



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE GURUPI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO
ACADÊMICO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS**

ELIZÂNGELA ALVES DE FREITAS

**PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Corymbia citriodora* E *Hymenaea courbaril*
ADUBADAS COM EFLUENTE DE ABATE DE BOVINOS DESINFETADO
COM ÁCIDO PERACÉTICO**

GURUPI - TO

2026

ELIZÂNGELA ALVES DE FREITAS

**PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Corymbia citriodora* E *Hymenaea courbaril*
ADUBADAS COM EFLUENTE DE ABATE DE BOVINOS DESINFETADO
COM ÁCIDO PERACÉTICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, como parte dos requisitos, para a obtenção do título Mestra em Ciências Florestais e Ambientais.

Orientadora: Profa. Dra. Grasielle Soares Cavallini

Coorientador: Prof. Dr. Cristiano Bueno de Moraes

GURUPI - TO

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

A474p Alves de Freitas, Elizângela.
 PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Corymbia citriodora* E *Hymenaea courbaril*
 ADUBADAS COM EFLUENTE DE ABATE DE BOVINOS DESINFETADO
 COM ÁCIDO PERACÉTICO. / Elizângela Alves de Freitas. – Gurupi, TO, 2026.
 61 f.

 Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins –
 Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em
 Ciências Florestais e Ambientais, 2026.
 Orientadora : Grasielle Soares Cavallini
 Coorientador: Cristiano Bueno de Moraes

 1. ReúsoSustentabilidade. 2. Águas Residuárias. 3. Sustentabilidade. 4.
 Ácido peracético. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

ELIZÂNGELA ALVES DE FREITAS

Produção de mudas de *Corymbia citriodora* e *Hymenaea courbaril* adubadas com efluente de abate de bovinos desinfetado com ácido peracético.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais em 12/03/2026 foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data da aprovação: 12/03/2026

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 GRASIELE SOARES CAVALLINI
Data: 17/03/2026 08:29:48-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Grasielle Soares Cavallini – Orientadora – UFT

Documento assinado digitalmente
 EVERTON ALVES RODRIGUES PINHEIRO
Data: 17/03/2026 09:21:37-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Everton Alves Rodrigues Pinheiro – Examinador - UFT

Documento assinado digitalmente
 FABIANA SCHMIDT BANDEIRA PERES
Data: 17/03/2026 09:39:00-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Fabiana Schmidt Bandeira Peres – Examinadora – UNICENTRO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a Nossa Senhora por ter permitido que eu tivesse força e determinação e que sempre me ampararam, apesar de todos os percalços ocorridos durante esse período, seguraram a minha mão para eu não desanimar.

À minha família, em especial ao meu esposo Beraldo e meus filhos Julia e Heitor, por todo o apoio durante esse percurso. Sem vocês não teria concluído esse Mestrado. Aos professores da UFT, Campus de Gurupi, professores Dr. Cristiano Bueno de Moraes e Dr. Noé Mitterhofer Eiterer pelas contribuições e em especial a minha orientadora Dra Grasielle Soares Cavallini, um anjo enviado por Deus, obrigada por todo o aprendizado e paciência ao longo de toda essa jornada, serei eternamente grata por tudo que aprendi e todo o apoio que recebi.

Agradeço à Prefeitura de Gurupi e a Secretaria Municipal de Educação, por conceder a licença para qualificação profissional. A Dra. Thayrine Dias, por toda a colaboração no laboratório e a minha amiga Kelma Carla e a colega Savanna Alice que foram fundamentais na realização da minha pesquisa.

Agradeço à Universidade Federal do Tocantins, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Tocantins (FAPT) pelo apoio financeiro e de infraestrutura.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram diretamente ou indiretamente para conclusão do Mestrado, todas as trocas de informações e experiências, levarei muito aprendizado para a minha vida profissional e pessoal.

RESUMO

A produção de mudas é crescente no país, tanto para fins comerciais como para recomposição florestal nativa. E para obtenção de um resultado satisfatório em campo é necessário que as mudas produzidas apresentem qualidade. A adubação com fertilizantes comerciais contribui para produção de mudas saudáveis e vigorosas, no entanto, a utilização de materiais alternativos, encontrados na forma de resíduos, como os efluentes, podem ser aplicados como fertilizantes para a produção de mudas de forma mais sustentável e econômica. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial do efluente de abatedouro de bovinos desinfetado com ácido peracético (APA) como fonte de nutrientes em viveiros e compará-lo com o fertilizante comercial Fosfato Monoamônico (MAP). A desinfecção se fez necessária para a inativação de microrganismos patogênicos do efluente, sendo utilizado um desinfetante não clorado e de baixa concentração residual, o APA. Para o estudo implantou-se o experimento no delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com 5 tratamentos (Controle, MAP e 3 dosagens de efluente) com 4 repetições para duas espécies florestais: Eucalipto (*Corymbia citriodora*) e Jatobá *Hymenaea courbaril*. As variáveis avaliadas nas mudas incluíram altura e diâmetro do coleto a cada 30 dias pelo período de 150 dias; e ao final do experimento foram realizadas análises físico-químicas do substrato e das plântulas (parte aérea e raiz) de todos os tratamentos. Após o plantio das mudas, também foi realizada a avaliação ecotoxicológica do substrato, utilizando o bioindicador *Eisenia fetida* (minhoca) por meio do teste de fuga. Nos resultados observou-se que *C. citriodora* apresentou aumento de crescimento com a aplicação do efluente, o tratamento T3 demonstrou melhor desempenho que o controle, quanto a massa fresca total e massa fresca de raiz. E na avaliação de altura e diâmetro do coleto, T3 e T5 se diferenciaram estatisticamente do controle. porém significativamente inferior ao fertilizante comercial. Enquanto *H. courbaril* não demonstrou diferença de desenvolvimento entre os tratamentos. *C. citriodora* apresentou teor nutricional da planta superior a *H. courbaril*, porém, ao final do estudo os substratos apresentaram composição química semelhante. Em relação a avaliação ecotoxicológica, o substrato que recebeu as mudas de *C. citriodora* correspondeu a um habitat mais atraente para as minhocas, o que pode indicar um possível potencial para recuperação de solos contaminados.

Palavras-chave: Reúso. Águas Residuárias. Sustentabilidade. Eucalipto. Jatobá. Viveiros.

ABSTRACT

Seedling production is increasing in the country, both for commercial purposes and for native forest restoration. To obtain satisfactory results in the field, it is necessary that the seedlings produced are of high quality. Fertilization with commercial fertilizers contributes to the production of healthy and vigorous seedlings; however, the use of alternative materials, found in the form of waste, such as effluents, can be applied as fertilizers for seedling production in a more sustainable and economical way. Therefore, the objective of this work was to evaluate the potential of bovine slaughterhouse effluent disinfected with peracetic acid (PAA) as a nutrient source in nurseries and to compare it with the commercial fertilizer Monoammonium Phosphate (MAP). Disinfection was necessary to inactivate pathogenic microorganisms in the effluent, using a non-chlorinated disinfectant with a low residual concentration, PAA. For this study, the experiment was implemented in a randomized block design (RBD), with 5 treatments (Control, MAP, and 3 effluent dosages) with 4 replications for two forest species: Eucalyptus (*Corymbia citriodora*) and Jatobá (*Hymenaea courbaril*). The variables evaluated in the seedlings were height and stem diameter every 30 days for a period of 150 days; and at the end of the experiment, physicochemical analyses of the substrate and seedlings (aerial part and root) of all treatments were performed. After planting the seedlings, an ecotoxicological evaluation of the substrate was also carried out using the bioindicator *Eisenia fetida* (earthworm) through the escape test. The results showed that *C. citriodora* exhibited increased growth with the application of the effluent, Treatment T3 demonstrated better performance than the control in terms of total fresh mass and root fresh mass. And in the evaluation of height and stem diameter, T3 and T5 differed statistically from the control but significantly less than with the commercial fertilizer. While *H. courbaril* did not show a difference in development between the treatments. *C. citriodora* showed a higher plant nutritional content than *H. courbaril*, however, at the end of the study, the substrates presented a similar chemical composition. Regarding the ecotoxicological evaluation, the substrate that received the *C. citriodora* seedlings corresponded to a more attractive habitat for earthworms, which may have a possible potential for the recovery of contaminated soils.

Keywords: Reuse. Wastewater. Sustainability. Eucalyptus. Jatobá. Nurseries.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Folha Da Espécie <i>C. Citriodora</i>	13
Figura 2 - Árvore adulta <i>H. courbaril</i>	15
Figura 3 - Fruto maduro de <i>H. courbaril</i>	17
Figura 4 - Lagoa de sistema de tratamento do abatedouro.....	26
Figura 5 - Efluente de abate de bovinos.....	27
Figura 6 - Localização geográfica da área do experimento. Universidade Federal do Tocantins, Campus Gurupi.....	28
Figura 7 - (A) Sementes da espécie <i>C. citriodora</i> . (B) Plântulas de <i>C. citriodora</i>	28
Figura 8 - (A) Sementes da espécie <i>H. courbaril</i> . (B) Germinação de <i>H. courbaril</i>	29
Figura 9 - (A) Casa de vegetação. (B) Sistema de irrigação automático.....	30
Figura 10 - Bandejas dispostas em delineamento em blocos casualizados.....	30
Figura 11 - (A) Efluente de abate de bovinos diluído com água. (B) Aplicação do efluente de abate de bovinos nas mudas de <i>H. courbaril</i>	31
Figura 12 - (A) Medida da Altura usando régua. (B) Diâmetro do coleto com paquímetro digital. (C) Aferindo o teor de clorofila A e B.....	32
Figura 13 - (A) Réplicas de mudas escolhidas (B) Secção da parte aérea e da raiz (C) Pesagem da biomassa.....	33
Figura 14 - (A) Parte aérea de mudas <i>C. citriodora</i> (B) Parte aérea de mudas de <i>H. courbaril</i>	33
Figura 15 - Capacidade de retenção de água.....	34
Figura 16 - Avaliação ecotoxicológica com minhocas da espécie <i>Eisenia fetida</i>	35
Figura 17 - (A) Pesagem do substrato. (B) Frascos do respirômetro.....	36

Figura 18 - Médias com desvio padrão para altura e diâmetro de coleto das mudas em <i>Corymbia citriodora</i> (A e B) e em <i>Hymenaea courbaril</i> (C e D) para os diferentes tratamentos.....	40
Figura 19 - Médias com desvio padrão da média para altura e diâmetro de coleto das mudas em <i>Corymbia citriodora</i> (A e B) e em <i>Hymenaea courbaril</i> (C e D) ao longo do tempo de cultivo.....	42
Figura 20 - Massa fresca da parte aérea, massa fresca total, massa seca da parte aérea, massa seca total, comprimento da raiz, massa fresca da raiz, massa seca da raiz, clorofila a, clorofila b e Índice de Qualidade de Dickson de mudas de <i>Corymbia citriodora</i> para os diferentes tratamentos após 150 dias.....	43
Figura 21 - Massa fresca da parte aérea, massa fresca total, massa seca da parte aérea, massa seca total, comprimento da raiz, massa fresca da raiz, massa seca da raiz, clorofila a, clorofila b e Índice de Qualidade de Dickson de mudas de <i>Hymenaea courbaril</i> para os diferentes tratamentos após 150 dias.....	44
Figura 22 - Avaliação de torrão das espécies <i>Corymbia citriodora</i> e <i>Hymenaea courbaril</i>	45
Figura 23 - Avaliação ecotoxicológica, % fuga, dos substratos após os 150 dias de experimento, utilizando <i>Eisenia fetida</i>	47
Figura 24 - Avaliação da biodegradabilidade do substrato após os 150 dias de experimento.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tratamentos utilizados na aplicação em mudas de <i>C. citriodora</i> e <i>H.</i>	31
Tabela 2 - Caracterização físico-química do efluente de abate de bovino desinfetado com APA (10 mg·L ⁻¹)	38
Tabela 3 - Eficiência de desinfecção utilizando coliformes totais e <i>Escherichia coli</i> e a toxicidade para <i>Vibrio fischeri</i> da amostra antes e após a aplicação do APA (10 mg.L ⁻¹)	38
Tabela 4 - Resumo da análise de variância para as características altura (em cm) e diâmetro do coleto (em mm) para <i>C. citriodora</i> e <i>H. courbaril</i> em função do tempo, tratamento e da interação tempo x tratamento.....	40
Tabela 5 - Análise química das mudas de <i>Corymbia citriodora</i> e <i>Hymenaea courbaril</i> (raiz e parte aérea) após 150 dias.....	45
Tabela 6 - Análise do substrato após os 150 dias de experimento, referente ao plantio de <i>Corymbia citriodora</i> e <i>Hymenaea courbaril</i>	46
Tabela 7 - Contagem média de <i>Eisenia fetida</i> nos substratos após os 150 dias de experimento.....	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GERAL.....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3 REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1 CORYMBIA CITRIODORA.....	12
3.1.1 Utilização da <i>Corymbia citriodora</i>	13
3.2 HYMENAEA COURBARIL.....	15
3.2.1 Importância da espécie <i>Hymenaea courbaril</i>	19
3.3 A PRODUÇÃO DE MUDAS.....	20
3.4 O USO DE EFLUENTES NA PRODUÇÃO DE MUDAS	22
3.5 O EFLUENTE DE ABATE DE BOVINOS.....	23
3.6 O DESINFETANTE ÁCIDO PERACÉTICO.....	24
4.0 MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE.....	26
4.2 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM CASA DE VEGETAÇÃO	27
4.3 PARÂMETROS MORFOLÓGICOS E QUALITATIVOS AVALIADOS.....	31
4.3.1 Avaliação da qualidade das mudas	31
4.3.2 Avaliação ecotoxicológica com minhocas <i>Eisenia fetida</i>	34
4.3.3 Ensaio de biodegradabilidade do substrato	36
4.3.4 Análise estatística	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO EFLUENTE APÓS DESINFECÇÃO COM APA	38
5.2 QUALIDADE DAS MUDAS.....	39
5.2.1 Análise química das mudas após 150 dias.....	45
5.2.2 Análise química do substrato após 150 dias.....	46
5.3 AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DO SUBSTRATO	47
6 CONCLUSÃO.....	50
REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

A demanda pela produção de mudas, tanto para fins comerciais como para recuperação e conservação de florestas naturais encontra-se em um período de ascensão. No setor comercial, o mercado global de madeira e produtos derivados estima um aumento anual de 4,7% até 2030 (Wood And Timber Products Market 2025 - 2030), enquanto na área ambiental, a Organização Mundial das Nações Unidas (ONU), nos relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*), incentiva o reflorestamento e o florestamento como medidas para mitigação das mudanças climáticas. Em um estudo de Bastin et. al. (2019) foram estimados que 0,9 bilhão de hectare esteja disponível para plantio de árvores, desta forma, 1,2 trilhão de árvores poderiam ser plantadas e contribuir para armazenar 205 gigatoneladas de carbono.

Diante do aumento da demanda de mudas, tanto para fins comerciais como para manutenção de ecossistemas, vem a preocupação em buscar recursos alternativos para que o manejo silvicultural também possa ser realizado de forma sustentável, como por exemplo, a utilização de águas residuárias industriais para aumentar a fertilidade dos substratos. Para o sucesso na produção de mudas, o substrato é um fator que influencia diretamente na sua qualidade, pois definem o vigor, a sanidade e o estado nutricional das mudas (SOUSA et al, 2020). Segundo Terra et al. (2011), a composição do substrato tem influência direta na obtenção de um material uniforme, com boa densidade, boa capacidade catiônica, capacidade de retenção de água e boa aeração e drenagem, proporcionando condições favoráveis para o crescimento e desenvolvimento das mudas.

O uso de águas residuárias para adubação é uma alternativa promissora para aplicação no cultivo de mudas, principalmente os que apresentam potencial fertilizante, atribuído pela presença de nutrientes como o fósforo e o nitrogênio, como os de abate de bovinos (PEREIRA AKS et al., 2024; MARTINS et al., 2025). No entanto, os efluentes provenientes do abate de bovinos requerem a aplicação prévia de desinfetantes para inativação de microrganismos patogênicos e a baixa tolerância das plantas ao cloro e aos seus subprodutos. Um desinfetante alternativo que pode ser utilizado para esta finalidade é o ácido peracético (APA) (PEREIRA MAB et al., 2024).

