenvolvimento inicial das plântulas, tanto em altura quanto em número de folhas. As variações registradas não foram estatisticamente suficientes para demonstrar superioridade de qualquer tratamento, reforçando que, nas condições experimentais testadas, o crescimento das mudas foi equivalente entre os diferentes materiais utilizados.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam que a utilização de bombas de sementes constitui uma estratégia viável, prática e de baixo custo para favorecer a germinação e o estabelecimento inicial de *Bertholletia excelsa*. Embora o Tratamento 1 (Argila + Vermiculita + Terra Preta) tenha apresentado maior número de germinações, as análises estatísticas não identificaram diferenças significativas nas variáveis altura e número de folhas entre os tratamentos. Isso indica que todas as formulações testadas foram eficientes no suporte ao desenvolvimento inicial das plântulas.

A ausência de significância estatística reforça que fatores intrínsecos às sementes, como vigor fisiológico, variabilidade genética e característica próprias da espécie, exerceram influência maior do que a composição do substrato na fase inicial de crescimento. Dessa forma, a técnica mostrou-se robusta, apresentando bom desempenho independentemente do tipo de substrato utilizado.

Com base nesses achados, confirma-se o potencial das bombas de sementes para aplicação em ações de restauração ecológica, especialmente em áreas extensas, de difícil acesso ou que demandam métodos alternativos de plantio. A simplicidade de confecção e a flexibilidade logística tornam a técnica uma ferramenta promissora para iniciativas de recuperação ambiental na Amazônia.

No contexto do macroprojeto de regeneração florestal ativa, propõem-se ações de continuidade que ampliam o escopo tecnológico e social da pesquisa.

- Confecção pela comunidade de bombas de sementes, promovendo educação ambiental e engajamento social;
- Adaptação e testes de drones para a dispersão de bombas de *B. excelsa* em áreas de capoeira;
- Ampliação da variedade de tratamentos e do número de repetições;

Monitoramento de longo prazo, contemplando crescimento, sobrevivência e adaptação em campo. Esses desdobramentos contribuirão para o aprimoramento da técnica e para o avanço do uso de bombas de sementes como ferramenta estratégica de recomposição florestal na região amazônica, fortalecendo iniciativas comunitárias, acadêmicas e institucionais voltadas à restauração ecológica.

## REFERÊNCIAS

- ATKINSON, V. L. **Mine and industrial site revegetation in the semi-arid zone, North-Eastern Eyre Peninsula, South Australia**. 2003. Dissertação (Mestrado) – University of South Australia, Adelaide, 2003. Disponível em: [https://find.library.unisa.edu.au/discovery/delivery/61USOUTHHAUS\\_INST:ROR/12146674500001831](https://find.library.unisa.edu.au/discovery/delivery/61USOUTHHAUS_INST:ROR/12146674500001831). Acesso em: 05 jun. 2025.
- BONAMIGO, T.; SCALON, S. P. Q.; PEREIRA, Z. V. **Substratos e níveis de luminosidade no crescimento inicial de mudas de *Tocoyena formosa* (Cham. & Schltdl.) K. Schum. (Rubiaceae)**. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 475–486, 2016. DOI: 10.5902/1980509822750. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/22750>. Acesso em: 10 dez. 2025.
- BONJOVANI, M. R.; BARBEDO, C. J. Sementes recalcitrantes: intolerantes a baixas temperaturas? **Brazilian Journal of Botany**, v. 31, n. 2, p. 345–356, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbb/a/yjrTJn3ZyYSK4Rx9pZyJkMH/>. Acesso em: 01 dez. 2025.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 01, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 fev. 1986.
- CHAZDON, R. L. **Second growth: the promise of tropical forest regeneration in an age of deforestation**. Chicago: University of Chicago Press, 2014. Disponível em: <https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/S/bo17407876.html>. Acesso em: 02 dez. 2025.
- DIONISIO, L. F. S. *et al.* Propagation of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) seedlings using seeds in mini-greenhouses. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 12, n. 4, p. 300–313, 2018. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/>. Acesso em: 01 dez. 2025.
- DIONISIO, L. F. S. *et al.* Seedling production of *Bertholletia excelsa* in response to seed origin and position inside fruit. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 14, n. 3, e5662, 2019. Disponível em: <https://agraria.pro.br/ojs3/index.php/RBCA/article/view/5662>. Acesso em: 02 dez. 2025.
- ECKHARDT, Daniel Pazzini *et al.* Comparação entre estrume bovino, composto orgânico e vermicomposto na produção de mudas de *Eucalyptus urogandris*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 51, n. 9, e20200600, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/P9Vg349rScg6sXSKgZfrZqy/?lang=en>. Acesso em: 02 dez. 2025.
- EMBRAPA. **Escarificação mecânica e embebição na germinação de sementes de castanha-do-brasil**. Belém, PA: Embrapa-CPATU, 1980. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/376820>. Acesso em: 02 dez. 2025.
- FERREIRA, M. J.; GONÇALVES, J. F. D. C.; FERRAZ, J. B. S. Crescimento e eficiência do uso da água de plantas jovens de castanheira-da-amazônia em área degradada e submetidas à adubação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 393–401, 2012. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/534/53423427018.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2025.

