

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE PARINTINS
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**Avaliação da Eficácia do Extrato Aquoso da Erva-de-Passarinho
(*Struthanthus spp.*) da Amazônia na Proteção da Madeira Comercial
Marupá (*Simarouba amara*) Frente ao Ataque do Fungo *Lentinus
crinitus*.**

PARINTINS – AM

2026

GABRIEL DA SILVA SOUSA

**Avaliação da Eficácia do Extrato Aquoso da Erva-de-Passarinho
(*Struthanthus spp.*) da Amazônia na Proteção da Madeira Comercial
Marupá (*Simarouba amara*) Frente ao Ataque do FBungo *Lentinus
crinitus*.**

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas do Centro de Estudos Superiores de Parintins, da Universidade do Estado do Amazonas como requisito obrigatório ao Trabalho de Conclusão de Curso e obtenção do grau de Licenciado em Ciências Biológicas.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Ademir Castro e Silva

PARINTINS – AM

2026

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

S725a

Sousa, Gabriel da Silva

Avaliação da Eficácia do Extrato Aquoso da Erva-de-Passarinho (*Struthanthus* spp.) da Amazônia na Proteção da Madeira Comercial Marupá (*Simarouba amara*) Frente ao Ataque do Fungo *Lentinus crinitus*. / Gabriel da Silva Sousa. Manaus : [s.n], 2026.

59 f.: il., color.; 21.0 cm.

TCC - Graduação em Ciências Biológicas- Licenciatura-
Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2026.

Inclui Bibliografia.

Orientador: Ademir Castro e Silva.

1. Extrato. 2. Preservativo natural. 3. Fungos xilófagos. 4.
Biotecnologia. I. Ademir Castro e Silva (Orient.) II. Universidade do
Estado do Amazonas. III. Título

CDU(1997)57

GABRIEL DA SILVA SOUSA

**Avaliação da Eficácia do Extrato Aquoso da Erva-de-Passarinho
(*Struthanthus spp.*) da Amazônia na Proteção da Madeira Comercial
Marupá (*Simarouba amara*) Frente ao Ataque do FBungo *Lentinus
crinitus*.**

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas do Centro De Estudos Superiores de Parintins, da Universidade do Estado do Amazonas como requisito obrigatório ao Trabalho de Conclusão de Curso e obtenção do grau de licenciado em Ciências Biológicas.

ORIENTADOR (A): Ademir Castro e Silva

Aprovado em 15 de junho de 2026 pela Comissão Examinadora.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



ADEMIR CASTRO E SILVA

Data: 18/06/2026 19:12:10-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Ademir Castro e Silva
Presidente

Documento assinado digitalmente



JORGE PONTES KOIDE

Data: 18/06/2026 21:21:16-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jorge Pontes Koide
Membro Titular

Documento assinado digitalmente



ADRIANA DA SILVA NUNES

Data: 18/06/2026 17:05:55-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Adriana da Silva Nunes
Membro Titular

Agradecimentos

Quero agradecer primeiramente a Deus, acima de tudo, pela vida, pela presença constante que me sustentou nos dias de cansaço e pela força que renovou minhas esperanças a cada obstáculo. Sou grato por ter me permitido alcançar mais esta conquista, sabendo que, em cada passo dessa jornada, sua mão esteve comigo. A Universidade do Estado do Amazonas, Campus de Parintins, por toda a estrutura concedida para a realização desta pesquisa. Ao meu orientador, Prof. Dr. Ademir Castro e Silva, minha eterna gratidão. Obrigado por ter dedicado seu tempo, por estar sempre disponível, por compartilhar sua experiência com generosidade e por exercer um olhar tão crítico quanto construtivo. A todos os professores do Curso de Ciências Biológicas, que com dedicação e sabedoria ajudaram a construir as estruturas da nossa vida acadêmica. Cada aula, cada conversa, cada desafio lançado foi um tijolo nessa formação. À pesquisadora Dra. Adriana da Silva Nunes, um agradecimento especial. Você foi uma pessoa de extrema importância para a realização desta pesquisa, não apenas pelo seu conhecimento técnico, mas também pela forma motivacional e incentivadora com que me acolheu, foram suas orientações que me ajudaram a superar os desafios, levarei comigo todos os ensinamentos. Sua confiança no meu trabalho fez toda a diferença. Aos meus queridos colegas da equipe de pesquisa do LABEF, Eduardo Marinho Batalha e Solane Hilloury Oliveira da Silva, meu muito obrigado. Vocês me ajudaram arduamente durante aqueles longos períodos de coleta e análise. Sou grato por sempre estarem comigo, mesmo nos momentos mais difíceis dentro do laboratório. Sem vocês, essa caminhada teria sido muito mais solitária. E, por fim, aos meus familiares, em especial aos meus pais, que sempre estiveram comigo durante toda essa jornada acadêmica. Vocês foram meu porto seguro, minha torcida incondicional e minha razão para continuar. Este trabalho é também de vocês.

Resumo

O estudo avaliou a eficácia do extrato aquoso da erva-de-passarinho (*Struthanthus* spp.) na proteção da madeira de marupá (*Simarouba amara*) contra o fungo xilófago *Lentinus crinitus*. Para isso, as amostras de madeira de marupá foram divididos em dois grupos: um grupo tratado com imersão prévia no extrato aquoso a 5% por 72 horas e um grupo controle sem tratamento. Ambos os grupos foram incubados com o fungo por 120 dias em condições laboratoriais. Os resultados demonstraram que as amostras de madeira tratadas apresentaram perda de massa significativamente menor em comparação aos controles não tratados, com diferença estatística ao nível de 95% de significância ($p < 0,05$). Esse efeito protetor foi atribuído à presença de compostos bioativos, como triterpenos e fenóis, presentes na planta, que atuam inibindo enzimas fúngicas responsáveis pela degradação da parede celular da madeira. Conclui-se que o extrato aquoso da erva-de-passarinho apresenta potencial como preservativo natural, ecológico, renovável e de baixo custo, sendo uma alternativa viável aos preservantes químicos sintéticos para espécies lenhosas de baixa durabilidade natural, como o marupá.