Neste contexto, o presente trabalho tem o objetivo de demonstrar os efeitos do uso de aplicações periódicas (a cada 20 dias) de efluente de abate de bovinos desinfetado com APA, na produção de mudas de Eucalipto (*Corymbia citriodora*) e Jatobá (*Hymenaea*

courbaril), observando os efeitos na fertilidade do substrato, na qualidade das mudas e na ecotoxicidade do substrato e compará-los com os resultados obtidos com a aplicação do fertilizante comercial Fosfato Monoamônico (MAP). Além disso, o estudo também permite observar o comportamento de uma espécie comercial que apresenta semente ortodoxa, o eucalipto; e o jatobá, uma espécie nativa de ocorrência no cerrado brasileiro que apresenta semente recalcitrante.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar o desenvolvimento e a qualidade das mudas de *Corymbia citriodora* e *Hymenaea courbaril* em viveiro, resultantes da adubação utilizando o efluente de abate de bovinos desinfetado com ácido peracético.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a viabilidade das mudas a partir das variáveis: altura, diâmetro do coleto comprimento de raiz, teor de clorofila A e B, massa fresca da parte aérea, massa fresca de raiz, massa seca de parte aérea e massa seca de raiz das mudas nos diferentes tratamentos;
- Comparar os resultados obtidos com o efluente de abate de bovinos desinfetado com APA com o adubo comercial MAP;
- Determinar o Índice de Qualidade de Dickson (IQD);
- Realizar a avaliação ecotoxicológica do substrato antes e após os tratamentos por meio do teste ensaio de fuga com *Eisenia fetida*;
- Identificar as alterações nas características físico-químicas do substrato e nutricionais da planta nos tratamentos propostos;
- Realizar análise da biodegradabilidade do substrato nos diferentes tratamentos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 *Corymbia citriodora*

Conhecido popularmente como eucalipto citriodora e eucalipto limão, *C. citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson, é nativa do estado de Queensland, na Austrália. No Brasil, é uma das espécies com excelente capacidade de adaptação, sendo encontrada em plantações que vão desde o Rio Grande do Sul até a região amazônica (DOGENSKI, 2013). De acordo com o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF, 2015), trata-se de uma árvore de porte médio a grande, com folhagem esparsa, tronco bem formado e boa tolerância a diferentes tipos de solo. Reis et al. (2013) destacam outras características da espécie, como a ramagem longa, que possibilita a formação de uma copa aberta, a alta porcentagem de casca, que pode chegar a 30% do volume do tronco, e as folhas que exalam um forte odor de citronela, variando entre as formas largo-lanceolada e estreito-lanceolada conforme o estágio de maturidade.

Nas áreas de ocorrência natural, a espécie é encontrada em altitudes que variam de 30 m a 1.100 m acima do nível do mar. As temperaturas médias locais variam entre 29 °C e 30 °C nos meses mais quentes, e de 8 °C a 9 °C nos meses mais frios para a subespécie *citriodora*. Para a subespécie *variegata*, as temperaturas variam de 26 °C a 29 °C nos meses quentes e de 0 °C a 6 °C nos meses frios. De maneira geral, a precipitação anual varia entre 600 mm e 2.000 mm, com maior concentração durante o verão (BOLAND et al., 2006). No entanto, é importante destacar que, para sobreviver e ter um desempenho satisfatório, a espécie precisa de uma precipitação anual mínima de 600 mm, sendo que 900 mm são necessários para um crescimento mais acelerado (FERREIRA, 1979).

A espécie pode ser encontrada em áreas sujeitas a geadas leves, sendo capaz de suportar temperaturas de até -3 °C (BOLAND et al., 2006; ELDRIDGE et al., 1993). De forma geral, é sensível a geadas, porém a subespécie *C. citriodora* subsp. *variegata* apresenta maior tolerância em relação a *C. citriodora* subsp. *citriodora*, *C. maculata* e *C. henryi* (SMITH et al., 2007). Ela também consegue suportar períodos de seca de cinco a sete meses e temperaturas de até 39 °C, adaptando-se bem a solos pobres e pedregosos (HIGA et al., 2000; ELDRIDGE et al., 1993). Sua alta resistência ao fogo é atribuída à presença de tubérculos lenhosos (VIEIRA, 2004). Com base na descrição da área de

ocorrência natural da espécie, é possível realizar a seleção de indivíduos geneticamente superiores com maior tolerância à geada e à seca (FERREIRA, 1979).

C. citriodora foi inicialmente introduzida no Brasil com o objetivo de produzir madeira, mas atualmente também é utilizada para a fabricação de postes, madeira para serraria, mourões, carvão vegetal e, principalmente, para a produção de óleo essencial, que é seu principal destaque (VITTI & BRITTO, 2003). O óleo essencial, extraído principalmente das folhas (Figura 1), tem um aroma agradável, conhecido como citronela, e é altamente demandado no mercado, sendo utilizado na composição de diversos produtos, como aromatizantes, sabonetes, desinfetantes, detergentes, entre outros (ANDRADE & GOMES, 2000).

Figura 1 - Folha da espécie *C. citriodora*.



Fonte: Registro autoral (2025)

3.1.1 Utilização da *Corymbia citriodora*

A madeira de *C. citriodora* tem grande potencial para diversos usos, como construção civil, lenha, móveis, carvão, pisos, entre outros, o que tem atraído atenção para essa espécie. Caracterizada por um cerne duro e resistente, essa madeira é considerada de fácil trabalhabilidade (BOLAND et al., 2006), embora exija técnicas adequadas de desdobramento para minimizar os efeitos das tensões de crescimento (como impermeabilizantes, conectores metálicos ou o aquecimento das toras) (REIS et al., 2013). Quanto à secagem, a madeira apresenta as mesmas dificuldades encontradas nas

demais espécies de eucalipto, sendo necessário adotar programas com temperaturas baixas e alta umidade relativa para evitar defeitos (ZENID, 2009).

É composta por alburno branco e cerne de cor marrom-escuro, grã direita e ocasionalmente ondulada. O cerne forte e duro, resistente e algumas vezes com uma impressão gordurosa. Segundo (FERREIRA, 2003), o cerne é difícil para ser tratado e o alburno apresenta permeabilidade. De acordo com ARAÚJO et al. (2012) é amplamente utilizada no Brasil pelas indústrias madeireiras, como uma imediata alternativa às madeiras nativas.

C. citriodora, também se destaca pelo seu aroma cítrico e propriedades terapêuticas. Além de ser amplamente utilizado para a produção de óleos essenciais, também é utilizado como repelente, sendo uma alternativa natural aos repelentes químicos, e usado em sprays e difusores. Segundo Cavalcante et al. (2006), compostos bioativos produzidos por vegetais, possuem ação repelente, inibição de crescimento e efeito tóxico, representando, em conjunto, novas estratégias para o manejo e controle de insetos de importância econômica. Ainda, os óleos apresentam possuir potentes efeitos antioxidante e inibitórios contra uma gama de microrganismos, como fungos e bactérias (ANSARI et al., 2021). Dessa forma, é utilizado na aromaterapia para reduzir o estresse e melhorar o bem-estar emocional. Seu aroma cítrico pode promover a sensação de calma e relaxamento, ajudando a aliviar a ansiedade e a fadiga mental. De acordo com Meneguetti et al. (2025) o óleo essencial de eucalipto exerce uma ação importante sobre o sistema respiratório, como propriedades expectorantes, fluidificantes de secreções e antissépticas. E ainda possui efeitos estimulantes, contribuindo para o fortalecimento imunológico sendo recomendado para o tratamento de doenças respiratórias, como asma, bronquite, tuberculose e sinusite, assim como para o manejo de infecções urinárias, diabetes e reumatismo.

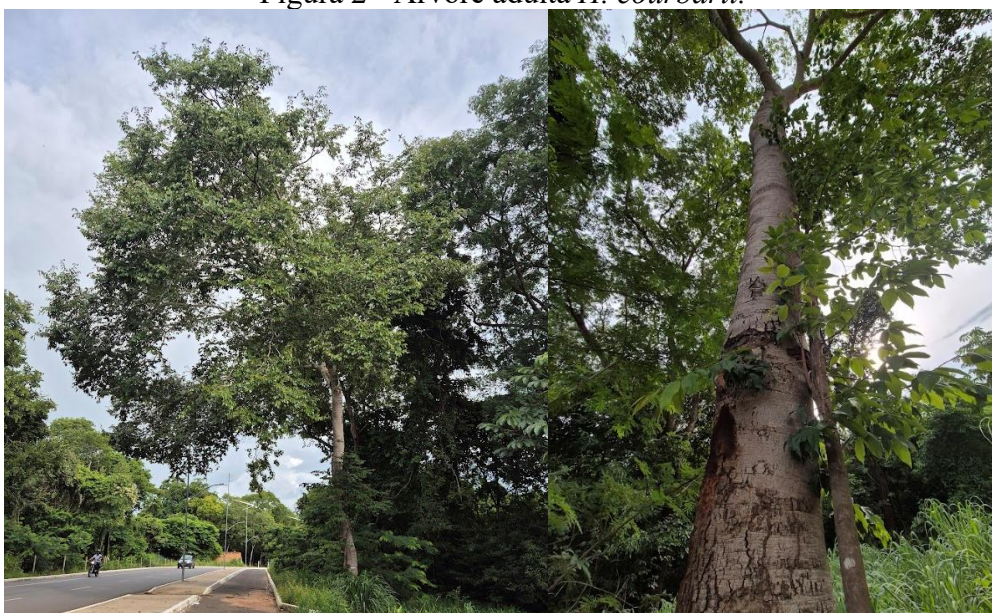
Na produção de cosméticos e produtos de beleza, o óleo essencial é utilizado em produtos como sabonetes, loções e shampoos. Também apresenta capacidade de melhorar a qualidade do sono, sendo utilizado em difusores ou em massagens e ainda o uso na medicina tradicional, pois em algumas culturas, a planta tem sido usada em infusões e chás. Outros usos muito importantes do eucalipto *citriodora* são na indústria de papel e na bioenergia, devido ao seu rápido crescimento à alta produção de biomassa (OLEMBERG et al, 2024).

3.2 *Hymenaea courbaril*

Hymenaea courbaril é uma planta que no Brasil pode ser encontrada principalmente no Cerrado, em regiões que vão do estado do Piauí ao norte do Paraná. Nas Américas, existem 15 espécies de jatobá, das quais 13 estão presentes no Brasil. O jatobá-da-mata (*Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa*), pertencente à família das leguminosas, possui frutos com 6 a 18 cm de comprimento e 3 a 6 cm de diâmetro. Classifica-se como uma Angiosperma, da classe Dicotyledonae, ordem Fabales, família Leguminosae (subfamília Caesalpinoideae) (BORGES et al., 2023).

A planta pode atingir de 8 a 20 metros de altura, com diâmetro à altura do peito (DAP) variando entre 40 e 80 cm, dependendo da região. Em condições favoráveis, pode alcançar até 35 metros de altura e DAP de 120 cm. É uma planta hermafrodita, com evidências de reprodução por protoginia, em que o estigma (órgão feminino) amadurece antes dos estames (órgãos masculinos), evitando a autofecundação e favorecendo a polinização cruzada, e por alogamia, onde ocorre a fecundação entre gametas de indivíduos diferentes, promovendo a variabilidade genética, a dispersão de frutos e sementes, principalmente autocórica, barocórica (pela gravidade), e zoocórica (realizada por grandes mamíferos, como a anta (*Tapirus terrestris*), a paca (*Cuniculus paca*), a cutia (*Dasyprocta azarae*) e o macaco-prego (*Sapajus nigritus*) (CRESTANA, 1983; BOBROWIEC; CARVALHO; OLIVEIRA, 2000; BORGES et al., 2023).

Figura 2 - Árvore adulta *H. courbaril*.



Fonte: Registro autoral (2024)

Esta espécie possui dormência, mecanismo que atua na sobrevivência da espécie fazendo ocorrer a germinação em condições mais favoráveis após a quebra de algum impedimento fisiológico, físico ou ambiental, no caso do Jatobá-da-mata o tegumento impermeabilizado e resistente dificultam a entrada de água e oxigênio, impedindo assim as trocas gasosas (SILVA et al., 2024).

A planta é capaz de tolerar e crescer em diferentes texturas de solo, desde os argilosos até os arenosos, porém apresenta um desenvolvimento superior em solos profundos, férteis, úmidos e bem drenados. Apesar disso, sua ocorrência natural é em solos de baixa fertilidade, secos e bem drenados. Por essa razão, é amplamente encontrada no Cerrado Brasileiro, onde o intemperismo é uma característica marcante dos solos. Uma das limitações desses solos é a baixa disponibilidade de fósforo, especialmente em áreas não antropizadas, onde não foram realizadas correções para elevar o pH e neutralizar o alumínio (CARVALHO, 2006; CIFOR, 2025; SOARES et al., 2013).

Ocorre principalmente nos tipos climáticos Af, As, Aw, Cwa, Cwb e, com menor frequência, no Cfa. Esses climas apresentam condições favoráveis para espécies adaptadas a temperaturas específicas. As temperaturas médias variam entre 16°C e 24°C no mês mais frio, enquanto no mês mais quente ficam entre 22°C e 30°C. A classificação dos tipos climáticos segue a metodologia de Köppen-Geiger, amplamente utilizada para descrever a relação entre clima, vegetação e distribuição geográfica (CIFOR, 2025; KÖPPEN, 1936; PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007; SHANLEY; MEDINA, 2005).

H. courbaril demonstra uma grande capacidade de adaptação aos mais diversos ambientes. Sob alta intensidade luminosa, as plantas podem apresentar fotoinibição dinâmica, porém sem comprometer o crescimento e a fotossíntese. Em ambientes sombreados, embora o crescimento seja naturalmente reduzido e a taxa fotossintética diminua, as plantas direcionam os fotoassimilados para as folhas, aumentando a eficiência na captura de luz. Essa flexibilidade fotossintética confere à planta a tolerância à sombra, tornando-a uma excelente opção para reflorestamento e recuperação de áreas degradadas nos biomas nos quais é naturalmente encontrada (VALE, 2024).

O *H. courbaril* é polinizado por abelhas e apresenta dispersão zoocórica, sendo realizada principalmente por animais de grande porte. As formigas também contribuem para a germinação, alimentando-se da polpa que envolve as sementes. Entre 20% e 80%

das matrizes florescem anualmente, com o período de floração variando de 14 a 84 dias, entre agosto e janeiro. A floração é altamente sincronizada, com uma média de 1,97 períodos por árvore durante a estação de floração, portanto a espécie floresceu mais de uma vez na estação. O intervalo médio entre a floração e a dispersão das sementes é de 311 dias (LEÃO; MACQUEEN, 2001).

O jatobá (*H. courbaril*) floresce durante a estação seca até o início da estação chuvosa, com seus frutos amadurecendo na estação chuvosa. A floração ocorre entre setembro e novembro em Minas Gerais, e de setembro a dezembro no Ceará. A polinização é realizada principalmente por morcegos à noite e, possivelmente, por beija-flores durante o dia. A dispersão das sementes é feita por grandes mamíferos, como a anta e a paca, que ao digerirem as sementes, ajudam a superar sua dormência. A disseminação pode ocorrer também por gravidade (EMBRAPA, 1994; FRANCIS, 1990; TONINI; ARCO-VERDE, 2003).

A frutificação da espécie apresenta variações regionais no Brasil, ocorrendo de junho a dezembro em São Paulo, de julho a agosto no Distrito Federal, de dezembro a abril em Minas Gerais e de novembro a dezembro no Paraná. Os frutos amadurecem geralmente entre julho e setembro, caracterizando-se pela casca dura, comprimento entre 6 e 18 cm, diâmetro de 3 a 6 cm e, em média, duas sementes por fruto. Com polpa farinácea, são amplamente apreciados na culinária regional, utilizados tanto *in natura* quanto como ingredientes em bolos e outros alimentos. Estudos indicam que o tamanho dos frutos influencia a qualidade fisiológica das sementes em espécies como *H. stigonocarpa* var. *pubescens*, sendo que frutos menores tendem a produzir sementes maiores e com melhor desempenho fisiológico. Essas diferenças estão associadas tanto à variabilidade genética das plantas quanto a fatores ambientais, como a disponibilidade de água no solo (CARVALHO, 2006; CERRATINGA, 2024; DRESCH et al., 2013; SILVA et al., 2001).

Figura 3 - Fruto maduro de *H. courbaril*.



Fonte: Registro autoral (2024)

A dispersão das sementes do jatobá depende essencialmente da interação com animais como antas (*Tapirus terrestris*) e cutias (*Dasyprocta azarae*). Na ausência desses dispersores, as sementes permanecem próximas às árvores-mãe, dificultando a regeneração natural da espécie. Em muitos fragmentos florestais, o jatobá está representado apenas por árvores adultas, sem sinais de renovação. Esse cenário indica que, com a morte ou remoção dessas árvores, a espécie pode desaparecer localmente. (CARVALHO, 2006; MORELLATO, 1995).

Estudos apontam que o jatobá já enfrentou uma primeira onda de extinção local há cerca de 10 a 15 mil anos, quando a extinção de grandes mamíferos, como a preguiça-gigante (*Megatherium americanum*), os gliptodontes (*Glyptodon clavipes*) e os mamutes (*Mammuthus primigenius*), interrompeu a dispersão de suas sementes. Em condições de plantio, a espécie demonstra alta variabilidade no crescimento em altura, refletindo tanto sua diversidade genética quanto a influência de fatores ambientais. Esses aspectos reforçam a necessidade de estratégias de manejo que considerem tanto a conservação dos dispersores quanto a heterogeneidade natural da espécie (CARVALHO, 2006).

As florestas estacionais brasileiras são classificadas em três categorias principais: florestas semidecíduas, onde entre 20% e 50% das árvores perdem suas folhas na estação seca; florestas decíduas, com mais de 50% de desfolhamento; e florestas sempre-verdes, onde menos de 20% das árvores perdem suas folhas (IBGE, 1992; VELOSO; RANGEL-FILHO; LIMA, 1991). A caducifolia é uma estratégia fisiológica das plantas para lidar com a escassez hídrica, como observado por (BOTREL et al., (2015), que destacam a importância de incluir essa abordagem nos estudos de botânica para aprofundar o conhecimento sobre fenômenos naturais, como os que ocorrem na vegetação da Caatinga (OLDONI; LIMA, 2017).

