

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO**

**BIOINSUMOS E SUBSTRATOS NO DESENVOLVIMENTO DE
MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS**

Fernanda Gama Cerqueira

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
FEVEREIRO - 2025**

BIOINSUMOS E SUBSTRATOS NO DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS

Fernanda Gama Cerqueira
Bacharela em Engenharia Florestal, UTFPR, 2022

Dissertação apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Agrárias (Área de Concentração: Agricultura Tropical – Linha de Pesquisa: Solos e Ecossistemas).

Orientadora: Profa. Dra. Rafaela Simão Abrahão Nóbrega

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
FEVEREIRO - 2025**

FICHA CATALOGRÁFICA

C416b	<p>Cerqueira, Fernanda Gama. Bioinsumos e substratos no desenvolvimento de mudas de espécies arbóreas / Fernanda Gama Cerqueira. _ Cruz das Almas, BA, 2025. 77f.; il.</p> <p>(Dissertação) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Mestrado em Ciências Agrárias.</p> <p>Orientadora: Prof. Dra. Rafaela Simão Abrahão Nóbrega.</p> <p>1.Florestas – Arborização – Desenvolvimento sustentável. 2.Mudas – Crescimento – Manejo. 3.Fungos – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas. II.Título.</p> <p>CDD: 634.9</p>
-------	---


Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas - UFRB. Responsável pela Elaboração Antonio Marcos Sarmiento das Chagas (Bibliotecário - CRB5 / 1615).

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO**


**BIOINSUMOS E SUBSTRATOS NO DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE
ESPÉCIES ARBÓREAS**

Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação de
Fernanda Gama Cerqueira


Aprovada em 27 de Fevereiro de 2025.

Documento assinado digitalmente
 **RAFAELA SIMAO ABRAHAO NOBREGA**
Data: 15/05/2025 18:35:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Rafaela Simão Abrahão Nóbrega
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB
(Orientadora)

Documento assinado digitalmente
 **ELTON DA SILVA LEITE**
Data: 14/05/2025 21:00:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Elton da Silva Leite
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB
(Examinador Interno)

Documento assinado digitalmente
 **ALINE SIMOES DA ROCHA BISPO**
Data: 14/05/2025 18:03:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Aline Simões da Rocha Bispo
(Examinadora Externa)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e irmão, pelo imenso amor, carinho, confiança e apoio dado em todos os momentos da minha vida.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Chegar até aqui foi uma jornada cheia de aprendizados, desafios e, acima de tudo, muito apoio de pessoas especiais que me ajudaram ao longo do caminho.

À minha família, que sempre foi minha base, meu eterno agradecimento. Não seria possível sem o apoio e amor de vocês, principalmente aos meus pais e irmão, Joseneide Gama, Edvaldo Cerqueira e Marcelo Gama que sempre acreditaram em mim e me incentivaram a seguir em frente, mesmo nos momentos em que a dúvida surgia. Vocês são minha força.

Aos meus amigos Sândila Rocha, Maíse Matos, Michelle Gonçalves, Gustavo Rabello, Victória Rocha, Luana Ramos, Vitória Gama, Maria Cleonice Gama e Andreza Correia que me acompanharam e me motivaram em cada fase, muito obrigada por estarem ao meu lado, seja no laboratório, no campo ou nas conversas, vocês sempre tiveram uma palavra amiga e um sorriso para oferecer, foram meu alicerce emocional em todos os momentos. Muito obrigada!

A Eduardo Malheiros Moncôrvo por ter me cedido os dados gerais e informações necessárias do segundo capítulo para dar continuidade ao projeto.

Agradeço também a minha orientadora, professora Dra. Rafaela Simão Abrahão Nóbrega, por ser um guia durante a pesquisa, pela contribuição no desenvolvimento deste trabalho. Apesar das dificuldades ao longo do processo, sua orientação foi extremamente importante.

Aos membros da banca Dra Aline Simões e professor Dr. Elton da Sila Leite, agradeço pelas contribuições valiosas e pelas observações que fizeram meu trabalho ainda mais completo. A troca de ideias com vocês foi muito enriquecedora.

Aos professores Doutores Paulo Ademar Avelar Ferreira, da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – RS, e Sidney Luiz Stürmer Universidade Regional de Blumenau pela parceria e fornecimento do inoculante. Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo financiamento do projeto “Aplicação de inoculante micorrízico na produção agrícola de milho e espécies florestais” que possibilitou a execução desse trabalho.

Por fim, um agradecimento especial à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por tornar possível a realização deste trabalho com o apoio financeiro e logístico que me foi dado.

A todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa caminhada, o meu muito obrigada!

BIOINSUMOS E SUBSTRATOS NO DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS

RESUMO GERAL

O uso de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) tem se mostrado uma estratégia eficaz para melhorar o crescimento das mudas, principalmente pela sua contribuição na absorção de nutrientes dos substratos de cultivo. Sua aplicação na produção de mudas de espécies florestais pode reduzir o tempo de cultivo em viveiro, tornando o processo mais eficiente. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da inoculação com FMA em mudas de espécies florestais cultivadas em substratos comerciais e organominerais. No primeiro capítulo, foram realizados três experimentos dispostos em delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com esquema fatorial 3 x 2. Os tratamentos foram compostos por três fontes de inoculação (Controle sem inoculação - C; Inóculo Comercial (*Rhizophagus intraradices* – Rootella BR ULTRA®) – F1; Inóculo Mix (*Rhizophagus clarus* - RJN102A, *Rhizophagus intraradices* – FRA103A, *Acaulospora colombiana* – SCT115A-5, *Gigaspora albida* - SCT261A, *Acaulospora morrowiae*- SCT500B – F2)) e dois substratos de cultivo (vermiculita e organomineral na proporção de 50/50 v:v). Aos 60 dias de cultivo, as mudas de todas as espécies foram avaliadas quanto a altura, diâmetro do coleto, relação altura/diâmetro, número de folhas, massa seca (parte aérea, raiz e total), índices de clorofila a, b e total, e intensidade e taxa de colonização micorrízica. As espécies *Bauhinia forficata* e *Caesalpinia pulcherrima* apresentaram aumento significativo na massa seca da raiz e no número de folhas após a inoculação com FMA. No entanto, *Schinus terebinthifolius* não apresentou efeito da inoculação nas variáveis analisadas. No segundo capítulo objetivou-se avaliar os efeitos da inoculação com *Rhizophagus intraradices* no desenvolvimento de mudas de *Theobroma cacao* L. variedade CCN51 cultivadas aos 60 dias com substratos constituídos de composto orgânico e amostras de Latossolo amarelo distrocoeso. A parte aérea das mudas de foram oriundas de um experimento instalado em viveiro (sombrite 65%) da Fazenda Experimental do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (CCAAB) na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Campus em Cruz das Almas, Bahia. As mudas haviam sido cultivadas com dez tratamentos dispostos em arranjo fatorial (5 x 2) sendo o primeiro fator constituído de cinco proporções de solo (Latossolo Amarelo distrocoeso) (LAd) misturados ao composto orgânico na proporção (0:100, 20:40, 40:60, 60:40 e 80:20) (v:v) e o segundo: sem e com inoculação do fungo micorrízico FMA *Rhizophagus intraradices*, a partir do inóculo comercial Rootella® BR ULTRA. Após 60 dias da semeadura, as mudas foram segmentadas em parte aérea e raízes, para as avaliações da intensidade e da taxa de colonização, assim como as análises nutricionais. Não houve efeito da inoculação de FMA (*R. intradices*) na variedade *T. cacao* CCN51. Os teores foliares de P e de Na foram influenciados pelas composições dos substratos de cultivo. O substrato formulado com 38:62 - composto orgânico:solo (v:v) foi o que proporcionou melhor equilíbrio nutricional das mudas de cacaueteiro.

Palavra-chave: *Bauhinia forficata* Link, *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Sw., Fungos micorrízicos arbusculares, *Schinus terebinthifolius*, Substratos organominerais.

BIOINPUTS AND SUBSTRATES IN THE DEVELOPMENT OF TREE SPECIES SEEDLINGS

GENERAL ABSTRACT

The use of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) has proven to be an effective strategy for improving seedling growth, mainly due to its contribution to nutrient absorption from cultivation substrates. Its application in the production of forest species seedlings can reduce the nursery cultivation time, making the process more efficient. The aim of this study was to evaluate the effect of AMF inoculation on forest species seedlings grown in commercial and organomineral substrates. In the first chapter, three experiments were conducted in a completely randomized design (CRD) with a 3 × 2 factorial scheme. The treatments consisted of three inoculation sources (Control without inoculation – C; Commercial Inoculum (*Rhizophagus intraradices* – Rootella BR ULTRA®) – F1; Mixed Inoculum (*Rhizophagus clarus* - RJN102A, *Rhizophagus intraradices* – FRA103A, *Acaulospora colombiana* – SCT115A-5, *Gigaspora albida* - SCT261A, *Acaulospora morrowiae* - SCT500B – F2)) and two cultivation substrates (vermiculite and organomineral in a 50/50 v:v ratio). After 60 days of cultivation, seedlings of all species were evaluated for height, stem diameter, height/diameter ratio, leaf number, dry mass (shoot, root, and total), chlorophyll *a*, *b*, and total indices, as well as the intensity and rate of mycorrhizal colonization. The species *Bauhinia forficata* and *Caesalpinia pulcherrima* showed a significant increase in root dry mass and leaf number after AMF inoculation. However, *Schinus terebinthifolius* did not show any effect of inoculation on the analyzed variables. In the second chapter, the objective was to evaluate the effects of inoculation with *Rhizophagus intraradices* on the development of *Theobroma cacao* L. variety CCN51 seedlings grown for 60 days in substrates composed of organic compost and samples of Ferralsol. The aerial part of the seedlings came from an experiment conducted in a nursery (65% shade) at the Experimental Farm of the Center for Agricultural, Environmental, and Biological Sciences (CCAAB) at the Federal University of Recôncavo da Bahia (UFRB), Campus in Cruz das Almas, Bahia. The seedlings were grown under ten treatments arranged in a 5 × 2 factorial design, with the first factor consisting of five proportions of soil (Ferraisol) mixed with organic compost at ratios of (0:100, 20:40, 40:60, 60:40, and 80:20) (v:v), and the second factor being inoculation or non-inoculation with the mycorrhizal fungus AMF *Rhizophagus intraradices*, using the commercial inoculum Rootella® BR ULTRA. After 60 days of sowing, the seedlings were divided into shoots and roots for evaluation of colonization intensity and rate, as well as nutritional analyses. No effect of AMF (*R. intraradices*) inoculation was observed in the *T. cacao* CCN51 variety. The foliar contents of P and Na were influenced by the substrate compositions. The substrate formulated with a 38:62 ratio of organic compost to soil (v:v) provided the best nutritional balance for cacao seedlings.

Key words: Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), *Bauhinia forficata* Link, *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Sw., Organomineral substrates, *Schinus terebinthifolius*.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

- Tabela 1-** Caracterização química do solo utilizado na produção de mudas.....39
- Tabela 2-** Caracterização química do composto orgânico utilizado na composição dos substratos organominerais.....39
- Tabela 3-** Análises de variância para as variáveis de intensidade e taxa de colonização micorrízica para mudas de *Bauhinia forficata*.....41
- Tabela 4-** Intensidade por fungos micorrízicos arbusculares em mudas de *Bauhinia forficata* cultivadas em vermiculita (V) e substrato organomineral (SC).....41
- Tabela 5-** Resumo do quadro de análise de variância das variáveis de crescimento de mudas de *Bauhinia forficata*, aos 60 dias, cultivadas em proporções de composto orgânico e vermiculita com inoculação de fungos micorrízicos.....43
- Tabela 6-** Análises de variância para as variáveis de intensidade e taxa de colonização micorrízica para mudas de *Caesalpinia pulcherrima*.....46
- Tabela 7-** Resumo do quadro de análise de variância das variáveis de crescimento de mudas de *Caesalpinia pulcherrima*, aos 60 dias, cultivadas em proporções de composto orgânico e vermiculita com inoculação de fungos micorrízicos.....48
- Tabela 8-** Análises de variância para as variáveis de intensidade e taxa de colonização micorrízica para mudas de *Schinus terebinthifolius*.....52
- Tabela 9-** Intensidade por fungos micorrízicos arbusculares em mudas de *Schinus terebinthifolius* cultivadas em vermiculita (V) e substrato organomineral (SC).....52
- Tabela 10-** Resumo do quadro de análise de variância das variáveis de crescimento de mudas de *Schinus terebinthifolius*, aos 60 dias, cultivadas em proporções de composto orgânico e vermiculita com inoculação de fungos micorrízicos.....53

CAPÍTULO 2

Tabela 1 - Análise de variância para as variáveis taxa de colonização (%) e intensidade de micorrização (%) de mudas de *Theobroma cacao* L. cultivadas em substratos organominerais constituídos de proporções de composto orgânico e amostra de Latossolo Amarelo distrocoeso (SUBS) em função da inoculação (FMA).....73

Tabela 2 - Resumo do quadro de análise de variância da nutrição foliar das mudas de *Theobroma cacao* L. em função das proporções de composto organomineral com (CF) e sem inoculação micorrízica (SF).....74

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1 – Variação da temperatura e umidade do ar no viveiro de cultivo das mudas.....38

Figura 2- Colonização por fungos micorrízicos arbusculares em mudas de *Bauhinia forficata*.....42

Figura 3- Número de folhas (NF) de mudas de *Bauhinia forficata* cultivadas em vermiculita (V) e em composto organomineral (SC), em função da inoculação de fungos micorrízicos, aos 60 dias de cultivo em viveiro florestal.....44

Figura 4 – Índices de clorofila a, b e total de mudas de *Bauhinia forficata* produzidas em vermiculita (V) e em composto organomineral (SC) em função da inoculação de fungos micorrízicos (F1 e F2) aos 60 dias de cultivo em viveiro florestal.....45

Figura 5- Efeitos individuais da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e dos substratos de cultivo na massa seca da raiz (A); massa seca da parte aérea (B) e na massa seca total (C) das mudas de *Bauhinia forficata*.....46

Figura 6- Efeito individual da intensidade de colonização dos fungos micorrízicos arbusculares (A) e para tipos de substratos (B) de mudas de *Caesalpinia pulcherrima* produzidas em vermiculita (V) e em composto organomineral (SC).....47

Figura 7- Diâmetro (D) do coleto (A); Altura sobre diâmetro do coleto (HD) (B) e Massa seca raiz (MSR) (C) de mudas de *Caesalpinia pulcherrima* produzidas em vermiculita (V) e em composto organomineral (SC) em função da inoculação de fungos micorrízicos (F1 e F2), aos 60 dias de cultivo.....49

Figura 8- Efeitos individuais da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e dos substratos de cultivo nas características biométricas das mudas de *Caesalpinia pulcherrima*. 8A – Altura (H); 8B – relação altura/diâmetro (H/D).....50

Figura 9- Efeitos individuais da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e dos substratos de cultivo nas características biométricas das mudas de *Caesalpinia pulcherrima* nos índices de clorofila a (A); clorofila b (B), clorofila total (C).....51

Figura 10- Altura de mudas de *Schinus terebinthifolius* cultivadas em vermiculita (V) e em composto organomineral (SC), em função da inoculação de fungos micorrízicos, aos 60 dias de cultivo em viveiro florestal.....54

Figura 11- Efeitos individuais da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares

(FMA) e dos substratos de cultivo nas características biométricas das mudas de *Caesalpinia pulcherrima* nos índices de massa seca da parte aérea (A); massa seca da raiz (B); relação massa seca da parte aérea/massa seca da raiz (C); massa seca total (D).....55

CAPÍTULO 2

Figura 1- Porcentagem de colonização micorrízica em raízes de mudas de cacauero.....72

Figura 2- Teor de fósforo (P) em mudas de cacau (*Theobroma cacao L.*) em função das proporções de composto organomineral com (CF) e sem inoculação micorrízica (SF).....74

Figura 3- Teor de sódio (Na) em mudas de cacau em função das proporções de composto organomineral com (CF) e sem inoculação micorrízica (SF).....75

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 A importância das espécies florestais para a recuperação, restauração e reabilitação de áreas degradadas.....	16
2.2 <i>Bauhinia forficata</i> Link.....	19
2.3 <i>Caesalpinia pulcherrima</i>	21
2.4 <i>Schinus terebinthifolius</i>	22
2.5 <i>Theobroma cacao</i> L.....	24
2.6 A importância dos fungos micorrízicos arbusculares para o desenvolvimento de espécies florestais.....	26
3. REFERÊNCIAS	28
CAPÍTULO 1 - Inoculação de fungos micorrízicos no desenvolvimento de mudas florestais em diferentes substratos	36
1. INTRODUÇÃO	38
2. MATERIAL E MÉTODOS	39
3. RESULTADOS	433
3.1. <i>Bauhinia forficata</i>	43
3.2 <i>Caesalpinia pulcherrima</i>	48
3.3 <i>Schinus terebinthifolius</i>	53
4. DISCUSSÃO	58
5. CONCLUSÃO	63
6. REFERÊNCIAS	64
CAPÍTULO 2 - Bioinsumo e substratos na nutrição de mudas de <i>Theobroma cacao</i> L	68
1. INTRODUÇÃO	70
2. MATERIAL E MÉTODOS	71
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
4. CONCLUSÃO	76
5. REFERÊNCIAS	77

1. INTRODUÇÃO GERAL

O uso de bioinsumos tem se destacado como alternativa promissora aos insumos químicos convencionais (ZUGAIB, 2023), pois, além de serem mais acessíveis, promovem benefícios ecológicos e melhoram o crescimento vegetal, contribuindo para a conservação do solo (LIMA et al., 2025). Os bioinsumos de bactérias e fungos e produtos metabólicos e extratos vegetais podem estimular o crescimento das plantas, aumentar a produtividade e oferecer proteção contra pragas e doenças (ASSIS; SILVA, 2023).

Dentre os bioinsumos, os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) destacam-se por estabelecerem associações simbióticas benéficas com as plantas. Esses fungos ampliam a área de absorção de nutrientes, promovendo maior resistência das plantas a estresses ambientais, devido à melhoria na nutrição (SANTOS; FALCÃO; SILVA, 2021b). Além disso, contribuem para a ciclagem de nutrientes, aumentam a atividade biológica e promovem a agregação de partículas do solo, favorecendo sua estruturação (CORDEIRO et al., 2023). Tais benefícios elevam a taxa de sobrevivência e o crescimento inicial das plantas, melhorando sua adaptação a condições adversas (CRUZ et al., 2019; SUGAI; COLLIER; SAGGIN, 2011). Paralelamente, o uso de biopesticidas à base de microrganismos antagonistas complementa esses efeitos, proporcionando controle sustentável de pragas e doenças sem os impactos negativos dos pesticidas químicos (RODRIGUES et al., 2023). Assim, a integração de bioinsumos às práticas de manejo sustentável tem sido uma estratégia relevante para aumentar a produtividade e garantir a sustentabilidade ambiental (LOPES et al., 2021).

Com a crescente preocupação ambiental, empresas, pesquisadores e produtores rurais buscam soluções para reduzir a dependência de insumos químicos e adotar práticas mais sustentáveis (PORTAL et al., 2023). A incorporação de bioinsumos em sistemas produtivos, associada a práticas como rotação de culturas e conservação do solo, maximiza seus benefícios, garantindo um crescimento saudável e sustentável das espécies arbóreas.

Espécies como *Bauhinia forficata* (pata-de-vaca), *Schinus terebinthifolius* (aroeira-pimenteira), *Caesalpinia pulcherrima* (flamboyant-mirim) e *Theobroma cacao* L. (cacaueiro) têm sido utilizadas em projetos de recuperação ambiental devido a suas características funcionais (SCHNEIDER et al., 2023). A pata-de-vaca

é uma espécie pioneira de rápido crescimento, essencial para enriquecer áreas degradadas, pois além de sua capacidade de fixação biológica de nitrogênio, melhora a fertilidade do solo e promove a sucessão ecológica (VERTEIRO et al., 2022). A aroeira-pimenteira é conhecida por sua rusticidade e capacidade de crescer em solos de baixa fertilidade, sendo uma espécie fundamental na recuperação de áreas com baixa disponibilidade hídrica, além de apresentar potencial medicinal e econômico (BERTOLINI, 2020). O flamboyant-mirim, por sua vez, desempenha um papel importante na atração de polinizadores, como abelhas e borboletas, promovendo a biodiversidade e auxiliando no restabelecimento do equilíbrio ecológico (COSTA et al., 2022).

Já o cacauieiro (*Theobroma cacao* L.) é uma espécie de grande importância ecológica e econômica, sendo tradicionalmente cultivado em sistemas agroflorestais. Sua capacidade de integrar diferentes espécies vegetais promove a restauração da cobertura vegetal, melhora a qualidade do solo e contribui para a retenção de umidade e a ciclagem de nutrientes (DOURADO et al., 2024). Além disso, a inoculação de fungos micorrízicos e o manejo adequado do fósforo no substrato de cultivo do cacauieiro podem otimizar seu desenvolvimento inicial, garantindo mudas mais vigorosas e aptas à implantação no campo (FLORIDA; CRISÓSTOMO; SALINAS, 2020).

Objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da inoculação de fungos micorrízicos com substratos organominerais no desenvolvimento inicial de mudas de espécies arbóreas; assim como avaliar o efeito da inoculação de fungos micorrízicos sobre os teores de fósforo (P), nitrogênio (N), potássio (K) e sódio (Na) das mudas de cacauieiro cultivadas em substratos organominerais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A importância das espécies florestais para a recuperação, restauração e reabilitação de áreas degradadas

Os ecossistemas naturais, como florestas, manguezais, áreas úmidas e recifes de coral, são essenciais para a manutenção da vida na Terra. Eles fornecem uma variedade de serviços ecossistêmicos, como purificação do ar e da água, regulação do clima, polinização de cultivos agrícolas, controle de erosão do solo e abrigo para inúmeras espécies de fauna e flora. No entanto, esses ecossistemas têm sido ameaçados pela expansão urbana, exploração de recursos naturais, agricultura intensiva e mudanças climáticas (ASSIS, 2020).

A recuperação ambiental refere-se à restauração de um ecossistema ou população silvestre que está atualmente degradado, devolvendo-o a uma condição distinta de sua forma original, com o objetivo de viabilizar um novo uso, desde que a estabilidade ambiental seja mantida (CARVALHO et al., 2022).

Segundo o Ibama, a recuperação de áreas degradadas e a elaboração de Projetos de Recuperação de Área Degradada (PRAD) são regulamentadas pela Instrução Normativa nº 14, de 1º de julho de 2024, que substituiu a Instrução Normativa nº 4, de 13 de abril de 2011. Essa normativa estabelece diretrizes para a apresentação, execução e monitoramento dos PRADs em todos os biomas brasileiros, com o objetivo de restabelecer a vegetação nativa e as funções ecológicas das áreas impactadas. O PRAD deve seguir os Termos de Referência do Ibama, que orientam sobre os critérios técnicos e metodologias adequadas para uma recuperação ambiental efetiva (IBAMA, 2024).