Palavras-chave: extrato, preservativo natural, fungos xilófagos, biotecnologia

Abstract

The study evaluated the efficacy of the aqueous extract of mistletoe (*Struthanthus* spp.) in protecting marupá wood (*Simarouba amara*) against the xylophagous fungus *Lentinus crinitus*. To this end, marupá wood samples were divided into two groups: a treated group with prior immersion in 5% aqueous extract for 72 hours and an untreated control group. Both groups were incubated with the fungus for 120 days under laboratory conditions. The results demonstrated that the treated wood samples showed significantly lower mass loss compared to the untreated controls, with statistical difference at the 95% confidence level ($p < 0.05$). This protective effect was attributed to the presence of bioactive compounds, such as triterpenes and phenols, present in the plant, which act by inhibiting fungal enzymes responsible for wood cell wall degradation. It is concluded that the aqueous extract of mistletoe has potential as a natural, ecological, renewable, and low-cost preservative, being a viable alternative to synthetic chemical preservatives for woody species with low natural durability, such as marupá.

Key-words: extract, natural preservative, wood biodeterioration, biotechnology.

LISTA DE FIGURAS

Figura1- Representação esquemática do processo de degradação da parede celular da madeira por fungos xilófagos. Fonte: Haygreen & Bowyer (1982, p. 257)	19
Figura 2- Fungo <i>Lentinus crinitus</i> coletado	36
Figura 3- Assepsia do Fungo <i>Lentinus crinitus</i>	37
Figura 4- Confeção das amostras de madeira <i>Simarouba amara</i> (corpos de prova)	37
Figura 5- Amostras de marupá (<i>Simarouba amara</i>) embebidos em extrato aquoso de erva-de-passarinho (<i>Struthanthus spp</i>)	38
Figura 6- Aspecto das amostras de marupá com extrato (B) e sem extrato (A)	38
Figura 7- Aspecto das amostras de marupá no início da incubação	39
Figura 8- Formula para calcular percentual de eficiência preservativa	39
Figura 9- Isolado de <i>Lentinus crinitus</i> em meio de cultura BDA	40
Figura 10- Aspecto das amostras de marupá após 120 dias de incubação	40
Figura 11- Media da perda de peso (g) das amostras impregnadas e não impregnadas com o extrato de <i>Struthanthus sp</i> após inoculação com <i>Lentinus crinitus</i>	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Produtos com potencial de comercialização como preservantes ecológicos	31
Tabela 02: Comparativo entre preservantes sintéticos e biológicos/ecológicos	33
Tabela 03: Características preservativas da madeira de <i>Simarouba amara</i> sob ataque de <i>Lentinus crinitus</i>	40
Tabela 04: Classe de resistência da madeira de acordo com ASTM-D 2017.....	41

Sumário

1.	Introdução	10
2.	Justificativa.....	12
3.	Objetivos.....	14
3.1	Objetivo Geral.....	14
3.2	Objetivos Específicos.....	14
4.	Referencial Teórico	15
4.1	A Vulnerabilidade da Madeira Marupá (<i>Simarouba amara</i>) e Seu Aspecto Socioeconômico e Comercial.....	15
4.2	A Química da Madeira.....	17
4.2.1	Componentes Estruturais da Parede Celular	17
4.3	Componentes Extrativos e sua Importância	17
4.4	Natureza de um Fungo de decomposição e o <i>Lentinus crinitus</i>	19
4.4.1	Condições Necessárias Para A Degradação.....	20
4.5	Ação Enzimática e Bioquímica do Apodrecimento.....	21
4.6	Preservantes Naturais como Alternativa Sustentável.....	22
4.7	Potencial dos Extratos Vegetais da Amazônia para proteção da madeira: Perspectivas para a Indústria Madeireira	23
4.8	Erva-de-Passarinho (<i>Struthanthus</i> spp.): Potencial Biotecnológico e Aplicações	25
4.9	Mecanismos de Ação dos Compostos Bioativos e Propriedades Químicas	27
4.9.1	Indústria Farmacêutica (Atividade Antimicobacteriana e Antimicrobiana).....	27
4.9.2	Controle de Fitopatógenos (Agroquímica).....	28
4.9.3	Cosmética e Cicatrização de Feridas (Propriedades Antioxidantes e Reparo Tecidual).....	28
4.9.4	Nanotecnologia (Síntese Verde de Nanopartículas).....	29
4.10	Proteção da Madeira com Preservantes do Mercado Industrial: Preservantes Químicos Sintéticos	30
4.10.1	Preservantes Ecológicos e de Base Biológica	31

4.10.2	Comparativo de Eficácia e Aplicabilidade.....	32
4.10.3	Toxicidade Comparativa: Sintéticos Versus Naturais.....	34
4.11	A Problemática dos Preservantes Sintéticos e os Desafios para a Industrialização.....	34
5.	Metodologia	36
5.1	Preparo do Extrato Aquoso	36
5.2	Coleta, Assepsia e Isolamento do Fungo <i>Lentinus Crinitus</i>	36
5.3	Confecção das amostras de <i>Simarouba amara</i> (corpos de prova).....	37
5.4	Tratamentos e Incubação.....	38
6.	Resultados.....	40
7.	Discussão.....	43
8.	Conclusão.....	47
9.	Considerações Finais	48
10.	Referências Bibliográficas	49
11.	Publicações Referente ao trabalho.....	55

1. Introdução

A degradação da madeira causada por fungos representa um dos principais desafios para a indústria madeireira e para a construção civil, especialmente na região amazônica, onde a umidade e a temperatura elevadas favorecem a proliferação desses microrganismos. Espécies como o marupá (*Simarouba amara*), apesar de amplamente utilizadas por comunidades locais devido ao fácil manuseio, apresentam baixa resistência natural ao ataque de fungos xilófagos, como *Lentinus crinitus*, acelerando o processo de deterioração de estruturas, móveis e construções.