Nesse contexto, espécies como o jatobá, uma árvore caducifólia, se destacam por sua ocorrência tanto em florestas decíduas e semidecíduas quanto em florestas ribeirinhas de solos bem drenados. A caducifolia dessa espécie é um exemplo claro de adaptação fisiológica a condições ambientais adversas (PEREIRA, 2017).

O jatobá é descrito como uma espécie de crescimento lento a moderado, apresentando um incremento volumétrico de até 10 m³ por hectare ao ano. Estima-se que, para a produção de madeira voltada ao processamento mecânico, seja necessário um período de rotação variando entre 30 e 60 anos, conforme informações sobre o manejo

sustentável de espécies florestais disponíveis em publicações técnicas (CARVALHO, 2006).

3.2.1 Importância da espécie *Hymenaea courbaril*

Hymenaea courbaril, destaca-se como uma espécie de elevada relevância ecológica, econômica e sociocultural nos ecossistemas tropicais. Ecologicamente, o jatobá exerce papel fundamental na manutenção da estrutura e funcionamento das florestas, atuando como espécie-chave em processos de sucessão e estabilidade ambiental. Sua alta capacidade de adaptação a diferentes condições edáficas, inclusive em solos pobres, o torna especialmente útil em programas de recuperação de áreas degradadas, áreas de preservação permanente e projetos de restauração ecológica. Segundo Vitorino et al. (2022), a adaptação dessa espécie está relacionada de forma indireta as interações simbióticas estabelecidas com microrganismos simbióticos promotores de crescimento que habitam na rizosfera e nas raízes de *H. courbaril*, os quais podem responder de maneira eficiente a fatores abióticos como parâmetros do solo e seca. Além disso, a produção abundante de serapilheira, com decomposição moderada, contribui para a ciclagem de nutrientes, enriquecimento do solo e manutenção da matéria orgânica, favorecendo o estabelecimento de outras espécies vegetais.

A espécie também desempenha importante função na interação com a fauna, seus frutos, ricos em nutrientes, constituem fonte alimentar para diversos mamíferos, como cotias, pacas, veados, antas e primatas, além de algumas espécies de aves, funcionando como recurso essencial em períodos de escassez. Devido ao seu grande porte, o jatobá integra o dossel superior das florestas tropicais, criando microclimas, oferecendo abrigo para espécies arborícolas e contribuindo significativamente para o sequestro de carbono, desempenhando, assim, papel relevante na mitigação das mudanças climáticas.

Do ponto de vista econômico, *H. courbaril* é uma das madeiras nativas mais valorizadas do Brasil. Moretti et al. (2020) relatam que a madeira é valorizada no mercado por apresentar características desejáveis para uso em telhados, esquadrias, pisos e outras peças estruturais de uso interno e externo. Sua madeira, caracterizada por elevada densidade, dureza e resistência ao ataque de cupins e fungos, é amplamente empregada na fabricação de móveis finos, estruturas internas e na marcenaria pesada. Devido à durabilidade e ao aspecto estético, é reconhecida como material de alto padrão no setor

madeireiro. Estudos também evidenciam o potencial da casca e das sementes para a elaboração de bioprodutos, incluindo antioxidantes naturais, destacando sua versatilidade comercial. (COSTA, 2012).

No âmbito alimentar, o fruto do jatobá possui polpa farinácea rica em carboidratos, fibras, ferro e cálcio, sendo consumido por populações rurais e extrativistas na forma de farinhas, bebidas e preparações tradicionais. Esse valor nutricional reforça a importância da espécie como recurso alimentar complementar; o mesocarpo tem qualidade farinácea, o que facilita sua substituição integral ou parcial de farinhas tradicionais, na composição de bolos, tortas e outros alimentos, tornando-se uma alternativa viável para diminuição de casos de desnutrição (BARBOSA, 2021).

De castro, (2021) diz que seu uso medicinal é amplamente difundido na etnobotânica. A espécie possui propriedades medicinais utilizadas contra tosse e bronquite, afecções pulmonares em geral, antioxidante, fortificante, tônico, expectorante, hepato protetor, vermífugo, diurético, fortalecedor do sistema imunológico e no combate ao câncer de próstata e anemia. Pesquisas recentes confirmam ainda propriedades antioxidantes, antibiofilme e antimicrobianas, ampliando o potencial farmacológico da espécie. Os compostos bioativos do jatobá estão presentes na casca, nas sementes e na sua película, na resina e nas folhas. A casca é uma das fontes mais ricas em compostos bioativos. Com o manuseio de forma adequada, a casca pode ser parcialmente removida sem danificar a árvore, pode também ser obtida por descascamento antes de enviar o tronco para a serraria (VARDANEGA, R, 2024).

Em resumo, sua distribuição ampla pela Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica contribui para a manutenção da diversidade genética e da resiliência dos ecossistemas. Essa árvore é frequentemente usada como modelo em estudos científicos de crescimento e dinâmica florestal, desempenhando um papel essencial não só para o equilíbrio ecológico, mas também para o planejamento de um manejo florestal sustentável.

3.3 A produção de mudas

A produção de mudas florestais, na silvicultura, é uma das atividades com maior importância, pois representa a fase inicial de várias etapas que tem como objetivo o estabelecimento de florestas e povoamentos, assim, o êxito do plantio está relacionado à qualidade das operações e das mudas (SCHORN e FORMENTO, 2003).

A classificação das mudas é fundamental para uma melhor adaptação e crescimento, definindo um padrão adequado para o plantio. Alguns parâmetros são usados para indicar a qualidade da muda, como: altura, diâmetro de coleto, peso da parte aérea e das raízes, uniformidade de altura entre as mudas de um lote, aspecto visual vigoroso e ausência de pragas ou doenças nas folhas, no caule e nas raízes (CARNEIRO, 1995; ROSSA et al. 2010).

O recipiente e suas dimensões influenciam a qualidade e os custos de produção de mudas de espécies florestais. Em relação ao sistema radicular, o recipiente deve possuir uma boa estrutura e garantir que a muda seja transplantada com um torrão firme e bem consolidado, provocando o mínimo de distúrbios e favorecendo a sobrevivência e o crescimento inicial em campo (CARNEIRO, 1987; GOMES et al., 2003).

Segundo, Bernardi et al. (2012) existe um grau de dificuldade na produção de mudas de *C. citriodora*, pois em geral, as mudas apresentam menor crescimento e mais susceptibilidade para doenças e exigências nutricionais. O crescimento lento reduz a sua capacidade de retenção de nutrientes da adubação de cobertura, devido ao processo de lixiviação rápido que pode correr.

C. citriodora é uma das espécies mais vulneráveis à deficiência de boro. Geralmente é caracterizada pela presença de folhas novas cloróticas, encarquilhadas e coriáceas, ficando quebradiças, podendo causar a morte de gema apical (seca de ponteiro), fendilhamento da casca e tronco com exsudação de goma e necrose de tecidos (TIRLONI et al., 2011).

A produção de mudas de *H. courbaril* enfrenta um dos principais desafios relacionados à dormência das sementes, que impede a entrada de água e retarda ou reduz a germinação natural. Essa é uma característica fisiológica comum em sementes dessa espécie, o que pode limitar o estabelecimento uniforme de plântulas em viveiros florestais. Para Lemes et al (2022) sem o uso de tratamentos pré-germinativos, as sementes não quebram facilmente a dormência e apresentam baixos percentuais e uniformidade de germinação. Estudos demonstram que métodos de escarificação mecânica ou térmica são eficazes para superar essa dormência, aumentando significativamente a germinação e o desenvolvimento de mudas.

A escarificação mecânica, por exemplo, tem sido considerada uma das técnicas mais eficientes para esse fim, favorecendo a emergência das sementes e o desenvolvimento inicial das plântulas em diferentes substratos. A germinação de sementes de jatobá pode variar conforme o tratamento aplicado e a condição fisiológica

da semente. Em sementes colhidas de frutos maduros, a escarificação mecânica pode proporcionar altos percentuais de germinação, frequentemente acima de 85%, enquanto sementes sem tratamento apresentam germinação muito mais baixa, evidenciando a necessidade de quebra de dormência para maximizar a produção de mudas (GUARIZ, 2021).

O sucesso na produção de mudas de *H. courbaril* depende não apenas da escolha do método de quebra de dormência, mas também de condições adequadas de substrato e manejo em viveiro, visando garantir germinação mais uniforme e elevada, fatores essenciais para programas de restauração florestal e viveiros comerciais.

A produção de mudas em viveiro garante uma produção em grande escala e de boa qualidade, com variedade genética. Estes ambientes são fundamentais para a restauração ecológica, conservação da biodiversidade e recuperação de áreas degradadas, promovendo uma produção de mudas com qualidade para introdução nos ecossistemas ou para a comercialização.

3.4 O uso de efluentes na produção de mudas

De acordo com Lucas Júnior & Amorim (2005), os processos produtivos de qualquer atividade inevitavelmente geram impactos no meio ambiente, embora a intensidade desses efeitos possa variar entre as diferentes etapas. Dentre essas atividades, destacam-se as agropecuárias, que provocam alterações físicas, químicas e biológicas nos ecossistemas. O grau dessas interferências está diretamente relacionado à escala de produção.

Os efluentes dos resíduos frigoríficos, quando tratados adequadamente, podem ser utilizados como fertilizantes naturais para as plantações. São ricos em nutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo, potássio e outros compostos orgânicos, que ajudam no desenvolvimento das plantas, melhorando a produtividade e a saúde do solo, podendo reduzir a dependência de fertilizantes químicos, contribuindo para uma agricultura mais sustentável.

A utilização desses resíduos é uma forma de reaproveitar e valorizar resíduos orgânicos, contribuindo para a economia circular e evitando que esses efluentes sejam descartados de forma inadequada, o que poderia causar contaminação de recursos hídricos e degradação do solo.

Os efluentes quando tratados corretamente e aplicados de maneira controlada nas plantações, ajudam a minimizar o impacto ambiental e pode melhorar a fertilidade do solo. Geralmente os efluentes frequentemente contêm uma quantidade significativa de água, e sua utilização nas plantações também pode ajudar a melhorar a eficiência desse recurso na agricultura, contribuindo para uma agricultura mais eficiente em termos de consumo de água, e além disso, podem reduzir a necessidade de pesticidas e fertilizantes químicos, proporcionando uma alternativa mais ecológica e de baixo custo e reduzir o impacto ambiental da sua produção.

Lahlou et al., (2020), menciona que a fertirrigação com efluentes oferece uma estratégia promissora para mitigar as emissões de gases de efeito estufa, potencializando o fornecimento de nutrientes e reduzindo a necessidade de tratamentos de águas residuárias com uso intensivo de energia. Porém, uma adoção ampla dessa técnica exige uma compreensão completa de seus impactos ambientais e ecológicos de sistemas agrícolas diversos (ALESSANDRINO et al., 2023).

É importante lembrar que o uso de efluentes tem vários benefícios, mas é essencial que esses resíduos sejam tratados adequadamente antes de serem aplicados nas plantações. O efluente bruto pode conter substâncias tóxicas, patógenos e outros contaminantes que podem prejudicar as plantas, a saúde do solo e até os consumidores.

Portanto, é fundamental implementar sistemas adequados de tratamento e monitoramento da qualidade da água utilizada, garantindo que os efluentes sejam seguros e eficazes para o uso agrícola. Neste sentido, a resolução do CONAMA Nº 503/2021, define critérios e procedimentos para o reuso em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias em sistemas de fertirrigação.

3.5 O efluente de abate de bovinos

A água residuária do abate de bovinos é composta por resíduos gerados nas diversas etapas do processo de abate. Inicialmente, os bovinos são confinados em um curral, onde passam por uma dieta hídrica e posteriormente são lavados e direcionados ao corredor de abate. O abate é realizado utilizando uma pistola pneumática e em seguida os corpos dos bovinos são suspensos pelas patas traseiras e recebem um corte no pescoço para a sangria. O sangue é coletado, esterilizado, digerido e desidratado e posteriormente vendido para a indústria de alimentação animal para fabricação de ração. Depois de retirar

a cabeça e o couro, o animal é dividido ao meio para retirar as vísceras. Nesta etapa, o veterinário faz a análise do fígado para avaliar se a carne está apta para consumo. Os órgãos que servem para o consumo e venda, juntamente com a carne são levados para câmaras frias onde ficarão por 24 horas à temperatura de 0°C, para que ocorra o resfriamento completo da carne e a contaminação seja evitada. No final do processo a carne do bovino é pesada, vistoriada e identificada.

Todas as etapas do processo requerem o uso de água, seja de forma direta, como lavagem da carne e vísceras ou indireta, como lavagem das dependências do frigorífico, necessitando que a água residuária gerada seja direcionada para um sistema de tratamento. Neste processo, a gordura e sólidos de elevada densidade são removidos no processo primário, separador de gordura e decantador primário. Em seguida, no tratamento secundário, ocorre a degradação biológica do material, que no caso dos abatedouros, é frequentemente composto por lagoas facultativas (Figura 4). Os lodos gerados no decantador primário e nas lagoas são compostados, para depois serem utilizados como adubo, assim como, o efluente gerado pode ser utilizado para irrigação, após a desinfecção.

A poluição causada pela matéria orgânica não se deve apenas aos resíduos do sangue, mas também a outros componentes presentes nos efluentes, como a gordura, conteúdo estomacal e esterco, por isso, também apresenta microrganismos patogênicos e para um uso seguro é necessária a etapa de desinfecção para inativação de patógenos.

3.6 O desinfetante ácido peracético

O ácido peracético (APA) comercial mais utilizado é composto por: 15% de ácido peracético, 23% de peróxido de hidrogênio, 16% de ácido acético e água, formando um composto quaternário, como mostra a Reação 1.



Essa reação resulta na formação de um líquido incolor, de odor pungente. Em baixas concentrações, os efeitos toxicológicos associados à inalação ou ao contato com a pele são reduzidos; contudo, em concentrações elevadas, pode causar sérios danos à saúde (DANIEL et al., 2001). A aplicação do ácido peracético (APA) no tratamento de efluentes industriais baseia-se na oxidação da matéria orgânica, promovendo a redução da demanda

bioquímica de oxigênio (DBO) e o aumento da concentração de oxigênio dissolvido, podendo inclusive se sobrepor ao processo de decomposição do peróxido de hidrogênio em água e oxigênio (DANIEL et al., 2001). Além disso, a liberação de oxigênio pode facilitar a oxidação da amônia do efluente a nitrato o que diminuiria o impacto gerado pelo efluente final ao ambiente.

As propriedades desinfetantes do ácido peracético (APA) foram inicialmente relatadas por Freer e Novy (1902); entretanto, sua eficácia como biocida no tratamento de águas residuárias passou a ser investigada apenas a partir de 1980, com os estudos de Baldry. A eficiência desinfetante do APA segue a seguinte ordem decrescente: bactérias > vírus > esporos bacterianos > cistos de protozoários. No setor industrial, o APA é amplamente empregado na desinfecção de equipamentos utilizados na produção de alimentos, bebidas e produtos farmacêuticos, além de apresentar aplicação em processos de branqueamento, como na indústria de papel (KITIS, 2004; RAGAZZO et al., 2020; BONETTA et al., 2021; DE OLIVEIRA FREITAS et al., 2021).

As principais desvantagens ao utilizar o APA como desinfetante, é o aumento do teor de matéria orgânica no efluente, o possível crescimento microbiano estimulado pelos resíduos de ácido acético (produto da decomposição do APA) e a menor eficiência contra alguns vírus e parasitas (KITIS, 2004).

Estudos mostram que o tratamento com APA inativa, eficientemente, muitos microrganismos patogênicos sem produzir quantidades significativas de resíduos tóxicos, mutagênicos ou químicos em efluentes, após a reação com o material orgânico presente. Estudos relataram que os subprodutos isolados de águas tratadas com APA eram principalmente ácidos carboxílicos, que não oferece nenhum risco conhecido (KITIS, 2004; KOIVUNEN et al., 2005; WAGNER, 2002).

Para Nurizzo et al. (2005) elevadas concentrações de ácido peracético e cloretos pode ocasionar a formação de subprodutos. O APA pode reagir com compostos orgânicos, fenóis ou compostos aromáticos por ser um forte oxidante e esse processo gera subprodutos, como aldeídos. Estudos elaborados por Dell'Erba et al. (2007), relatam que não há a geração de aldeídos, quando utilizado pequenas quantidades de APA.

Todavia, por se tratar de um processo químico capaz de alterar as espécies químicas constituintes dos efluentes, sua aplicação no tratamento de águas residuárias demanda a realização de estudos ecotoxicológicos prévios, de modo a assegurar a segurança ambiental antes da disposição final no meio ambiente.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização do efluente

O efluente utilizado foi disponibilizado por um Abatedouro de bovinos com frequência de abate de 1200 cabeças por mês, localizado na região sul do estado do Tocantins. O sistema de tratamento da empresa é composto por um sistema de gradeamento, seguido de uma caixa de separação de gordura e finalizado por 3 lagoas facultativas. Para o estudo foi utilizado o efluente final do tratamento, sendo coletado em uma única coleta para que facilitasse a dinâmica do transporte. O efluente foi armazenado em galões tampados e mantidos à temperatura ambiente. Um dia antes da aplicação do produto nas mudas, o efluente foi desinfetado com APA na dosagem de 10 mg L^{-1} e caracterizado por parâmetros físico-químicos, microbiológicos e ecotoxicológico. A desinfecção prévia teve o objetivo de reduzir a concentração residual de APA e a dosagem utilizada foi baseada no trabalho de (PEREIRA MAB et al., 2024).