FUKUOKA, M. **The natural way of farming**: the theory and practice of green philosophy. Tokyo: Japan Publications, 1985. Disponível em: [https://books.google.com/books/about/The\\_Natural\\_Way\\_of\\_Farming.html?id=OT4qAAAA\\_CAAJ](https://books.google.com/books/about/The_Natural_Way_of_Farming.html?id=OT4qAAAA_CAAJ). Acesso em: 03 jun. 2025.

GONÇALVES, E. *et al.* Metabolic dynamics of primary reserves during germination and early growth of cultivated Brazil nut tree genotypes. **Seeds**, v. 4, n. 4, p. 60, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2674-1024/4/4/60>. Acesso em: 02 dez. 2025.

GUTIÉRREZ-COLLAO, J. E. *et al.* **Effect of mechanical, chemical, and physical scarification on the germination of Brazil nut seeds (*Bertholletia excelsa*) in Peru**. *Nature Environment and Pollution Technology*, 2026. Disponível em: <https://editorial.neptjournal.com/index.php/1/article/view/1545>. Acesso em: 11 dez. 2025.

IBAMA. **Recuperação ambiental**. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/biodiversidade/recuperacao-ambiental>. Acesso em: 02 dez. 2025.

KAINER, Karen A.; DURYEA, Mary L.; MALAVASI, Marcio M.; SILVA, Eurico R.; HARRISON, Jack. Moist storage of Brazil nut seeds for improved germination and nursery management. **Forest Ecology and Management**, v. 116, p. 207–217, 1999. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112798004617>. Acesso em: 02 dez. 2025.

MARIOSIA, A. P. S. *et al.* Cooperativas agroindustriais da cadeia de valor da castanha-do-brasil: um novo paradigma extrativista na Amazônia. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 62, n. 3, 2024. Disponível em: <https://www.revistasober.org/journal/resr/article/doi/10.1590/1806-9479.2023.277617>. Acesso em: 05 dez de 2025.

MARTINS, C. C. *et al.* Vermiculita como substrato para o teste de germinação de sementes de ipê-amarelo. **Revista Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 2, p. 533–540, 2012. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/6370>. Acesso em: 01 dez. 2025.

MELLI, P. *et al.* A global review of past land use, climate, and active vs. passive restoration effects on forest recovery. **PLoS ONE**, v. 12, n. 2, e0171368, 2017. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0171368>. Acesso em: 02 dez. 2025.

MENDES, E. M. S. *et al.* O uso da bomba de semente a partir do pseudocaule da bananeira para reflorestamento da região do Maciço de Baturité. **Ceará Científico**, ano 2, n. 2, jun. 2023. Disponível em: <https://periodicos.seduc.ce.gov.br/cearacientifico/article/view/838>. Acesso em: 25 nov de 2025.

RAMINEH, A. *et al.* Effect of different vegetation restoration on recovery of compaction-induced soil degradation. **Forests**, v. 14, n. 3, art. 603, 2023. DOI: 10.3390/f14030603. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/14/3/603>. Acesso em: 02 dez. 2025.

RIBEIRO, I. S. *et al.* The Brazilian native orchid *Brassavola tuberculata* Hook.: ornamental potential and reintroduction. **Ornamental Horticulture**, v. 30, e242768, 2024. DOI:

10.1590/2447-536X.v30.e242768. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/oh/a/ZN4B8zR5hXtGxZ8bJZ6zV3y/>. Acesso em: 28 out. 2025.

SAIKIA, T.; HAZARIKA, J.; KURMI, K. K.; GOGOI, D. Seed bomb: a new approach of afforestation. **The Pharma Innovation Journal**, v. 12, n. 10, p. 2114–2118, 2023. Disponível em: <https://www.thepharmajournal.com/archives/?ArticleId=23738&issue=10&vol=12&year=2023>. Acesso em: 02 dez. 2025.