A restauração ambiental envolve a aplicação de técnicas e estratégias para reverter os danos causados aos ecossistemas. Existem várias abordagens para a restauração, cada uma adaptada às características específicas do local em questão. Algumas dessas técnicas incluem o reflorestamento, a revegetação, a construção de corredores ecológicos, a descontaminação de solos e a reintrodução de espécies nativas, fazendo com que o ambiente retorne a sua condição original obrigatoriamente (SANTOS; SILVA; LIMA, 2021a).

Já reabilitação é um conjunto de práticas e estratégias destinadas a restabelecer as principais características dos ecossistemas que foram degradados

ou destruídos devido a atividades humanas ou eventos naturais. Esse processo visa melhorar a qualidade ambiental, a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos dessas áreas, promovendo ações como o replantio de espécies nativas, a recuperação do solo, a gestão de recursos hídricos, fazendo com que o ambiente se torne mais estável possível (SALOMÃO; BARBOSA; CORDEIRO, 2020).

Além disso, essas práticas contribuem para o sequestro de carbono, ajudando a combater as mudanças climáticas e a mitigar os impactos das emissões de gases de efeito estufa. Essas áreas também podem se tornar locais de ecoturismo, gerando empregos e renda para as comunidades locais (BALIEIRO et al., 2018).

Em um cenário mundial cada vez mais consciente da importância da sustentabilidade e da preservação dos recursos naturais, a restauração ambiental emerge como uma solução efetiva para reverter os danos causados ao meio ambiente.

Muitas áreas degradadas foram originalmente ecossistemas ricos em biodiversidade. Ao restaurar essas áreas, com a reintrodução de plantas e animais nativos, possibilita restabelecer a diversidade de espécies e seus habitats. A recuperação de áreas degradadas frequentemente envolve a reconstrução do solo, reduzindo a erosão e melhorando a qualidade da água. Isso tem benefícios diretos para a agricultura, para qualidade da água potável para saúde dos ecossistemas aquáticos (GONÇALVES, 2022).

Ecossistemas saudáveis, como florestas, desempenham um papel fundamental na captura e armazenamento de carbono atmosférico. A recuperação de áreas degradadas contribui para a mitigação das mudanças climáticas, através do sequestro de carbono, preservação da biodiversidade, regulação do ciclo da água, ou seja, os ecossistemas saudáveis fornecem uma ampla variedade de serviços, como polinização de culturas, purificação do ar, regulação do clima, fornecimento de alimentos e medicamentos, entre outros (OLIVEIRA, 2024).

As plantas que sobrevivem em áreas degradadas frequentemente exibem alta tolerância a estresses abióticos, como a escassez de água, salinidade e poluição do solo. Estudos demonstram que muitas espécies desenvolvem mecanismos adaptativos, como acúmulo de solutos compatíveis, para lidar com essas condições adversas (SANTANA et al., 2023).

Plantas que são comuns em áreas degradadas muitas vezes apresentam

estratégias de reprodução, como produção de sementes com maior longevidade e dispersão especializada, para garantir a persistência em ambientes desafiadores. Assim, a seleção natural atua nas populações de plantas em áreas degradadas, o que é favorecida pelas características genéticas. Neste caso, haverá vantagens na sobrevivência das espécies nessas condições (FRAGOSO et al., 2017).

Para recuperar áreas degradadas, estratégias de manejo, como a reintrodução de espécies nativas e a melhoria das condições do solo, são fundamentais. A restauração bem-sucedida depende da compreensão das necessidades específicas das plantas em cada local (SCHNEIDER et al., 2023).

As espécies florestais são um componente essencial dos ecossistemas terrestres, desempenhando papel fundamental na manutenção da biodiversidade, na regulação do clima e manutenção dos seres vivos (SOUZA; ENGEL, 2018). As espécies florestais variam amplamente em termos de tamanho, forma, ciclo de vida e características específicas, o que permite uma grande diversidade de ecossistemas florestais em diferentes partes do mundo.

As florestas fornecem recursos naturais valiosos, como madeira, frutos, medicamentos e produtos florestais não madeireiros. Essas plantas também desempenham um papel vital na regulação do clima, absorvendo grandes quantidades de dióxido de carbono da atmosfera e liberando oxigênio por meio da fotossíntese.

As espécies florestais também como funções a conservação do solo e na manutenção dos recursos hídricos. Suas raízes ajudam a estabilizar o solo, impedindo a erosão e a degradação, além de contribuir para a infiltração de água no solo, recarregando aquíferos e mantendo os ciclos hidrológicos em boas condições (VERDUM; VIEIRA; CANEPPELE, 2016).

Além disso, as florestas oferecem um refúgio para uma ampla variedade de fauna, incluindo aves, mamíferos, insetos e outros animais, tornando-se habitats ricos em diversidade biológica (VISNADI, 2019). Muitas espécies florestais também têm importância cultural e histórica tais como lendas, rituais e práticas tradicionais de diferentes comunidades (BATISTA; MILIOLI; CITADINI, 2020).

Devido ao aumento populacional, muitas espécies em todo o mundo enfrentam várias ameaças, como o desmatamento para a expansão agrícola e a exploração madeireira insustentável. Essas ameaças levaram muitas espécies florestais à beira da extinção, tornando a conservação e o manejo sustentável das

florestas uma prioridade para a humanidade (BRITO, 2012).

A propagação das espécies florestais é essencial para a sustentabilidade dos ecossistemas e para a nossa própria sobrevivência. A adoção de práticas de manejo florestal responsáveis, o estabelecimento de áreas protegidas e desenvolvimento de tecnologias de cultivo acessíveis para municípios, comunidades rurais e empresas são essenciais para auxiliar na a recuperação, restauração e reabilitação de áreas degradadas. Várias espécies nativas e exóticas são essenciais para esses propósitos.

2.2 *Bauhinia forficata* Link

A espécie *Bauhinia forficata* Link., também conhecida como pata-de-vaca ou unha-de-vaca, é uma espécie da família Fabaceae. Nativa do Brasil, amplamente distribuída em várias regiões do país, sendo encontrada principalmente no Sul, em áreas de cerrado, e em algumas regiões de mata atlântica, mas também pode ser encontrada na Argentina e no Paraguai (SELLAOUI et al., 2023). A espécie é caracterizada como pioneira tardia, ocorrendo a pleno sol, sendo muito utilizada para a recuperação de áreas degradadas (SILVA; JESUS; RONDO, 2021).

Essa espécie demonstra um sistema predominante de reprodução cruzada, exibindo um padrão de abertura de flores à noite, o que a torna dependente de morcegos como seus polinizadores. As flores são solitárias, hermafroditas, com cinco pétalas brancas que podem atingir até 10 centímetros de comprimento. Seu período de floração ocorre entre os meses de outubro e maio (CARVALHO, 2003).

O fruto, que se assemelha a uma vagem, é achatado e pode atingir até 25 centímetros de comprimento e 2,5 centímetros de largura. Quando maduro, apresenta uma coloração marrom escura e é composto por valvas lignificadas que se abrem em duas partes, contendo entre cinco e dez sementes (NOGUEIRA; SABINO, 2025).

Resultados de pesquisa indicaram que a inoculação com bactérias diazotróficas possibilitou melhor desenvolvimento das mudas de *Bauhinia* quando comparadas às mudas cultivadas somente em solo com ou sem adubação química (BRAULIO et al., 2019). As mudas também apresentaram melhor desenvolvimento quando cultivadas com substrato formulado na proporção de 16:84 (composto orgânico:solo + inoculação). Assim, o estudo visou o favorecimento do crescimento

de mudas de *Bauhinia variegata* L., resultando em aumento na altura, na relação altura/diâmetro do caule, na massa seca das raízes e da parte aérea, além de elevar a massa seca total e os níveis de carbono (BRAULIO et al., 2019).

A espécie é apreciada tanto por sua beleza ornamental quanto por suas propriedades medicinais (MICELI et al., 2015). A *B. forficata* tem sido utilizada na medicina tradicional brasileira devido às suas propriedades medicinais. Diversos estudos têm investigado seus potenciais benefícios para a saúde, principalmente no tratamento de diabetes mellitus (MICELI et al., 2015; TONELLI, 2022).

Também possui grande relevância na recuperação florestal devido às suas características benéficas. À sua exuberância e florescimento vistoso, a pata-de-vaca é frequentemente utilizada em projetos paisagísticos e recuperação de ecossistemas degradados (BERTOLINI, 2020) e como planta ornamental em jardins e áreas públicas (MICELI et al., 2015).

Sua contribuição para a fertilidade do solo desempenha um papel essencial na reconstrução da biodiversidade, favorecendo o restabelecimento de ecossistemas saudáveis e equilibrados. Esse processo é crucial para a sustentabilidade ambiental, pois fortalece as interações biológicas e promove a recuperação de áreas degradadas (FERREIRA, et al., 2023b).

O cultivo da *Bauhinia* ocorre em locais de climas tropicais e subtropicais, pois apresenta preferência por locais ensolarados, como observado em um estudo conduzido por Anjos et al. (2022), que avaliou o crescimento inicial da espécie em diferentes condições de luminosidade. Nesse experimento, plantas de *Bauhinia* foram submetidas a tratamentos com níveis variados de exposição solar, constatando-se que o pleno sol proporcionou maior desenvolvimento vegetativo em comparação a ambientes sombreados. Além disso, a espécie demonstrou resistência a condições adversas, incluindo períodos de seca, conforme identificado em análises realizadas por Nascimento et al. (2020), que monitoraram a resposta fisiológica de *Bauhinia* durante um ciclo de déficit hídrico controlado.

Sua adaptabilidade a diferentes ambientes a torna uma escolha promissora para a revegetação de áreas degradadas, contribuindo para a estabilização do solo e prevenção da erosão. Em longo prazo, a cobertura vegetal densa proporcionada pela pata-de-vaca cria um microambiente favorável para a regeneração natural de outras espécies vegetais, promovendo a diversidade biológica e a resiliência do ecossistema restaurado. Esse aspecto foi evidenciado em um estudo de campo

realizado por Moro et al. (2022), que investigou a interação da cobertura vegetal da *Bauhinia* com outras espécies em áreas em recuperação.

2.3 *Caesalpinia pulcherrima*

Caesalpinia pulcherrima (L.) Sw., conhecida popularmente como flamboyant-mirim, flamboyanzinho e baio-de-estudante, é uma espécie pertencente à família Fabaceae, oriunda da América Central (FLORA E FUNGOS DO BRASIL, 2023). É um arbusto ou pequena árvore que pode atingir até 4-5 metros de altura. Suas folhas são bipinadas e verde-escuras, com folhetos pequenos. A característica mais marcante da planta é sua inflorescência, que consiste em flores vermelhas, laranjas ou amarelas em forma de chama, frequentemente chamadas de "pássaros do paraíso." Os frutos são vagens que contêm sementes duras (DEEPIKA; SELVARAJ; ROOPAN, 2020).

A propagação dessa espécie é principalmente realizada por meio de suas sementes, sendo uma espécie amplamente cultivada devido à beleza apresentada em suas inflorescências (OLIVEIRA et al., 2010). A germinação das sementes desempenha um papel crucial na produção de mudas, e o desenvolvimento subsequente das mudas é influenciado por vários fatores, incluindo a época de semeadura e o substrato utilizado (MOREIRA et al., 2018).

Caesalpinia pulcherrima é amplamente cultivada em jardins, parques e áreas urbanas. Suas flores atraem polinizadores, como borboletas e abelhas, além de seu valor ornamental, a planta tem usos tradicionais, como em medicina popular, onde é usada para tratar várias condições de saúde, como por exemplo, diabetes, problemas cardiovasculares, gastrointestinais, preparações tradicionais para tratar infecções de pele e feridas (OGBEIDE et al., 2020).

Ogbeide e colaboradores (2020) relataram a diversidade de estudos fitoquímicos que identificaram a presença de compostos bioativos na *Caesalpinia pulcherrima*, incluindo alcaloides, flavonoides e saponinas. Algumas das propriedades medicinais atribuídas à planta incluem ação antiparasitária, anti-inflamatória, antidiabética e cicatrizante.

A *Caesalpinia pulcherrima* pode ser empregada como uma estratégia na recuperação florestal, devido às suas características específicas e aos benefícios ambientais que oferece (MOREIRA et al., 2022). Suas flores vistosas não apenas

embelezam a paisagem, mas também desempenham um papel fundamental na atração de polinizadores, como abelhas e borboletas (SANTOS et al., 2023).

A espécie *Caesalpinia pulcherrima* apresenta potencial para ser utilizada como barreira contra o vento e na formação de cercas-vivas (BORGES; DIAS, 2020). Além disso, contribui para a conservação do solo, favorece o aumento da biodiversidade e auxilia na criação de condições microclimáticas mais adequadas ao desenvolvimento de outras espécies vegetais (VASCONCELOS et al., 2023). Seu uso em ações de recuperação ambiental pode agilizar a restauração de áreas degradadas, promovendo a regeneração dos ecossistemas e incentivando práticas sustentáveis.

A adaptação da *Caesalpinia pulcherrima* a diversos tipos de solo a torna uma escolha versátil em projetos de recuperação, especialmente em áreas degradadas com condições variadas. Sua capacidade de prosperar em diferentes ambientes é um trunfo para a restauração de ecossistemas comprometidos (SILVA et al., 2020). Segundo Moreira et al. (2022) as mudas dessa espécie quando cultivada em substrato composto apenas por solo caracterizado por sua acidez e baixa concentração de nutrientes alcançaram maior produção de massa seca.

Em síntese, a *C. pulcherrima* emerge como uma aliada estratégica na recuperação florestal, desempenhando um papel vital na restauração da biodiversidade, na melhoria da qualidade do solo e na promoção da sustentabilidade ambiental a longo prazo.

2.4 *Schinus terebinthifolius*

Schinus terebinthifolius, comumente conhecida como aroeira-vermelha, é uma espécie arbórea de pequeno a médio porte pertencente à família Anacardiaceae. Ela é nativa da América do Sul, com uma distribuição que abrange principalmente regiões do Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai (PEREIRA et al., 2021). Devido à sua beleza ornamental e propriedades medicinais, a aroeira-vermelha também foi introduzida em outras partes do mundo, como Flórida (EUA) e algumas ilhas do Caribe (GILBERT; FAVORETO, 2011; OSLAND; FEHER, 2020).

A aroeira-vermelha pode atingir de 8 a 12 metros de altura, possui folhas compostas, alternadas e perenes, com folíolos que variam de 5 a 13 unidades, que têm uma aparência brilhante e coloração verde-escura na face superior e mais clara

na inferior. A casca da aroeira-vermelha é de cor marrom-acinzentada, lisa e pode descamar em pequenos fragmentos (SILVA et al., 2023)..

Os frutos da aroeira-vermelha são bagas vermelhas brilhantes, pequenas e globulares, que se agrupam em cachos pendentes. Essas bagas são muito atrativas para diversas espécies de aves e outros animais que as consomem e contribuem para a dispersão das sementes (GILBERT; FAVORETO, 2011; SILVA et al., 2023).

Na medicina popular, diversos extratos da aroeira-vermelha são usados para tratar problemas respiratórios, inflamações e dores musculares (NASCIMENTO et al., 2020). Por se tratar de uma espécie importante para a ecologia e cultura das regiões onde ocorre, a proteção e o manejo sustentável da aroeira-vermelha são essenciais para garantir sua preservação e o equilíbrio dos ecossistemas onde ela se encontra.

A *S. terebithifolius* possui características que a tornam importantes para a recuperação de áreas degradadas, pois é conhecida por sua capacidade de adaptação a diferentes tipos de solo e condições climáticas, tornando-a uma escolha versátil para a revegetação de áreas degradadas em diversos ecossistemas (SILVA et al., 2022).

Além disso, suas raízes profundas ajudam na estabilização do solo, prevenindo a erosão e contribuindo para a formação de uma cobertura vegetal densa. A aroeira-vermelha também apresenta resistência a condições adversas. Devido ao seu valor econômico, adaptabilidade a diversas condições climáticas e resistência à seca, a aroeira é reconhecida como uma das espécies arbóreas nativas mais promissoras para ser utilizada no enriquecimento ou recomposição de reservas legais, bem como na recuperação de áreas degradadas (COSTA, 2020).

Por isso, a produção de mudas nativas desempenha um papel crucial como estratégia para a recuperação, regeneração ou reflorestamento florestal. É fundamental que essas mudas sejam de alta qualidade, resultando em maiores taxas de crescimento e sobrevivência no campo após o plantio. Isso não apenas reduz os custos relacionados aos tratamentos culturais e ao replantio (RODRIGUES et al., 2020).

A produção de mudas da aroeira começa com a coleta de sementes maduras de árvores saudáveis. A coleta pode ser realizada manualmente a partir de árvores matrizes ou diretamente do solo, dependendo das condições locais. Após a coleta, as sementes são submetidas a desinfestação superficial, que geralmente inclui o

uso de hipoclorito de sódio a 0,5% por 10 minutos, para eliminar patógenos que possam afetar o desenvolvimento das mudas (FLORES; CHAGAS; ARAÚJO, 2017).

A semeadura das sementes ocorre em recipientes adequados, como saquinhos de polietileno ou tubetes. O substrato utilizado para o cultivo pode ser uma mistura de solo, areia e matéria orgânica, com a proporção recomendada de 2:1:1, respectivamente, para garantir boa drenagem e retenção de água, condições essenciais para a germinação e o crescimento inicial das mudas (LELES et al., 2023).

Durante o desenvolvimento das mudas, são realizados tratamentos culturais, como irrigação adequada e controle de pragas e doenças. Também é feito o desbaste, removendo as mudas mais fracas e mantendo as mais vigorosas. Segundo Leles et al. (2023), o cultivo em casa de vegetação oferece um ambiente controlado e favorável, com maior taxa de germinação e crescimento das mudas quando comparado ao cultivo em condições externas, como o campo aberto.

2.5 *Theobroma cacao* L.

O cacauieiro (*Theobroma cacao* L.), pertencente à família Malvaceae, é uma espécie arbórea tropical que pode atingir de 4 a 6 metros de altura, com folhas simples medindo entre 15 e 25 cm de comprimento. Suas flores hermafroditas possuem androceu e gineceu, sendo a polinização predominantemente cruzada (PINTO et al., 2022). Nativo das florestas tropicais da América do Sul, o cacauieiro foi domesticado há mais de 3.000 anos (LIMA; ROCHA, 2020).

A planta produz frutos grandes e ovalados, chamados vagens, com casca espessa que varia em cores do verde ao vermelho e marrom. No interior das vagens encontram-se os grãos de cacau, imersos em uma polpa adocicada (MATA et al., 2022). A polinização ocorre naturalmente por moscas do gênero *Forcipomyia*, formigas como *Azteca chartifex* ou pelo vento (NAKAYAMA, 2010; SENAR, 2018).

O cacauieiro é encontrado principalmente na Amazônia, em áreas de terra firme e no sub-bosque das florestas tropicais. Apresenta duas florações anuais, sendo a mais intensa entre dezembro e abril, com maturação dos frutos de abril a setembro (NIEVES-ORDUÑA; KRUTOVSKY; GAILING, 2023).

Atualmente, a classificação do cacauieiro, antes baseada em critérios

morfológicos, utiliza critérios genéticos, resultando na identificação de dez grupos principais: Marañon, Curaray, Criollo, Iquitos, Nanay, Contamana, Amelonado, Purus, Nacional e Guiana (JEAN-MARIE et al., 2022). Apesar disso, o cultivo enfrenta desafios relacionados à baixa viabilidade germinativa de suas sementes, que se deterioram após 15 dias de secagem. Assim, a enxertia tem sido amplamente utilizada para o melhoramento genético (SENAR, 2018; PEREIRA et al., 2019).

Para o plantio, mudas de qualidade devem ser uniformes, vigorosas, saudáveis, apresentar entre 5 e 8 pares de folhas e diâmetro de caule entre 0,7 e 1,0 cm. A idade ideal é de 4 a 6 meses. Durante o cultivo, recomenda-se 25-50% de luminosidade para mudas e até 70% para plantas adultas (SODRÉ et al., 2017). O cacauero se desenvolve melhor em regiões com pluviosidade média anual de 1.500 mm, umidade relativa acima de 70%, temperaturas médias superiores a 21 °C e ventos moderados. A produção inicia-se naturalmente aos 3 anos ou, no caso de plantas clonadas, aos 2 anos (SENAR, 2018).

O cultivo tradicional do cacau, conhecido como “cabruca”, consistia em abrir pequenas clareiras dentro da floresta, utilizando a sombra natural para o plantio (SODRÉ et al., 2017). Hoje, a produção também ocorre em sistemas agroflorestais (SAFs) e monocultivos a pleno sol (BISPO et al., 2025).

O melhoramento genético busca principalmente o aumento da produtividade e a resistência a doenças fúngicas e oomicéticas, como a monilíase e a vassoura-de-bruxa, que impactam significativamente a produção (DIAZ et al., 2023). Para isso, bancos de germoplasma são utilizados para cruzamentos entre variedades, gerando plantas mais adaptadas e produtivas (SCHMILDT; OLIVEIRA; DOUSSEAU, 2023).

O manejo do cacauero envolve práticas como poda para manter a sanidade e produtividade da planta, além de controle rigoroso de pragas e doenças (FERREIRA et al., 2023a). Os principais desafios incluem a monilíase, que causa podridão das vagens, e a vassoura-de-bruxa, que compromete a qualidade dos grãos. O manejo integrado, com práticas culturais, uso de fungicidas e variedades resistentes, é essencial para enfrentar essas ameaças (SANTOS; LOBÃO; ARAUJO, 2020).

Além disso, o mercado de cacau é influenciado pela demanda global por chocolate, práticas de cultivo sustentável e mudanças climáticas, que podem afetar

a produtividade. A certificação sustentável e o comércio justo têm ganhado importância, promovendo a sustentabilidade ambiental e o bem-estar dos produtores (VALLADARES et al., 2022).

2.6 A importância dos fungos micorrízicos arbusculares para o desenvolvimento de espécies florestais

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são microrganismos biotróficos que estabelecem interações simbióticas com a maioria das espécies vegetais tropicais. Como ampliam a área de extensão do sistema radicular das plantas, essa simbiose influencia diretamente a absorção de nutrientes pelas plantas (SANTOS et al., 2020b). Os FMA podem melhorar a absorção de nutrientes do solo, principalmente aqueles que se encontram em baixa disponibilidade. Dentre os nutrientes menos disponíveis em solos mais intemperizados, o fósforo, pode ser encontrado em formas pouco solúveis no solo (COSTA; MELLONI, 2019).

O fungo se nutre a partir dos carboidratos produzidos pelas plantas através da fotossíntese. Os fungos micorrízicos arbusculares formam estruturas especializadas de reserva como as vesículas e as denominadas arbuscúlos nas raízes das plantas, onde ocorre a troca de nutrientes entre o fungo e a planta hospedeira (CARDOZO et al., 2023).