Figura 4 - Lagoa de sistema de tratamento do abatedouro.



Fonte: Registro autoral (2024).

A caracterização físico-química e microbiológica do efluente foi realizada conforme o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017) e os métodos utilizados para cada parâmetro são apresentados nas Tabelas 2 e 3. Para as análises elementares, foi separada uma alíquota de 10 mL do efluente, a qual foi acidificada com 5% de ácido nítrico *suprapur* e em seguida filtrada em membrana de

0,45 μm . Após a leitura da curva padrão multielementar, a alíquota (acidificada e filtrada) foi analisada em equipamento de emissão atômica de plasma.

Figura 5 - Efluente de abate de bovinos.



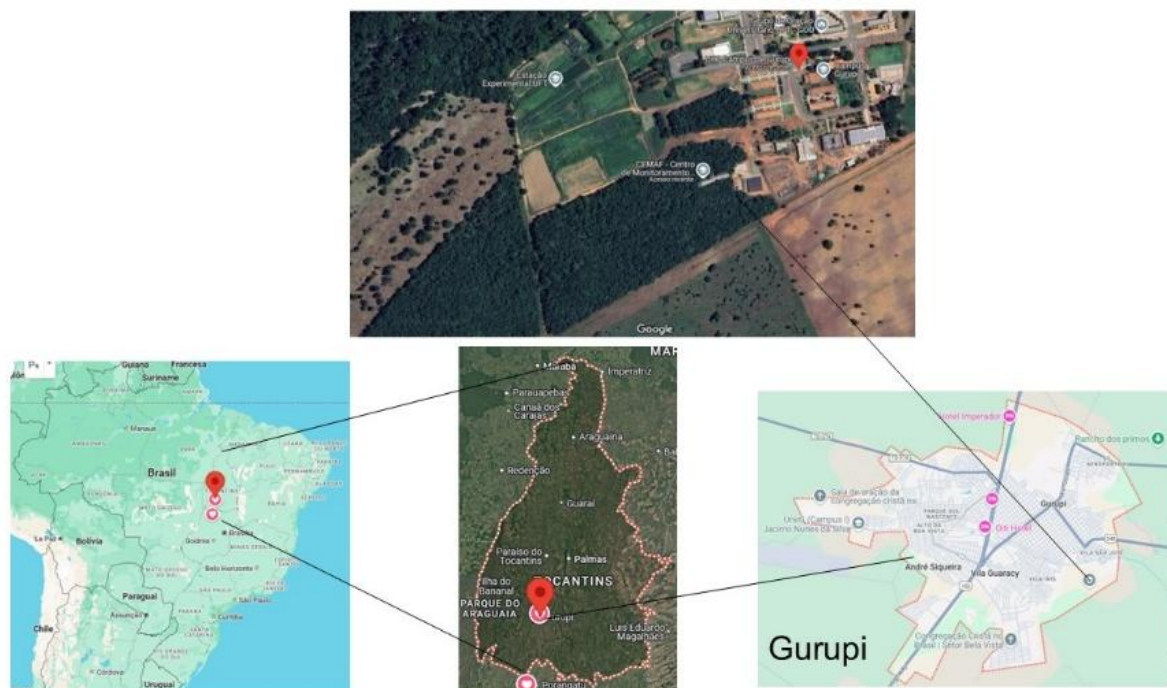
Fonte: Registro autoral (2024).

A avaliação ecotoxicológica do efluente foi realizada com o bioindicador *Vibrio fischeri*, uma bactéria bioluminescente que demonstra a toxicidade das amostras pela perda de sua bioluminescência. O ensaio ecotoxicológico foi realizado com cubetas contendo formulação liofilizada de biomassa bacteriana de *Vibrio fischeri* NRRL-B 11177, embaladas à vácuo Monitox®, sendo o procedimento experimental realizado conforme indicado pelo fabricante. A intensidade da bioluminescência foi mensurada por um luminômetro após 30 minutos de contato entre a amostra e a bactéria.

4.2 Condução do experimento em casa de vegetação

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no viveiro florestal do CeMAF (Centro de Monitoramento Ambiental e Manejo do Fogo), da Universidade Federal do Tocantins (UFT), no campus de Gurupi (TO) localizado sob as coordenadas 11°43'45" S e 49°04'07" O. A região apresenta clima tropical do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen-Geiger, com estação seca bem definida no inverno e estação chuvosa no verão, com temperatura média anual de aproximadamente 27 °C e precipitação média anual de aproximadamente 1.800 mm (SEPLAN, 2021).

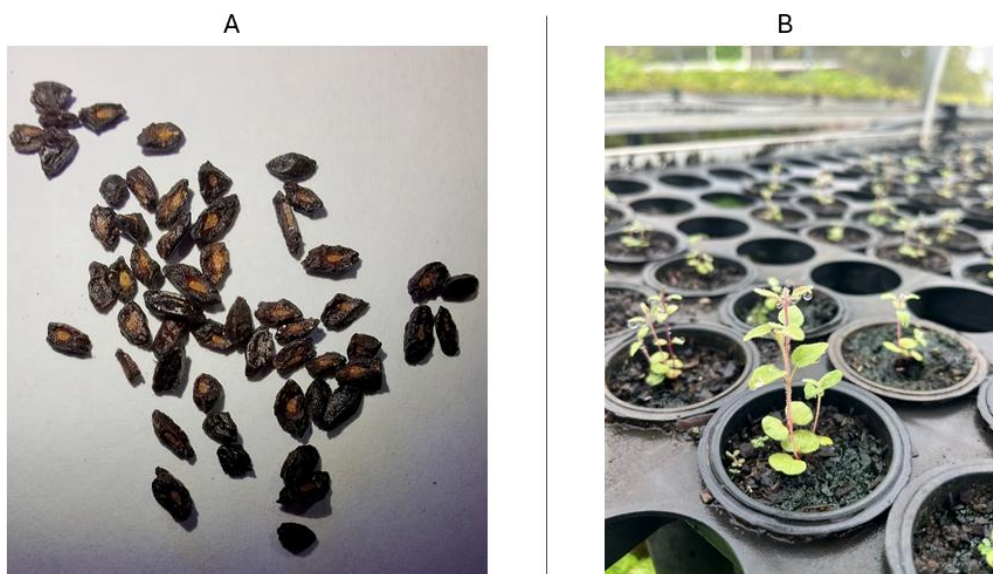
Figura 6 - Localização geográfica da área do experimento. Universidade Federal do Tocantins, Campus Gurupi.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

As sementes de *C. citriodora* foram cedidas pelo IPEF - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Na semeadura foram utilizadas três sementes por tubete e depois da germinação manteve-se apenas a plântula mais vigorosa por tubete.

Figura 7- (A) Sementes da espécie *C. citriodora*. (B) Plântulas de *C. citriodora*.



Fonte: Registro autoral (2024)

As sementes do jatobá-da-mata (*H. courbaril*) foram coletadas no município de Gurupi (TO), onde foram utilizadas 12 matrizes distribuídas na zona urbana e zona rural, entre os meses de agosto e setembro de 2024. Os frutos colhidos foram selecionados e em seguida, foi utilizado um martelo para quebrar a casca dos frutos e assim fazer a retirada da polpa. Para facilitar a retirada das sementes, a polpa foi colocada em um recipiente com água pelo período de 24 horas. Nesse processo também ocorre o amolecimento do tegumento que favorece a germinação das sementes. Após a limpeza das sementes, foi feita uma análise visual para o descarte de sementes com perfurações de insetos. Antes da semeadura, as sementes foram escarificadas mecanicamente, utilizando uma tesoura de poda. Esse processo diminui o tempo de dormência da semente e aumenta a porcentagem de germinação.

Figura 8 - (A) Sementes da espécie *H. courbaril*. (B) Plântulas de *H. courbaril* em processo de emergência.



Fonte: Registro autoral (2024)

A irrigação ocorreu de forma automatizada, 4 vezes ao dia (7; 11; 14 e 17h), com água de poço artesiano, cada irrigação forneceu 5 mL de água por tubete, totalizando 20 mL de água/dia por muda. A casa de vegetação utilizada apresenta cobertura de tela sombrite 50%. Foram utilizados tubetes de polipropileno de 290 cm³ preenchidos somente com substrato comercial Bioflora®, composto por casca de pinus e fibras.

Figura 9 - (A) Casa de vegetação. (B) Sistema de irrigação automatizado.



Fonte: Registro autoral (2024)

Trinta dias após a semeadura, iniciou-se o período de aplicação dos tratamentos nas mudas em intervalos de 20 dias, totalizando sete aplicações, sendo finalizado o experimento com 150 dias após a semeadura. As mudas foram dispostas em bandejas seguindo o delineamento em blocos casualizados (DBC), com cinco tratamentos e quatro repetições (Tabela 1). Para as mudas de Eucalipto foram utilizadas 15 mudas para cada tratamento, totalizando 300 mudas e para o experimento com Jatobá foram utilizadas 12 mudas para cada tratamento, totalizando 240 mudas. O tratamento T1 (controle) recebeu somente água, T2 100 mg de MAP e os tratamentos T3, T4 e T5 receberam 30 ml de efluente (EF) desinfetado, diluído em água com proporções diferentes, sendo T3, 30ml EF+ 30ml água, T4 30ml EF + 10ml água e T5 30ml EF + 20ml água.

Figura 10 - Bandejas dispostas em delineamento em blocos casualizados.



Fonte: Registro autoral (2024)

No dia da aplicação, as mudas receberam irrigação até às 11h, e às 16h, o MAP e o efluente foram aplicados diretamente no substrato, conforme os tratamentos descritos na Tabela 1. O MAP e o efluente foram diluídos em água de poço antes da aplicação. Os diferentes volumes de água adicionados foram necessários para estabelecer uma proporção ideal entre o efluente e a água, logo que, o contato direto do efluente com a planta poderia implicar em efeitos tóxicos agudos.

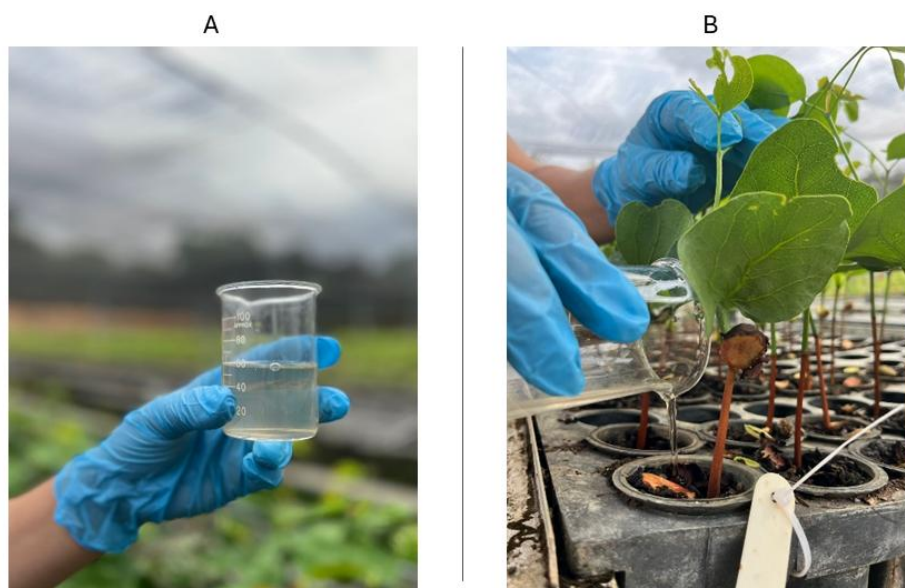
Tabela 1 - Tratamentos utilizados na aplicação em mudas de *C. citriodora* e *H. courbaril*.

Tratamento	Dose MAP*	Efluente (mL)	Volume de água (mL)
T1	0	0	50
T2	100 mg	0	50
T3	0	30	30
T4	0	30	10
T5	0	30	20

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Nota: *MAP = Fosfato Monoamônico

Figura 11 – (A) Efluente de abate de bovinos diluído com água. (B) Aplicação do efluente de abate de bovinos nas mudas de *H. courbaril*.



Fonte: a autora (2024)

4.3 Parâmetros morfológicos e qualitativos avaliados

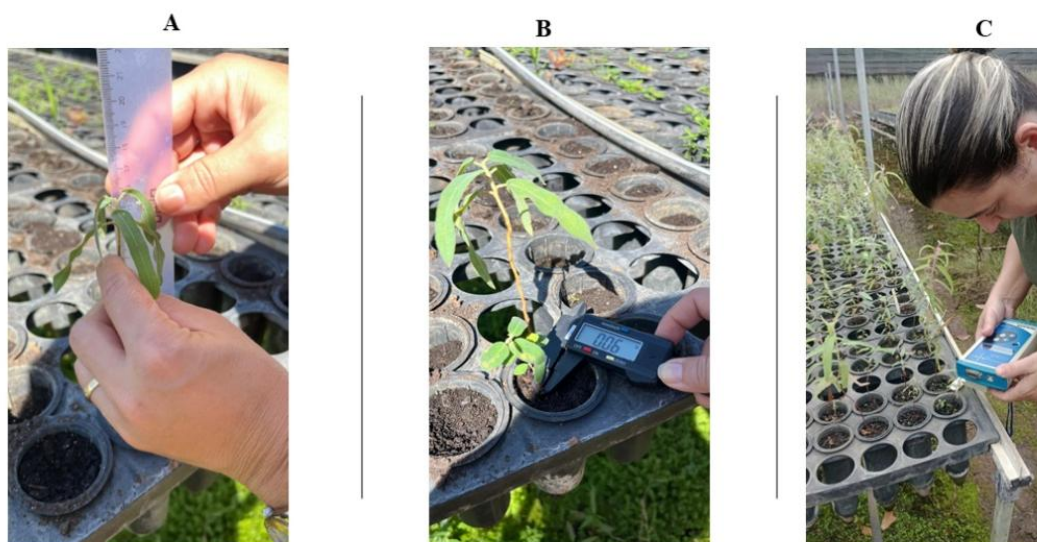
4.3.1 Avaliação da qualidade das mudas

Após os 150 dias, as mudas foram avaliadas pelas características de altura (em centímetros), considerando a superfície do substrato até a gema apical; o diâmetro de coleto (em milímetros), determinado com paquímetro digital; massa fresca e massa seca

de parte aérea e de raiz (em gramas), índice de qualidade de Dickson (IQD) (Equação 1), conforme Dickson *et al.*, (1960); e o teor de clorofila total (índice de clorofila de Falker), utilizando o medidor ClorofiLOG1030®. O índice de qualidade de Dickson foi calculado pela Equação 1:

$$IQD = \frac{\text{Massa seca total}}{\left(\frac{\text{altura}}{\text{diâmetro coleto}}\right) + \left(\frac{\text{massa seca parte aérea}}{\text{massa seca raiz}}\right)} \quad (1)$$

Figura 12 – (A) Medida da altura usando régua. (B) Diâmetro do coleto com paquímetro digital. (C) Aferindo o teor de clorofila A e B.



Fonte: Registro autoral (2025)

A avaliação de obtenção da biomassa foi realizada com cinco réplicas escolhidas aleatoriamente, as quais foram retiradas do substrato e lavadas. Em seguida seccionadas em parte aérea (folha e caule) e raízes. As características avaliadas foram massa verde e massa seca da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR), massa total da parte aérea (MST), a razão MSPA/MSR e comprimento da raiz. A secagem ocorreu em estufa à 65°C e a pesagem em balança analítica de 4 casas decimais. Também foram avaliadas visualmente as características do torrão considerando a homogeneidade da distribuição das raízes e o volume do sistema radicular.

Figura 13 – (A) Réplicas de mudas de *C. citriodora* e *H. courbaril* escolhidas (B) Secção da parte aérea e da raiz das mudas de *C. citriodora* e *H. courbaril* (C) Pesagem da biomassa fresca e seca na balança analítica.



Fonte: Registro autoral (2025)

As amostras de substrato e planta de cada tratamento foram encaminhadas para análises físico-químicas em laboratório especializado (Laboratório Terra Análises para Agropecuária). As análises de substrato foram realizadas conforme a metodologia recomendada para as análises de substrato do Manual de Métodos de Análise de Substrato da Embrapa (2017), e as análises de planta (Figura 14), conforme o Manual de Métodos Analíticos Oficiais do Ministério da Agricultura e pecuária. Na análise de planta, os resultados apresentados correspondem a quantificação tanto a parte área como da raiz.

Figura 14 - (A) Parte aérea de mudas *C. citriodora* (B) Parte aérea de mudas de *H. courbaril*.



Fonte: Registro autoral (2025)

4.3.2 Avaliação ecotoxicológica com minhocas *Eisenia fetida*

O ensaio de fuga com *Eisenia fetida* foi realizado de acordo com a norma NBR/ISSO 17512-1 (ABNT,2011), a qual avalia a qualidade do solo e os efeitos de substâncias químicas no comportamento de minhocas.