Nesse contexto, a busca por alternativas sustentáveis aos preservantes químicos convencionais tem ganhado destaque. Conforme apontam Almeida et al. (2018), extratos vegetais demonstraram atividade inseticida significativa na preservação da madeira, reduzindo a degradação causada por insetos xilófagos. Esses resultados sugerem potencial aplicação também contra outros agentes degradadores, incluindo fungos xilófagos. Amaral & Sousa (2021) também reforçam que o uso de extratos naturais como bioprotetores mostrou eficácia na proteção da madeira contra insetos, retardando o processo de degradação – princípio que pode ser aplicado ao controle fúngico.

No âmbito da química de produtos naturais, Brasil et al. (2016) destacam que a caracterização química de extratos vegetais revelou compostos com atividade inseticida capazes de inibir a degradação da madeira. Tais compostos bioativos, como os encontrados em plantas amazônicas, incluindo a erva-de-passarinho (*Struthanthus spp.*), podem apresentar também ação antifúngica, conforme sugerem Lima et al. (2017) ao avaliarem substâncias bioativas da flora amazônica.

A ação de fungos apodrecedores, especialmente os causadores de podridão-branca, é particularmente agressiva à estrutura da madeira. Farias (2023) demonstrou elevada vulnerabilidade de madeiras amazônicas de baixa densidade ao ataque de fungos xilófagos, reforçando a necessidade de métodos alternativos de proteção. Conforme demonstram Zeni, Magalhães & Auer (2004), fungos de podridão-branca degradam a lignina e os carboidratos da madeira, deixando-a com coloração esbranquiçada e comprometendo sua resistência. Em estudos de laboratório, esses autores verificaram que a madeira de *Pinus sp.* foi a menos resistente ao ataque de fungos como *Agrocybe perfecta* e um isolado não identificado, enquanto *Eucalyptus cloeziana* apresentou maior

durabilidade, sendo considerada resistente ao apodrecimento por fungos de podridão-branca. Esses achados reforçam a necessidade de proteger espécies de baixa resistência natural, como o marupá (*Simarouba amara*), por meio de tratamentos alternativos.

A diversidade de fungos xilófagos na Amazônia é ampla e inclui tanto espécies manchadoras quanto verdadeiras degradadoras de lignina. Farias (2023), em estudo de longo prazo em campo de apodrecimento no Acre, identificou 13 gêneros fúngicos atacando madeiras amazônicas, dos quais oito foram classificados como manchadores ou emboloradores e cinco degradadores de lignina (Farias, 2023). A pesquisa demonstrou que a densidade da madeira está diretamente correlacionada com a resistência à degradação biológica: espécies de alta densidade, como o canelão (*Aniba canelilla*), não foram atacadas por cupins e apresentaram a menor nota de degradação ao longo de todo o experimento, enquanto espécies de baixa densidade, como o marupá preto e o mulungu duro, degradaram 100% das amostras. Esse resultado corrobora a vulnerabilidade do marupá e justifica a aplicação de protetores naturais.

Além da densidade, o modo como os fungos lignolíticos atacam a parede celular da madeira influencia diretamente a eficácia de extratos protetores. Castro e Silva & Aguiar (1993) estudaram a micromorfologia da degradação da madeira de açacu (*Hura crepitans*) por fungos de podridão-branca como *Pycnoporus sanguineus*, *Antrodia albida* e *Tyromyces* sp., e observaram que esses fungos iniciam a colonização pelos elementos de vaso e parênquima axial, removendo seletivamente a lignina nos estágios iniciais e expondo a estrutura fibrilar da celulose. Os autores verificaram ainda que a temperatura ótima para o crescimento desses fungos situa-se entre 30-35 °C, condições típicas do ambiente amazônico, o que acelera o processo de deterioração. Nesse contexto, extratos vegetais com propriedades antifúngicas apresentam potencial para proteção da madeira. O extrato aquoso de *Struthanthus* spp. pode atuar na inibição da germinação e do crescimento micelial, retardando a colonização inicial dos tecidos lenhosos.

Diante do exposto, esta pesquisa avaliou a eficácia do extrato aquoso da erva-de-passarinho (*Struthanthus* spp.) na proteção da madeira de marupá (*Simarouba amara*) frente ao ataque do fungo *Lentinus crinitus*, buscando uma alternativa ecológica, viável e alinhada ao aproveitamento sustentável dos recursos florestais amazônicos.

2. Justificativa

Este estudo visa testar a eficácia do extrato aquoso da erva-de-passarinho (*Struthanthus* spp.) na proteção da madeira de marupá (*Simarouba amara*) contra o ataque do fungo xilófago *Lentinus crinitus*.

A degradação da madeira causada por fungos apodrecedores representa um dos principais desafios para a indústria madeireira e para a construção civil, especialmente na região amazônica, onde a umidade e a temperatura elevadas favorecem a proliferação desses microrganismos. O uso de produtos químicos sintéticos para proteção da madeira pode apresentar impactos ambientais significativos e riscos à saúde humana, conforme demonstrado por Silva (2007), que identificou efeitos genotóxicos associados a preservantes como o pentaclorofenol e o cobre-8-quinolinolato.