Os FMA também participam da solubilização de nutrientes no solo pois liberam enzimas que solubilizam nutrientes precipitados (CARDOSO; BONILLA, 2019). Atuam também favorecendo às plantas em condições de estresses abióticos (RAMOS et al., 2011, OLIVEIRA et al., 2023), tais como a seca e a salinidade, bem como, no aumento na resistência das mesmas ao ataque de patógenos no sistema radicular (MENDONÇA et al., 2021).

Em ecossistemas degradados, as micorrizas desempenham um papel fundamental no crescimento vegetal e na revegetação. Essa contribuição é especialmente notável em condições desfavoráveis, como baixo teor de nutrientes e água no solo, alto requerimento externo de nutrientes por espécies pioneiras e presença de agentes tóxicos. A simbiose micorrízica suaviza o estresse abiótico e reduz danos causados por patógenos e parasitas, melhorando a resiliência das plantas (ZUQUETTE et al., 2013; BOLDT et al., 2021).

Além das contribuições gerais para o crescimento vegetal, estudos específicos têm demonstrado os benefícios da inoculação com FMAs em espécies arbóreas tropicais. Em *Schinus terebinthifolius* e *Bauhinia forficata* Link, a associação micorrízica tem se mostrado eficaz na promoção do crescimento inicial e no aumento da absorção de fósforo em solos com baixa disponibilidade deste nutriente (SOUZA et al., 2009). Já em *Caesalpinia pulcherrima* (L.), observou-se melhora na eficiência de uso de nutrientes e no acúmulo de biomassa, mesmo sob estresse hídrico (ZUFFO, AGUILERA, 2020). No caso do *Theobroma cacao* L., espécie de importância econômica e ecológica, a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares tem contribuído significativamente para o desenvolvimento radicular e a maior absorção de fósforo e outros nutrientes essenciais, favorecendo a formação de mudas mais vigorosas e adaptadas (SANTOS et al., 2020a). Tais evidências reforçam o papel dos FMAs como aliados importantes na produção de mudas florestais e na recuperação de áreas degradadas.

3. REFERÊNCIAS

ANJOS, R. C. L.; CORTES, B. A. G.; ALVES, E.M.; FARIAS, L. H. M.; CAZAL, C. M.; PEREIRA, P. S.; CHRISTOFOLI, M. Composição química e atividade antifúngica do óleo essencial das flores de *Bauhinia forficata* (Link) e suas propriedades na germinação de sementes de *Cucurbita maxima* (Duchesne). **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, p. e14211225591-e14211225591, 2022.

ASSIS, D. M. S. O efeito das mudanças climáticas e das atividades econômicas na perda de biodiversidade e serviços ecossistêmicos dos manguezais. **Reflexões em Biologia da Conservação**, Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, v. 2, p. 155-165, 2020.

ASSIS, L. V.; SILVA, E. V. C. da. The importance of automation in the Onfarm Bioinputs multiplication process. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 12, n. 11, p. e85121143469, 2023.

BATISTA, K. M.; MILIOLI, G.; CITADINI-ZANETTE, V. Saberes tradicionais de povos indígenas como referência de uso e conservação da biodiversidade: considerações teóricas sobre o povo Mbya Guarani. **Ethnoscientia - Brazilian Journal of Ethnobiology and Ethnoecology**, v. 5, n. 1, 2020.

BALIEIRO, F. de C.; COSTA, C. A.; OLIVEIRA, R. B.; OLIVEIRA, R.; DONAGEMMA, G. K.; ANDRADE, A. G.; CAPECHE, C. L. Carbon stocks in mined areas reclaimed by leguminous trees and sludge. **Revista Árvore**, v. 41, n. 6, 2018.

BERTOLINI, I. C.; WATZLAWICK, L. F.; GALESKI SENS, T. M. Z.; VANTROBA, A. P.; SCHRAN, J. A.; POTT, C. A. Influência das variáveis climáticas no incremento diamétrico de *Bauhinia forficata* Link, *Mimosa scabrella* Benth. e *Schinus terebinthifolius* Raddi. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, p. e185942859, 2020.

BISPO, L. G. S.; PIRES, M. M.; SILVA, F. D. S.; GOMES, A. da S. A produção de cacau na Bahia: da escala global à local. **Revista Políticas Públicas & Cidades**, v. 14, n. 1, p. 16, 2025.

BOLDT, J. L.; PEIXOTO, E. L. T.; OLIVEIRA, F. O.; MELLO, A. H. Inoculação de espécies arbóreas com fungos micorrízicos adubadas com fertilizante orgânico e escória de siderurgia em área de reserva legal. **Revista Agroecossistemas**, v. 13, n. 1, p. 31, 2021.

BORGES, H. P.; DIAS, D. P. Efeito da temperatura e escarificação sobre a germinação de sementes de *Caesalpinia pulcherrima*. **Revista Agrotecnologia - Agrotec**, v. 11, n. 2, p. 89–97, 2020.

BRITO, F. **Corredores ecológicos: uma estratégia integradora na gestão de ecossistemas**. 2. ed. rev. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2012. p. 264.

BRAULIO, C. S.; NÓBREGA, R. S. A.; MOREIRA, F. M.; ANJOS, A. S. J. C.; SILVA, J. J.; ROCABADO, J.M.A. Growth response of *Bauhinia variegata* to inoculation and organic fertilization. **Revista Arvore**, v. 43, n. 1, 1, 2019.

CARDOSO, E. J. B. N.; BONILLA, G. A. E. **Inoculantes agrícolas**. In: [S. l.: s. n.], 2019. Cap. 9, p. 305-332.

CARVALHO, J. N.; RODRIGUES, M. Z. B.; RODRIGUES, R. G.; FONTANA, A. P.; PIFANO, D. S. Native caatinga species for the recovery of degraded areas in the Brazilian semiarid region. **Revista Árvore**, v. 46, p. e4610, 2022.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo: Embrapa-CNPQ, v. 1, p. 1039, 2003.

CORDEIRO, L. R. B. A.; BEZERRA, R.C.A.; SANTOS, A. R. M.; HENRIQUE, J.C.G.S.; FONSÊCA, G. R.F.; LEITE, M.L.V. Indicadores de qualidade do solo em cultivos de plantas forrageiras: uma revisão. **Revista Geama**, v. 9, n. 3, p. 75–85, 2023.

COSTA, A. K. M.; SENNA, J. P.; SILVA, C. L. V.; PALERMO, L. C. M.; MANSUR, C. R. E. Extraction and evaluation of flamboyant mirim gum as a potential viscosifying agent for enhanced oil recovery fluids. **BrJAC Brazilian Journal of Analytical Chemistry**, v. 9, n. 37, p. 94-114, 2022.

COSTA, C. C. Evaluation of the morphological parameters of aroeira seedlings (*Schinus terebinthifolius* Raddi) in biodegradable tubes. **Revista Ambientale**, v. 12, n. 3, p. 1–14, 2020.

COSTA, S. M. L.; MELLONI, R. Relação de fungos micorrízicos arbusculares e rizobactérias no crescimento de mudas de oliveira (*Olea europaea*). **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 169–180, 2019.

CRUZ, R. S.; SILVA, A. B.; SOUZA, F. C.; OLIVEIRA, G. T.; FERREIRA, J. P.; ALMEIDA, R. A.; LIMA, C. S.; SANTOS, M. C.; NASCIMENTO, A. L.; ARAÚJO, L. V. Crescimento pós-plantio de cultivares de *Coffea arabica* inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 4, n. 1, p. e8059–e8059, 2019.

DIAZ, A. M.; MARSSARO, A. L.; MAGALHÃES, D. M. A.; LUZ, E. D. M. N.; CORRÊA, R. X. Há variabilidade para resistência à murcha murcha de *Ceratocystis* em variedades locais de cacau na Bahia. **Summa Phytopathologica**, v. 49, p. e245935, 2023.

DOURADO, S.; ALMEIDA, J. M.; PEREIRA, L. F.; GONÇALVES, R. T.; RIBEIRO, C. F. Integração de sistemas agroflorestais, agroecologia e educação ambiental para sustentabilidade na Bahia: Revisão Sistemática. **Revista Semiárido De Visu**, v. 12, n. 2, p. 589–605, 2024.

FRAGOSO, R. D. O.; CARPANEZZI, A. A.; KOEHLER, H.S.; RIBAS, K.C.Z. Barreiras ao estabelecimento da regeneração natural em áreas de Pastagens Abandonadas. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1451, 11 dez. 2017.

FERREIRA, A. L.; SILVA, V. P.; NASCIMENTO, A. D. C.; ARRUDA, J. C.; CATELAN, L. L. M.; SANDER, N. L.; SILVA, A. J. Registros de espécies arbóreas em herbário virtual com ênfase no município de Cáceres-MT, Brasil. **Peer Review**, v. 5, n. 16, p. 15-40, 2023a.

FERREIRA, L. D. S.; BOTELHO, E. V. D.; SILVA, T. S.; SANTOS, C. B. Desenvolvimento e análise de solos degradados em áreas de preservação permanente. **Revista Brasileira de Ecologia**, v. 7, n. 3, p. 112-125, 2023b.

FLORES, P. S.; CHAGAS, E. A.; ARAÚJO, M. C. R.. **Efeito do hipoclorito de sódio sobre a germinação de sementes de camu-camuzeiro. - Portal Embrapa.** 2017.

FLORIDA, R. N.; LEVANO, C. J. D.; JACOBO, S. S. Effect of feather compost on soil chemical indicators in CCN-51 cocoa plantation (*Theobroma cacao* L.). **Producción+ Limpia**, v. 15, n. 1, p. 25-34, 2020.

GILBERT, B.; FAVORETO, R. *Schinus terebinthifolius* Raddi. Instituto de Tecnologia em Fármacos - Far - Manguinhos/FIOCRUZ. **Revista Fitos**, v. 6, n. 1, p. 43–56, 2011.

GONÇALVES, J. O.; FRUTO, C. M.; BARRANCO, M. J.; OLIVEIRA, M. L. S.; RAMOS, C. G. Recovery of degraded areas through technosols and mineral nanoparticles: a review. **Sustainability (Basel)**, v. 14, n. 2, p. 993–993, 2022.

Ibama. **Instrução Normativa nº 14, de 1º de julho de 2024.**

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sidra: sistema IBGE de recuperação automática. **Rio de Janeiro**, 2010

JEAN, M. E.; JIANG, W.; BEREAU, D.; ROBINSON, J.-C. *Theobroma cacao* and *Theobroma grandiflorum*: botany, composition and pharmacological activities of pods and seeds. **Foods**, v. 11, n. 24, p. 3966, 2022.

LELES, P. S. D. S.; LISBOA, A. C.; OLIVEIRA NETO, S. N. D.; GRUGIKI, M. A.; FERREIRA, M. A. Qualidade de mudas de quatro espécies florestais produzidas em diferentes tubetes. **Floresta e Ambiente**, v. 13, p. 69–78, 2023.

LIMA, J. T. G. P.; ROCHA, R. B. A importância histórica, socioeconômica e ambiental da cacauicultura para o estado de Rondônia. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 2, p. 314-332, 2020.

LIMA, G. L. C.; LUZ, R. da S.; VIEIRA, W. C. dos S.; SOUSA, M. P. de; QUADROS, H. dos S. Bioinsumos: uma percepção a partir dos agricultores familiares. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 17, n. 3, p. e7769–e7769, 2025.

LOPES, M. J. DOS S.; ALVES, R. C.; SOUSA, D. R.; OLIVEIRA, T. F. Biotecnologia microbiana: inoculação, mecanismos de ação e benefícios às plantas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e356101220585–e356101220585, 2021.

MATA, R. R.; SANTOS, G. A. N.; PINHEIRO, E. C. N. M.; SANTOS, S. I. Severidade da vassoura-de-bruxa em cupuaçuzeiro em condições de campo. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 11, p. 74102–74115, 2022.

MENDONÇA, A. M. C.; DIAS, G. S.; NASCIMENTO, A. V. S.; CAMPOS, J. A.; SANTANA, M. C.; SILVA, J. C. D.; SANTOS, P. A. A. MEYER, E.; AGUDELO, M. B.; VENTURA, B. S.; ANJOS, K. G.; SCARSANELLA, J. J.; VIEIRA, A. S.; MENDES, L.; STOFFEL, S. C. G.; MUNARINI, A.; SOARES, C. R. F. S.; LOVATO, P. E. Mycorrhizal root colonization in maize fields is more affected by soil management and climate conditions than by plant genotype. **Archives of Microbiology**, v. 203, n. 7, p. 4609–4618, 2021.

MICELI, N.; BUONGIORNOA, L. P.; CELIA, M. G.; CACCIOLA, F.; DUGOAC, P.; DONATO, P.; MONDELLOACD, L.; BONACCORSIE, I.; TAVIANOA, M. F. Role of the flavonoid-rich fraction in the antioxidant and cytotoxic activities of *Bauhinia forficata* Link. (Fabaceae) leaves extract. **Natural Product Research**, v. 30, n. 11, p. 1229–1239, 2015.

MOREIRA, F. M.; BRAULIO, C. S.; ANJOS, A. S. J. C.; SILVA, J. J.; ROCABADO, J. M. A.; NÓBREGA, R. S. A. Seed emergence and development of *Caesalpinia pulcherrima* L. SW and *Cassia grandis* LF in organic substrates. **Revista Árvore**, v. 46, 2022.

MOREIRA, F. M.; NÓBREGA, R. S. A.; SANTOS, R. P.; SILVA, C. C.; NÓBREGA, J. C. A. Cultivation of *Caesalpinia pulcherrima* L. SW. in regional substrates. **Revista Árvore**, v. 42, 2018.

MORO, R. S.; RODRIGUES, E. R.; SOUZA, M. K. F.; MORO, R. F. Urban environmental filters on the movement of birds and bats in a medium-sized city in Southern Brazil. **Terr Plural**, v. 16, p. 1–23, 2022.

NAKAYAMA, K. A frutificação de *Theobroma cacao* L. depende dos sítios criatórios das moscas polinizadoras *Forcipomyia blantoni* SORIA & BYSTRAK e *Forcipomyia spatulifera* SAUNDERS (Ceratopogonidae, Diptera). **Agrotropica**, v. 22, n. 3, p. 145–156, 2010.

NASCIMENTO, J. W. S.; OLIVEIRA, N. P.; OLIVEIRA, G. C. B.; JÚNIOR, N. D. S. M.; OMENA, S. E.; PEREIRA, L. S.; NASCIMENTO, H. H. C. Ecofisiologia de mudas de *Bauhinia forficata* Link submetidas à supressão de rega e posterior reirrigação / ecophysiology of *Bauhinia forficata* Link seedlings submitted to irrigation suppression and subsequent re-irrigation. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 72360–72377, 2020.

NIEVES-ORDUÑA, H.E.; KRUTOVSKY, K. V.; GAILING, O. Geographic distribution, conservation, and genomic resources of cacao *Theobroma cacao* L. **Crop Science**, v. 63, n. 4, p. 1750–1778, 2023.

NOGUEIRA, A. C. O.; SABINO, C. V. S. Revisão do gênero *Bauhinia* abordando aspectos científicos das espécies *Bauhinia forficata* Link e *Bauhinia variegata* L. de interesse para a indústria farmacêutica. **Revista Fitos**, p. 77–84, 2025.

OGBEIDE, O. K.; OKHOMINA, O. K.; OMOREGIE, I. G.; UNUIGBE, C. A.; IGHODARO, A.; AKHIGBE, I. U.; IHEANACHO, M.; AKUBUIRO, P. C.; SALOMÃO, A.; IRABOR, E. E. I.; OWOLABI, B. J.; FALODUN, A. Poder antioxidante redutor antimalarial, férrico e ntimalarial, ferric reducing antioxidant power and elemental analysis of *Caesalpinia pulcherrima* leaf extract. **Revista Jornal da Sociedade Química da Nigéria**, [S. l.], v. 4, 2020.

OLIVEIRA, J. R. G. D.; MELO, N. F. D.; YANO, M. A. M. Inoculação com fungos micorrízicos promove desenvolvimento de *Pseudobombax simplicifolium* S. Robyns durante a fase de aclimatização. **Hoehnea**, v. 50, p. e442022, 2023.

OLIVEIRA, L. M.; ALCÂNTARA, R. L. B.; BRUNO, G. E. P.; LIMA, A. R. J. Tratamentos pré-germinativos em sementes de *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Sw. – Leguminosae. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 1, p. 71–76, 2010.

OLIVEIRA, S. A. Geossintéticos na recuperação de áreas degradadas e contaminadas. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 9, n. 1, p. 30, 2024.

OSLAND, M. J.; FEHER, L. C. Winter climate change and the poleward range expansion of a tropical invasive tree (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Global Change Biology**, v. 25, n. 10, p. 2813–2830, 2019

PEREIRA, D. P.; SILVA, A. I. B.; NUNES, L. E.; SÁ-FILHO, G. F.; FREITAS, R. L. H. Potencial biotecnológico da aroeira vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi): uma revisão narrativa. **Revista Saúde e Meio Ambiente**, v. 13, n. 01, p. 25–37, 2021.

PEREIRA, K. K. G.; DAVID, A. M. S. S.; FGUEIREDO, J. C.; CARVALHO, A. R. J.; MAIA, V. M.; NOBRE, D. A. Períodos de secagem na qualidade fisiológica de sementes de cacau. **Revista Cultura Agrônômica**, v. 28, n. 3, p. 343–353, 2019.

PINTO, J. M.; LIMA, I. O.; CAO, J.; FAVERO, R. G. Cacaucultura no Brasil: análise bibliográfica de como a luz altera a eficiência fotossintética em genótipos do cacau. **Agriculturae**, v. 4, n. 1, p. 22–31, 2022.

PORTAL, M. J. da S.; BORGES, M. A.; SPANEVELLO, R. M.; LAGO, A.; CHRISTOFARI, L. F.; ANDREATTA, T. Configurações e tendências da produção científica em mudanças climáticas e inovações agrícolas sustentáveis. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 14, n. 10, p. 16562–16582, 2023.

RAMOS, A. C.; FAÇANHA, A. R.; PALMA, L. M.; OKOROKOV, L. A.; CRUZ, Z. M.

A.; SILVA, A. G.; SIQUEIRA, A. F.; BERTOLAZI, A. A.; CANTON, G. C.; MELO, J.; SANTOS, W. O.; SCHIMITBERGER, V. M. N.; FAÇANHA, A. L. An outlook on ion signaling and ionome of mycorrhizal symbiosis. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 23, n. 1, p. 79–89, 2011.

RODRIGUES, A. B. M.; GIULIATTI, N. M.; PEREIRA JÚNIOR, A. Aplicação de metodologias de recuperação de áreas degradadas nos biomas brasileiros. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 1, p. 333–369, 2020.

RODRIGUES, S.; DIOGO, B. S.; ANTUNES, S. C.; LOURENÇO, I. Biopesticidas: desafios para a investigação. **Revista de Ciência Elementar**, v. 11, n. 2, p. 019, 2023.

SALOMÃO, P. E. A.; BARBOSA, L. C.; CORDEIRO, I. J. M. Recuperação de áreas degradadas por pastagem: uma breve revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, p. e57922057, 2020.

SANTANA, J. A. S.; DIAS, E. S.; CANTO, J. L.; FONSECA, F. M. L.; ZACCHARIAS, A. F. S. Seleção de espécies para revegetação de área degradada por exploração de areia. **Revista Biodiversidade**, v. 22, n. 2, p. 13, 2023.

SANTOS, J. A. R.; LOBÃO, M. S.; ARAUJO, R. M. G. Uso da dendrocronologia para avaliar a produção anual de frutos da espécie *Theobroma cacao* L. no sudoeste da Amazônia. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 51001–51011, 2020b.

SANTOS, M.; SOUSA, C. S.; GROSS, E.; OLIVEIRA, F. L. J. X.; LIMA, T. M.; GOTO, B. T. Fungos micorrízicos arbusculares na cultura do cacauzeiro I: ocorrência e diversidade em sistemas cacau-cabruca. **Agrotrópica**, v. 32, n. 3, p. 189-196, 2020a.

SANTOS, D. M. D. DOS; SILVA, M. F. DA; LIMA, P. A. F. Caracterização do Igarapé Chico Reis, Rorainópolis - RR e restauração de matas ciliares na Amazônia: um referencial teórico. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, p. e341101522816, 2021b.

SANTOS, E. L. DOS; FALCÃO, E. L.; SILVA, F. S. B. DA. Tecnologia micorrízica como bioinsumo para produção de compostos fenólicos de importância à indústria de fitomedicamentos. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e54810212856, 2021b.

SANTOS, J. G. A.; PINTO, A. D. V. F.; LIMA, M. J. H.; PIMENTEL, D. J. O.; ALMEIDA, C. A. C.; LINS, C. F.; SÁ, A. C. N. Composição florística e síndromes de polinização e de dispersão da Praça Padre Pedro Tenório Raposo, Maceió – AL. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 21, n. 6, p. 3855–3874, 2023.

SCHMILDT, E. R.; OLIVEIRA, V. S.; DOUSSEAU, A. S. **Modelagem da área foliar individual**. 1. ed. São José dos Pinhais, PR: **Brazilian Journals Editora**, v. 1, 120 p., 2023.

SCHNEIDER, C. R.; ANGELO, D. H.; ANGELO, A. C.; BEHLINH, A.; RIOS, R. C.;

BLUM, C. T. Espécies, práticas silviculturais e monitoramento: estratégias para restauração ecológica de áreas protegidas da Mata Atlântica. **Ciência Florestal**, v. 33, p. e74057, 2023.

SELLAOUI, L.; BOUZIDI, M.; FRANCO, D. S.; ALSHAMMARI, A. S.; GANDOUZI, M.; GEORGIN, J.; BADAWI, M. Exploitation of *Bauhinia forficata* residual fruit powder for the adsorption of cationic dyes. **Chemical Engineering Journal**, v. 456, n. 7, p. 141033, 2022.

Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR). *Cacau: produção, manejo e colheita* / Serviço Nacional de Aprendizagem Rural – Brasília: SENAR. **Coleção SENAR**, 215, 2018.

SILVA, J. H. C. S.; SANTOS, R. M.; MEDEIROS, M. D. G.; SILVA, W. R.; AZEREDO, G. A. Emergência de plântulas e vigor de sementes de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan (Fabaceae) em diferentes substratos e profundidades de semeadura. **Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 7, p. 7054, 2020.

SILVA, L. A.; JESUS, F. P.; RONDON, M. R. N. Semeadura direta de pata-de-vaca (*Bauhinia unguolata* L.) com sementes pré-germinadas para restauração florestal. **Nativa**, v. 9, n. 4, p. 438–441, 2021.

SILVA, O. M. D. C.; NIERI, E. M.; SANTANA, L. S.; ALMEIDA, R. S.; ARAÚJO, G. D. C. R.; BOTELHO, S. A.; MELO, L. A. D. Adubação fosfatada no crescimento inicial de sete espécies florestais nativas destinadas à recuperação de uma área degradada. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 1, p. 371–394, 2022.

SILVA, L. C. L.; PIRANI, J. R.; PELL, S. K.; MITCHELL, J. D. **Anacardiaceae in Flora e Funga do Brasil**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Editora do Jardim Botânico, p. 320, 2023.