Para a realização do ensaio, foi utilizado o substrato comercial, o mesmo do experimento, e realizou a análise de capacidade de retenção de água (CRA) do solo (Figura 15), foi determinada conforme a norma ISO 11268-2 (ISO, 1998). Para isso, 3 potes plásticos foram preenchidos com 50 g do substrato e a parte inferior vedada com um tecido filtro e submetidos a imersão em água destilada por 3 horas. Depois foram colocados em cima de recipientes com areia por 2 horas e em seguida levados a estufa a 105°C por 24 horas para secagem. A CRA foi calculada para 60 % ou 13,9% utilizando a Equação 2. A Figura 15 ilustra o processo de secagem das amostras em placas de petri.

$$CRA = [(U - S) / S] \times 100 \quad (2)$$

Em que:

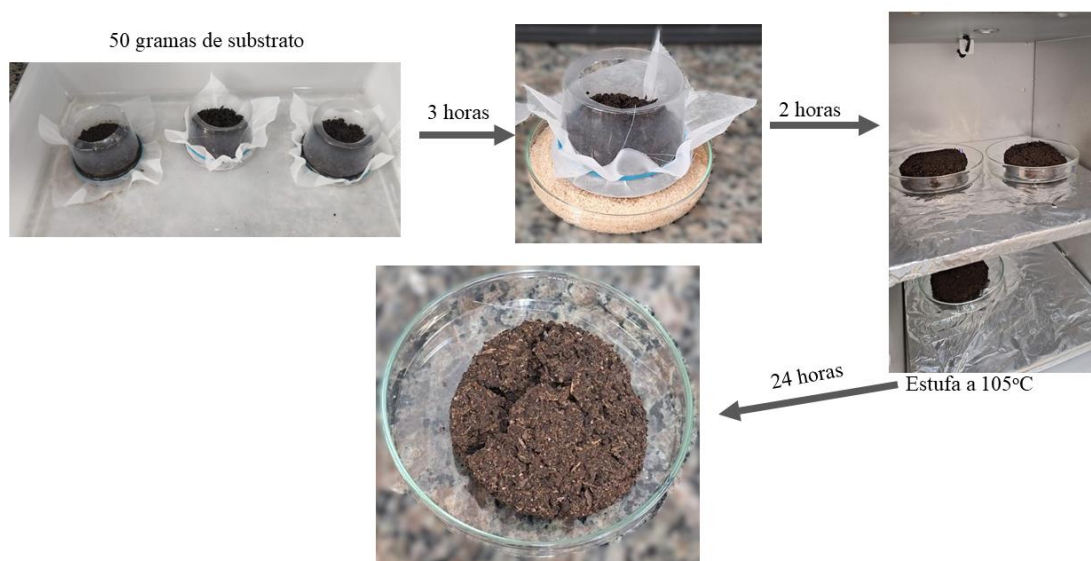
CRA= Capacidade de retenção de água, em porcentagem de massa seca em (%);

U= Peso do SAT (ou solo) úmido;

S= Peso do SAT (ou solo) seco.

Figura 15 - Capacidade de retenção de água do substrato.

Capacidade de retenção de água (CRA) do substrato foi determinada conforme a norma ISO 11268-2 (ISO,1998).



Fonte: Registro autoral (2025).

Os valores de pH das amostras de solo (SAT) umedecidas com o efluente e com efluente tratado com APA foram medidos com alíquotas de 5 g, sendo os valores de pH obtidos dentro da faixa de $6,0 \pm 0,5$, não necessitando do ajuste de pH.

Para a realização do ensaio de fuga foram utilizados recipientes plásticos com dimensões de 4 a 6 cm de altura por 16 cm de comprimento, preenchidos com 250g de substrato de cada tratamento e umedecido com 50 ml de água destilada e contendo 10 minhocas da espécie *Eisenia fetida* adultas com massas individuais variando entre 300 a 600 mg.

A avaliação ecotoxicológica do substrato foi realizada por meio do ensaio de fuga com *Eisenia fetida* de acordo com a norma NBR/ISSO 17512-1 (ABNT,2011), a qual avalia a qualidade do substrato e os efeitos de substâncias químicas no comportamento de minhocas. Os tratamentos T3, T4 e T5 foram desinfetados previamente com APA (10 mg L^{-1}). Os recipientes foram divididos em duas seções por um divisor removível, sendo que o conteúdo de cada recipiente foi controle/controle, controle/Map, controle/T3, controle/T4 e controle/T5 em que cada um foi avaliado em cinco repetições, totalizando vinte e cinco recipientes. Após a remoção do divisor, 10 minhocas foram cuidadosamente posicionadas na linha de separação de cada um dos recipientes (Figura 16). Os recipientes foram tampados e perfurados para permitir de troca gasosa.

Figura 16 - Avaliação ecotoxicológica com minhocas da espécie *Eisenia fetida*



Fonte: Registro autoral (2025).

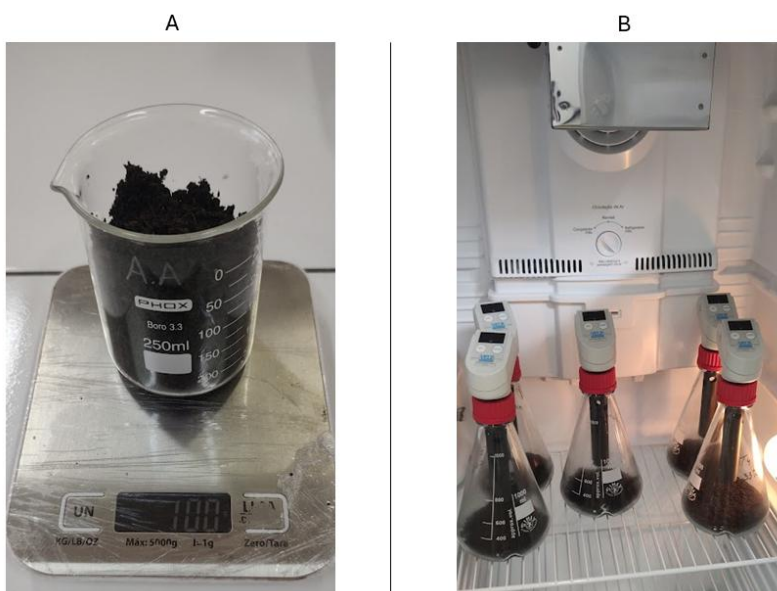
Após 48 horas, o divisor foi reintroduzido e o número de minhocas em cada seção foi contabilizado. Indivíduos divididos pelo divisor foram considerados como 0,5 indivíduos. Os dados do teste de fuga foram avaliados quanto a significância por meio do teste t de Student para duas médias (MONTGOMERY, 2017).

Os testes foram realizados em condições controladas de temperatura ($20 \pm 2^\circ\text{C}$), e luminosidade foi (400-800 lux), com ciclo de 16 horas de luz e 8 horas de escuridão. As minhocas não foram alimentadas durante o período experimental.

4.3.3 Ensaio de biodegradabilidade do substrato

A biodegradabilidade do substrato foi avaliada pelo método respirométrico, utilizando um equipamento da marca VELP. Para isso, pesou-se 100 g do substrato de cada um dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, os quais foram dispostos nos frascos do respirômetro (Figura 17). Os frascos foram fechados com o sensor de pressão, acoplados ao reservatório para hidróxido de potássio, reagente sequestrador de CO_2 . As amostras foram mantidas a 25° por 40 dias e o consumo de oxigênio foi registrado periodicamente.

Figura 17 - (A) Pesagem do substrato. (B) Frascos do respirômetro.



Fonte: Registro autoral (2025)

4.3.4 Análise estatística

O modelo estatístico utilizado na análise de variância para as características que foram avaliadas durante o cultivo foi designado pela Equação 3:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (3)$$

onde y_{ijk} é a variável resposta, μ é o efeito da média geral, α_i é o efeito do i -ésimo nível de tratamento utilizado ($i = 1, 2, 3, 4$ e 5), β_j é o efeito do j -ésimo nível de tempo ($j = 1, 2, 3, 4$ e 5), $\alpha\beta_{ij}$ é o efeito da interação dupla tratamento x tempo e ε_{ijk} é o efeito do erro aleatório. Quando o efeito de interação foi significativo, então utilizou o teste de Scott-Knott (1974) para estudo do efeito de tratamento dentro de cada nível de tempo e ajuste de modelos de regressão para estudo do efeito de tempo dentro de cada nível de tratamento. O modelo estatístico utilizado na análise de variância para as características após o cultivo é apresentado pela Equação 4:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ijk} \quad (4)$$

onde y_{ijk} é a variável resposta, μ é o efeito da média geral, α_i é o efeito do i -ésimo nível de tratamento utilizado ($i = 1, 2, 3, 4$ e 5) e ε_{ijk} é o efeito do erro aleatório. O teste de Scott-Knott (1974) foi utilizado quando o efeito de tratamento foi significativo. O coeficiente de variação foi calculado pela Equação 5:

$$CV(\%) = \frac{\sqrt{QMResíduo}}{\bar{y}} \cdot 100 \quad (5)$$

onde QMResíduo é o quadrado médio do resíduo obtido na análise de variância e $\bar{y}$ é a média geral da característica avaliada. Todas as análises foram feitas pelo software R (R Core Team, 2025) e com a utilização do pacote ggplot2 (Wickham, 2016) para elaboração dos gráficos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização físico-química do efluente após desinfecção com APA

As características físico-químicas do efluente após sua desinfecção com 10 mg L⁻¹ de APA podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização físico-química do efluente de abate de bovino desinfetado com APA (10 mg·L⁻¹).

Parâmetro	Valores	Métodos
Cobalto (mg.L ⁻¹)	0,00±0,00	Emissão atômica
Cobre (mg.L ⁻¹)	0,09±0,00	
Ferro (mg.L ⁻¹)	0,89±0,00	
Potássio (mg.L ⁻¹)	74,16±0,26	
Lítio (mg.L ⁻¹)	0,01±0,00	
Manganês (mg.L ⁻¹)	0,71±0,00	
Molibdênio (mg.L ⁻¹)	0,00±0,00	
Sódio (mg.L ⁻¹)	356,99±1,06	
Níquel (mg.L ⁻¹)	0,02±0,00	
Zinco (mg.L ⁻¹)	0,83±0,01	
Calcio (mg.L ⁻¹)	51,01±0,31	
Boro (mg.L ⁻¹)	0,06±0,00	
Magnésio (mg.L ⁻¹)	12,85±0,01	
Fósforo (mg.L ⁻¹)	16,95±0,07	
Nitrogênio total (mg.L ⁻¹)	128,8	Espectrofotométrico
DQO (mg.L ⁻¹)	555±35	Espectrofotométrico
Residual de APA (mg.L ⁻¹)	< 0,1	Espectrofotométrico
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)	815	Gravimétrico
Sólidos suspensos totais (mg.L ⁻¹)	129	Gravimétrico
Sólidos dissolvidos totais (mg.L ⁻¹)	686	Gravimétrico
pH	7,6	Potenciométrico
Condutividade elétrica (μs.cm ⁻¹)	1884	Condutimétrico
Alcalinidade (mg.L ⁻¹)	882	Titulométrico
DBO (mg.L ⁻¹)	142±12	Respirométrico
Turbidez (NTU)	105	Nefelométrico
Oxigênio dissolvido (mg.L ⁻¹)	3,9	Oximétrico

A eficiência de desinfecção e a toxicidade do efluente antes e após a aplicação do APA (10 mg.L⁻¹) são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Eficiência de desinfecção utilizando coliformes totais e *Escherichia coli* e a toxicidade para *Vibrio fischeri* da amostra antes e após a aplicação do APA (10 mg.L⁻¹).

Parâmetro	Efluente de abate	Efluente de abate desinfetado com APA	Método
<i>Escherichia coli</i> (UFC 100mL ⁻¹)	8,0. 10 ⁴	< 10	Membranas
Coliformes totais (UFC 100mL ⁻¹)	6,2.10 ⁵	< 10	filtrantes
Toxicidade para <i>Vibrio fischeri</i> *	18,7%	43,8%	Bactéria liofilizada

Fonte: Elaborado pela autora (2024). Nota: *Amostras com toxicidade >20% são considerados tóxicas.

A partir das avaliações físico-químicas do efluente é possível constatar que sua composição oferece macronutrientes como fósforo, potássio e nitrogênio (Tabela 2). No entanto, há presença de microrganismos patogênicos, como demonstra a Tabela 3, por isso a etapa de desinfecção é necessária. No Brasil, a Resolução nº 503/2021, do CONAMA, a qual define critérios para o uso de efluente na agricultura, estabelece que os valores máximos permitidos (VMP) de *E. coli* para fertirrigação são de 1000 UFC·100 mL⁻¹ para alimentos consumidos crus e cuja parte comestível tenha contato com o substrato e de 10.000 UFC·100 mL⁻¹ para outras culturas e pastagens. Portanto, o processo proposto alcança a qualidade microbiológica estabelecida para qualquer tipo de cultura.

Em relação a ecotoxicidade do efluente foi observado que a aplicação do APA implicou no aumento de sua toxicidade, considerando o bioindicador aquático *Vibrio fischeri*, justificando a necessidade de ensaios de ecotoxicidade com bioindicadores terrestres após sua aplicação no substrato.

5.2 Qualidade das mudas

Em relação ao crescimento das mudas, observou-se comportamentos diferentes das espécies em relação a adubação (Tabela 4). Para *C. citriodora*, a interação tempo x tratamento foi significativa para altura e diâmetro de coleto ao longo do cultivo, enquanto que para *H. courbaril* essa interação foi não significativa para ambas as características (Tabela 4). No entanto, para *H. courbaril*, a altura das mudas foi influenciada significativamente tanto pela adubação quanto pelo tempo de cultivo (Tabela 4). O diâmetro do coleto em *H. courbaril* apresentou efeito significativo apenas para tempo (Tabela 4). Observa-se também que o *H. courbaril* apresentou maior altura de muda e diâmetro de coleto comparado ao *C. citriodora* em termos de máximo, média e mínimo (Tabela 4).

As comparações entre os tratamentos ocorreram dentro de cada nível de tempo para *C. citriodora* devido a interação tempo x tratamento ser significativa para esta espécie em ambas as características (Figuras 18A e 18B). Em *H. courbaril* as comparações entre tratamentos ocorreram independente do tempo devido a interação ser não significativa para esta espécie em ambas as características (Figuras 18C e 18D).

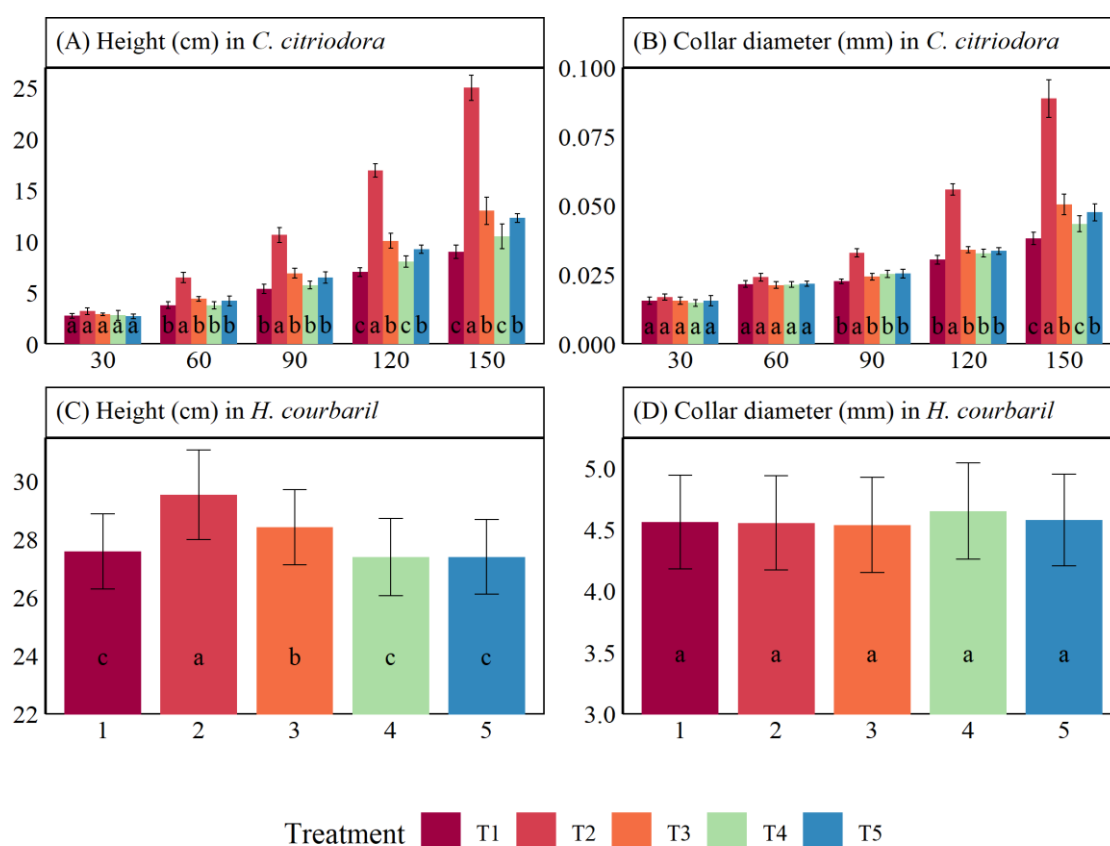
Tabela 4 - Resumo da análise de variância para as características altura (em cm) e diâmetro do coleto (em mm) para *C. citriodora* e *H. courbaril* em função do tempo, tratamento e da interação tempo x tratamento.