Alternativamente, extratos vegetais vêm sendo investigados como opções sustentáveis para a preservação da madeira. A erva-de-passarinho (família Loranthaceae), uma planta hemiparasita amplamente encontrada na Amazônia, possui compostos bioativos que podem apresentar ação antifúngica. Estudos fitoquímicos realizados com espécies congêneres, como o de Suaza-Gaviria et al. (2023), isolaram e caracterizaram compostos triterpênicos (α -amirina, β -amirina e 24-metileno cicloartanol) com conhecida atividade antifúngica. Adicionalmente, Vittorazzi et al. (2016) detectaram um alto teor de compostos fenólicos em extratos de *Struthanthus vulgaris*, correlacionando-os com sua capacidade antimicrobiana. De acordo com Liu et al. (2024), os compostos fenólicos atuam por múltiplos mecanismos contra fungos xilófagos, inibindo diretamente a ação de enzimas como celulases, hemicelulases e ligninases, exatamente aquelas responsáveis pela degradação da parede celular da madeira.

Portanto, a busca por alternativas naturais para a proteção da madeira é fundamental diante dos impactos ambientais associados aos preservantes convencionais. O marupá (*Simarouba amara*) é uma madeira de fácil manuseio, amplamente utilizada na região amazônica, mas possui baixa resistência natural ao ataque de fungos xilófagos, conforme demonstrado por Farias (2023), que observou degradação completa de amostras de marupá em campo de apodrecimento no Acre. O uso do extrato da erva-de-passarinho pode representar uma estratégia sustentável, economicamente viável e ambientalmente segura para a preservação da madeira, promovendo a valorização dos recursos florestais regionais.

Diante do exposto, a presente pesquisa se justifica pela necessidade de desenvolvimento de preservantes de origem natural, eficazes contra fungos xilófagos como *Lentinus crinitus*, que contribuam para a redução da dependência de produtos químicos sintéticos e para o aproveitamento sustentável da biodiversidade amazônica.

3. Objetivos

3.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficácia do extrato aquoso da erva-de-passarinho (*Struthanthus* spp.) na proteção da madeira de marupá (*Simarouba amara*) contra o ataque do fungo *Lentinus crinitus*.

3.2 Objetivos Específicos

- Preparar e caracterizar o extrato aquoso da erva-de-passarinho (*Struthanthus* spp.) obtido por infusão.
- Impregnar corpos de prova de madeira de marupá com o extrato aquoso nas concentrações estabelecidas.
- Submeter os corpos de prova tratados e não tratados (controle) à ação do fungo *Lentinus crinitus* em condições laboratoriais controladas.
- Avaliar a perda de massa e percentual de eficiência preservativa da madeira de marupá após o período de exposição ao fungo *Lentinus crinitus*.

4. Referencial Teórico

4.1 A Vulnerabilidade da Madeira Marupá (*Simarouba amara*) e Seu Aspecto Socioeconômico e Comercial

A literatura científica confirma que o marupá possui baixa resistência natural a organismos xilófagos. Estudos mostram que, enquanto espécies de alta densidade como o Cumaru são mais resistentes, o marupá é severamente degradado por fungos como *Trametes versicolor* (podridão-branca). A degradação envolve a redução química dos seus principais componentes (celulose, hemicelulose e lignina), o que justifica a necessidade de tratamentos protetores.

Estudo recente de Martins et al. (2024) investigou a deterioração da madeira de marupá na mesorregião do Sudeste Paraense, confirmando a vulnerabilidade da espécie ao ataque de fungos xilófagos e apontando para a necessidade de adoção de tecnologias de preservação para ampliar sua vida útil em condições de campo. Os autores destacam que, embora o marupá seja amplamente utilizado por comunidades locais devido ao fácil manuseio e trabalhabilidade, sua baixa durabilidade natural compromete seu desempenho em aplicações externas e em ambientes de alta umidade, típicos da região amazônica.

A baixa densidade do marupá, frequentemente inferior a 0,5 g/cm³, está diretamente correlacionada com sua suscetibilidade à degradação biológica. Conforme demonstrado por Farias (2023), espécies de baixa densidade como o marupá preto e o mulungu duro degradaram 100% das amostras em campo de apodrecimento no Acre, enquanto espécies de alta densidade, como o canelão (*Aniba canelilla*), não foram atacadas por cupins e apresentaram as menores notas de degradação ao longo de todo o experimento. Este resultado corrobora a vulnerabilidade do marupá e justifica a aplicação de protetores naturais.

Nesse contexto, a busca por alternativas sustentáveis aos preservantes químicos convencionais tem ganhado destaque. Conforme apontam Almeida et al. (2018), extratos vegetais demonstraram atividade inseticida significativa na preservação da madeira, reduzindo a degradação causada por insetos xilófagos. Embora o estudo desses autores seja voltado a insetos, a lógica se estende a outros agentes degradadores, como fungos. Amaral & Sousa (2021) também reforçam que o uso de extratos naturais como bioprotetores mostrou eficácia na proteção da madeira contra insetos, retardando o processo de degradação — princípio que pode ser aplicado ao controle fúngico.

A madeira de marupá (*Simarouba amara* Aubl.) é amplamente reconhecida na literatura por sua baixa resistência natural a organismos xilófagos, especialmente fungos apodrecedores. Este fato é corroborado por diversos estudos, como o de Stangerlin et al. (2013), que, ao avaliar a biodeterioração de três espécies amazônicas, observaram que o marupá, quando comparado ao cumaru (*Dipteryx odorata*), apresentou significativamente menor resistência aos fungos de podridão branca (*Trametes versicolor*) e parda (*Gloeophyllum trabeum*).

Da mesma forma, Aguiar (2022) em um estudo conduzido na Universidade do Estado do Amazonas (UEA) confirmou essa vulnerabilidade, classificando o marupá como a espécie mais suscetível à deterioração entre sete madeiras amazônicas testadas, com uma perda de massa de aproximadamente 25% após 12 semanas de exposição ao fungo *Gloeophyllum trabeum* (podridão parda).