SOUZA, R. C. de; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, R. G.; SILVA, E. M. R. da; MENEZES, L. F. T. de. Produção de mudas micorrizadas de *Schinus terebinthifolius* Raddi em diferentes substratos. **Floresta**, v. 39, n. 1, p. 197–206, 2009.

SOUZA, D. C.; ENGEL, V. L. Direct seeding reduces costs, but is not promising for restoring tropical seasonal forests. **Ecological Engineering**, v.116, p. 35-44, 2018.

SODRÉ, G. A. Cultivo do cacauzeiro no estado da Bahia. **MAPA/Ceplac/Cepec**, 1 ed., Ilhéus, Bahia, p. 126, 2017.

SUGAI, M. A. A.; COLLIER, L. S.; SAGGIN, O. J. J. Inoculação micorrízica no crescimento de mudas de angico em solo de cerrado. **Revista Bragantia**, v. 70, n. 2, p. 416-423, 2011.

DEEPIKA, S.; SELVARAJ, C. I.; ROOPAN, S. M. Screening bioactivities of *Caesalpinia pulcherrima* L. swartz and cytotoxicity of extract synthesized silver nanoparticles on HCT116 cell line. **Materials Science and Engineering: C**, v. 106, p. 110279, 2020.

TONELLI, C. A.; OLIVEIRA, S. Q.; SILVA VIEIRA, A. A.; BIAVATTI, M. W.; RITTER, C.; REGINATTO, F. H.; DAL-PIZZOL, F. Clinical efficacy of capsules containing standardized extract of *Bauhinia forficata* Link (pata-de-vaca) as adjuvant treatment in type 2 diabetes patients: A randomized, double blind clinical trial. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 282, p. 114616, 2022.

VALLADARES, D. K. K.; VANDENBERGHE, L. P. S.; TORRES, L. A. Z.; ZANDONÁ, A. F.; WOICIECHOWSKI, A. L.; SOCCOL, C. R. Citric acid assisted hydrothermal pretreatment for the extraction of pectin and xylooligosaccharides production from cocoa pod husks. **Bioresource Technology**, v. 343, p. 126074, 2022.

VASCONCELOS, M. T. D. O.; FREIRE, J. L. O.; SANTOS, E. A. V.; ALVES, J. A. Diagnóstico de arborização urbana no município de Pedra Lavrada, estado da Paraíba, Brasil. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, v. 60, n. 3, p. 874, 2023.

VERDUM, R.; VIEIRA, C. L.; CANEPPELE, J. C. G. **Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo**. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2016. 50 p.

VERTEIRO, L.; FRISSE, E. S. R.; OLIVEIRA, L. V. S.; SILVA, R. R.; OLIVEIRA, B. A. H. R.; ROCHA, K. J.; QUADROS, T. K. M. Viabilidade de sementes de *Bauhinia forficata* Link. **9º Congresso Florestal Brasileiro**, v. 1, n. 1, p. 539-542, 2022.

VISNADI, S. R. Bosque como refúgio para as briófitas: o caso do parque Ibirapuera, em São Paulo, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais**, v. 14, n. 3, p. 331–362, 2019.

ZUFFO, A. M.; AGUILERA, J. G. **Agronomia: Avanços e Perspectivas**. Nova Xavantina, MT: Pantanal Editora, 2020. 312 p.

ZUGAIB, A. C. C. A bioeconomia circular como estratégia para agregação de valor à cacauicultura brasileira. **Agrotrópica**, v. 35, n. 1, p. 21–52, 2023.

ZUQUETTE, L. V.; RODRIGUES, V. G. S.; PEJON, O. J. Recuperação de áreas degradadas. **Revista Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**, v. 13, p. 589-619, 2013.

CAPÍTULO 1

INOCULAÇÃO DE FUNGOS MICORRÍZICOS NO DESENVOLVIMENTO DE MUDAS FLORESTAIS EM DIFERENTES SUBSTRATOS

RESUMO: Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) contribuem para a melhoria do crescimento das mudas em função principalmente da absorção de nutrientes presentes nos substratos de cultivo. Sua utilização na produção de mudas de espécies florestais pode reduzir o tempo de cultivo das mudas em viveiro. Objetivou-se avaliar o efeito da inoculação dos fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento de mudas das espécies de *Bauhinia forficata*, *Caesalpinia pulcherrima* e *Schinus terebinthifolius* em substratos comercial e regional. Três experimentos foram dispostos em delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 3 x 2 (bioinsumos x substratos). Os bioinsumos foram constituídos de três fontes de inoculação (Controle sem inoculação - C; Inóculo Comercial (*Rhizophagus intraradices* – *Rootella* BR ULTRA®) – F1; Inóculo Mix (*Rhizophagus clarus* - RJN102A, *Rhizophagus intraradices* – FRA103A, *Acaulospora colombiana* – SCT115A-5, *Gigaspora albida* - SCT261A, *Acaulospora morrowiae*- SCT500B – F2). Os substratos de cultivo foram vermiculita e o organomineral formulado na proporção de 50/50 v:v (solo:composto orgânico). Aos 60 dias de cultivo, as mudas de todas as espécies foram avaliadas quanto as variáveis: altura, diâmetro do coleto, relação altura/diâmetro, número de folhas, massa seca (da parte aérea, raiz e total), índices de clorofila a, b e total e taxa de colonização micorrízica. Os substratos exerceram influência no desenvolvimento das espécies *Schinus terebinthifolius*, *Bauhinia forficata* e *Caesalpinia pulcherrima*, sendo o substrato constituído de solo e composto organomineral na proporção 50:50 o mais efetivo. Para a espécie *S. terebinthifolius*, a inoculação não foi eficaz, pois apresentou baixo grau de dependência as espécies fúngicas estudadas, o que sugere a necessidade de investigações adicionais quanto à compatibilidade simbiótica dessa espécie com diferentes isolados de FMAs. A inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) mostrou-se promissora para *B. forficata* e *C. pulcherrima* quando cultivadas em vermiculita.

Palavras chave: *Bauhinia forficata*, Bioinsumo, *Caesalpinia pulcherrima*, *Rhizophagus intraradices*, *Schinus terebinthifolius*.

INOCULATION OF MYCORRHIZAL FUNGI IN THE DEVELOPMENT OF FOREST SEEDLINGS IN DIFFERENT SUBSTRATES

Abstract: Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) contribute to the improvement of seedling growth, mainly through nutrient absorption from cultivation substrates. Their use in the production of forest species seedlings can reduce nursery cultivation time. This study aimed to evaluate the effect of AMF inoculation on the development of *Bauhinia forficata*, *Caesalpinia pulcherrima*, and *Schinus terebinthifolius* seedlings in commercial and regional substrates. Three experiments were conducted in a completely randomized design (CRD) with a 3 × 2 factorial scheme (bioinputs × substrates). The bioinputs consisted of three inoculation sources: control without inoculation (C); commercial inoculum (*Rhizophagus intraradices* – Rootella BR ULTRA®) – F1; and mixed inoculum (*Rhizophagus clarus* - RJN102A, *Rhizophagus intraradices* – FRA103A, *Acaulospora colombiana* – SCT115A-5, *Gigaspora albida* - SCT261A, *Acaulospora morrowiae* - SCT500B – F2). The cultivation substrates used were vermiculite and an organomineral substrate formulated in a 50:50 v:v ratio (soil:organic compost). After 60 days of cultivation, seedlings of all species were evaluated for variables such as height, stem diameter, height/diameter ratio, number of leaves, dry mass (shoot, root, and total), chlorophyll indices (*a*, *b*, and total), and mycorrhizal colonization rate. The substrates influenced the development of *Schinus terebinthifolius*, *Bauhinia forficata*, and *Caesalpinia pulcherrima* seedlings, with the soil-organomineral mixture in a 50:50 proportion proving to be the most effective. For *S. terebinthifolius*, inoculation was not effective, as it exhibited a low degree of dependence on the studied fungal species, suggesting the need for further investigation into its symbiotic compatibility with different AMF isolates. AMF inoculation showed promise for *B. forficata* and *C. pulcherrima* when cultivated in vermiculite.

Keywords: *Bauhinia forficata*, Bioinput, *Caesalpinia pulcherrima*, *Rhizophagus intraradices*, *Schinus terebinthifolius*.

1. INTRODUÇÃO

Os ecossistemas naturais são essenciais para a manutenção da vida na Terra (PEREIRA et al., 2023). A recuperação dessas áreas ocorre pela introdução de mudas de espécies arbóreas e resultados têm demonstrado benefícios significativos ao introduzir mudas de plantas em conjunto com microrganismos benéficos do solo (MEDEIROS; MOREIRA; OLIVEIRA, 2021). Os microrganismos podem melhorar a sobrevivência das plantas, aumentar biomassa e acelerar o estabelecimento das comunidades vegetais (ABREU et al., 2022; FERNANDES et al., 2023).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) estabelecem uma simbiose mutualística com as raízes das plantas (VIEIRA et al., 2021) e podem estimular o crescimento e produtividade das plantas, e eficiência fotossintética (WINAGRASKI et al., 2019). Com isso, aumentam a probabilidade de sobrevivência e crescimento inicial, em função da ampliação na capacidade de absorção de nutrientes e água pelas raízes (CRUZ et al., 2019; STÜRMER; KEMMELMEIER, 2021). O FMA confere maior resistência e adaptabilidade às plantas, tornando-as mais aptas a enfrentar condições adversas, como a falta de nutrientes, estresses hídricos e alta salinidade do solo (DALANHOL et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2019; LARA et al., 2020).

Em condições de produção de mudas é imprescindível ter o conhecimento prévio da capacidade do hospedeiro em estabelecer a simbiose, da responsividade micorrízica e da planta, e as características químicas e físicas do substrato, para estabelecer essa simbiose (SOARES et al., 2017; TROVATO et al., 2024).

A interação entre espécies florestais e fungos micorrízicos arbusculares (FMA) tem despertado interesse crescente por sua importância ecológica nas comunidades vegetais. Entretanto, a eficácia da inoculação com FMA pode variar amplamente, dependendo da espécie hospedeira, das condições edáficas, ambientais e das práticas de manejo adotadas (SAGGIN et al., 2022)

As espécies pioneiras apresentaram maior dependência micorrízica e colonização em comparação com as espécies secundárias tardias (GOMIDE et al., 2009). A maioria das espécies responde positivamente à inoculação de FMA, seja durante a formação das mudas ou antes do transplante para o campo (SAGGIN et al., 2022). Esse efeito benéfico é mais evidente em espécies pioneiras, que

costumam apresentar maior incremento no crescimento da parte aérea e radicular, além de aumento no comprimento das raízes, densidade dos tecidos radiculares e área superficial radicular (BRAGHIROLI et al., 2012).

Este trabalho foi conduzido sob a hipótese de que as espécies *Bauhinia forficata*, *Caesalpinia pulcherrima* e *Schinus terebinthifolius* são responsivas à inoculação de *Rhizophagus intraradices* – *Rootella* BR ULTRA® e do inóculo mix (*Rhizophagus clarus* - RJN102A, *Rhizophagus intraradices* – FRA103A, *Acaulospora colombiana* – SCT115A-5, *Gigaspora albida* - SCT261A, *Acaulospora morrowiae*- SCT500B – F2) em fase de muda, independente do substrato de cultivo. Com isso, objetivou-se avaliar o efeito da inoculação dos fungos micorrízicos arbusculares das espécies cultivadas em substratos comercial e organomineral.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As espécies *Bauhinia forficata*, *Caesalpinia pulcherrima* e *Schinus terebinthifolius* foram avaliadas em viveiro composto por lumiere, em tubetes disponstos em bancadas no Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (CCAAB), no município de Cruz das Almas (12°40'19"S e 39°06'22"W), situado na região Recôncavo da Bahia. O clima, segundo Köppen, é classificado como tropical úmido (Af), com precipitação média anual de 1.600 mm e distribuições irregulares ao longo do ano (PINHO et al., 1992).

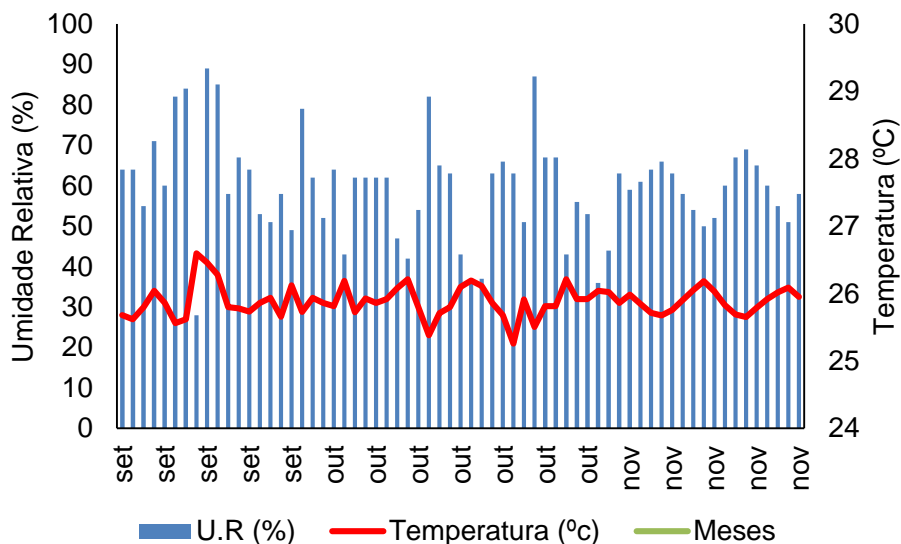
As temperaturas e umidades relativas do ar foram registradas durante o período experimental de setembro a novembro de 2023 (Tabela 1).

As sementes das espécies *Bauhinia forficata*, *Caesalpinia pulcherrima* e *Schinus terebinthifolius* foram adquiridas através do setor de produção de mudas da UFRB. Antes do plantio, as sementes passaram por uma desinfestação superficial com imersão em uma solução de água e hipoclorito de sódio a 2% por 5 minutos, seguida por lavagem em água destilada (BEVILACQUA, 2011).

A semeadura em tubetes cônicos de plástico rígido de três estrias, com capacidade de 180 cm³, e vermiculita como substrato. Em média, três sementes foram semeadas em cada recipiente. Após o estabelecimento das plântulas, realizou-se o desbaste, deixando apenas uma plântula por tubete. A germinação e crescimento inicial das plântulas de *Bauhinia forficata* e *Schinus terebinthifolius* constituíram um ciclo de 46 dias e para *Caesalpinia pulcherrima* foi de 14 dias. As

irrigações diárias foram diárias.

Figura 1 – Variação da temperatura e umidade do ar no viveiro de cultivo das mudas.



Autora: Fernanda Gama

Após o estabelecimento inicial as plântulas foram transplantadas para tubetes cônicos de plástico rígido com três estrias, com capacidade de 290 cm³. Os três experimentos foram dispostos em delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com um esquema fatorial 3 x 2 com 11 repetições. Os tratamentos incluíram três fontes de inoculação: controle sem inoculação – (C); inóculo comercial (*Rhizophagus intraradices* – *Rootella BR ULTRA*® – F1); inóculo mix (*Rhizophagus clarus* - RJN102A, *Rhizophagus intraradices* – FRA103A, *Acaulospora colombiana* – SCT115A-5, *Gigaspora albida* - SCT261A, *Acaulospora morrowiae*- SCT500B – F2) obtidos da Coleção Internacional de Cultura de Glomeromycota - CICG) da Universidade Federal de Santa Catarina e dois substratos de cultivo: vermiculita e substrato organomineral.

O solo para compor o substrato foi coletado na profundidade de 0-0,20 m no bioma Caatinga, no município de Ipirá – Bahia (12° 09' 30" S, 39° 44' 14" W), região caracterizada como clima semiárido (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização química do solo utilizado na produção de mudas.

	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T
pH	----- mg dm ³ -----			----- cmol _c m ³ -----						
H ₂ O	---									
5	46,76	63,66	63	4,65	3,48	0,10	2,90	8,25	8,35	11,15
V	M	M.O.	P-Rem							
-----%-----	dag kg		mg L							
7,10	-	1,35	-							

Legenda: CTC: capacidade de troca catiônica potencial e efetiva; V: saturação por bases; M.O: matéria orgânica; H: potencial hidrogeniônico; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; Na: sódio; H+Al: hidrogênio + alumínio.

Autora: Fernanda Gama

O composto orgânico utilizado para compor o substrato foi de um lote produzido pelo Núcleo de Meio Ambiente (NUMAN) da UFRB, a partir de podas de árvores do campus da Universidade, acrescido de esterco bovino e caprino, numa relação 3:1:1 (Tabela 2).

Tabela 2 - Caracterização química do composto orgânico utilizado na composição dos substratos organominerais.

pH	M.O.	C	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Mn	Zn	B	Na
	----- % -----							----- mg kg ⁻¹ -----					
7,04	12,1	6,0	0,7	0,2	0,3	0,6	0,1	0,02	15	127	35	234	82
													4

Legenda: M.O: matéria orgânica; C: carbono; N: nitrogênio; H: potencial hidrogeniônico; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; Na: sódio; H+Al: hidrogênio + alumínio.

Autora: Fernanda Gama

As inoculações nas espécies *Bauhinia forficata*, *Schinus terebinthifolius* e *Caesalpinia pulcherrima* foram realizadas após o transplante das mudas. Para a inoculação com o fungo comercial F1, utilizou-se uma diluição de 100 ml com água destilada e ponteiras autoclavadas para garantir a assepsia. A diluição foi preparada no momento da inoculação da planta. Na inoculação com o fungo mix F2, aplicou-se uma quantidade de 5 g de solo preparado próximo à raiz da planta, seguindo as orientações do fabricante. Após a inoculação, as mudas receberam irrigação diária pela manhã e foram avaliadas em intervalos de 15 dias (altura, número de folhas e diâmetro do coleto), começando imediatamente após a inoculação e até completar 60 dias pós-inoculação.

As variáveis analisadas nas três espécies foram intensidade e taxa de colonização micorrízica no sistema radicular e avaliações biométricas. Para as medições de diâmetro do coleto (DC, em mm por planta⁻¹), utilizou-se um

paquímetro digital; a altura da parte aérea (H, em cm planta⁻¹) foi medida da superfície do substrato até o meristema apical da muda com o auxílio de uma régua milimetrada; a relação H/DC; o número de folhas foi contabilizado através de cada folíolo presente na planta e a medição da clorofila foliar (CF) com um clorofilômetro.

Posteriormente, as mudas foram separadas em parte aérea e radicular para análise das seguintes variáveis: massa seca da parte aérea (MSPA, g planta⁻¹), massa seca das raízes (MSR, g planta⁻¹) e massa total (MST, g planta⁻¹). Para isso, as massas frescas da parte aérea e do sistema radicular foram colocadas separadamente em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada a 60 °C por 48 horas. A massa seca foi determinada após a secagem da parte aérea das mudas acondicionadas em saco de papel e secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas até obter a massa constante.

A determinação da colonização radicular em amostras de raízes foi realizada seguindo a metodologia de Rheinheimer e Kaminski, 1995. As etapas incluíram a preparação das raízes, armazenamento em álcool 70%, lavagem em água corrente, imersão em solução KOH 10% para clareamento, aquecimento em banho-maria a 90°C, clarificação com água oxigenada, seleção das raízes claras, coloração com solução de Tinta Parker e ácido acético a 90°C e imersão em solução de Lacto-Glicerol. A intensidade da colonização foi determinada pela observação das estruturas fúngicas (vesículas, arbúsculos e hifas), no microscópio com aumento de 100x, e atribuíram-se notas de 1 a 5: 1 (a raiz não foi colonizada), 2 (colonização entre 1% e 25% da raiz), 3 (colonização de 26% a 50% da raiz), 4 (colonização de 51% a 75% da raiz) e 5 (colonização acima de 75%), indicando um córtex altamente colonizado com ampla produção de arbúsculos.

A porcentagem de colonização micorrízica foi determinada com microscópio estereoscópico, através do método da placa quadriculada de acordo com Giovannetti e Mosse (1980). O resultado foi expresso pela fórmula: $CM\% = SC/(SC+SN) \times 100$, onde CM corresponde a colonização micorrízica, SC a segmentos colonizados e SN a segmentos não colonizados interceptados pelos quadrados.

Os dados foram submetidos à análise de variância e os tratamentos foram comparados pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância, utilizando o programa R (R CORE TEAM, 2022).

3. RESULTADOS

3.1. *Bauhinia forficata*

A inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) exerceu efeito significativo sobre a intensidade de colonização micorrízica e % de colonização micorrízica (Tabela 3).

Tabela 3- Análises de variância para as variáveis de intensidade e taxa de colonização micorrízica para mudas de *Bauhinia forficata*.

TRATAMENTO	SQ	QM	Fc	Pr>Fc ²
% de colonização				
SUBS	71,6	71,6	0,6722	0,42826 ^{ns}
FMA	1950,8	975,4	9,1577	0,00385 ^{ns}
SUBSXFMA	24,5	12,25	0,1149	0,89246 ^{ns}
CV	50.83%	-	-	-
Intensidade				
SUBS	0,000272	0,000272	0,2112	0,65404*
FMA	0,049411	0,02470	19,1681	0,00018*
SUBSXFMA	0,016411	0,00829	6,3664	0,01305*
CV	14,52%	-	-	-

Legenda: * significativo a 5%.

Autora: Fernanda Gama

A intensidade micorrízica variou entre 0,14% e 0,31%, com interação significativa entre os tratamentos ($p \leq 0,05$) (Tabela 4). Para a colonização micorrízica, embora não tenham sido identificadas diferenças estatisticamente significativas entre os substratos, os tratamentos F1 e F2 apresentaram desempenho superior em comparação à testemunha, demonstrando o efeito positivo da inoculação no desenvolvimento das plantas.

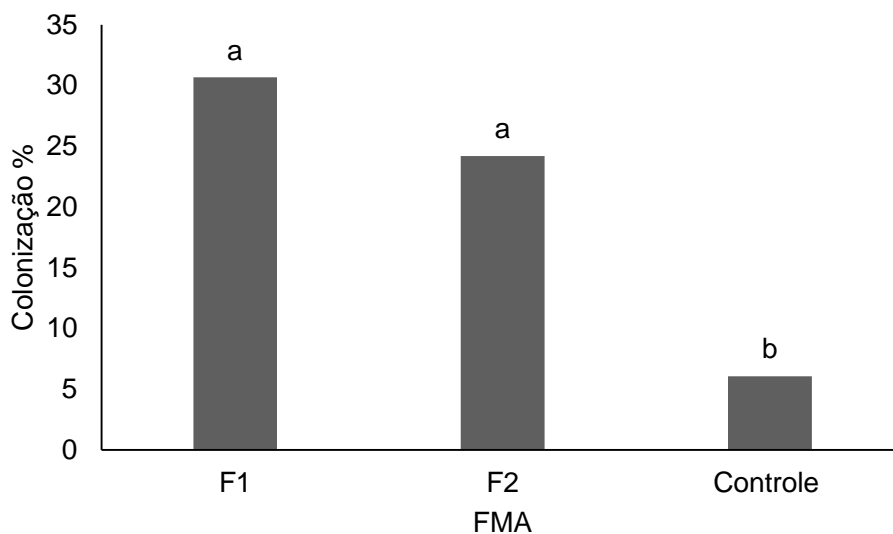
Tabela 4- Intensidade por fungos micorrízicos arbusculares em mudas de *Bauhinia forficata* cultivadas em vermiculita (V) e substrato organomineral (SC).