Fonte de variação	DF	Quadrado médio – <i>C. citriodora</i>		Quadrado médio – <i>H. courbaril</i>	
		Altura	Diâmetro do coleto	Altura	Diâmetro do coleto
Blocos	3	11.19**	<0.01	7.75*	0.07
Tempo (T)	4	398.15**	<0.01**	814.66**	69.40**
Tratamento (Tr)	4	149.89**	<0.01**	16.92**	0.04
T x Tr	16	24.13**	<0.01**	1.49	0.01
Residue	72	1.13	<0.01	2.16	0.03
CV (%)	-	14.61	0.06	0.10	0.64
Máxima	-	25.02	0.08	36.52	6.13
Média	-	7.73	0.03	28.06	4.57
Mínima	-	2.70	0.01	17.33	1.45

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Nota: ** e * significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F.

Figura 18 - Médias com desvio padrão para altura e diâmetro de coleto das mudas em *Corymbia citriodora* (A e B) e em *Hymenaea courbaril* (C e D) para os diferentes tratamentos.



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

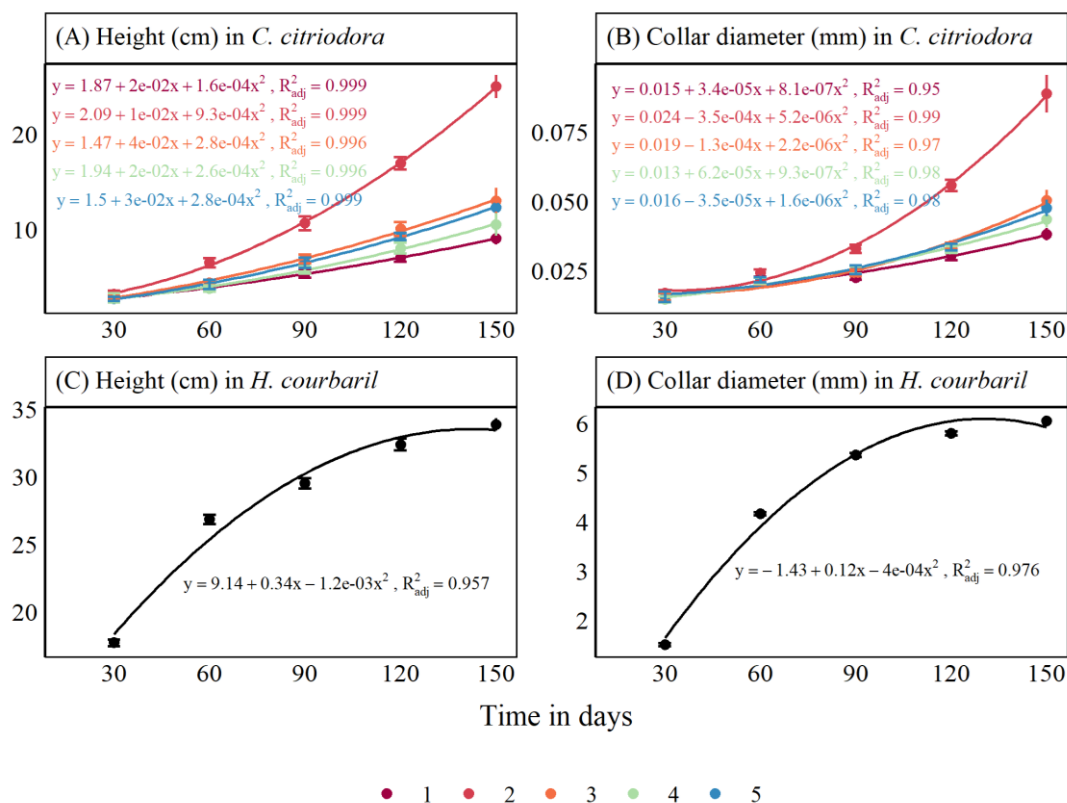
Nota: *Tratamentos com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0.05$). Em A e B as comparações são feitas dentro de cada nível de tempo.

Para *C. citriodora* observa-se que a adubação T2 (MAP) foi superior aos demais tratamentos em altura da muda a partir de 60 dias (Figura 18A), enquanto esse mesmo tratamento apresentou média superior de diâmetro de coleto a partir dos 90 dias (Figura 18B). Em relação a adubação com o efluente, os tratamentos T3 e T5 apresentaram média de altura da muda maior que o controle (T1) aos 120 e 150 dias (Figura 1A), respectivamente. Em relação ao diâmetro de coleto, os tratamentos T3 e T5 também apresentaram média maior que o controle aos 150 dias. O tratamento T4 não apresentou diferença significativa em relação ao controle em ambas as características e em qualquer tempo de avaliação (Figuras 19A e 18B). No tratamento T4 aplicou-se a adubação de 30 mL do efluente com 10 mL de água, ou seja, a dosagem menos diluída comparado aos demais tratamentos, o que pode ter dificultado a distribuição dos nutrientes no tubete. Este comportamento segue uma tendência, em que, o maior volume de água adicionado ao efluente aumentou os valores de altura da muda e diâmetro de coleto. Destaca-se que o maior volume de água foi adicionado ao efluente no tratamento T3, seguido por T5 e T4, respectivamente (Tabela 1).

No estudo do efeito do tempo em *C. citriodora*, modelos de regressão do segundo grau apresentaram os maiores coeficientes de determinação ajustado (R^2_{adj}) quando comparados aos de primeiro grau. Todos os modelos de segundo grau apresentaram R^2_{adj} que superaram 0,95, demonstrando um bom ajuste do modelo (Gujarati and Porter, 2011). Todos os modelos ajustados para *C. citriodora* apresentaram um padrão côncavo, demonstrando que o crescimento foi acelerando ao longo do tempo (Figuras 19A e B).

Em *H. courbaril*, o tratamento T2 apresentou a maior média de altura de muda independentemente do tipo de adubação, seguido pelo T3 que foi superior aos demais tratamentos (Figura 18C). Já em diâmetro de coleto não houve diferença estatística entre os tratamentos. Observou-se também que o efeito do tempo foi melhor modelado por uma regressão de segundo grau obtendo coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}) acima de 0,95 (Figura 20C e 20D). As curvas de *Hymenaea courbaril* indicam que inicialmente o crescimento foi mais acelerado, mas após 120 dias houve uma estabilização, o que sugere que as plantas começam a desviar os nutrientes para os processos estruturais, como lignificação e desenvolvimento das raízes (Figura 19C e 19D).

Figura 19 - Médias com desvio padrão da média para altura e diâmetro de coleto das mudas em *Corymbia citriodora* (A e B) e em *Hymenaea courbaril* (C e D) ao longo do tempo de cultivo.



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Nota: *O modelo de regressão plotado é o com maior coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}) entre os modelos de 1° e 2° grau.

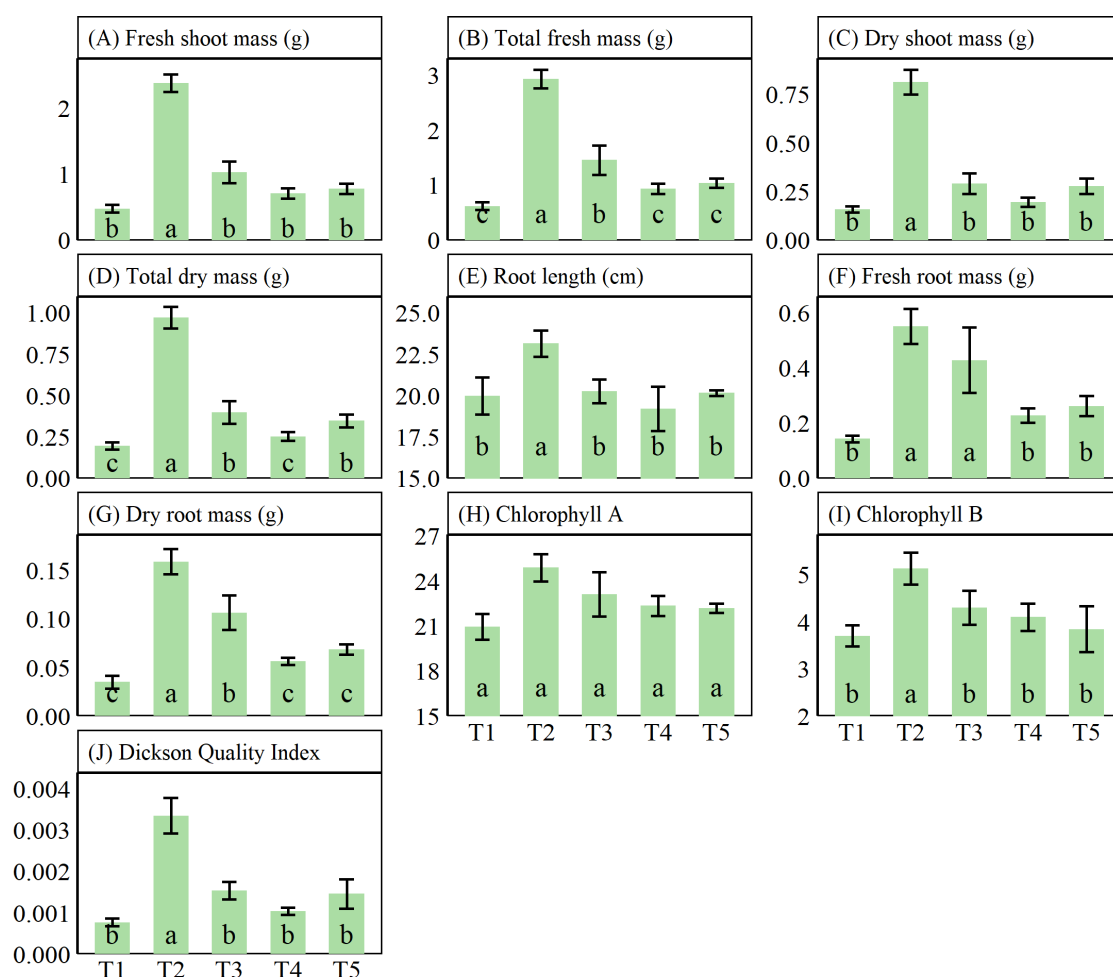
Em relação as características de massa da parte aérea e da raiz, teor de clorofila e Índice de Qualidade de Dickson, *C. citriodora* também sofreu maior influência no processo de adubação quando comparada com *H. courbaril* (Figuras 20 e 21).

Comparando as espécies é interessante notar que a parábola é côncava para cima para *C. citriodora*, enquanto que para *H. courbaril* a parábola apresentou concavidade para baixo.

Nas avaliações da massa da parte aérea, fresca e seca, de *C. citriodora* (Figura 20A e 20C), os tratamentos com o efluente resultaram em médias iguais ao controle. Em relação a massa fresca da raiz, T2 e T3 foram estatisticamente superiores ao controle (Figura 20F e 20G). Esse resultado refletiu na massa fresca total (Figura 20B), em que T2 e T3 também apresentaram médias maiores que os demais tratamentos. Para comprimento de raiz, os tratamentos com efluente foram estatisticamente iguais e com média inferior ao T2 (Figura 20E). O teor de clorofila a foi igual entre os tratamentos, enquanto que T2 apresentou maior teor de clorofila b, o que amplia sua capacidade de absorção de luz nos

comprimentos de onda de 453 e 642 nm, comumente observadas em plantas adaptadas a regiões sombreadas ou de baixa luminosidade (KOLASINAC et al., 2021). Consequentemente, o IQD para T2 foi superior aos demais tratamentos, pois apresentou altura, diâmetro de coleto e massa seca e fresca superior aos demais tratamentos, enquanto a adubação com o efluente demonstrou IQD estatisticamente igual ao controle. Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2021), ao utilizar substratos com lodo de suínos para a produção de *Guazuma ulmifolia*, sendo observado que proporções maiores de resíduo (60% e 80%) resultaram nos melhores IQDs.

Figura 20 - Massa fresca da parte aérea, massa fresca total, massa seca da parte aérea, massa seca total, comprimento da raiz, massa fresca da raiz, massa seca da raiz, clorofila a, clorofila b e Índice de Qualidade de Dickson de mudas de *Corymbia citriodora* para os diferentes tratamentos após 150 dias.



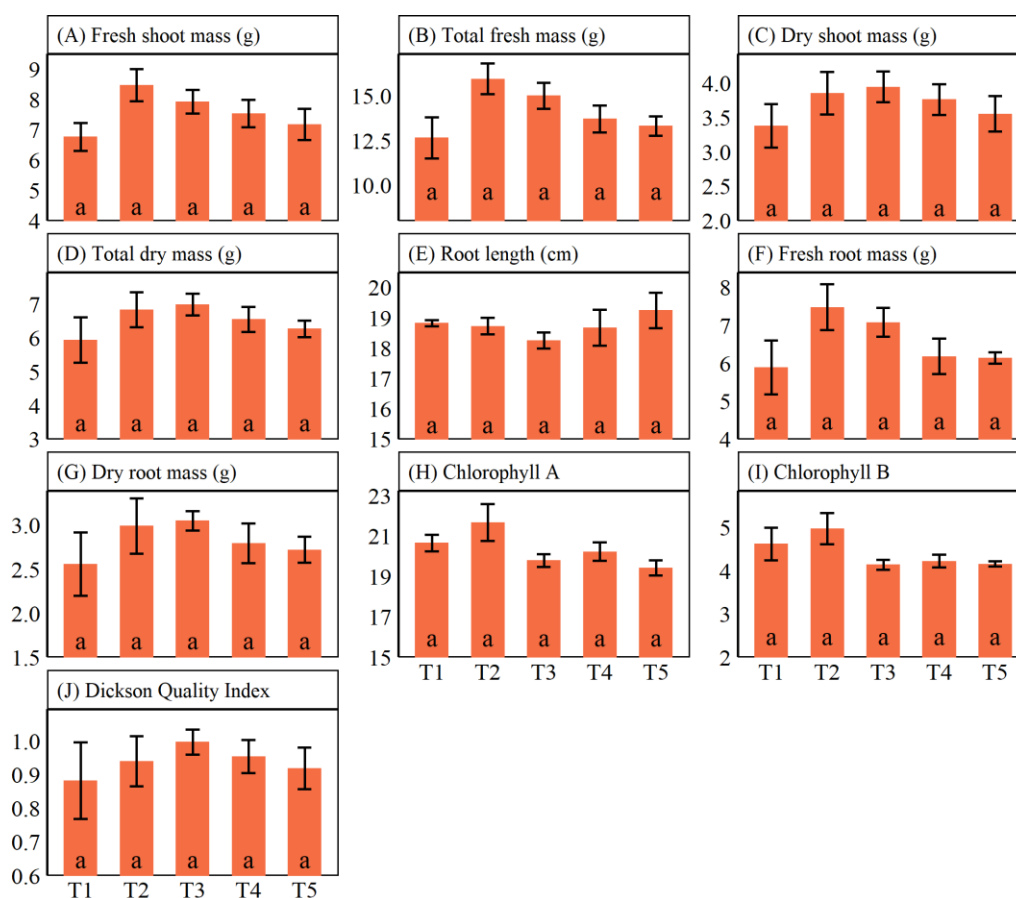
Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Os melhores resultados observados em T2, podem ser justificados pela maior concentração de fósforo adicionado ao substrato, pois 30 mL de efluente apresentou

apenas 0,5mg de fósforo total, enquanto a adição de 100mg de MAP contribuiu com aproximadamente 21,8 mg de fósforo, ou seja, 40 vezes mais. Segundo Hassanzadeh, (2024) a deficiência de fósforo é um dos fatores mais limitantes para o crescimento das plantas.

As avaliações das características de massa da parte aérea e da raiz, teor de clorofila a e b, e Índice de Qualidade de Dickson para *H. courbaril* indicaram que não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos, demonstrando que até os 150 dias, a muda utilizou as reservas da semente para o seu desenvolvimento (Figura 21). De acordo com de Kerwer et al. (2025) sementes grandes contêm mais recursos, resultando em um crescimento mais rápido e um melhor estabelecimento e sobrevivência das plântulas. Nas sementes recalcitrantes os compostos de reserva ou armazenamento, como carboidratos, proteínas e óleos, podem ser acumulados em abundância, e assim servem como principal fonte de nutrientes para fase inicial da planta (LAH et al. 2023).

Figura 21 - Massa fresca da parte aérea, massa fresca total, massa seca da parte aérea, massa seca total, comprimento da raiz, massa fresca da raiz, massa seca da raiz, clorofila a, clorofila b e Índice de Qualidade de Dickson de mudas de *Hymenaea courbaril* para os diferentes tratamentos após 150 dias.



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

A formação do torrão pode ser avaliada visualmente na Figura 22, demonstrando que as mudas de ambas as espécies e em todos os tratamentos, possuem uma estrutura suficiente para garantir que a muda seja transplantada, minimizando os danos durante o transplantio, favorecendo a sobrevivência e o crescimento inicial das mudas no campo (GOMES et al., 2003). Vale ressaltar que, a uniformidade no enraizamento é extremamente importante, conforme apontado por SILVA et al. (2011), que destacam que quanto mais homogêneo e volumoso for o sistema radicular, maior será a disponibilidade de nutrientes no período entre o transplantio e o desenvolvimento de novas raízes.

Figura 22 - Avaliação de torrão das espécies *C. citriodora* e *H. courbaril*.



Fonte: Registro autoral (2025).

5.2.1 Análise química das mudas após 150 dias

A análise elementar das mudas é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 - Análise química das mudas de *Corymbia citriodora* e *Hymenaea courbaril* (raiz e parte aérea) após 150 dias.