Adicionalmente, uma dissertação de mestrado da Universidade de Brasília (UnB) reafirmou a baixa durabilidade natural do marupá em comparação com o *Eucalyptus saligna*, evidenciando sua suscetibilidade ao ataque fúngico. Esta característica, inerente à sua baixa densidade (geralmente inferior a 0,5 g/cm³), é um fator limitante para seu uso em aplicações que exigem maior longevidade (OLIVEIRA, 2016).

Do ponto de vista socioeconômico e comercial, a vulnerabilidade do marupá contrasta com sua grande importância regional. Devido à sua trabalhabilidade (facilidade de corte e acabamento) e ao seu baixo peso, a espécie é intensivamente utilizada por comunidades locais e indústrias na Amazônia para a fabricação de:

- **Móveis e esquadrias:** Portas, janelas e móveis leves.
- **Artesanato e lâminas de madeira:** Devido à sua textura homogênea e facilidade de colagem.
- **Estruturas leves:** Em construções rurais e temporárias.

Apesar de sua vasta utilização, a baixa durabilidade natural representa um desafio econômico e técnico. Como destacado por Farias (2023), a degradação completa de amostras de marupá em campo de apodrecimento evidencia a necessidade imperativa de tecnologias de preservação para agregar valor e ampliar a vida útil do produto madeireiro, evitando prejuízos e incentivando um uso mais racional e sustentável da matéria-prima.

4.2 A Química da Madeira

Para compreender os mecanismos de degradação e, conseqüentemente, as estratégias de proteção, é fundamental conhecer a composição química da parede celular da madeira. A obra clássica organizada por Browning (1963) estabelece as bases desse conhecimento, dividindo os componentes da madeira em duas grandes categorias: os componentes estruturais da parede celular e os componentes extrativos.

4.2.1 Componentes Estruturais da Parede Celular

A parede celular da madeira é uma matriz compósita natural, cuja rigidez e resistência são conferidas por três polímeros majoritários:

- **Celulose:** É o principal componente da parede celular, constituindo de 40% a 50% de sua massa seca. Suas longas cadeias lineares de moléculas de glicose formam microfibrilas cristalinas. A celulose é responsável pela resistência à tração da madeira, funcionando como sua "armadura" estrutural.
- **Hemiceluloses:** Representam de 20% a 30% da madeira. Diferentemente da celulose, são polímeros menores e ramificados, compostos por diversos açúcares (pentoses e hexoses). As hemiceluloses atuam como agentes de ligação, conectando a celulose à lignina e contribuindo para a rigidez da parede celular.
- **Lignina:** É o segundo componente mais abundante, representando de 20% a 30% da madeira (teores mais elevados em coníferas). A lignina é um polímero amorfo e complexo, composto por unidades de álcool cumarílico, coniferílico e sinapílico. Sua principal função é promover a rigidez e a impermeabilidade, além de atuar como um "cimento" que une as fibras de celulose, conferindo resistência à compressão e proteção contra o ataque de microrganismos.

4.3 Componentes Extrativos e sua Importância

Os componentes extrativos, embora presentes em pequenas quantidades (geralmente de 1% a 10%), são de extrema importância para a durabilidade natural da madeira. Esta classe inclui uma vasta gama de compostos orgânicos de baixo peso molecular, como terpenos, flavonoides, taninos, gorduras, ceras e alcaloides (BROWNING, 1963).

A durabilidade natural de espécies como o cumaru, itaúba e ipê está diretamente relacionada ao acúmulo de compostos extrativos tóxicos ou repelentes a fungos e cupins." (BROWNING, 1963).

Plantas são uma fonte rica de vários compostos químicos, incluindo alcaloides, flavones e flavonoides, fenólicos, terpenos, taninos ou quinonas. Produzidos como metabólitos secundários, eles podem constituir até 30% da massa seca das plantas, desempenhando um papel essencial na proteção contra patógenos microbianos, herbívoros e diferentes tipos de estresse abiótico. (BRODA, 2020, p. 2).

Várias espécies de madeira têm alta resistência natural à deterioração devido à presença de diversos compostos químicos extraíveis coletivamente referidos como extrativos. Extrativos são componentes estruturais de madeira não estruturais produzidos pelas árvores como agentes de defesa contra estresses ambientais e estão localizados principalmente no cerne. (BRODA, 2020, p. 7).

As propriedades específicas dos taninos que permitem sua ligação irreversível a proteínas os tornam também uma arma útil contra microrganismos. Vários estudos confirmaram sua atividade antibacteriana; há também um produto farmacêutico à base de taninos para curar infecções intestinais. (BRODA, 2020, p. 6).

A eficácia documentada de extratos vegetais contra cupins é atribuída a classes de compostos como taninos, flavonoides, alcaloides e terpenos. Os principais mecanismos propostos incluem toxicidade direta, fagoinibição e repelência. (MILITÃO et al., 2021, p. 360).

Os metabólitos secundários nas plantas podem ser divididos em três grandes grupos químicos: terpenos, compostos fenólicos e componentes contendo nitrogênio. Os terpenoides são considerados a classe estruturalmente mais variada de produtos vegetais naturais, atuando na defesa contra insetos e microrganismos. (VIZZOTTO et al., 2010 *apud* MILITÃO et al., 2021, p. 359).