FMA	Intensidade	
	SC	V
F1	0,31Aa	0,31Aa
F2	0,21 Bb	0,27Aa
Controle	0,22 Bb	0,14Bb

Legenda: F1- inóculo comercial (*Rhizophagus intraradices* – *Rootella* BR ULTRA®); F2- inóculo mix (*Rhizophagus clarus* - RJN102A, *Rhizophagus intraradices* – FRA103A, *Acaulospora colombiana* – SCT115A-5, *Gigaspora albida* - SCT261A, *Acaulospora morrowiae*- SCT500B – F2); médias seguidas de letra maiúsculas na linha, correspondem a comparação entre substratos e médias seguidas de letras minúsculas, na coluna, correspondem a comparação entre inoculação. Letras iguais não se diferem pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Autora: Fernanda Gama

Figura 2- Colonização por fungos micorrízicos arbusculares em mudas de *Bauhinia forficata*.



Legenda: F1- inóculo comercial (*Rhizophagus intraradices* – *Rootella BR ULTRA*®); F2- inóculo mix (*Rhizophagus clarus* - RJN102A, *Rhizophagus intraradices* – FRA103A, *Acaulospora colombiana* – SCT115A-5, *Gigaspora albida* - SCT261A, *Acaulospora morrowiae*- SCT500B – F2); médias seguidas de letra maiúsculas na linha, correspondem a comparação entre substratos e médias seguidas de letras minúsculas, na coluna, correspondem a comparação entre inoculação. Letras iguais não se diferem pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Autora: Fernanda Gama

Houve efeito da interação entre a inoculação e os substratos de cultivo (Tabela 5) para as variáveis número de folhas e para os índices de clorofila a, b e total. Já para as variáveis massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e massa seca total, observou-se efeito individual dos fatores, indicando que tanto a inoculação quanto os substratos influenciaram essas variáveis de forma independente.

Tabela 5- Resumo do quadro de análise de variância das variáveis de crescimento de mudas de *Bauhinia forficata*, aos 60 dias, cultivadas em proporções de composto orgânico e vermiculita com inoculação de fungos micorrízicos.

FV ¹	Quadrado Médio						
	GL ²	H ³	D ⁴	NF ⁵	H/D ⁶	MSPA ⁷	MSR ⁸
SUBS	1	2,987 ^{ns}	0,0513 ^{ns}	20,519 ^{**}	0,1264 ^{ns}	13,004 [*]	4,007 [*]
FMA	2	0,5065 ^{ns}	0,0643 ^{ns}	50,737 ^{**}	0,0403 ^{ns}	1,6005 ^{ns}	0,3095 ^{ns}
SUBSXFMA	2	6,144 ^{ns}	0,07335 ^{ns}	19,232 ^{**}	0,3235 ^{ns}	1,6365 ^{ns}	0,009 ^{ns}
CV (%)		14,05	11,33	14,31	12,1	17	16,97

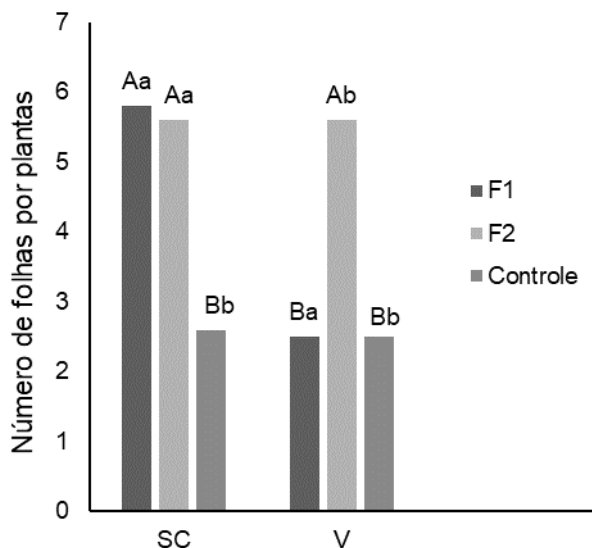
FV ¹	Quadrado Médio					
	GL	MSPA/MSR ⁹	MSTOTAL ¹⁰	CLA ¹¹	CLB ¹²	CLT ¹³
SUBS	1	0,2433 ^{ns}	31,436 [*]	3077,7 ^{**}	4492,1 ^{**}	15006 ^{**}
FMA	2	0,10045 ^{ns}	1,6345 ^{ns}	6,95 ^{**}	18,85 ^{**}	47,9 ^{**}
SUBSXFMA	2	0,08835 ^{ns}	1,5965 ^{ns}	371,95 ^{**}	350,3 ^{**}	1425,1 ^{**}
CV (%)		17,26	10,91	27,49	33,46	28,78

Legenda: ¹FV - Fonte de variação, ²GL - Grau de liberdade, ³H - altura da parte aérea, ⁴D - diâmetro do coleto, ⁵NF - Números de folhas, ⁶H/D - relação altura/diâmetro, ⁷MSPA - massa seca parte área, ⁸MSR - massa fresca raiz, ⁹MSPA/MSR - massa seca parte aérea/massa seca raiz, ¹⁰MST - massa seca total, ¹¹CLA - clorofila a, ¹²CLB - clorofila b, ¹³CLT - clorofila total, (** interação significativo a 5%, *efeito individual significativo a 5% de probabilidade e ns: não significativo).

Autora: Fernanda Gama

Verifica-se que os tratamentos F1 e F2 promoveram um aumento de 3,3% no número de folhas no substrato composto organomineral (Figura 3). No substrato vermiculita, o tratamento F2 apresentou a maior média, seguido por F1, que não diferiu estatisticamente do controle. Esse aumento foi de 122 % na produção foliar indica que a inoculação pode ter estimulado o crescimento vegetativo, e, conseqüentemente, maior acúmulo de biomassa. A redução do NF no controle pode estar associada a uma menor disponibilidade de nutrientes. Os tratamentos F1 e F2 proporcionaram médias superiores ao controle quando as mudas foram cultivadas na vermiculita.

Figura 3- Número de folhas (NF) de mudas de *Bauhinia forficata* cultivadas em vermiculita (V) e em composto organomineral (SC), em função da inoculação de fungos micorrízicos, aos 60 dias de cultivo em viveiro florestal.

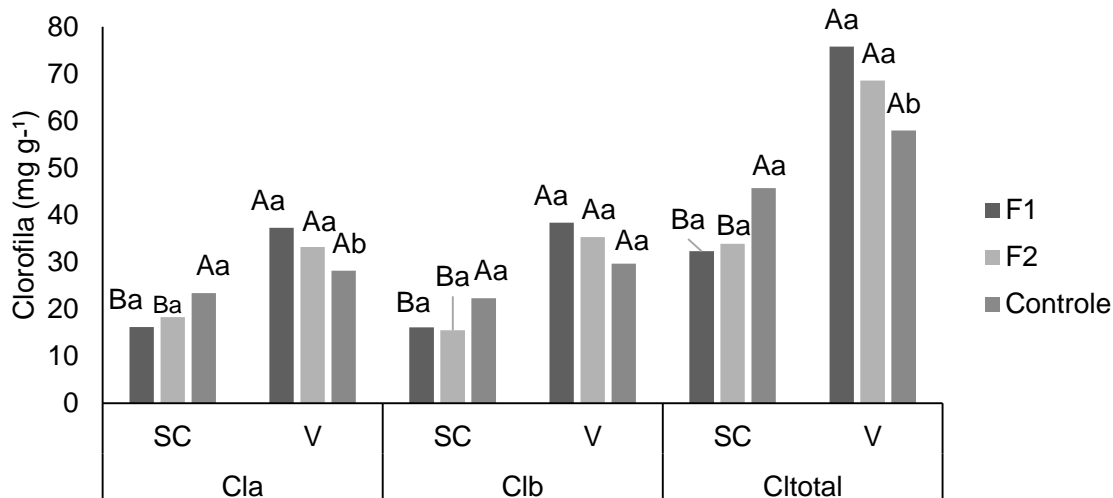


Legenda: *F1- inóculo comercial (*Rhizophagus intraradices* – *Rootella BR ULTRA*®); F2- inóculo mix (*Rhizophagus clarus* - RJN102A, *Rhizophagus intraradices* – FRA103A, *Acaulospora colombiana* – SCT115A-5, *Gigaspora albida* - SCT261A, *Acaulospora morrowiae*- SCT500B – F2); médias seguidas de letra maiúsculas correspondem a comparação entre substratos e médias seguidas de letras minúsculas correspondem a comparação entre os tratamentos de inoculação.

Autora: Fernanda Gama

Com o cultivo das mudas no substrato organomineral, essa diferença foi menos evidente. De maneira geral, os resultados demonstram que os tratamentos F1 e F2 tiveram um impacto positivo no desenvolvimento das mudas, promovendo um aumento de 12,42% para cla, 8,67% para clb e 10,49% para clt na síntese de clorofila e no número de folhas (Figura 4).

Figura 4 – Índices de clorofila a, b e total de mudas de *Bauhinia forficata* produzidas em vermiculita (V) e em composto organomineral (SC) em função da inoculação de fungos micorrízicos (F1 e F2) aos 60 dias de cultivo em viveiro florestal.



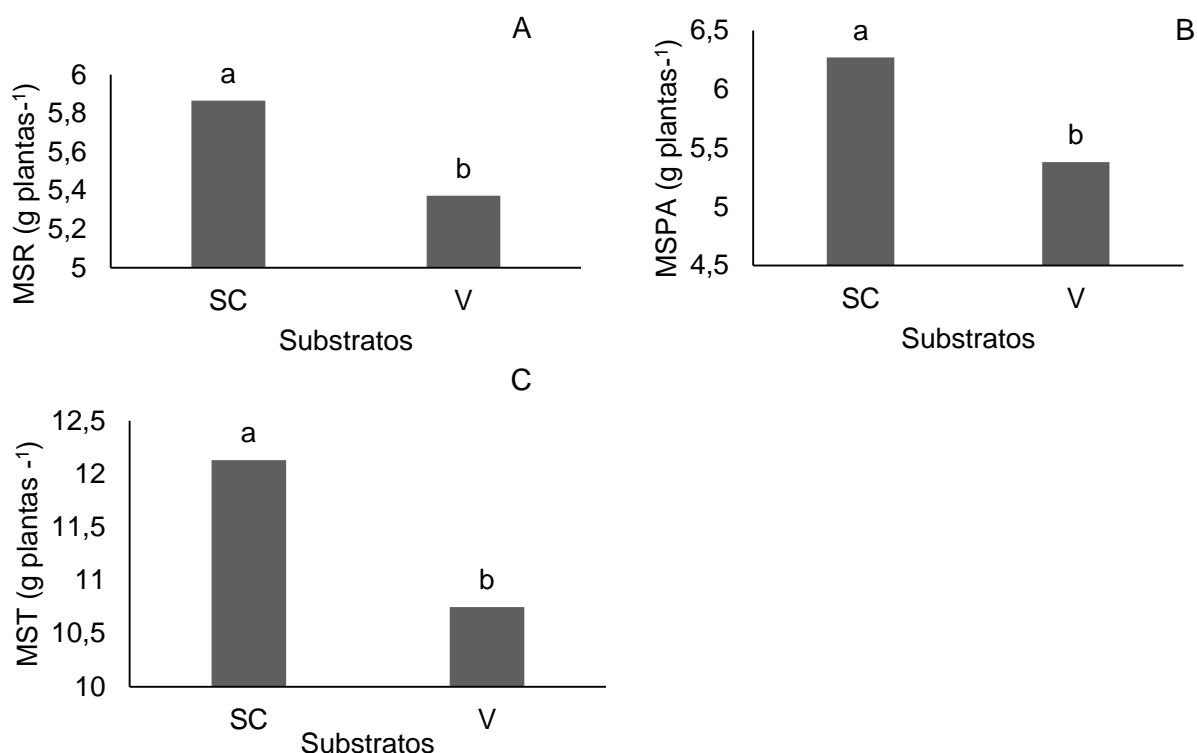
Legenda: *F1- inóculo comercial (*Rhizophagus intraradices* – *Rootella BR ULTRA*®); F2- inóculo mix (*Rhizophagus clarus* - RJN102A, *Rhizophagus intraradices* – FRA103A, *Acaulospora colombiana* – SCT115A-5, *Gigaspora albida* - SCT261A, *Acaulospora morrowiae*- SCT500B – F2); médias seguidas de letra maiúsculas correspondem a comparação entre substratos e médias seguidas de letras minúsculas correspondem a comparação entre inoculação. Letras iguais não se diferem pelo teste de Scott-Knott.

Autora: Fernanda Gama

Esse efeito benéfico pode estar relacionado à ação dos fungos micorrízicos arbusculares, que auxiliam na absorção de nutrientes e na adaptação ao ambiente. Além disso, o efeito da inoculação parece ser mais expressivo no substrato vermiculita, o que indica que as respostas fisiológicas das plantas podem variar em função das condições de cultivo.

Observa-se, nas Figuras 5A, 5B e 5C, que os tratamentos com diferentes substratos resultaram em variações nos acúmulos de massa seca da raiz (5A), da parte aérea (5B) e massa seca total (5C), obtendo um aumento de 9,4%, 16,9%, 12,5% respectivamente. A resposta à inoculação com FMAs também apresentou diferenças entre os tratamentos, porém, de forma geral, o tipo de substrato foi o fator que mais influenciou o desenvolvimento biométrico das mudas.

Figura 5- Efeitos individuais da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e dos substratos de cultivo na massa seca da raiz (A); massa seca da parte aérea (B) e na massa seca total C) das mudas de *Bauhinia forficata*.



Legenda: SC- Solo + composto organomineral, V- vermiculita; Médias seguidas de letra minusculas correspondem a comparação entre substratos. Letras iguais não se diferem pelo teste de Scott-Knott.

Autora: Fernanda Gama

3.2 *Caesalpinia pulcherrima*

Houve efeito individual da inoculação com FMAs para a intensidade de colonização micorrízica (Tabela 6).

Tabela 6 - Análises de variância para as variáveis de intensidade e taxa de colonização micorrízica para mudas de *Caesalpinia pulcherrima*.

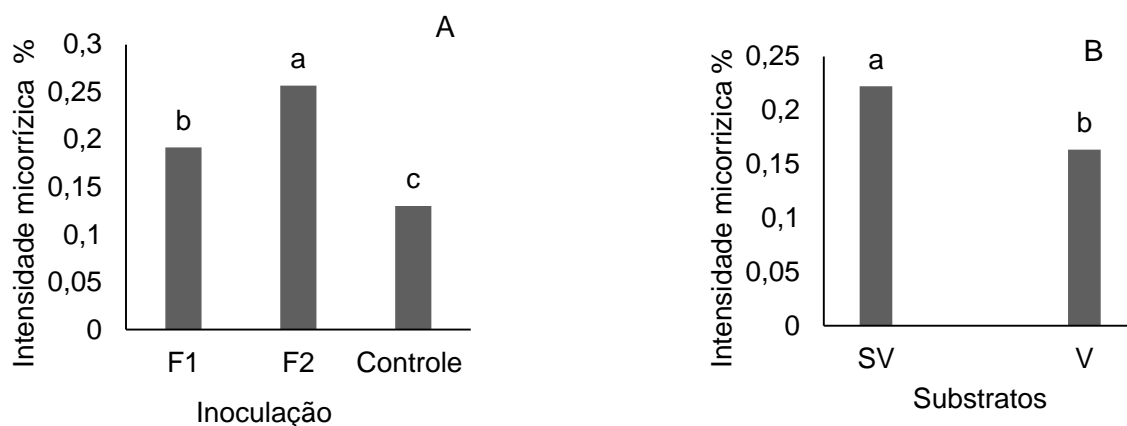
TRATAMENTO	SQ	QM	Fc	Pr>Fc ²
% de colonização				
SUBS	377,9	377,9	1,99727	0,18299 ^{ns}
FMA	87,7	43,85	0,23162	0,79671 ^{ns}
SUBSXFMA	458,3	22915	1,21107	0,33182 ^{ns}
CV	28,91%	-	-	-
Intensidade				
SUBS	0,015606	0,015606	7,7170	0,016714*
FMA	0,048144	0,02407	11,9038	0,001417*
SUBSXFMA	0,006744	0,00337	1,6676	0,229592
CV	23,33%	-	-	-

Legenda: * efeito individual significativo a 5%.

Autora: Fernanda Gama

As médias de intensidade e taxa de colonização (Figura 6) variaram conforme o tipo de substrato.

Figura 6- Efeito individual da intensidade de colonização dos fungos micorrízicos arbusculares (A) e para tipos de substratos (B) de mudas de *Caesalpinia pulcherrima* produzidas em vermiculita (V) e em composto organomineral (SC).



Legenda: *F1- inóculo comercial (*Rhizophagus intraradices* – *Rootella BR ULTRA*®); F2- inóculo mix (*Rhizophagus clarus* - RJN102A, *Rhizophagus intraradices* – FRA103A, *Acaulospora colombiana* – SCT115A-5, *Gigaspora albida* - SCT261A, *Acaulospora morrowiae*- SCT500B – F2); SC- solo + composto organomineral, V- vermiculita; Médias seguidas de letra maiúsculas correspondem a comparação entre substratos e médias seguidas de letras minúsculas correspondem a comparação entre inoculação. Letras iguais não se diferem pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Autora: Fernanda Gama

Houve efeito da interação entre a inoculação e os substratos de cultivo (Tabela 7) para as variáveis diâmetro do coleto, número de folhas e massa seca da raiz. Já para as variáveis altura, relação altura/diâmetro, clorofila a, corofila b e clorofila total observou-se efeito individual dos fatores, indicando que tanto a inoculação quanto os substratos influenciaram essas variáveis de forma independente.

Tabela 7- Resumo do quadro de análise de variância das variáveis de crescimento de mudas de *Caesalpinia pulcherrima*, aos 60 dias, cultivadas em proporções de composto orgânico e vermiculita com inoculação de fungos micorrízicos.

Quadrado Médio							
	GL ²	H ³	D ⁴	NF ⁵	H/D ⁶	MSPA ⁷	MSR ⁸
SUBS	1	3,239 ^{ns}	0,1113 ^{**}	29,07 ^{**}	0,0903 ^{ns}	0,7426 ^{ns}	0,0028 ^{**}
FMA	2	20,822 [*]	0,6142 ^{**}	232,91 ^{**}	2,1713 [*]	0,6464 ^{ns}	0,0917 ^{**}
SUBSXFMA	2	1,41 ^{ns}	0,16105 ^{**}	47,96 ^{**}	0,8958 ^{ns}	0,6071 ^{ns}	0,1603 ^{**}
CV (%)		12,75	10,02	18,85	14,24	11,72	4,08
Quadrado Médio							
FV ¹	GL	MSPA/MSR ⁹	MSTOTAL ¹⁰	CLA ¹¹	CLB ¹²	CLT ¹³	
SUBS	1	0,0297 ^{ns}	0,6544 ^{ns}	1322,9 [*]	796,6 [*]	4172,8 [*]	
FMA	2	0,041075 ^{ns}	0,2744 ^{ns}	329,1 ^{ns}	10,1 ^{ns}	453,75 ^{ns}	
SUBSXFMA	2	0,006555 ^{ns}	1,34495 ^{ns}	104,75 ^{ns}	128,35 ^{ns}	376,95 ^{ns}	
CV (%)		12,25	6,39	39,28	39,9	31,67	

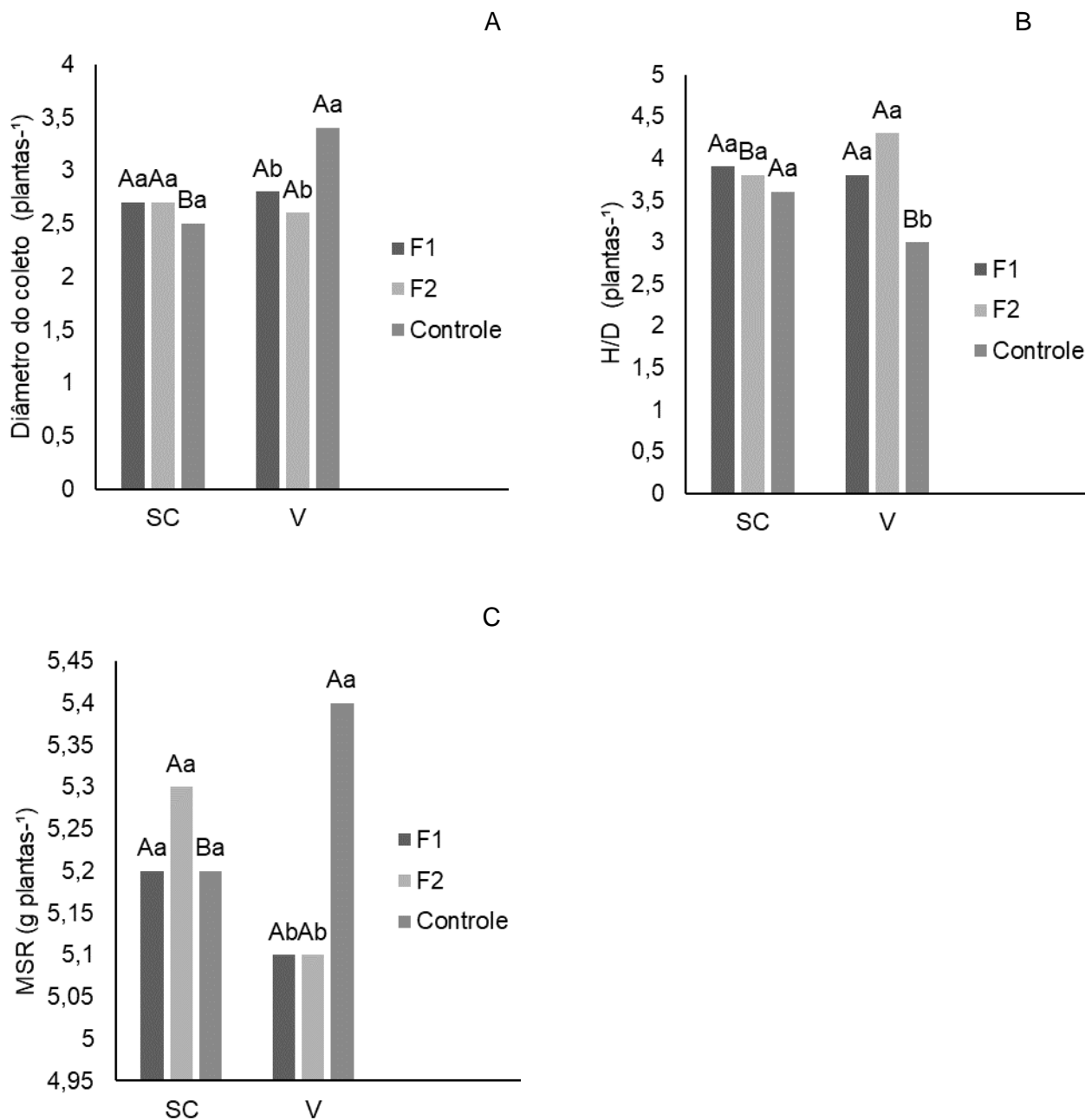
Legenda: ¹FV - Fonte de variação, ²GL - Grau de liberdade, ³H - altura da parte aérea, ⁴D - diâmetro do coleto, ⁵NF - Números de folhas, ⁶H/D - relação altura/diâmetro, ⁷MSPA - massa seca parte área, ⁸MSR - massa fresca raiz, ⁹MSPA/MSR - massa seca parte aérea/massa seca raiz, ¹⁰MST - massa seca total, ¹¹CLA - clorofila a, ¹²CLB - clorofila b, ¹³CLT - clorofila total, (** interação significativo a 5%, *efeito individual significativo a 5% de probabilidade e ns: não significativo).