	<i>C. citriodora</i>					<i>H. courbaril</i>				
Parâmetros	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
N (%)	1,50	1,40	1,40	1,50	1,40	0,80	0,90	0,90	0,90	0,90
P (%)	0,40	0,36	0,40	0,40	0,38	0,36	0,36	0,38	0,36	0,34
K (%)	1,16	1,16	1,20	1,18	1,18	0,88	0,84	0,88	0,88	0,84
Ca (%)	1,54	1,58	1,65	1,56	1,48	0,92	0,96	0,95	0,98	0,99
Mg (%)	0,21	0,25	0,24	0,26	0,22	0,20	0,21	0,18	0,21	0,20
S (%)	0,24	0,23	0,22	0,25	0,23	0,23	0,21	0,24	0,23	0,26
Cu (mg.kg ⁻¹)	95	96	98	96	94	18	16	13	18	15
Fe (mg.kg ⁻¹)	300	295	292	258	208	152	154	146	148	134
Mn (mg.kg ⁻¹)	54	49	48	45	44	24	23	25	26	25
Zn (mg.kg ⁻¹)	128	105	164	103	103	68	56	58	58	62

Fonte: Laboratório TERRA (2025)

Os resultados demonstraram que os tratamentos não alteraram a composição nutricional das plantas, apresentando variações abaixo de 3%, com exceção aos micronutrientes ferro e zinco para espécie *C. citriodora*. Em relação ao ferro T4 e T5 apresentaram, redução de 14 e 30%, respectivamente, comparado ao controle (T1), enquanto que para o zinco, os tratamentos T2, T4 e T5 apresentaram redução em torno de 18%. No entanto, a comparação entre as espécies, permite observar que a demanda nutricional de *C. citriodora* é superior a *H. courbaril*, para os elementos nitrogênio, potássio, cálcio, cobre, ferro, manganês e zinco, o que justifica a redução do crescimento de *C. citriodora* sem a adição do fertilizante fosfatado (T2). Comparando os valores nutricionais entre as amostras controle (T1) das duas espécies, observa-se que *C. citriodora* demandou 46% mais nitrogênio que *H. courbaril*, assim como, potássio (<24%), cálcio (<40%), cobre (<81%), ferro (<49%), manganês (<55%) e zinco (<46%).

6.2.2 Análise química do substrato após 150 dias

Comparando as duas espécies, diferentemente das mudas, ao final da avaliação, o substrato não demonstrou diferença na sua composição química, como apresentado na Tabela 6. O mesmo foi observado entre os tratamentos para cada espécie.

Tabela 6 - Análise do substrato após os 150 dias de experimento, referente ao plantio de *Corymbia citriodora* e *Hymenaea courbaril*.

	<i>C. citriodora</i>					<i>H. courbaril</i>				
Parâmetro	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
pH	5,9	5,9	6	6,1	6,1	5,6	5,6	5,8	5,8	5,9
Ca (cmolc.dm ⁻³)	10,9	11,1	9,6	10,7	10,6	10,2	9,9	11,1	10,8	10,7
Mg (cmolc.dm ⁻³)	2,3	2,1	1,4	2,2	2,3	2,1	2,3	2,5	2,3	2,4
P (Mehlich I) (mg.dm ⁻³)	175,0	180,0	175,0	185,0	175,0	175,0	195,0	184,0	175,0	185,0
K (mg.dm ⁻³)	72	80	60	68	56	68	60	58	80	82
Na (mg.dm ⁻³)	3	2	2	1	3	3	3	1	2	2
S (mg.dm ⁻³)	4	6	4	4	5	5	4	5	6	5
B (mg.dm ⁻³)	0,22	0,19	0,2	0,19	0,16	0,16	0,17	0,21	0,16	0,23
Cu (mg.dm ⁻³)	0,6	0,6	0,8	0,6	0,9	0,7	0,5	0,6	0,7	0,7
Fe (mg.dm ⁻³)	154	167	142	147	148	155	156	144	151	169
Mn (mg.dm ⁻³)	58	60	54	51	62	58	62	69	59	61
Zn (mg.dm ⁻³)	5,1	5,1	4,8	5,1	4,7	5,1	4,9	5,1	4,8	4,8
Mat. Org. (%)	14,5	14,5	13,5	13,5	14,5	14,5	18,0	16,0	16,0	16,0
Argila (%)	10	10	10	10	12	10	10	12	10	12
Silte (%)	1	1	1	1	4	1	1	7	1	4
Areia (%)	89	89	89	89	84	89	89	81	89	84
N (%)	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,90	0,80	0,80	0,80

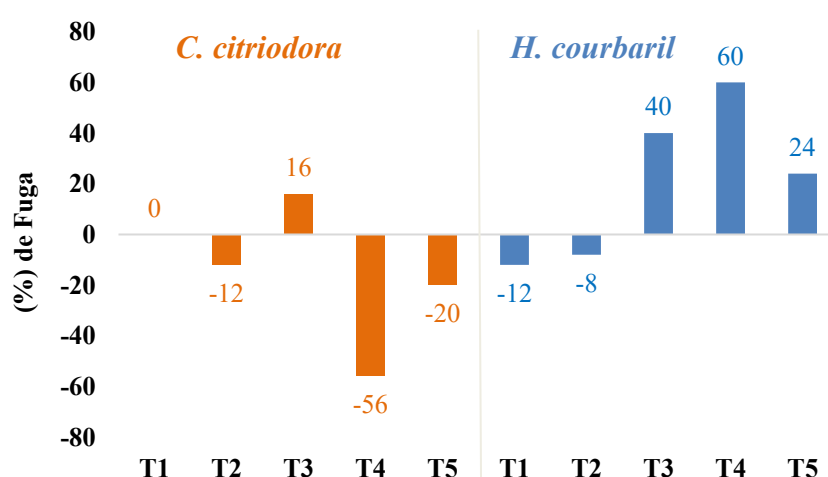
Fonte: Laboratório TERRA (2025)

Considerando que *C. citriodora* demanda maior quantidade de nutriente do substrato (Tabela 4), poderia ser esperado que houvesse menor teor de nutrientes ao final da avaliação, porém, vale ressaltar que a massa seca de *H. courbaril* foi superior, o que justifica as semelhanças químicas do substrato. Comparando as amostras controle das duas espécies (T1), a massa seca total de *H. courbaril* foi 30 vezes maior que *C. citriodora* (Figura 20D e 21D), além disso, como *H. courbaril* apresenta semente recalcitrante, a reserva de nutrientes da semente contribuiu substancialmente para o desenvolvimento da muda. O tamanho da semente e sua composição de reserva podem desempenhar um papel relevante no processo de germinação de semente e estabelecimento de plântulas. (SILVA, 2018)

5.3 Avaliação ecotoxicológica do substrato

Em relação ao ensaio ecotoxicológico com *Eisenia fetida* (Figura 23), pode-se observar que após o plantio das mudas, o substrato demonstrou maior toxicidade a *E. fetida* quando recebeu as mudas de *H. courbaril*. Esse comportamento pode ser justificado pelo fato desta espécie absorver menos nutrientes do substrato, e consequentemente, manter um maior residual do efluente.

Figura 23 - Avaliação ecotoxicológica, % fuga, dos substratos após os 150 dias de experimento, utilizando *Eisenia fetida*.



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Conforme a Tabela 7, houve diferença estatística entre o controle e o solo teste T4 e T5 para a espécie *Corymbia citriodora*, determinando que as minhocas foram atraídas para substrato adubado com o efluente de abate. Para *Hymenaea courbaril*, houve evitação estatisticamente significativa dos substratos com os tratamentos T3, T4 e T5, os quais foram adubados com o efluente de abate.

Tabela 7 - Contagem média de *Eisenia fetida* nos substratos após os 150 dias de experimento. As letras minúsculas comparam a média do tratamento T1 com as dos demais tratamentos dentro da mesma espécie pelo teste t de Student ($p < 0.05$). As letras maiúsculas comparam as médias de um mesmo tratamento entre as diferentes espécies.

Tratamento	<i>C. citriodora</i>		<i>H. courbaril</i>	
	Média do T1	Média do i-ésimo tratamento	Média do T1	Média do i-ésimo tratamento
T1	5.00 a	5.00 aA	4.40 a	5.60 aA
T2	4.40 a	5.60 aA	4.60 a	5.40 aA
T3	5.80 a	4.20 aA	7.00 a	3.00 bA
T4	2.20 b	7.80 aA	8.00 a	2.00 bB
T5	4.00 b	6.00 aA	6.20 a	3.80 bB

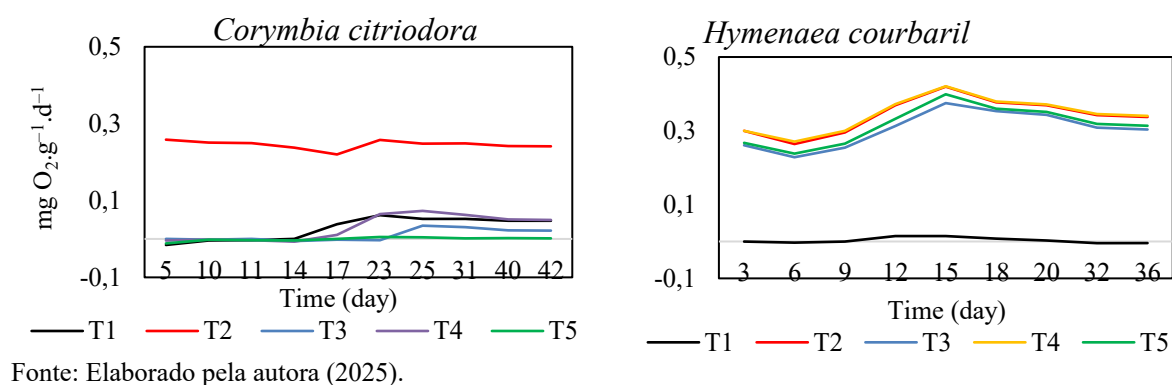
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Nota: *As letras minúsculas comparam a média do tratamento T1 com as dos demais tratamentos dentro da mesma espécie pelo teste t de Student ($p < 0.05$). As letras maiúsculas comparam as médias de um mesmo tratamento entre as diferentes espécies.

Estimé (2025) realizou o teste de fuga com *E. fetida* em efluente de abate de bovinos com e sem desinfecção com APA e observou maior taxa de fuga, no substrato irrigado com efluente desinfetado com APA. Embora as minhocas tenham apresentado fuga de 60% para *H. courbaril* (T4), a perda de habitat do substrato só ocorrerá em condições em que a fuga for superior a 80%. Estes resultados indicam que as mudas de *C. citriodora* podem ser promissoras para a recuperação de solos contaminados com efluentes de abate de bovinos, pois apresentaram condições mais atraentes para o biondicador.

A maior concentração residual do efluente no substrato após o plantio das mudas de *H. courbaril* pode ser identificada pelo maior teor de matéria orgânica descrito na Tabela 5 para T3, T4 e T5, e também na avaliação da biodegradabilidade do substrato, conforme apresentado na Figura 24.

Figura 24 - Avaliação da biodegradabilidade do substrato após os 150 dias de experimento.



Após o plantio das mudas da espécie *C. citriodora* observou-se no tratamento T2 (MAP) maior taxa de respiração basal (demonstrado pelo maior consumo de oxigênio). Enquanto os demais tratamentos se mantiveram com valores inferiores a $0,1 \text{ mgO}_2\text{g}^{-1}\text{d}^{-1}$, indicando menor teor de matéria orgânica.

Para *H. courbaril*, somente a amostra controle apresentou taxa de respiração basal inferior a $0,1 \text{ mgO}_2\text{g}^{-1}\text{d}^{-1}$. Para os demais tratamentos obtiveram-se taxas superiores a $0,3 \text{ mgO}_2\text{g}^{-1}\text{d}^{-1}$, demonstrando que para essa espécie o substrato dos tratamentos T3, T4 e T5 apresentaram maior concentração residual do efluente. Este resultado também indica que o efluente não inibiu o metabolismo da microbiota.

6 CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que a utilização da adubação com efluente de abate de bovinos apresenta efeitos distintos dependendo da espécie avaliada, denotando maior influência na espécie com maior exigência nutricional e com semente ortodoxa (*C. citriodora*). Além disso, a aplicação do efluente de abate de bovinos em *C. citriodora*, demonstrou contribuições estatisticamente significativas quando comparado ao controle. Sendo que T3 demonstrou melhor desempenho que o controle, principalmente quanto a massa fresca total e massa fresca de raiz. E na avaliação de altura e diâmetro do coleto, ao final dos 150 dias, o tratamento T3 e T5 se diferenciaram estatisticamente do controle. Por isso concluiu-se que sua aplicação contribuiu para o seu desenvolvimento. Para ambas as espécies, o efluente de abate de bovinos não demonstrou toxicidade às mudas, não sendo observados prejuízos em nenhuma das características avaliadas, tanto de parte aérea quanto raiz, o que pode indicar a possibilidade de utilizar o efluente para adubação das mudas, visando menor captação de águas naturais. No caso de *C. citriodora*, a irrigação poderia ocorrer concomitantemente à aplicação do fertilizante comercial, logo que a espécie é nutricionalmente mais exigente.

Para *H. courbaril*, não foram observadas contribuições dos tratamentos para o crescimento das mudas e também não foi observado potencial das mudas desta espécie atuarem na recuperação de solos contaminados, como foi observado no ensaio ecotoxicológico com *E. fetida*. Ressalta-se que esta informação é restrita a fase de até 150 dias da planta.

REFERÊNCIAS

- ALESSANDRINO, L; Colombani, N; Aschonitis, V; Eusebi, A, L; Mastrocicco, M; Performance of graphene and traditional soil improvers in limiting nutrients and heavy metals leaching from a sandy Calcisol, *Science of The Total Environment*, Volume 858, Part 1, 2023, 159806, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159806>.
- Ansari P, Flatt PR, Harriott P, Abdel-Wahab YHA. Insulinotropic and antidiabetic properties of *Eucalyptus citriodora* leaves and isolation of bioactive phytochemicals. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2021; 73 (8): 104931061
- AMORIM, Ana C.; LUCAS JÚNIOR, Jorge de; RESENDE, Kleber T. de. Compostagem e vermicompostagem de dejetos de caprinos: efeito das estações do ano. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 57-66, 2005.
- ANDRADE, Azarias Machado de; GOMES, Simone da Silva. **Influência de alguns fatores não genéticos sobre o teor de óleo essencial em folhas de *Eucalyptus citriodora* Hook.** *Floresta e ambiente*, v. 7, n. 1, p. 181-189, 2000.
- APHA, AWWA, WEF. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). Washington, DC: American Public Health Association. 2017.
- ARAÚJO, Henrique José Borges de; MAGALHÃES, Washington Luiz Esteves; OLIVEIRA, Luís Cláudio de. Durabilidade de madeira de eucalipto *citriodora* (*Corymbia citriodora* (Hook.) KD Hill & LAS Johnson) tratada com CCA em ambiente amazônico. **Acta Amazonica**, v. 42, p. 49-58, 2012.
- BASTIN JF, FINEGOLD Y, GARCIA C, MOLLICONE D, REZENDE M, ROUTH D, ZOHNER CM, CROWTHER TW. The global tree restoration potential. *Science*. 2019 Jul 5;365(6448):76-79. doi: 10.1126/science.aax0848. Erratum in: *Science*. 2020 May 29;368(6494):eabc8905. doi: 10.1126/science.abc8905. PMID: 31273120.
- BERNARDI, Marlon Rodrigo et al. Crescimento de mudas de *Corymbia citriodora* em função do uso de hidrogel e adubação. **Cerne**, v. 67-74, 2012.
- BOBROWIEC, P. E.; CARVALHO, D. A.; OLIVEIRA, P. E. Biologia reprodutiva de *Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Langenheim (Leguminosae-Caesalpinoidea) em Uberlândia. p. 154, 2000.
- BOLAND, D. J. **Árvores florestais da Austrália**. Publicação CSIRO, 2006.
- BORGES, M. F. et al. Desenvolvimento de um pão com farinha de jatobá (*Hymenaea* spp.), mamão e banana: aceitabilidade, composição nutricional e atividade antioxidante. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, v. 21, n. 2, p. 624–642, 11 abr. 2023.
- BOTREL, R. T. et al. Fenologia de uma espécie arbórea em ecótono Caatinga / Cerrado no sul do Piauí. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 3, p. 07–12, 1 set. 2015.

CARVALHO, P. E. R. Jatobá-do-Cerrado: *Hymenaea stigonocarpa*. n. EMBRAPA, p. 299–306, 2006.

CAVALCANTE, G.M. et al. Potencialidade inseticida de extratos aquosos de essências florestais sobre mosca-branca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.1, p.9-14, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v41n1/28134.pdf>>. Acesso em: 08 abril. 2025. doi: 10.1590/S0100-204X2006000100002.

CERRATINGA. **Jatobá. Cerratinga**, 2024. Disponível em: <<https://www.cerratinga.org.br/especies/jatoba/>>. Acesso em: 24 jan. 2025

CIFOR. **Hymenaea courbaril (L.) Algarrobo, locust. Leguminosae. Legume family. Caesalpinioideae. Cassia sub-family. CIFOR-ICRAF**, 2025. Disponível em: <<https://www.cifor-icraf.org/search/jatoba/>>. Acesso em: 23 jan. 2025

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. Brasil. 503/2021. Define critérios e procedimentos para o reúso em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias.

CRESTANA, C. DE S. M. Ecologia de polinização de *Hymenaea stilbocarpa* Hayne, o jatobá. v. 17/19, n. Silvicultura em São Paulo, p. 31–37, 1985 1983.