4.4 Natureza de um Fungo de decomposição e o *Lentinus crinitus*

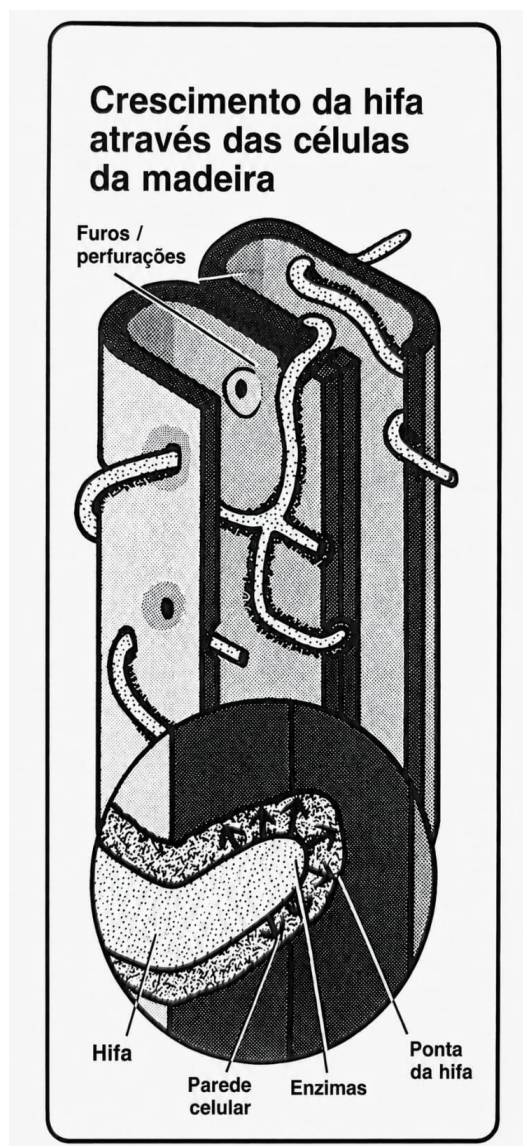


Figura 1. Representação esquemática do processo de degradação da parede celular da madeira por fungos xilófagos. Fonte: Haygreen & Bowyer (1982, p. 257).

Os fungos de podridão-branca, grupo ao qual pertence o *Lentinus crinitus*, são particularmente agressivos por secretarem enzimas que degradam a lignina – o polímero que confere rigidez à parede celular da madeira. Este processo de deslignificação deixa a madeira com aspecto esbranquiçado e fibroso, comprometendo sua integridade estrutural.

O desenvolvimento de fungos deterioradores em madeira ocorre a partir da germinação de esporos, do crescimento de segmentos de hifas ou da colonização por fontes próximas de inóculo. As hifas — filamentos alongados e delgados — alongam-se sobre a superfície da madeira e penetram no substrato preferencialmente pelas extremidades expostas dos grãos ou pelas seções cortadas das células. A progressão entre células ocorre por meio de pontuações ou por orifícios de perfuração abertos na parede celular. O conjunto de hifas interligadas constitui o micélio, que se expande internamente, gerando perfurações e degradando progressivamente a parede celular. Esse processo leva à perda de resistência mecânica e de massa da madeira (Haygreen & Bowyer, 1982).

Complementarmente, sabe-se que a taxa de degradação está diretamente relacionada à densidade do micélio e à extensão da rede de hifas, que atua como sistema de transporte de nutrientes e excreção enzimática. A formação de corpos de frutificação (esporocarpos) libera grandes quantidades de esporos, dispersos pelo vento ou outros vetores, inviabilizando, na prática, o isolamento completo da madeira em relação a fontes de contaminação (Haygreen & Bowyer, 1982).

A podridão mole (soft rot), frequentemente observada em torres de resfriamento de madeira, postes de transmissão de espécies duras e em superfícies de madeira expostas a intempéries, distingue-se por ser, em estágios iniciais, um fenômeno superficial passível de remoção mecânica. Microscopicamente, caracteriza-se pela formação de cavidades alongadas na direção longitudinal da parede secundária. Diferentemente de outros tipos de apodrecimento, a podridão mole pode atuar em condições de maior umidade e menor disponibilidade de nitrogênio, sendo frequentemente associada a fungos ascomicetos ou deuteromicetos (Haygreen & Bowyer, 1982).

A ação de fungos apodrecedores, especialmente os causadores de podridão-branca, é particularmente agressiva à estrutura da madeira. Conforme demonstram Zeni, Magalhães & Auer (2004), fungos de podridão-branca degradam a lignina e os carboidratos da madeira, deixando-a com coloração esbranquiçada e comprometendo sua resistência. Em estudos de laboratório, esses autores verificaram que a madeira de *Pinus* sp. foi a menos resistente ao ataque de fungos como *Agrocybe perfecta* e um isolado não identificado, enquanto *Eucalyptus cloeziana* apresentou maior durabilidade, sendo considerada resistente ao apodrecimento por fungos de podridão-branca. Esses achados reforçam a necessidade de proteger espécies de baixa resistência natural, como o marupá (*Simarouba amara*), por meio de tratamentos alternativos.

A diversidade de fungos xilófagos na Amazônia é ampla e inclui tanto espécies manchadoras quanto verdadeiras degradadoras de lignina. Farias (2023), em estudo de longo prazo em campo de apodrecimento no Acre, identificou 13 gêneros fúngicos atacando madeiras amazônicas, dos quais oito foram classificados como manchadores ou emboloradores.

(*Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp., *Nigospora* sp., *Lasioidiplodia* sp., *Cladosporium* sp. e *Curvularia* sp.) e cinco como degradadores de lignina (*Gloeophyllum striatum*, *Hexagonia hidinoide*, *Datronia scutellata*, *Trametes* sp. e *Picnoporus* sp.).

4.4.1 Condições Necessárias Para A Degradação

O teor de umidade da madeira é o fator crítico mais significativo para o desenvolvimento do apodrecimento. Quando a madeira se encontra abaixo do ponto de saturação das fibras, o risco de deterioração por fungos é consideravelmente reduzido. Embora alguns fungos possam crescer lentamente em teores ligeiramente inferiores,

recomenda-se que a madeira destinada a ambientes com umidade relativa elevada seja tratada com preservativos, especialmente se o teor de umidade permanecer acima de 20% continuamente. Projetos adequados de edificações, com ventilação, barreiras de vapor e vedação, podem evitar tais condições (Haygreen & Bowyer, 1982).