Autora: Fernanda Gama

Houve efeito da inoculação dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA) F1 e F2 na espécie florestal *Caesalpinia pulcherrima* ($p < 0,05$) para as variáveis diâmetro do coleto, relação H/D e massa seca da raiz (Figura 7). O diâmetro médio do coleto da *Caesalpinia pulcherrima* nos tratamentos foram semelhantes. O tratamento F1 teve uma média maior ($p \leq 0,05$) no substrato organomineral, em comparação à vermiculita (Figura 7A). Observa-se ainda que, no substrato organomineral, os tratamentos F1 e F2 apresentaram médias semelhantes e significativamente superiores ao controle. No entanto, no substrato vermiculita, houve um aumento do diâmetro no tratamento F1 em comparação com os demais, enquanto o controle apresentou um valor estatisticamente inferior. Isso sugere que F1 foi mais eficiente na promoção do crescimento em diâmetro sob essa condição.

Para a relação altura/diâmetro (H/D) (Figura 7B), observa-se que, no substrato organomineral, não houve diferenças entre os tratamentos. No entanto, no substrato vermiculita, o controle apresentou média significativamente inferior aos demais.

Figura 7- Diâmetro (D) do coleto (A); Altura sobre diâmetro do coleto (HD) (B) e Massa seca raiz (MSR) (C) de mudas de *Caesalpinia pulcherrima* produzidas em vermiculita (V) e em composto organomineral (SC) em função da inoculação de fungos micorrízicos (F1 e F2), aos 60 dias de cultivo.



Legenda: F1- inóculo comercial (*Rhizophagus intraradices* – *Rootella BR ULTRA*®); F2- inóculo mix (*Rhizophagus clarus* - RJN102A, *Rhizophagus intraradices* – FRA103A, *Acaulospora colombiana* – SCT115A-5, *Gigaspora albida* - SCT261A, *Acaulospora morrowiae*- SCT500B – F2); médias seguidas de letra maiúsculas correspondem a comparação entre substratos e médias seguidas de letras minúsculas correspondem a comparação entre inoculação. Letras iguais não diferem pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

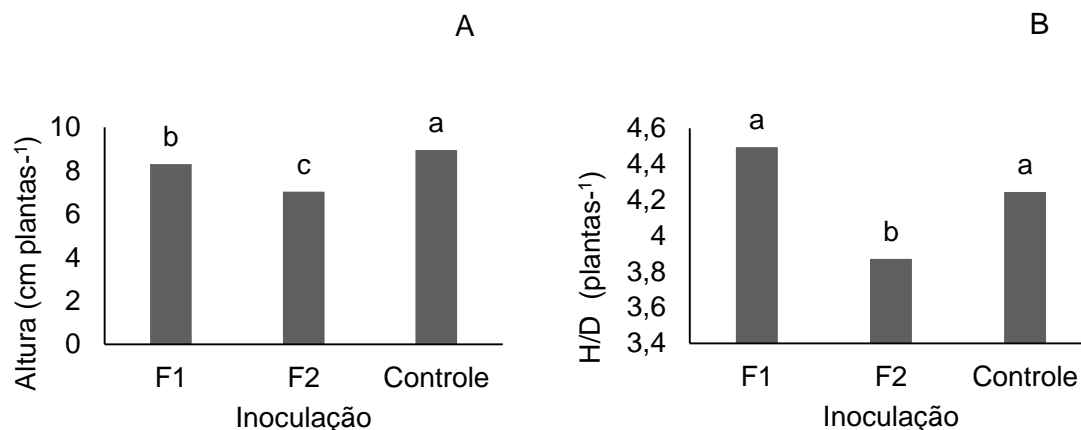
Autora: Fernanda Gama

Referente à massa seca da raiz, há uma tendência de maior acúmulo de biomassa nos tratamentos F1 e F2 no substrato organomineral, com aumento de 1,9%. Já no substrato vermiculita, o controle destacou-se com um aumento significativo da MSR, superando os demais tratamentos, com 5,8%.

A altura média das mudas variou significativamente entre os tratamentos com diferentes isolados de fungos micorrízicos arbusculares (FMA). O tratamento controle apresentou a maior altura média (9 cm planta⁻¹), seguido pelo F1 (8 cm planta⁻¹). O isolado F2 resultou na menor altura (7 cm planta⁻¹). (Figura 8A-B)

Na relação altura/diâmetro, os tratamentos F1 e controle apresentaram os maiores valores, estatisticamente semelhantes entre si. Já o tratamento com F2 apresentou valor significativamente menor, mostrando que F1 teve um aumento de 15,7% a mais que F2. (Figura 8A-B)

Figura 8- Efeitos individuais da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e dos substratos de cultivo nas características biométricas das mudas de *Caesalpinia pulcherrima*. 8A – Altura (H); 8B – relação altura/diâmetro (H/D).



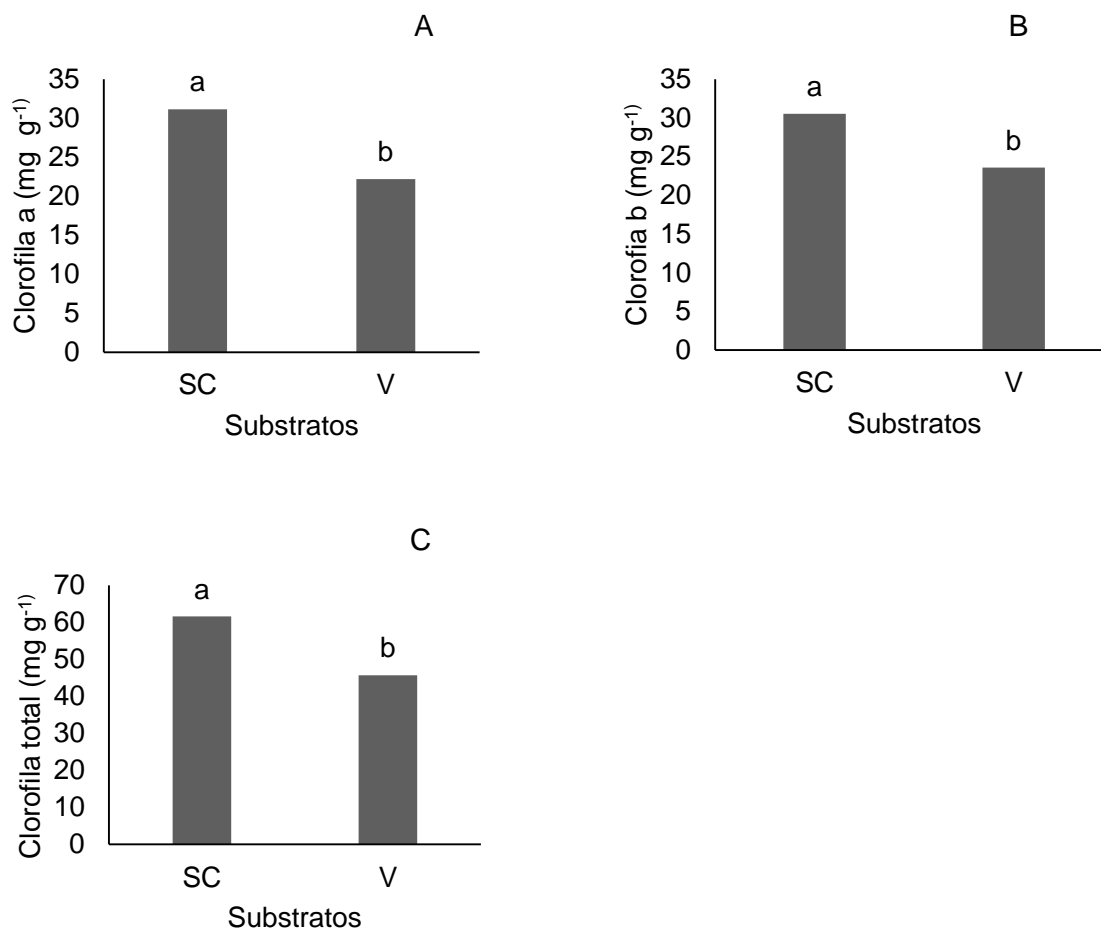
Legenda: *F1- inóculo comercial (*Rhizophagus intraradices* – *Rootella BR ULTRA*®); F2- inóculo mix (*Rhizophagus clarus* - RJN102A, *Rhizophagus intraradices* – FRA103A, *Acaulospora colombiana* – SCT115A-5, *Gigaspora albida* - SCT261A, *Acaulospora morrowiae*- SCT500B – F2); Médias seguidas de letra maiúsculas correspondem a comparação entre substratos e médias seguidas de letras minúsculas correspondem a comparação entre inoculação. Letras iguais não se diferem pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Autora: Fernanda Gama

Os índices de clorofila a, b e total foram significativamente influenciados pelo tipo de substrato utilizado. As plantas cultivadas no substrato composto por solo e organomineral (SC) apresentaram maiores concentrações de pigmentos fotossintéticos em comparação àquelas cultivadas apenas com vermiculita (V). Para a clorofila a, o substrato SC resultou em valores superiores, enquanto o substrato V houve um aumento de 40,7%. Da mesma forma, a clorofila b foi

significativamente maior no SC com aumento de 29,7%. Os índices de clorofila total também foram superiores no substrato SC, em relação ao V com aumento de 34,7% (Figura 9A, B e C).

Figura 9- Efeitos individuais da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e dos substratos de cultivo nas características biométricas das mudas de *Caesalpinia pulcherrima* nos índices de clorofila a (A); clorofila b (B), clorofila total (C).



Legenda: SC- solo + composto organomineral, V- vermiculita; Médias seguidas de letra maiúsculas correspondem a comparação entre substratos e médias seguidas de letras minúsculas correspondem a comparação entre inoculação. Letras iguais não se diferem pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Autora: Fernanda Gama

3.3 *Schinus terebinthifolius*

A Tabela 8 apresenta os resultados da análise de variância para a porcentagem de colonização micorrízica e a intensidade de colonização. Para a variável % de colonização, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) para os efeitos principais do substrato, dos fungos

micorrízicos arbusculares (FMA), nem para a interação entre ambos, indicando que os tratamentos não influenciaram significativamente essa variável.

Por outro lado, para a variável intensidade de colonização, observaram-se efeitos significativos tanto para o fator substrato ($p = 0,017790$) quanto para o tipo de FMA ($p = 0,001122$), além da interação entre ambos ($p = 0,013604$), demonstrando que a resposta da intensidade de colonização variou de acordo com a combinação entre substratos e inoculantes.

Tabela 8- Análises de variância para as variáveis de intensidade e taxa de colonização micorrízica para mudas de *Schinus terebinthifolius*.

TRATAMENTO	SQ	QM	Fc	Pr>Fc ²
% de colonização				
SUBS	206,05	206,05	10,2765	0,33071 ^{ns}
FMA	218,23	109,11	0,54421	0,59397 ^{ns}
SUBSXFMA	139,14	69,57	0,34699	0,71368 ^{ns}
CV	50,3%	-	-	-
Intensidade				
SUBS	0,025689	0,025689	7,5309	0,017790*
FMA	0,086044	0,043022	12,6124	0,001122*
SUBSXFMA	0,042844	0,021422	6,2801	0,013604*
CV	24,56%	-	-	-

Legenda: * efeito individual significativo a 5%.

Autora: Fernanda Gama

A Tabela 9 apresenta a intensidade de colonização por fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) nas mudas de *Caesalpinia pulcherrima*. Observa-se que a maior intensidade de colonização foi registrada no tratamento F1 em vermiculita (0,39), enquanto o menor valor foi observado no controle em ambos os substratos (0,14).

Tabela 9- Intensidade por fungos micorrízicos arbusculares em mudas de *Schinus terebinthifolius* cultivadas em vermiculita (V) e substrato organomineral (SC).

FMA	Intensidade	
	SC	V
F1	0,18Bb	0,39Aa
F2	0,28Aa	0,29Aa
Controle	0,14 Ba	0,14Ba

Legenda: F1- inóculo comercial (*Rhizophagus intraradices* – *Rootella BR ULTRA*®); F2- inóculo mix (*Rhizophagus clarus* - RJN102A, *Rhizophagus intraradices* – FRA103A, *Acaulospora colombiana* – SCT115A-5, *Gigaspora albida* - SCT261A, *Acaulospora morrowiae*- SCT500B – F2); médias seguidas de letra maiúsculas na linha, correspondem a comparação entre substratos e médias seguidas de letras minúsculas, na coluna, correspondem a comparação entre inoculação. Letras iguais não se diferem pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Autora: Fernanda Gama

Tabela 10- Resumo do quadro de análise de variância das variáveis de crescimento de mudas de *Schinus terebinthifolius*, aos 60 dias, cultivadas em proporções de composto orgânico e vermiculita com inoculação de fungos micorrízicos.

FV ¹	Quadrado Médio						
	GL ²	H ³	D ⁴	NF ⁵	H/D ⁶	MSPA ⁷	MSR ⁸
SUBS	1	239,1**	6,4533 ^{ns}	229,69 ^{ns}	3,6 ^{ns}	30,452 ^{ns}	4,23*
FMA	2	5,825**	0,1413 ^{ns}	6,945 ^{ns}	5,985 ^{ns}	1,6075 ^{ns}	3,083 ^{ns}
SUBSXFMA	2	9,46**	0,0543 ^{ns}	1,475 ^{ns}	11,87 ^{ns}	0,0375 ^{ns}	0,8185 ^{ns}
CV (%)		17,26	18,99	20,63	49,18	16,8	18,53

FV ¹	Quadrado Médio					
	GL	MSPA/MSR ⁹	MSTOTAL ¹⁰	CLA ¹¹	CLB ¹²	CLT ¹³
SUBS	1	0,9752*	57,38*	883,2 ^{ns}	490,2 ^{ns}	2689,5 ^{ns}
FMA	2	0,384 ^{ns}	6,4315 ^{ns}	412,1 ^{ns}	49,5 ^{ns}	727,35 ^{ns}
SUBSXFMA	2	0,30275 ^{ns}	0,515 ^{ns}	37 ^{ns}	25,1 ^{ns}	88,75 ^{ns}
CV (%)		37,95	14,2	36,05 ^{ns}	40,68	29,56

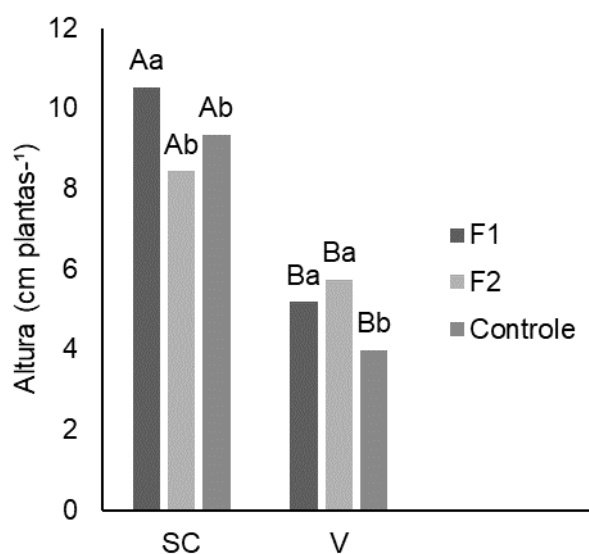
Legenda:¹ FV - Fonte de variação, ² GL - Grau de liberdade, ³ H - altura da parte aérea, ⁴ D - diâmetro do coleto, ⁵ NF - Números de folhas, ⁶ H/D - relação altura/diâmetro, ⁷ MSPA - massa seca parte área, ⁸ MSR - massa fresca raiz, ⁹ MSPA/MSR - massa seca parte aérea/massa seca raiz, ¹⁰ MST - massa seca total, ¹¹ CLA - clorofila a, ¹² CLB - clorofila b, ¹³ CLT - clorofila total, (** interação significativo a 5%, *efeito individual significativo a 5% de probabilidade e ns: não significativo).

Autora: Fernanda Gama

As mudas de *Schinus terebinthifolius* apresentaram incremento significativo em altura ($p < 0,05$) quando cultivadas no substrato organomineral e submetidas à inoculação com FMA (Fi). No substrato de vermiculita, no entanto, esse efeito foi menos evidente, mesmo com a aplicação dos inoculantes. Houve um aumento de altura de 106%, 47% e 138% nas plantas em substrato organomineral em comparação àquelas em vermiculita para os tratamentos F1, F2 e controle, respectivamente.

A interação entre os fatores substrato x inoculação não foi significativa para a maioria das variáveis avaliadas. Ainda assim, destaca-se que, na análise individual dos tratamentos, o F1 promoveu o maior crescimento em altura, diferindo significativamente de F2 (Figura 5). Esses resultados sugerem que o efeito da inoculação depende não apenas da espécie de FMA utilizada, mas também das características físicas e químicas do substrato, com o solo enriquecido com composto orgânico favorecendo a simbiose micorrízica e, conseqüentemente, o desenvolvimento da planta.

Figura 10- Altura de mudas de *Schinus terebinthifolius* cultivadas em vermiculita (V) e em composto organomineral (SC), em função da inoculação de fungos micorrízicos, aos 60 dias de cultivo em viveiro florestal.



Legenda: F1- inóculo comercial (*Rhizophagus intraradices* – *Rootella BR ULTRA*®); F2- inóculo mix (*Rhizophagus clarus* - RJN102A, *Rhizophagus intraradices* – FRA103A, *Acaulospora colombiana* – SCT115A-5, *Gigaspora albida* - SCT261A, *Acaulospora morrowiae*- SCT500B – F2); médias seguidas de letra maiúsculas correspondem a comparação entre substratos e médias seguidas de letras minúsculas correspondem a comparação entre inoculação. Letras iguais não diferem pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Autora: Fernanda Gama

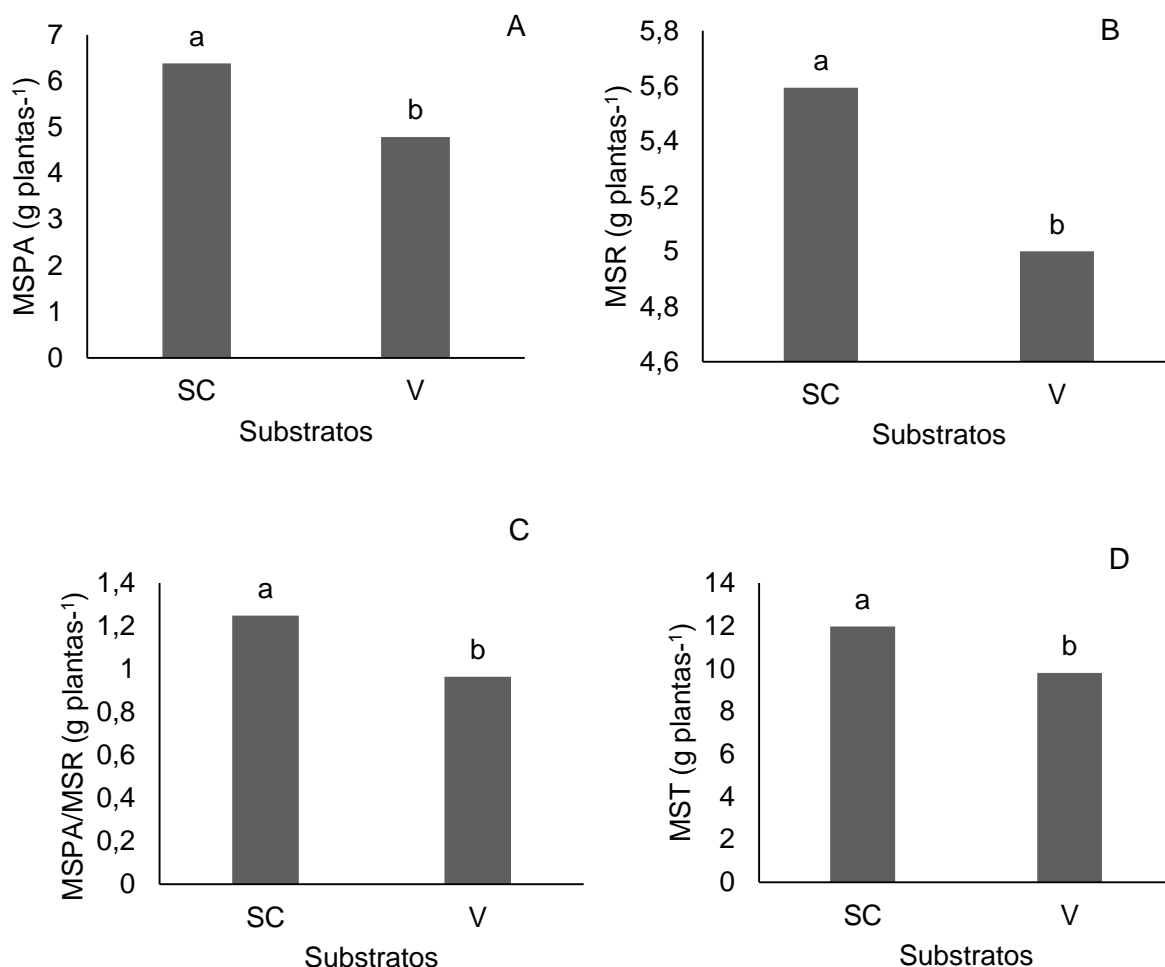
Os resultados (Figura 11 A, B, C e D) indicam diferenças significativas no desempenho das mudas em função dos substratos utilizados. O substrato composto por solo + composto organomineral (SC) proporcionou melhor desenvolvimento nas principais variáveis analisadas, quando comparado à vermiculita (V).

Na variável massa seca da raiz (MSR), as mudas cultivadas em SC apresentaram valores superiores (próximos a 1,2 g planta⁻¹), com diferença estatística significativa em relação ao substrato com vermiculita, o qual resultou em menor acúmulo de biomassa radicular (cerca de 0,6 g planta⁻¹), o aumento foi de 10%. A superioridade do SC também foi evidente para a massa seca total (MST), alcançando valores médios em torno de 12 g planta⁻¹, enquanto V apresentou médias próximas a 8 g planta⁻¹, com aumento de 22,6%.