SALOMÃO, C. de S. C.; SOUZA PAULA, L. G. de; ELMIRO, M. A. T. Use of multicriteria analysis to define priority areas for reforestation in the Piranga River Basin, MG, Brazil. **Sustainability in Debate**, Brasília, v. 11, n. 2, p. 95–120, 2020. DOI: 10.18472/SustDeb.v11n2.2020.30468. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/30468>. Acesso em: 02 dez. 2025.

SALOMÃO, R. P. *et al.* **Manual técnico de classificação dos estágios sucessionais de florestas secundárias**. Brasília, DF: Embrapa Amazônia Oriental; MAPA, 2024. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1164601>. Acesso em: 14 out. 2025.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020. Disponível em: <https://www.ofitexto.com.br/avaliacao-de-impacto-ambiental-3-ed>. Acesso em: 29 dez. 2025.

SCOLES, R.; GRIBEL, R.; KLEIN, G. N. Crescimento e sobrevivência de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em diferentes condições ambientais na região do rio Trombetas, Oriximiná, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi – Ciências Naturais**, v. 6, n. 3, p. 273–293, 2011. Disponível em: [http://scielo.iec.pa.gov.br/scielo.php?script=sci\\_serial&pid=1981-8114&lng=pt&nrm=iso](http://scielo.iec.pa.gov.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=1981-8114&lng=pt&nrm=iso). Acesso em: 02 dez. 2025.

SILVA JUNIOR, C. A. de *et al.* Incêndios provocam degradação ambiental de longo prazo na bacia amazônica. **Remote Sensing**, v. 14, n. 2, p. 338, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/2/338/pdf>. Acesso em: 02 dez. 2025.

SILVA, Carolina Melo. **Potencial para restauração de paisagens florestais na Amazônia**. 2023. 89 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade Federal do Pará; Embrapa Amazônia Oriental, Belém, 2023. Disponível em: <https://ppgeco.propesp.ufpa.br/index.php/br/teses-e-dissertacoes/teses/196-teses-2023>. Acesso em: 06 dez. 2025.

SILVA, D. P. da *et al.* Uso de esterco bovino proporciona melhores mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). **Agrarian Academy**, Centro Científico Conhecer, Jandaia-GO, v. 10, n. 19, p. 50–61, 2023. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/Agrarian%20Academy/2023A/uso.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2025.

SILVA, J. P. da *et al.* Degradação ambiental e mudanças climáticas: os impactos das ações antrópicas sobre a natureza. **IOSR Journal of Business and Management (IOSR-JBM)**, v. 27, n. 5, p. 45–49, maio 2025. Disponível em: <https://www.iosrjournals.org/iosr-jbm/papers/Vol27-issue5/Ser-1/E2705014549.pdf>. Acesso em: 22 out. 2025.

SOUZA, C. S. C. R.; SANTOS, V. A. H. F.; FERREIRA, M. J.; GONÇALVES, J. F. de C. Biomassa, crescimento e respostas ecofisiológicas de plantas jovens de *Bertholletia excelsa* Bonpl. submetidas a diferentes níveis de irradiância. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 557–569, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/27736>. Acesso em: 05 dez. 2025.

TÓFOLI, C. F. *et al.* (org.). **Monitoramento participativo da biodiversidade: experiências, resultados e aprendizados para conservação da biodiversidade na Amazônia**. Nazaré Paulista, SP: Instituto de Pesquisas Ecológicas, 2023. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1171493/1/cpafr-19262.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2025.

TONINI, H.; BALDONI, A. B. **Estrutura e regeneração de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em castanhais nativos da Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1104495>. Acesso em: 30 nov. 2025.

VERTEIRO, L. G. *et al.* Qualidade fisiológica de sementes coletadas em matrizes de castanheira-da-amazônia. *In*: ENCONTRO DE INICIAÇÃO À PESQUISA DA EMBRAPA RONDÔNIA, XV, 2023, Porto Velho. **Anais...** Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2023. p. 45-47. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1180423/1/EIPER-2025.11.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2025.

WADT, L. H. de O.; GOMES, J. K. da S. **Método prático para produção de mudas de castanha-da-amazônia adaptado para agroextrativistas**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2021. (Comunicado Técnico, 420). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1136722/1/cpafr-18632.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2025.

WADT, L. H. de O. *et al.* **Castanha-da-Amazônia: estudos sobre a espécie e sua cadeia de valor: ecologia e manejo de castanhais nativos**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes>. Acesso em: 05 dez. 2025.