A faixa térmica ótima para o crescimento fúngico situa-se entre 21 °C e 32 °C. Temperaturas abaixo de 0 °C induzem à dormência, sem necessariamente eliminar os fungos, enquanto temperaturas superiores a 38 °C podem ser utilizadas em processos de secagem e esterilização da madeira. Os fungos também requerem oxigênio, embora possam se desenvolver em concentrações muito abaixo das atmosféricas, inviabilizando o controle prático por selagem do ar (Haygreen & Bowyer, 1982).

Do ponto de vista fisiológico, a atividade enzimática é diretamente influenciada pela temperatura e pela disponibilidade de água livre no substrato, sendo que a deficiência hídrica reduz a difusão de enzimas e a absorção de produtos de degradação pelas hifas.

Além da densidade, o modo como os fungos lignolíticos atacam a parede celular da madeira influencia diretamente a eficácia de extratos protetores. Castro e Silva & Aguiar (1993) estudaram a micromorfologia da degradação da madeira de açacu (*Hura crepitans*) por fungos de podridão-branca como *Pycnoporus sanguineus*, *Antrodia albida* e *Tyromyces* sp., e observaram que esses fungos iniciam a colonização pelos elementos de vaso e parênquima axial, removendo seletivamente a lignina nos estágios iniciais e expondo a estrutura fibrilar da celulose. Nesse contexto, o uso de extratos vegetais com propriedades antifúngicas, como o extrato aquoso da erva-de-passarinho, pode atuar justamente na inibição da germinação e do crescimento micelial, impedindo ou retardando a colonização inicial dos tecidos lenhosos.

4.5 Ação Enzimática e Bioquímica do Apodrecimento

Para utilizar celulose, hemicelulose e lignina como fontes de carbono e energia, os fungos secretam enzimas — produzidas nas pontas e ao longo das hifas — que catalisam a quebra desses polímeros em moléculas menores, passíveis de metabolização. Em alguns casos, ocorre também ação hidrolítica não enzimática. A difusão das enzimas na parede celular e o transporte dos produtos de degradação para o interior das hifas são etapas essenciais para a continuidade do processo degradativo (Haygreen & Bowyer, 1982).

Atualmente, sabe-se que fungos de podridão branca produzem um complexo enzimático (lignina peroxidases, manganês peroxidases e lacases) capaz de degradar lignina e celulose simultaneamente, enquanto fungos de podridão parda atuam preferencialmente sobre carboidratos, modificando quimicamente a lignina sem removê-la completamente. A podridão mole, por sua vez, emprega celulases que atuam de forma mais localizada na parede secundária.

4.6 Preservantes Naturais como Alternativa Sustentável

Nesse contexto, os preservantes de origem natural têm se destacado como promissores para o tratamento de madeiras de baixa durabilidade. Produtos como óleos vegetais, taninos e extratos de plantas vêm sendo amplamente investigados (González-Laredo et al., 2015, *apud* Fernandes et al., 2024). Estes compostos, além de serem renováveis e biodegradáveis, apresentam biocompatibilidade e, em geral, menor toxicidade aos organismos não-alvo.

Um estudo recente de Fernandes et al. (2024) avaliou a utilização de óleos naturais de açaí, buriti, dendê, murmuru e patoá como preservantes de cinco espécies madeireiras amazônicas, incluindo o marupá (*Simarouba amara*). Os resultados demonstraram que os óleos de açaí, murmuru e patoá apresentaram eficácia no tratamento preservativo, reduzindo a perda de massa das amostras expostas a agentes xilófagos. Os pesquisadores destacam que a região amazônica possui uma infinidade de produtos que podem ser extraídos da natureza e utilizados com baixo impacto ambiental, sendo necessário incentivo à pesquisa com essas matrizes renováveis (Valle, *apud* Observatório Científico UFC, 2024).

Conforme salienta Valle (*apud* AMAZÔNIA LATITUDE, 2024), "nós temos uma infinidade de produtos que podem ser extraídos da natureza e utilizados gerando baixo impacto ao ambiente. Precisamos de incentivo para realizar pesquisas com produtos naturais para achar soluções de preservação da madeira"

A literatura internacional também tem avançado no desenvolvimento de preservantes ecológicos. Wozniak (2022) apresenta uma revisão abrangente dos agentes antifúngicos aplicáveis à proteção ecológica da madeira, incluindo extratos vegetais, alcaloides, óleos essenciais e seus componentes, extrato de própolis, quitosana, compostos de silício e nanopartículas. A revisão também aborda formulações

combinadas, nas quais diferentes agentes são associados para potencializar o efeito protetor por meio de sinergismo.

Broda (2020) complementa que o desenvolvimento de preservantes de nova geração a partir de compostos naturais é um imperativo tanto para a saúde humana quanto para a proteção ambiental, embora alertando para as discrepâncias entre testes laboratoriais e o desempenho em campo, bem como para a falta de normas específicas que definam a qualidade e o desempenho de formulações protetoras naturais.

No âmbito da química de produtos naturais, Brasil et al. (2016) destacam que a caracterização química de extratos vegetais revelou compostos com atividade inseticida capazes de inibir a degradação da madeira. Tais compostos bioativos, como os encontrados em plantas amazônicas, incluindo a erva-de-passarinho (*Struthanthus* spp.), podem apresentar também ação antifúngica, conforme sugerem Lima et al. (2017) ao avaliarem substâncias bioativas da flora amazônica.