No que se refere à relação parte aérea/raiz (MSPA/MSR), observou-se que o substrato SC manteve um equilíbrio mais adequado entre o crescimento da parte aérea e do sistema radicular, com valores médios ligeiramente inferiores aos da vermiculita, com aumento de 33,3%, o que é desejável, pois indica maior

proporcionalidade no desenvolvimento das estruturas vegetativas. Essa tendência também se refletiu na massa seca da parte aérea (MSPA), que foi significativamente maior em SC (aproximadamente $6,5 \text{ g planta}^{-1}$) em comparação à vermiculita (em torno de $3,5 \text{ g planta}^{-1}$).

Figura 11- Efeitos individuais da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e dos substratos de cultivo nas características biométricas das mudas de *Caesalpinia pulcherrima* nos índices de massa seca da parte aérea (A); massa seca da raiz (B); relação massa seca da parte aérea/massa seca da raiz (C); massa seca tota (D).



Legenda: SC- solo + composto organomineral, V- vermiculita; Médias seguidas de letra maiúsculas correspondem a comparação entre substratos e médias seguidas de letras minúsculas correspondem a comparação entre inoculação. Letras iguais não se diferem pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Autora: Fernanda Gama

4. DISCUSSÃO

Bauhinia forficata apresentou taxa de colonização micorrízica de até 0,31% quando inoculada com fungos micorrízicos arbusculares, valor superior ao relatado por Moreira et al. (2019), que registraram 0,21% para a mesma espécie. Essa diferença pode estar relacionada a diversos fatores, como o tipo de inoculante utilizado, as condições do substrato, o ambiente de cultivo e a disponibilidade de nutrientes, especialmente o fósforo. Além disso, a combinação de diferentes espécies de FMAs, como realizada neste experimento (F1 e F2), pode ter proporcionado uma maior possibilidade de ocorrer simbiose micorrízica, ampliando a colonização das raízes. Esses resultados reforçam o potencial dos FMAs em promover o desenvolvimento radicular e a adaptação de espécies florestais em viveiro, contribuindo para a produção de mudas mais saudáveis e eficientes para uso em programas de restauração ecológica. Lambais et al. (2024) analisaram a atividade de FMAs na rizosfera de *Bauhinia unguolata*, observando variações sazonais significativas na colonização radicular e na densidade de esporos. Esses resultados sugerem que fatores sazonais podem influenciar a taxa de colonização micorrízica.

A *Schinus terebinthifolius* respondeu positivamente à inoculação de FMA, exibindo intensidades micorrízicas significativamente superior ao controle. Pesquisa conduzida por Oliveira Júnior et al. (2022) demonstrou que a inoculação com uma mistura de FMAs (*Dentiscutata heterogama*, *Gigaspora margarita* e *Rhizophagus clarus*) resultou em maior acúmulo de biomassa total, especialmente em níveis intermediários de fósforo no solo. Isso indica um sinergismo entre os fungos e ressalta a relevância da inoculação mista para a produção de mudas destinadas a programas de revegetação.

Já a *Caesalpinia pulcherrima* não apresentou resultados significativos. Ao contrário do observado em estudos anteriores (MOREIRA et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2022), as colonizações nas espécies florestais não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Contudo, de acordo com Domingos; Melloni; Reis (2021), a colonização micorrízica é uma característica que pode ser afetada pela escolha da espécie vegetal, pela idade da planta, pela densidade de raízes, pelo número de propágulos de FMA, pela eficiência de colonização dos FMA e pelo manejo do solo.

Os resultados obtidos evidenciam a necessidade de selecionar cuidadosamente as espécies de fungos micorrízicos adequadas para cada tipo de espécie florestal.

De acordo com Oliveira et al. (2022), a *Schinus terebinthifolius* pode ser uma espécie altamente responsiva a micorrizas quando inoculada com a associação de vários fungos, o que permite um auxílio mais efetivo em seu desenvolvimento. Embora *Schinus terebinthifolius* seja considerada uma espécie responsiva à inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA), a ausência de resposta significativa em determinados contextos pode estar relacionada a uma série de fatores. Primeiramente, a especificidade entre a planta hospedeira e as espécies de fungos utilizadas pode influenciar os resultados. Oliveira et al. (2022), sugerem que a associação com uma diversidade de FMA é mais efetiva, pois diferentes fungos podem apresentar mecanismos complementares de promoção de crescimento, como a maior absorção de nutrientes e maior tolerância a estresses ambientais.

Outro fator relevante é a composição do substrato utilizado. Substratos ricos em nutrientes, especialmente em fósforo, podem reduzir a dependência da planta pela associação micorrízica, já que a simbiose é geralmente mais expressiva em condições de baixa fertilidade (ABREU et al., 2022). Além disso, o estágio de desenvolvimento das mudas e as condições ambientais, como umidade e temperatura, também podem impactar a eficácia da inoculação, limitando a colonização micorrízica ou seus benefícios (FLORENCIO et al., 2022).

Trabalhos como os de Smith e Read (2008) destacam que algumas espécies vegetais, apesar de serem micotróficas, podem apresentar baixa responsividade em condições de viveiro, especialmente quando o potencial micorrízico do solo não é otimizado. Isso reforça a necessidade de ajustar as condições experimentais e selecionar cuidadosamente os FMA utilizados para maximizar os benefícios dessa simbiose (POUYU; SIQUEIRA; SANTOS, 2006).

Muitas espécies leguminosas nativas do Brasil demonstram uma resposta favorável a microrganismos, como os FMA (ABREU et al., 2022; BRITO et al., 2017). No entanto, ao se avaliar a produção de mudas de espécies nativas com diferentes FMA, podem surgir resultados diversos. Isso se deve ao fato de que os benefícios provenientes da simbiose estão condicionados à complexa interação entre microrganismos e seus hospedeiros, além das condições ambientais

predominantes e os tipos de substratos utilizados (TROVATO et al., 2024). As reações das plantas à inoculação são influenciadas pela compatibilidade fisiológica e bioquímica entre elas e os FMA, o que está diretamente ligado ao comportamento essencial de cada espécie (GOELZER et al., 2020).

Estudos realizados por Brundrett et al. (2009) demonstraram que espécies florestais nativas tendem a ter alta dependência micorrízica em solos degradados, o que reforça a importância da inoculação para a recuperação dessas áreas. Da mesma forma, Silva et al. (2020) verificaram que a inoculação de FMA em mudas de espécies arbóreas aumentou significativamente a biomassa e a absorção de fósforo, corroborando os resultados obtidos no presente estudo. Além disso, um estudo conduzido por Carvalho, Ferreira, Souza (2023) indicaram que a combinação de diferentes FMA pode otimizar o crescimento inicial de espécies florestais, sugerindo que estratégias mais diversificadas de inoculação podem ser exploradas para maximizar os benefícios dessa simbiose.

Os resultados encontrados apresentam implicações práticas para a produção de mudas florestais voltadas à restauração de áreas degradadas. A seleção adequada do substrato e do fungo micorrízico utilizado pode favorecer o desenvolvimento das mudas em viveiros, resultando em maior sucesso no momento do transplante para o campo. Contudo, é importante considerar algumas limitações. O período de crescimento das mudas pode ter influenciado os resultados obtidos, indicando a necessidade de estudos de maior duração para verificar os efeitos da inoculação no desempenho das plantas após o plantio. Além disso, explorar a diversidade de fungos micorrízicos nativos do solo pode fornecer dados valiosos sobre as interações desses microrganismos com distintas espécies vegetais, ampliando o conhecimento sobre a eficiência da inoculação em diferentes contextos ambientais.

A variação no desempenho dos substratos está diretamente relacionada à disponibilidade de nutrientes e à capacidade de retenção de água de cada material (SILVA et al., 2020). A vermiculita, com sua estrutura porosa, favorece a aeração e a retenção de água, promovendo o desenvolvimento radicular, enquanto o composto orgânico se destaca por fornecer nutrientes essenciais para o crescimento das plantas. Além disso, a interação entre fungos micorrízicos arbusculares (FMA), substratos e variáveis de crescimento destaca a eficácia da inoculação micorrízica, que pode variar de acordo com o substrato, a espécie de

planta e o tipo de fungo utilizado (CAMARA et al., 2017). Essa interação é particularmente relevante devido à capacidade dos FMA de melhorar a absorção de água e nutrientes pelas plantas, potencializando o desenvolvimento vegetal.

O desenvolvimento de mudas é influenciado pelos tratamentos aplicados, como o tipo de substrato e a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA). A eficiência da inoculação pode variar conforme a espécie vegetal, o tipo de fungo utilizado e as características do substrato (LEKBERG; WALLER, 2016). Embora a espécie vegetal tenha um papel na formação da comunidade de FMA, fatores como as condições ambientais, a composição do substrato e a interação entre os fungos também são determinantes. Substratos como organomineral e vermiculita apresentam diferenças importantes: o primeiro é mais rico em nutrientes, enquanto o segundo oferece melhor aeração e retenção de água.

O uso de um mix de FMA pode trazer benefícios adicionais, já que diferentes fungos podem complementar suas funções, aumentando a absorção de nutrientes e a resistência das mudas a estresses (OLIVEIRA et al., 2022). No entanto, essas interações dependem das condições experimentais e do manejo utilizado. Assim, os resultados devem ser discutidos considerando as diferenças entre substratos, os tipos de FMA e a espécie estudada, destacando como esses fatores influenciam o desenvolvimento inicial das mudas.

O aumento encontrado no índice de clorofila e na altura das plantas, após a inoculação com FMA pode ser atribuído à maior eficiência na absorção de nutrientes, portanto, a inoculação das espécies florestais com FMA auxiliou na atividade metabólica, contribuindo para o seu desenvolvimento (FERNANDES et al., 2021). Os valores médios das variáveis analisadas em plantas inoculadas foram superiores aos das plantas não inoculadas. As espécies florestais apresentaram uma responsividade em relação à inoculação dos fungos, pois, de acordo com os resultados alcançados, foi possível observar um aumento na massa seca, número de folhas, diâmetro do coleto e índice de clorofila (Figuras 2, 3 e 4).

Observou-se que, em geral, a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) não promoveu interações significativas com os substratos, sugerindo que o ambiente edáfico foi o principal modulador do crescimento das mudas, Santos et al (2024) relataram resultados parecidos em relação a interação do substratos e fungos micorrízicos.

As mudas de *Schinus terebinthifolius* apresentou melhor desempenho no

substrato solo + composto organomineral, com aumento significativo na altura e massa seca da parte aérea, evidenciando que a composição físico-química desse substrato favoreceu a disponibilidade de nutrientes essenciais. Franceschi et al. (2018) investigaram a adição de vermicomposto ao substrato na produção de mudas dessa espécie e observaram que proporções de 50% a 75% de vermicomposto favoreceram significativamente o crescimento das mudas, incluindo altura e massa seca da parte aérea. Esses resultados indicam que a composição físico-química do substrato, especialmente a presença de matéria orgânica, é determinante para a disponibilidade de nutrientes essenciais e, conseqüentemente, para o desenvolvimento das mudas..

Para *B. forficata*, os resultados indicaram que o substrato solo + composto organomineral foi mais eficaz na promoção do crescimento radicular e da área foliar. Duarte e Nunes (2012) investigaram o crescimento inicial de mudas dessa espécie em diferentes substratos e observaram que a combinação de composto orgânico e terra de subsolo proporcionou os maiores valores para altura das plantas, massa verde da parte aérea e da raiz. Os autores destacam que o substrato enriquecido com composto orgânico apresentou uma capacidade de troca catiônica (CTC) significativamente superior, cerca de três vezes maior que a dos demais substratos analisados, o que teve um efeito positivo sobre a nutrição das plantas. A presença de matéria orgânica nesse tipo de substrato também foi associada a uma melhor retenção de umidade e à disponibilização de nutrientes essenciais, aspectos que contribuem diretamente para o crescimento saudável das mudas.

As mudas de *C. pulcherrima* responderam positivamente ao substrato solo + composto organomineral, com destaque para a biomassa total acumulada. No entanto, estudos anteriores corroboram os efeitos positivos de substratos enriquecidos com matéria orgânica no crescimento de mudas de *C. pulcherrima*. Sousa et al. (2014) investigaram o crescimento inicial de plântulas dessa espécie em diferentes substratos e observaram que combinações de areia lavada com húmus ou bioextrato proporcionaram melhores condições para emergência e crescimento inicial das plântulas. Os autores destacam que substratos com maior porosidade e aeração favorecem o desenvolvimento das mudas, mesmo sem a inoculação de fungos micorrízicos.

5. CONCLUSÃO

Os substratos exerceram influência no desenvolvimento das espécies *Schinus terebinthifolius*, *Bauhinia forficata* e *Caesalpinia pulcherrima*, sendo o substrato constituído de solo e composto organomineral na proporção 50:50 o mais efetivo. Para a espécie *S. terebinthifolius*, a inoculação não foi eficaz, pois apresentou baixo grau de dependência as espécies fúngicas estudadas, o que sugere a necessidade de investigações adicionais quanto à compatibilidade simbiótica dessa espécie com diferentes isolados de FMAs. A inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) mostrou-se promissora para *B. forficata* e *C. Pulcherrima* quando cultivadas em vermiculita.

REFERÊNCIAS

ABREU, G. M.; GUIRARDI, B. D.; ARAÚJO, G. M.; ABREU, P. M. Fertilização fosfatada e fungos micorrízicos arbusculares na produção de mudas de *Peltophorum dubium*. **Madera y Bosques**, v. 28, n. 3, p. e2832344, 2022.

ASSIS, D. M. S. O efeito das mudanças climáticas e das atividades econômicas na perda de biodiversidade e serviços ecossistêmicos dos manguezais. **Reflexões em Biologia da Conservação**. Belém: **Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 2, p. 155-165, 2020.

BEVILACQUA, C. B.; REINIGER, L. R. S.; GOLLE, D. P.; ROSA, D. P. Desinfestação superficial, germinação e regeneração in vitro a partir de sementes de calêndula. **Ciência Rural**, v. 41, n. 5, p. 761–766, 2011.

BRITO, V. N.; TELLECHEA, F. R. F.; HEITOR, L. C.; FREITAS, M. S. M.; MARTINS, M. A. Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada na produção de mudas de paricá. **Ciência Florestal**, v. 27, p. 485-497, 2017.

BRUNDRETT, M. C. Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: Understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis. **Plant and Soil**, v. 320, n. 1–2, p. 37–77, 2009.

CALMON, M. Restauração de florestas e paisagens em larga escala: o Brasil na liderança global. **Ciência e Cultura**, v. 73, n. 1, p. 44-48, 2021.

CAMARA, R.; MACHADO, A.; FONSECA, J.; SOUSA, A. C. O.; PEREIRA, M. G.; OLIVEIRA, J. Q. J. Influência do substrato e inoculação micorrízica na produção de mudas de *Colubrina glandulosa* Perkins. **Floresta**, v. 47, n. 4, p. 449–449, 2017.

CARVALHO, C. A.; FERREIRA, R. L. F.; SOUZA, F. C. Vigor de sementes e cultivo de mudas de rambuteira. **Scientia Naturalis**, v. 5, n. 2, 2023.

CRUZ, R. S.; SILVA, A. B.; SOUZA, F. C.; OLIVEIRA, G. T.; FERREIRA, J. P.; ALMEIDA, R. A.; LIMA, C. S.; SANTOS, M. C.; NASCIMENTO, A. L.; ARAÚJO, L. V. Crescimento pós-plantio de cultivares de *Coffea arabica* inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 4, n. 1, p. e8059–e8059, 2019.

DALANHOL, S. J.; NOGUEIRA, A. C.; GAIAD, S.; KRATZ, D. Efeito de micorrizas e da fertilização no crescimento de mudas de *Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O. Berg., produzidas em diferentes substratos. **Ciência Florestal**, v. 27, p. 931-945, 2017.

DOMINGOS, M. M.; MELLONI, R.; REIS, F. G. M. Extratos vegetais no controle do fungo *Fusarium oxysporum* e seu efeito sobre fungos micorrízicos arbusculares em plantas de milho. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 16, n. 2, p. 11-11, 2021.

DUARTE, D. M.; NUNES, U. R. Crescimento inicial de mudas de *Bauhinia forficata* Link em diferentes substratos. **CERNE**, v. 18, n. 2, p. 327–334, 2012.

FERNANDES, M. M.; OLIVEIRA, C. M.; SILVA, A. J.; OLIVEIRA, L. F. G. J. The inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi improved ecophysiological and growth parameters of *Schinus terebinthifolius* and *Caesalpinia ferrea* in degraded mining sites. **Environmental Challenges**, v. 4, p. 100181-100181, 2021.

FERNANDES, M. M.; SILVA, A. J.; OLIVEIRA, C. M.; OLIVEIRA, D. D. S.; SANTOS, C.; ARAÚJO, F. R. N.; GOMES, F. R. R.; FERNANDES, M. R. M. Crescimento inicial e aspectos ecofisiológicos de leguminosas florestais inoculadas com fungos micorrízicos em áreas degradadas por mineração. **Ciência Florestal**, v. 33, n. 3, p. e66202, 2023.

FLORENCIO, C.; SANTOS, R. B.; FAVARO, C. P.; BRONDI, M. G.; VELLOSO, C. C. V.; KLAIC, R.; RIBEIRO, C.; FARINAS, C. S.; MATTOSO, L. H. Avanços na produção e formulação de inoculantes microbianos visando uma agricultura mais sustentável. **Química Nova**, v. 45, p. 1133-1145, 2022.

FRANCESCHI, É. D.; SALDANHA, C. W.; MISSIO, E. L.; STEFFEN, G.P. Vermicomposto na composição do substrato para produção de mudas de *Schinus terebinthifolius*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, 2018.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, v. 84, n. 3, p. 489–500, 1980.

GOELZER, A.; SILVA, O. B.; SANTOS, F. H. M.; SANTOS, C. C.; ZÁRATE, N. A. H.; VIEIRA, M. C. Photosynthetic performance, nutrition and growth of *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg. in chicken manure substrate and liming. **Floresta e Ambiente**, v. 28, n. 2, 2020.

GOMIDE, P. H. O.; SANTOS, J. G. D.; SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S. Diversity and function of arbuscular mycorrhizal fungi in host species succession. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 1483-1490, 2009.

GUERRA, A.; RODRIGUES, F.; MARIA. Recuperação de voçorocas e de áreas degradadas, no Brasil e no mundo - estudo de caso da voçoroca do Sacavém - São Luís – MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 00, 2023.

LARA, T. S.; SANTOS, J. A.; CORREIA, T. S.; SOUSA, L. S. Influência da densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares nativos da Savana no desenvolvimento do milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia/Brazilian Journal of Science of the Amazon**, v. 9, n. 4, p. 21-28, 2020.

LAMBAIS, É. O.; SOUZA, T. A. F.; KÉSSIA, P.; NASCIMENTO, G. S.; MACEDO, R.; BAKKER, A. P.; LAMBAIS, G. R.; DIAS, B. O.; FRAGA, V. S. Seasonality and activity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of endemic tree species. **Journal of Basic Microbiology**, v. 64, n. 11, 2024.

LEKBERG, Y.; WALLER, L. P. What drives differences in arbuscular mycorrhizal fungal communities among plant species? **Fungal Ecology**, v. 24, p. 135–138, 2016.

MEDEIROS, G. S.; MOREIRA, F. W.; OLIVEIRA, L. A. Colonizações radiculares por fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em áreas degradadas pela exploração petrolífera no Estado do Amazonas, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 2, p. 27-34, 2021.

MOREIRA, F. W.; OLIVEIRA, C. M.; MAIA, J. Z.; OLIVEIRA, L. A. Fungos micorrízicos arbusculares nas plantas e características químicas dos solos de clareiras da Província Petrolífera de Urucu, AM. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 5, p. 56–68, 2019.

OLIVEIRA, J. J. Q.; JESUS, E. C.; SOUZA, R. C.; SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G. A mixture of arbuscular mycorrhizal fungi favors Brazilian pepper seedlings under an intermediate level of soil phosphorus. **Revista Caatinga**, v. 35, p. 641-648, 2022.

OLIVEIRA, K.; SANTOS, T. F. S.; ROSA, C. R. J.; VIEIRA, R. C.; RODRIGUES, D. J.; GUEDES, S.; WEBER, O. L. S. Alteração da biodiversidade microbiana do solo devido ao cultivo agrícola: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 15, p. e396111537168-e396111537168, 2022.

OLIVEIRA, M. M.; GALVÃO, E. K. S.; SOUZA, C. L. M.; BOAVENTURA, V. J.; OLIVEIRA, L. M.; CASTRO, M. T. N.; PELACANI, C. R. Crescimento e partição de massa seca em plantas jovens de amburana (*Amburana cearensis* (Fr. All.) A. C. Smith) e de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.). **Ciência Florestal**, v. 29, n. 3, p. 1142–1153, 2019.

Organização das Nações Unidas (ONU). Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, 2024.

PEREIRA, L. C.; GOMES, M. A. F.; TOSTO, S. G.; GALDINO, S.; PARENTE, T. L. O solo no contexto dos serviços ecossistêmicos e serviços ambientais na Amazônia. Brasília, DF: **Embrapa**, 2023.

POUYU, R. E.; SIQUEIRA, J. O.; SANTOS, J. G. D. Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com espécies arbóreas tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 413-424, 2006.

PINHO, J. B.; SANTANA, M. A.; OLIVEIRA, M. N. Clima e solo de Cruz das Almas. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, p.19, 1992.

R Core Team. *R: A language and environment for statistical computing*. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, 2022.

SILVA, D. F.; VILLA, F.; PIVA, A. L.; KLOSOSWI, E. S.; MEZZALIRA, E. J. Emergência e desenvolvimento de mudas de fisális sob telas de sombreamento coloridas e pleno sol. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 19, n. 2, p. 139-148, 2020.

SILVA, O. M. C.; HERNÁNDES, M. M.; ARAÚJO, G. C. R.; CUNHA, F. L.; EVANGELISTA, D. V. P.; LELES, P. S. S.; MELO, L. A. Potencial uso da casca de café como constituinte de substrato para produção de mudas de espécies florestais. **Ciência Florestal**, v. 30, p. 1161-1175, 2020.

SMITH, S. E.; READ, D. J. Mycorrhizal symbiosis. 3rd ed. Amsterdam: **Academic Press**, 2008. 787 p.

SOARES, M. T. S.; GAIAD, S.; RESENDE, A. S.; MENEZES, G. I.; FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. Qualidade de mudas de espécies arbóreas procedentes do Bioma Pantanal e inoculadas com fungos micorrízicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 91, p. 311-322, 2017.

SAGGIN JÚNIOR, O. J.; FREIRE, J. M.; RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C.; SILVA, C. F.; SILVA, E. M. R. **Inoculação de mudas de espécies florestais com fungos micorrízicos arbusculares: avanços na produção e legislação**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2022. 120 p.