COSTA, Camila Brás. Prospecção e viabilidade econômica para o manejo sustentável de *Hymenaea* spp. 2012. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. <https://gc.aksaam.ufv.br/bitstream/123456789/2487/1/texto%20completo.pdf>.

DANIEL, L. A.; BRANDÃO, C. C. S.; GUIMARÃES, J. R.; LIBÂNIO, M.; DE LUCA, S. J. Métodos Alternativos de Desinfecção da Água: Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável. 1º Edição. São Paulo: RiMa Artes e Textos, 2001. 139p.

DE CASTRO, Elaine Scheidegger; FONTES, Bruna Ribeiro; DA SILVA, Francisco Carlos. Análise fitoquímica do extrato aquoso da casca e do fruto de Jatobá (*Hymenaea courbaril* L., Fabaceae). **Fórum Rondoniense de Pesquisa (ISSN: 2764-345X)**, v. 2, n. 7º, 2021.

DELL'ERBA, A.; FALSANISI, D.; LIBERTI, L.; NOTARNICOLA, M.; SANTORO, D. Disinfection by-products formation during wastewater disinfection with peracetic acid. **Desalination**, v. 215, n. 1-3, p. 177-186, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.08.021>

DICKSON, Alexander; Leaf, Albert L.; Hosner, John F. **Avaliação da qualidade de mudas de abeto-branco e pinheiro-branco em viveiros**. The Forestry Chronicle, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.

DOGENSKI, Mirelle. **Extração do óleo essencial e oleoresina das folhas de *Corymbia citriodora* utilizando CO2 em condições sub e supercríticas**. 2013.

DRESCH, D. M. et al. Germinação e vigor de sementes de gabioba em função do tamanho do fruto e semente. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, p. 262–271, 23 set. 2013.

ELDRIDGE, D.J. **Cobertura criptogâmica e condição da superfície do solo: efeitos na hidrologia de um solo florestal semiárido**. *Arid Land Research and Management*, v. 7, n. 3, p. 203-217, 1993.

EMBRAPA. *Especies florestais brasileiras: Recomendacoes silviculturais, potencialidades e uso da madeira*. n. Colombo, p. 640, 1994.

ESTIMÉ, Rose Bertilde. Avaliação ecotoxicológica de solo irrigado com efluente de abate de bovino desinfetado com Ácido Peracético utilizando os bioindicadores *Eisenia fetida* E *Vibrio fischeri*. 2025. Dissertação de Mestrado em Produção Vegetal. Universidade Federal do tTocantins. Campus de Gurupi, 2025.

FERREIRA, Mário. **Escolha de espécies de eucalipto**. Circular Técnica IPEF, v. 47, p. 1-30, 1979.

FERREIRA, O. P. (Coord). **Madeira: uso sustentável na construção civil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2003. 60 p. (Publicação IPT, 2980).

FRANCIS, J. *Hymenaea courbaril* (L.) Algarrobo, locust. Leguminosae. Legume family. Caesalpinioideae. Cassia sub-family. **USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry; . 5 p. (SO-ITF-SM; 27).**, p. 5, 1990.

GOMES, José Mauro et al. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização NPK. **Revista Árvore**, v. 27, p. 113-127, 2003.

GUARIZ, Hugo Roldi; OLIVEIRA, Halley Caixeta de; ESPERÂNDIO, Huezer Viganô; PAULA, Jean Carlo Baudraz de; SHIMIZU, Gabriel Danilo; RIBEIRO JÚNIOR, Walter Aparecido. Potencial germinativo de *Hymenaea courbaril* L. em diferentes estádios de maturação. **Semina: Ciências Agrárias** , [S. l.] , v. 6SUPL2, pág. 3667–3684, 2021. DOI: 10.5433/1679-0359.2021v42n6SUPL2p3667. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/43751>. Acesso em: 31 jan. 2026.

GUJARATI, D. N., Porter, D. C. *Econometria Básica* (5ª edição). Editora Artmed, Porto Alegre. 918p. Ciência Florestal. <https://doi.org/10.5902/1980509829783>

HASSANZADEH, A., Hamidpour, M., Abbaszadeh, P., Abdolreza D.A., Khalil, K.K., **Maximizing the efficiency of layered double hydroxides as a slow-release phosphate fertilizer: A study on the impact of plant growth-promoting rhizobacteria**, *Applied Clay Science*, Volume 262, 2024, 107620, ISSN 0169-1317. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2024.107620>.

IBGE. **IBGE | Biblioteca**. IBGE, , 1992. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/pt/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=223267>>. Acesso em: 24 jan. 2025

KITIS, M. Disinfection of wastewater with peracetic acid: a review. **Environment International**, v. 30, p. 47-55, 2004. [https://doi.org/10.1016/s0160-4120\(03\)00147-8](https://doi.org/10.1016/s0160-4120(03)00147-8)

KOLASINAC, S. M.; DAJIÉSTEVANOVIC, Z. P.; KILIBARDA, S. N.; KOSTIÉ A. Z. Carotenoids: New Applications of “Old” Pigments. *Phyton*, 2021, vol.90, no.4. DOI:10.32604/phyton.2021.015996.

KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate (1936). p. 44, [s.d.].

LAH, NOOR HANINI CHE, HESHAM ALI EL ENSHASY, AHMED MEDIANI, KAMALRUL AZLAN AZIZAN, Wan Mohd Aizat, Jen Kit Tan, Adlin Afzan, Normah Mohd Noor e Emelda Rosseleena Rohani. 2023. **"Uma visão sobre o comportamento de sementes recalcitrantes, compreendendo suas mudanças moleculares após dessecação e baixa temperatura"** *Agronomia* 13, no. 8: 2099. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082099>

Lea Kerwer, Andrea Nieto, Carlos Iván Espinosa, Matthias Schleuning, Eike Lena Neuschulz, Seed size mediates environmental filtering of seedling recruitment in a seasonally dry tropical forest, *Forest Ecology and Management*, Volume 594, 2025, 122958, ISSN 0378-1127, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2025.122958>.

LEÃO, N. V. M.; MACQUEEN, D. J. Fenologia reprodutiva de jatobá (*Hymenaea courbaril* L., Leguminosae) e anani (*Symphonia globulifera* L. f., Clusiaceae) na Flona do Tapajós, Belterra, PA. p. 129–135, 2001.

Lemes, R. de Q. ., Silva Filho, P. C. da, Souza, P. R. L., & Santos, L. W. dos. (2023). Superação de Dormência e Produção de Mudanças de Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em Diferentes Substratos. *UNICIÊNCIAS*, 26(2), 120–123. <https://doi.org/10.17921/1415-5141.2022v26n2p120-123>

LIMA, Pedro Augusto Fonseca; ALBUQUERQUE, Lidiamar Barbosa de; GATTO, Alcides; MALAQUIAS, Juaci Vitória; AQUINO, Fabiana de Góis. Estabelecimento de mudas de espécies nativas como indicador de restauração ecológica de mata ripária, Cerrado, DF. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], v. 43, 2023. DOI: 10.4336/2023.pfb.43e202002131. Disponível em: <https://pfb.sede.embrapa.br/pfb/article/view/2131>. Acesso em: 7 out. 2025.

Martins WS, Teixeira KC, de Freitas EA, Cangussu ASR, Pereira AKDS, Cavallini GS. Productivity and chemical-bromatological composition of mombaça grass fertigated with cattle slaughterhouse effluent with and without disinfection with peracetic acid. *Water Environ Res.* 2025 Jul, 97(7):e70140. doi: 10.1002/wer.70140.

MELO, Lucas Amaral de et al. **Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eremanthus erythropappus* sob diferentes formulações de substrato.** *Floresta e Ambiente*, v. 21, p. 234-242, 2014.

Meneguetti, K.M., Martins, Y.M.G., & Yoem, R.H.C. 2025. Aromaterapia: tratamento de doenças respiratórias. *Pubsaúde*, 20, a483. DOI: <https://dx.doi.org/10.31533/pubsaude20.a483> Recebido: 15 out. 2024. Revisado e aceito: 15 fev. 2025.

MONTGOMERY DC. Design and Analysis of Experiments. Ninth Edition. John Wiley & Sons, 2017. 735p.

MORA, A.H, O. Duboc, E. Lombi, E.K. Bünemann, K. Ylivainio, S. Symanczik, A. Delgado, N. Abu Zahra, J. Nikama, L. Zuin, C.L. Doolette, H. Eigner, J. Santner, **Fertilization efficiency of thirty marketed and experimental recycled phosphorus fertilizers**, Journal of Cleaner Production, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142957>

MORELLATO, P. C. Ecologia e preservação de uma floresta tropical urbana: Reserva de Santa Genebra. **Memórias do Instituto de Botânica**, p. 136, 1995.

Sherellyn Daphnee Alves Moretti. Cássio Marques Moquedace dos Santos. Adriano Reis Prazeres Mascarenhas. Padovan de Oliveira. Sídna Primo dos Anjos. Evaluation of the outdoor drying process of jatoba wood in the Amazon. Research, Society and Development, v. 9, n. 9, e252997258, 2020(CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7258>.

MOURA, R. R. DE; Castro. C; Bruno; De Souza, A. T. SÍNTESE, **Caracterização e avaliação de biocarvão produzido a partir de resíduos de indústrias frigoríficas como potencial energético e possível substrato para plantas**. In: Colóquio Exactarum. 2020. Acesso em: 05 maio 2025.

NIVA, Cintia Carla. **Ecotoxicologia terrestre: métodos e aplicações dos ensaios com oligoquetas** / Cintia Carla Niva, George Gardner Brown, editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2019. P. 143-149, 199-206. Acesso em: 18 maio 2025.

OLDONI, J. F. W. B.; LIMA, B. G. T. DE. A compreensão dos professores sobre a alfabetização científica: perspectivas e realidade do ensino de ciências. **ACTIO: Docência em Ciências**, v. 2, n. 1, p. 41–59, 28 jul. 2017.

OLEMBERG, Demián; LUPI, Ana María. **Economic analysis of Eucalyptus biomass cultivation for energy in Argentina**. Cleaner and Circular Bioeconomy, v. 8, p. 100085, 2024. Acesso em: 08 abril 2025.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 5, p. 1633–1644, 11 out. 2007.

PEREIRA, A. K. S, Teixeira, K. C., Pereira, D. H., Cavallini, G. S. **A critical review on slaughterhouse wastewater: Treatment methods and reuse possibilities**. Journal of Water Process Engineering, 58, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.104819>. Acesso em: 11 maio 2025.

PEREIRA, B. A. DA S. **Hymenaea courbaril L. Árvores do Bioma Cerrado**, 23 abr. 2017. Disponível em: <<https://www.arvoresdobiomacerrado.com.br/site/2017/04/23/hymenaea-courbaril-l/>>. Acesso em: 24 jan. 2025

PEREIRA, M. A. B., PEREIRA, A. K. S., CARLOS, T. D., DORNELAS, A. S. P.; SARMENTO, R. A., CAVALLINI, G. S., SOARES, A. M.V.M. Ecotoxicological evaluation of effluent from bovine slaughterhouses disinfected by peracetic acid (PAA) using the bioindicator *Girardia tigrina*. Environmental Research 252, 2024, 118756 <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118756>

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: <<https://www.rproject.org/>>.

REIS, Cristiane Aparecida Fioravante et al. **Corymbia citriodora: estado da arte de pesquisas no Brasil**. 2013. Acesso em: 11 abril 2025.

ROSSA, U. B., et al. "**Germinação de sementes e qualidade de mudas de *Plinia trunciflora* (jabuticabeira) em função de diferentes tratamentos pré-germinativos.**" *Floresta* 40.2 (2010): 371-378.

SCHORN, Lauri A.; FORMENTO, Silvio. **Silvicultura II: produção de mudas florestais**. Blumenau: FURB, 2003. Acesso em: 11 maio 2025.

SCOTT, A. J., KNOTT, M. A Cluster Analysis Method for Grouping Means in the Analysis of Variance. *Biometrics*, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.

SEPLAN-TO – Secretaria do Planejamento e Orçamento do Estado do Tocantins. Base Temática do Estado do Tocantins. Geodados vetoriais sobre aspectos físico-bióticos, clima, cobertura e uso do solo. Palmas: SEPLAN-TO, 2021. Disponível em: <https://geoportal.to.gov.br/gvsigonline/>.

SHANLEY, P.; MEDINA, G. **Frutíferas e Plantas Úteis na Vida Amazônica**. [s.l.] CIFOR, 2005.

SILVA, J. M. DA et al. Desenvolvimento de mudas de jatobá (*Hymenaea Courbaril*) em função de diferentes métodos de superação de dormência. **REVISTA DELOS**, v. 17, n. 57, p. e1575–e1575, 29 jul. 2024.

SILVA, M. R. et al. UTILIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS FRUTOS DE JATOBÁ-DO-CERRADO E DE JATOBÁ-DA-MATA NA ELABORAÇÃO DE BISCOITOS FONTES DE FIBRA ALIMENTAR E ISENTOS DE AÇÚCARES. **Food Science and Technology**, v. 21, p. 176–182, ago. 2001.

Silva, P. O. da, Leandro. C, Costa, A.M da, Alves, J.M. Substrates based on swine wastewater in the production of seedling of *Guasuma ulmifolia* (Malvaceae). **Acta Botanica Brasilica**, 2021. SILVA, Mayesse Aparecida da et al. **Sistemas de manejo em plantios florestais de eucalipto e perdas de solo e água na região do Vale do Rio Doce, MG**. *Ciência Florestal*, v. 4, pág. 765-776, 2011. Acesso em: 16 maio 2025.

SILVA, Eryhudson Pereira da. Padrões de germinação e reservas nutricionais de sementes de espécies arbóreas da Caatinga e sua importância para a restauração. 2018. <https://repositorio.ufrn.br/server/api/core/bitstreams/a710cf42-7f9f-42bc-a48f-47c8c1e2aaff/content>. Acesso em 18 de março de 2026.

SMITH, Robert Leo; SMITH, Thomas M. **Ecologia**. 2007.

SOARES, J. N. et al. Avaliação do desenvolvimento de mudas de ja-tobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Mart.) em diferentes fontes de fósforo. **Cerrado Agrocências**, v. 4, p. 35–41, 2013.

SOUSA, A. N. DE; ALMEIDA, D. DE M., BRAGA, R. S. S., BARBOSA J., VITAL C., SANTANA, J. A. DA S.; CANTO, JULIANA L. do. **Produção de mudas de Moringa oleifera em diferentes concentrações de lodo de esgoto tratado com calcário**. Diversitas Journal, [S. l.], v. 5, n. 3, p. 1504–1522, 2020. DOI: 10.17648/diversitas-journal-v5i3-958.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TERRA, S. B.; FERREIRA, A. A. F.; PEIL, R. M. N.; STUMPF, E. R. T.; BECKMANN-CAVALCANTE, M. Z.; CAVALCANTE, ÍTALO H. L. **Alternative substrates for growth and production of potted chrysanthemum**. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 33, n. 3, p. 465-471, 11 abr. 2011. doi: 10.4025/actasciagron.v33i3.6991

TIRLONI, Carolina et al. Crescimento de Corymbia citriodora sob aplicação de boro nas épocas secas e chuvosas no Mato Grosso do Sul, Brasil. *Silva Lusitana*, v. 2, pág. 185-194, 2011.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F. O jatobá (*Hymenaea courbaril* L.): crescimento, potencialidades e usos. n. EMBRAPA, p. 28, 2003.

VALE, R. C. **As respostas ecofisiológicas em função da luz explicam a distribuição de Hymenaea courbaril L. (Fabaceae) em áreas de formações florestais e savânicas?** UBERLÂNDIA: UNIVERSIDADE FEDERAL UBERLÂNDIA, 18 jul. 2024.

VARDANEGA, S., Ferreira, S. W, Viganó. J, Prado, M. J, Morano, S.R, Veggi, C.P. Exploring the economic viability of Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) bark extraction: A comparative study, Separation and Purification Technology, Volume 350, 2024, 127946, ISSN 1383-5866, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.127946>.

VELOSO, H. P.; RANGEL-FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. [s.l.] IBGE, 1991.
VIEIRA, I. V. **Estudos de caracteres silviculturais e de produção de óleo essencial de progênies de Corymbia citriodora** (Hook) K. D. Hill & L. A. S. JOHNSON procedente de Anhembi SP- Ex. Atherton QLD – Austrália. 2004, 100f. Dissertação (Mestrado m Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

VITTI, ANDREA M. SILVEIRA; BRITO, José Otávio. **Óleo essencial de eucalipto. Documentos florestais**, v. 17, n. 3, p. 1-26, 2003.

Vitorino, C. L, Souza Rocha, S. A.F, Bessa, A.L, Lourenço, L.L, Costa, C.A, Silva, G.F. **Symbiotic microorganisms affect the resilience of Hymenaea courbaril L., a neotropical fruit tree, to water restriction**, Plant Stress, Volume 5, 2022, 100092, ISSN 2667-064X, <https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100092>.

WICKHAM, H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York, 2016.

WILLIAM MUSAZURA, TARUVINGA BADZA, SIPHESIHLE NXUMALO, STEPHEN O. Ojwach, Alfred Oduor Odindo, Upcycling human excreta-derived products through sustainable seedling production: Feasibility studies, Agricultural Water Management, Volume 315, 2025, 109538, ISSN 0378-3774, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109538>.

ZENID, Geraldo José et al. **Madeira: uso sustentável na construção civil. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas–SVMA**, 2009. Acesso em:01 maio 2025.