SANTOS, G. R.; SILVA, E. M. R.; SAGGIN, O. J.; SILVA, C. F. Fungos micorrízicos arbusculares nativos ou exóticos em mudas de angico e braúna. **Ciência Florestal**, v. 34, n. 2, p. e63996, 2024.

SOUSA, N. A.; SILVA, K. B.; OLIVEIRA, A. N.P.; AGUIAR, V. A. PINTO, M.S.C. Emergência e crescimento inicial de plântulas de *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Swartz sob diferentes substratos. **Agropecuária Técnica**, v. 35, n. 1, p. 106–112, 27, 2014.

STÜRMER, S. L.; KEMMELMEIER, K. The *Glomeromycota* in the neotropics. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, p. 553679, 2021.

TROVATO, V. W.; SOUZA, G. G.; SANTOS, S. C.; CARVALHO, L. G. V.; MEDEIROS, E. S.; BIAZATTI, R. M.; SANTOS, C. C.; TORALES, E. P.; CARVALHO, R. L.; SANTOS, V. C. Fungos micorrízicos arbusculares, fósforo e resíduos orgânicos em mudas de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. e276160, 2024.

VERGARA, C.; ARAUJO, K. E. C.; SOUZA, S. R. DE; SCHULTZ, N.; SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SPERANDIO, M. V. L.; ZILLI, J. É. Plant-mycorrhizal fungi interaction and response to inoculation with different growth-promoting fungi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, e25140, 2019.

VIEIRA, M. O. C. S.; REIS, A. A.; FARIA, L. R.; RIBEIRO, K. D. Utilização de adubo fosfatado e inoculante à base de fungo micorrízico no cultivo do feijão. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 19, n. 1, p. 16-24, 2021.

WINAGRASKI, E.; KASCHUK, G.; MONTEIRO, P. H. R.; AUER, C. G.; HIGA, A. R. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in forest ecosystems of Brazil: a review. **CERNE**, v. 25, n. 1, p. 25–35, 2019.

CAPÍTULO 2

BIOINSUMO E SUBSTRATOS NA NUTRIÇÃO DE MUDAS DE *Theobroma cacao* L.

RESUMO: Objetivou-se avaliar os efeitos da inoculação com FMA no desenvolvimento de mudas de cacauete cultivadas com substratos constituídos de composto orgânico e amostras de Latossolo amarelo distrocoeso. A parte aérea das mudas de *Theobroma cacao* L. variedade CCN51 utilizadas para compor o presente estudo foram oriundas de um experimento instalado em viveiro (sombrite 65%) da Fazenda Experimental do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (CCAAB) na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Campus em Cruz das Almas, Bahia. As mudas foram cultivadas com dez tratamentos dispostos em arranjo fatorial (5 x 2) sendo o primeiro fator constituído de cinco proporções de solo (Latossolo Amarelo distrocoeso) (LAd) misturados ao composto orgânico na proporção (0:100, 20:40, 40:60, 60:40 e 80:20) (v:v) e o segundo: sem e com inoculação do fungo micorrízico FMA *Rhizophagus intraradices*, a partir do inóculo comercial Rootella® BR ULTRA. Após 60 dias da semeadura, as mudas foram segmentadas em parte aérea e raízes, para as avaliações da intensidade e da taxa de colonização, assim como as análises nutricionais. Não houve efeito da inoculação de FMA (*R. intraradices*) na variedade *T. cacao* CCN51. Os teores foliares de P e de Na foram influenciados pelas composições dos substratos de cultivo. O substrato formulado com 39:61 composto orgânico:solo (v:v) foi o que proporcionou melhor equilíbrio nutricional das mudas de cacauete.

Palavras-chave: inoculação, intensidade de colonização, *Rhizophagus intraradices*, *Theobroma cacao*

BIOINPUTS: A SUSTAINABLE APPROACH TO COCOA CROP NUTRITION

ABSTRACT: The objective was to evaluate the effects of AMF inoculation on the development of cacao seedlings grown in substrates composed of organic compost and samples of dystrophic cohesive Yellow Latosol. The aerial parts of the *Theobroma cacao* L. variety CCN51 seedlings used in this study were obtained from an experiment conducted in a nursery (65% shade cloth) at the Experimental Farm of the Center for Agricultural, Environmental, and Biological Sciences (CCAAB) at the Federal University of Recôncavo da Bahia (UFRB), Campus in Cruz das Almas, Bahia, Brazil. The seedlings were cultivated under ten treatments arranged in a factorial design (5 × 2), with the first factor consisting of five proportions of soil (cohesive dystrophic Yellow Latosol - LAd) mixed with organic compost in the ratios of 0:100, 20:40, 40:60, 60:40, and 80:20 (v:v), and the second factor being the absence or presence of inoculation with the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus intraradices*, using the commercial inoculum Rootella® BR ULTRA. Sixty days after sowing, the seedlings were separated into shoot and root parts for evaluations of colonization intensity and rate, as well as nutritional analyses. No effect of AMF inoculation (*R. intraradices*) was observed on the *T. cacao* CCN51 variety. Leaf P and Na contents were influenced by the composition of the cultivation substrates. The substrate formulated with 39:61 organic compost:soil (v:v) provided the best nutritional balance for the cacao seedlings.

Keywords: colonization intensity, inoculation, *Rhizophagus intraradices*, *Theobroma cacao*.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa uma posição de destaque na produção mundial de cacau (*Theobroma cacao L.*), sendo o sétimo maior produtor global, com uma produção anual de 265 mil toneladas (FAO, 2024). A região Norte lidera a produção nacional, contribuindo com 53,2% do total, enquanto a região Nordeste, representada exclusivamente pela Bahia, concentra 69,7% da área cultivada. Na Bahia, o cultivo se estende por 403 mil hectares, com uma produção de 111,4 mil toneladas (BRAINER, 2021).

A maior parte do cultivo de cacau no Brasil é conduzida por pequenos agricultores, com mais de 3 milhões de pessoas envolvidas na cadeia produtiva (REIS; SOARES; REGO, 2020; LIMA et al., 2024). Dados indicam que 52,7% dos produtores possuem áreas menores que 10 hectares, e 80,4% deles pertencem ao setor da agricultura familiar (IBGE, 2017). Esse cenário reforça a importância de estratégias sustentáveis e economicamente viáveis, especialmente no contexto da agricultura familiar, onde a utilização de recursos locais é uma prática essencial.

Entre as práticas sustentáveis, destaca-se o uso de bioinsumos, incentivado pelo Programa Nacional de Bioinsumos (PBN), instituído pelo Decreto nº 10.375/2020. Esses insumos, originados de organismos vivos, possuem o potencial de melhorar a produtividade, reduzir impactos ambientais e promover o reaproveitamento de resíduos orgânicos (BRASIL, 2020).

A produção de bioinsumos para mudas de cacau é essencial para promover um cultivo mais sustentável. Os bioinsumos incluem microrganismos benéficos, extratos vegetais e substâncias naturais que ajudam no desenvolvimento das plantas, melhoram a fertilidade do solo e contribuem para o controle biológico de pragas e doenças. Neste contexto, a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) apresenta resultados promissores, contribuindo para maior absorção de nutrientes e resistência a condições adversas (SANTOS et al., 2020). Em estudo realizado no Sul da Bahia em uma região produtora de cacau foram registrados esporos de fungos micorrízicos em todas as amostras de solo coletadas e as plantas de cacau apresentavam estruturas fúngicas (esporos, vesículas e arbúsculos) no interior de suas raízes. Houve o relato de um total de 23 diferentes espécies de fungos micorrízicos arbusculares, destacando-se os gêneros *Glomus* e *Acaulospora* (SANTOS et al., 2020), o que

comprova a necessidade de estudos para selecionar inoculantes fúngicos mais eficientes em promover melhor crescimento das mudas.

A produção de mudas de qualidade é um elemento central para a sustentabilidade do cultivo de cacau, especialmente para comunidades tradicionais, como quilombolas, pequenos produtores e mulheres agricultoras. Essas práticas reduzem a dependência de insumos químicos, promovem maior autonomia financeira e fortalecem a segurança alimentar (VIEIRA et al., 2021).

Diante disso, este trabalho busca avaliar os efeitos da inoculação com fungos micorrízicos no desenvolvimento de mudas de cacau cultivadas em substratos organominerais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A instalação e a condução do experimento descrito neste capítulo foram realizadas anteriormente por Malheiros (2023). As atividades incluíram o preparo dos substratos, a semeadura, o manejo das mudas e a aplicação dos tratamentos experimentais. As análises relacionadas à nutrição foliar e colonização micorrízica, apresentadas neste trabalho, foram conduzidas pela autora desta dissertação, conforme os procedimentos metodológicos descritos nas seções seguintes.

A parte aérea das mudas de *Theobroma cacao* L. variedade CCN51 utilizadas para compor o presente estudo foram oriundas de um experimento instalado em viveiro (sombrite 65%) da Fazenda Experimental do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (CCAAB) na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Campus em Cruz das Almas, Bahia.

As mudas foram cultivadas com dez tratamentos dispostos em arranjo fatorial (5 x 2) sendo o primeiro fator constituído de cinco proporções de solo (Latosolo Amarelo distrocoeso) (LAd) misturados ao composto orgânico na proporção (0:100, 20:40, 40:60, 60:40 e 80:20) (v:v) e o segundo: sem e com inoculação do fungo micorrízico FMA *Rhizophagus intraradices*, a partir do inóculo comercial Rootella® BR ULTRA. Detalhes experimentais da condução do cultivo podem ser consultados em Malheiros (2023).

Após 60 dias da semeadura, as mudas foram segmentadas em parte aérea e raízes, para as avaliações da intensidade e da taxa de colonização, assim como

as análises nutricionais.

A análise da intensidade de colonização radicular nas amostras de raízes foi conduzida seguindo o método de Rheinheimer e Kaminski (1995). As etapas envolveram a preparação e preservação das raízes em álcool a 70%, lavagem com água corrente, imersão em KOH 10% para clareamento, aquecimento em banho-maria a 90°C, aplicação de água oxigenada para clarificação e seleção das raízes mais claras. As raízes selecionadas foram coradas com solução de tinta Parker e ácido acético a 90°C, seguidas de imersão em lacto-glicerol. A intensidade da colonização foi determinada observando estruturas fúngicas (vesículas, arbúsculos e hifas) em microscópio com aumento de 100x e classificando-se de 1 a 5: 1 (sem colonização), 2 (1%-25% de colonização), 3 (26%-50%), 4 (51%-75%) e 5 (colonização superior a 75%). A porcentagem de colonização micorrízica foi avaliada por microscópio estereoscópico, usando o método da placa quadriculada de Giovannetti e Mosse (1980), e calculada pela fórmula: $CM\% = SC/(SC+SN) \times 100$, onde CM representa a colonização micorrízica, SC o número de segmentos colonizados, e SN o número de segmentos não colonizados interceptados nos quadrados.

A parte aérea das plantas foi seca em estufa de circulação de ar forçado a 65°C até a que se atingisse a massa constante. Após a secagem, procedeu-se também à moagem para análise química, determinando-se os teores nutricionais de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e sódio (Na), seguindo os métodos descritos por (LIMA; MALAVOLTA et al., 1997).

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilke a 5% e em seguida foram submetidos à análise de variância. Quando houve interação significativa, desdobrou-se os efeitos das porções dentro de cada nível de inoculante. Para as porções de substrato organomineral foi realizada análise de regressão e para a inoculação com FMA o teste de F, utilizando o software R (R Foundation for Statistical Computing).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação as variáveis relacionadas a % colonização e intensidade de raízes infectadas pelas micorrizas, não houve efeitos dos tratamentos estudados (Tabela 1). Embora inoculado em alto número de propágulos nas sementes, se não houver compatibilidade entre a espécie fúngica de FMA e a variedade da espécie a simbiose pode não ser efetiva. SANTOS et al. (2020) comprovaram a necessidade de estudos para selecionar inoculanres fúngicos mais eficientes em promover melhor crescimento das mudas de cacauero uma vez que 23 diferentes espécies de fungos micorrízicos arbusculares, destacando-se os gêneros *Glomus* e *Acaulospora* foram encontradas nas plantas de cacauero em condições de campo. Como os substratos não foram esterilizados, os propágulos de fungos presentes nos mesmos podem também ter se estabelecido primeiro em relação ao inóculo pelos sítios de infecção.

Tabela 1 - Análise de variância para as variáveis taxa de colonização (%) e intensidade de micorrização (%) de mudas de *Theobroma cacao* L. cultivadas em substratos organominerais constituídos de proporções de composto orgânico e amostra de Latossolo Amarelo distrocoeso (SUBS) em função da inoculação (FMA).

TRATAMENTO	SQ	QM	Fc	Pr>Fc ²
% de colonização				
SUBS	0,0192	0,00480425	0,58403	0,6773 ^{ns}
FMA	0,0004	0,000356	0,04322	0,8371 ^{ns}
SUBSXFMA	0,0759	0,018975	2,30669	0,0887 ^{ns}
CV	27,56%	-	-	-
Intensidade				
SUBS	0,026	0,0051936	1,27549	0,3084 ^{ns}
FMA	0,0014	0,000689	0,27076	0,6078 ^{ns}
SUBSXFMA	0,0162	0,00540167	0,79596	0,54 ^{ns}
CV	30,42%	-	-	-

Legenda: * efeito individual significativo a 5%.

Autora: Fernanda Gama

Já para as variáveis teores de fósforo (P) e o sódio (Na) presentes na matéria seca da parte aérea das mudas de cacauero cultivadas com os substratos constituídos de diferentes proporções de composto orgânico e amostra de solo (PROP) combinados com a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA), houve efeito da interação entre os tratamentos. Contudo, para os teores de

N e de K, não houve efeito dos tratamentos estudados (Tabela 1).

Tabela 2 - Resumo do quadro de análise de variância da nutrição foliar das mudas de *Theobroma cacao* L. em função das proporções de composto organomineral com (CF) e sem inoculação micorrízica (SF).

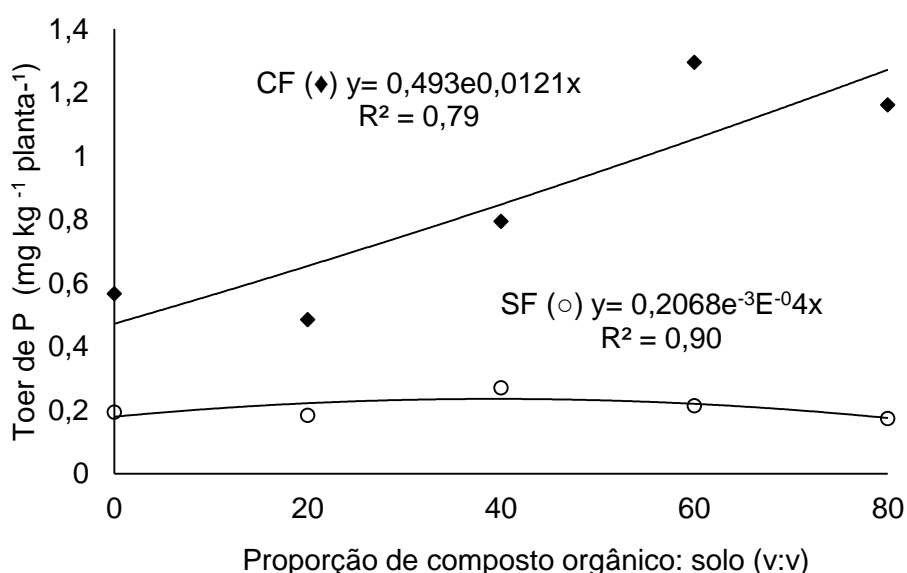
FV ¹	Quadrado Médio				
	GL ²	N ³	P ⁴	K ⁵	Na ⁶
PROP	4	749,25 ^{ns}	0,194725 ^{**}	2,3683 ^{ns}	0,685 ^{**}
FMA	1	23641 ^{ns}	3,2002 ^{**}	0,927 ^{ns}	0,229 ^{**}
PROX ³ FMA	4	450,25 ^{ns}	0,1926 ^{**}	1,3085 ^{ns}	1,4395 ^{**}

Legenda:¹ FV - Fonte de variação, ² GL - Grau de liberdade, ³ N - nitrogênio ⁴ P - fósforo, ⁵ K - potássio, ⁶ Na - sódio, (** interação significativo a 5%, *efeito individual significativo a 5% de probabilidade e ns: não significativo).

Autora: Fernanda Gama

No tratamento com FMA, observa-se uma resposta linear crescente nos teores de P das mudas de cacau. Já no tratamento sem inoculação, há uma tendência de estabilidade no teor de P com o aumento do substrato. Isso indica que, na ausência de micorrizas, o acréscimo do composto organomineral não contribuiu significativamente para o aumento do teor de P (Figura 2).

Figura 2 - Teor de fósforo (P) em mudas de cacau (*Theobroma cacao* L.) em função das proporções de composto organomineral com (CF) e sem inoculação micorrízica (SF).

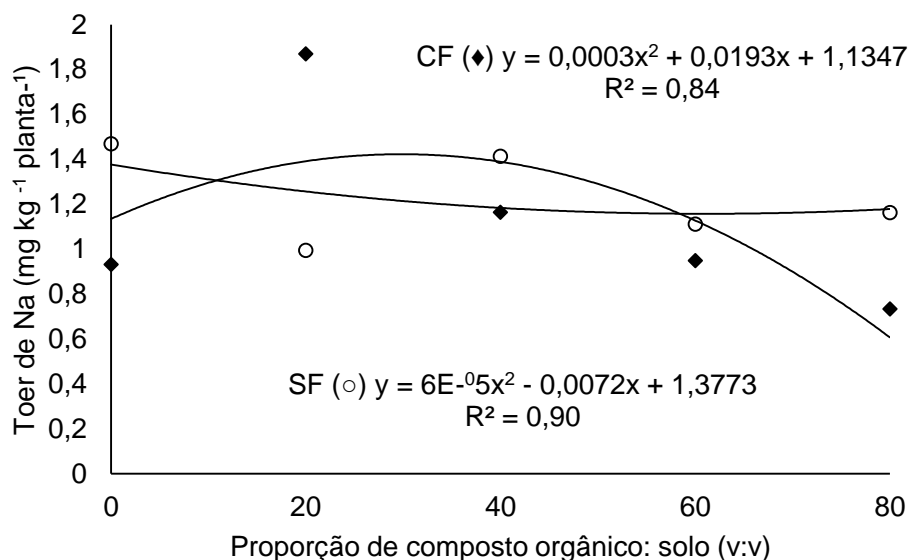


Legenda: CF: Plantas com inoculação de fungo micorrízico arbuscular FMA; SF: Plantas sem inoculação de fungo micorrízico; R²: Coeficiente de determinação das regressões.

Autora: Fernanda Gama

Com relação ao teor de sódio (Na) nas mudas de cacauete houve aumento no conteúdo de Na até uma proporção intermediária do composto, seguido de redução. Por outro lado, na ausência de FMA (SF), os teores de sódio se mantiveram inferiores em comparação ao tratamento com inoculação (Figura 3).

Figura 3 - Teor de sódio (Na) em mudas de cacauete em função das proporções de composto organomineral com (CF) e sem inoculação micorrízica (SF).



Legenda: CF: Plantas com inoculação de fungo micorrízico arbuscular FMA; SF: Plantas sem inoculação de fungo micorrízico; R²: Coeficiente de determinação das regressões.

Autora: Fernanda Gama

Embora o sódio não seja considerado um nutriente essencial para o cacauete, pode contribuir para funções osmóticas e para a homeostase iônica, especialmente em condições de estresse. Além disso, a absorção de sódio permite a remobilização de potássio para tecidos prioritários, como os fotossintéticos, aliviando o estresse oxidativo e estimulando a eficiência no uso da água e a assimilação de CO₂ (GATTWARD et al., 2012). A inoculação com FMA resultou em maiores teores foliares de Na nas quando as mudas foram cultivadas no substrato (38:62, composto:solo, v:v). O sódio é um elemento abundante no composto orgânico que, segundo Malheiros (2023) apresentou na composição o teor de 824 mg kg⁻¹. Esse valor pode ser considerado relativamente alto, dependendo do tipo de solo e das necessidades da planta. O sódio (Na) não é um nutriente essencial para a maioria das plantas e, em concentrações elevadas, pode ser prejudicial,

causando toxidez, desequilíbrio na absorção de outros nutrientes além de problemas de salinidade no solo. Dessa forma, este estudo confirma a necessidade de pesquisas para ajustar as formulações de substratos mais adequadas a cada cultura.

4. CONCLUSÕES

Não houve efeito da inoculação de FMA (*R. intradices*) na variedade *T. cacao* CCN51.

Os teores foliares de P e de Na foram influenciados pelas composições dos substratos de cultivo. O substrato formulado com 38:62 composto orgânico:solo (v:v) foi o que proporcionou melhor equilíbrio nutricional das mudas de cacaueteiro.

5. REFERÊNCIAS

- BRAINER, M. S. C. P. **Produção de cacau. Caderno Setorial ETENE**, 2021.
- FAO - **Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura**. O poder do chocolate: cacau orgânico tira pequenos agricultores da pobreza no Brasil. **FAO**, 2020.
- GATTWARD, J. N.; ALMEIDA, A. A. F.; SOUZA, J. O. J.; GOMES, F. P. Sodium-potassium synergism in *Theobroma cacao*: stimulation of photosynthesis, water-use efficiency and mineral nutrition. **Physiologia Plantarum**, v. 146, n. 3, p. 350–362, 28 abr. 2012.
- GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, 84(3), 489–500, 1980.
- IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2017**.
- LIMA, F. O. F. DE; MALAVOLTA, E. Sintomas de desordens nutricionais em estévia (*Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni). **Scientia Agricola**, v. 54, n. 1-2, p. 53–61, 1997.
- LIMA, S. W.; TRINDADE, P. S. C.; SALES, T. M.; SILVA, T. M. Omissão de nutrientes em mudas de cacauero. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 1, p. 1296–1312, 2024.
- MALHEIROS, E. M. Crescimento inicial de cacauero inoculado com fungo micorrízico arbuscular em substratos organominerais. 2023. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Agroecologia) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2023.
- REIS, S. T.; SOARES, N. S.; REGO, L. J. S. Conformação da produção de cacau no Sul da Bahia com a legislação florestal brasileira. **Gaia Scientia**, [S. l.], v. 14, n. 4, 2020.
- RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J. Modificações na metodologia de determinação de fósforo em solos pelo método de ancoragem com resina. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 467–470, 1995.
- SANTOS, M. A. N.; SOUSA, C. S.; GROSS, E.; OLIVEIRA, L. J. X. F.; LIMA, T. M.; GOTO, B. T. Fungos micorrízicos arbusculares na cultura do cacauero I: ocorrência e diversidade em sistemas cacau-cabruca. **Agrotrópica**, v. 32, n. 3, p. 189–196, 2020..
- VIEIRA, M. O. C. S.; REIS, A. A.; FARIA, L. R.; RIBEIRO, K. D. Utilização de adubo fosfatado e inoculante à base de fungo micorrízico no cultivo do feijão. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 19, n. 1, p. 16-24, 2021.