4.7 Potencial dos Extratos Vegetais da Amazônia para proteção da madeira: Perspectivas para a Indústria Madeireira

A região amazônica abriga a maior biodiversidade do planeta, representando um vasto reservatório de espécies vegetais com potencial para o desenvolvimento de novos produtos biotecnológicos. Entre esses produtos, destacam-se os extratos de madeiras de alta durabilidade natural e de plantas medicinais, cujos metabólitos secundários têm demonstrado eficácia na proteção de madeiras não resistentes contra organismos xilófagos.

Estudos recentes têm avaliado o potencial de resíduos industriais de madeiras amazônicas como fontes de compostos bioativos. Castro et al. (2024) investigaram o potencial antifúngico e anticupim de extratos obtidos de resíduos de processamento de sete espécies madeireiras da Amazônia Central. Os autores observaram que as espécies *Buchenavia* sp., *Dinizia excelsa* (angelim-vermelho), *Hymenolobium flavum* (angelim-pedra) e *Manilkara elata* (maçaranduba) apresentaram elevados teores de metabólitos secundários. No teste de apodrecimento acelerado, a madeira de marupá (*Simarouba amara*) impregnada com extrato de *Buchenavia* sp. (tanimbuca) apresentou a menor perda de massa após exposição ao fungo *Gloeophyllum trabeum*, evidenciando o potencial protetor dos extratos de espécies de alta durabilidade natural quando aplicados em madeiras vulneráveis.

Este achado é particularmente relevante para o presente estudo, pois demonstra que o marupá, espécie de baixa resistência natural, pode ser efetivamente protegido por meio da impregnação com extratos vegetais bioativos. Os resultados de Castro et al. (2024) corroboram a abordagem adotada nesta pesquisa.

No contexto da durabilidade natural de espécies tropicais, Leroy et al. (2023) avaliaram oito espécies da Guiana Francesa quanto à resistência a fungos e cupins em condições laboratoriais. Os resultados confirmaram que o marupá (*Simarouba amara*) foi classificado como de "baixa durabilidade a sensível", indicando que os padrões europeus atuais não permitiriam seu uso em estruturas externas sem proteção adequada. Os autores destacam, no entanto, que essas espécies podem ser utilizadas para fins construtivos com sistemas de proteção apropriados, incluindo a aplicação de preservantes de origem natural.

As perspectivas para a indústria madeireira são promissoras. A crescente demanda por produtos sustentáveis, aliada à pressão regulatória para restrição de preservantes sintéticos tóxicos, abre espaço para a comercialização de madeiras tratadas com extratos vegetais. Conforme destacam Broda (2020) e Wozniak (2022), o desenvolvimento de preservantes de nova geração a partir de compostos naturais é um imperativo tanto para a saúde humana quanto para a proteção ambiental.

Nesse sentido, a bioprospecção de espécies amazônicas, sejam elas madeiras de alta durabilidade ou plantas parasitas como a erva-de-passarinho, representa uma estratégia alinhada aos princípios da bioeconomia. Além de agregar valor à biodiversidade regional, essa abordagem pode impulsionar a geração de emprego e renda em comunidades extrativistas, que poderiam atuar na coleta sustentável do material vegetal para a produção de extratos preservantes.

Entretanto, desafios permanecem. Broda (2020) alerta para as discrepâncias entre testes laboratoriais e o desempenho em campo, bem como para a falta de normas específicas que definam a qualidade e o desempenho de formulações protetoras naturais. Assim, pesquisas adicionais são necessárias para validar a eficácia desses extratos em condições reais de uso e para estabelecer protocolos padronizados de aplicação.

4.8 Erva-de-Passarinho (*Struthanthus* spp.): Potencial Biotecnológico e Aplicações

A erva-de-passarinho (*Struthanthus marginatus*) é uma planta hemiparasita pertencente às famílias Loranthaceae e Viscaceae que apresentam clorofila, necessitando retirar água e sais minerais de um hospedeiro para complementar o seu processo fotossintético. (HERMES, 2022, p. 13).

São vegetais consideradas hemiparasitas uma vez que penetram o xilema do hospedeiro, possuem folhas e realizam fotossíntese, mas não são dependentes totalmente do hospedeiro para sua sobrevivência. A penetração nos vasos xilemáticos facilita o processo de absorção de nutrientes. (HERMES, 2022, p. 13).

O gênero *Struthanthus* é comum na Região Amazônica, sendo o mais estudado, devido a sua ação sobre culturas de importância econômicas tais como frutíferas, ornamentais e medicinais. (HERMES, 2022, p. 13).

Alguns efeitos causados por esses hemiparasitas nas árvores são: redução do vigor e da produção de frutos e sementes, mau funcionamento dos tecidos lenhosos, produção de galhas, folhagem esparsa, morte do ápice, predisposição ao ataque de insetos e doenças e, até mesmo, morte prematura. É necessário podar a erva para que as árvores parasitadas possam voltar a ter um crescimento saudável. (LEAL, 2006 *apud* HERMES, 2022, p. 14).

Ressalta-se que esses vegetais não entram em contato com o solo, sendo na maioria dos casos, encontradas nos galhos das árvores proliferando-se com facilidade em árvores de copas altas, devido à dificuldade de podar esse tipo de planta. (HERMES, 2022, p. 14).

As famílias Loranthaceae e Viscaceae são constituídas por espécies de vegetais denominados de hemiparasitas, pois apresentam clorofila, mas necessitam de um hospedeiro para a manutenção do aparato fotossintético, retirando água e sais minerais dos hospedeiros. Os principais gêneros presentes no Brasil são *Passovia*, *Struthanthus*, *Phoradendron* e *Psittacanthus*, apresentando plantas perenes, com folhas sempre verdes. (SANTOS, 2016, p. 12)

A família Loranthaceae é um grupo de plantas hemiparasitas constituído por cerca de 990 espécies, distribuídas em 75 gêneros, sendo facilmente encontradas no Brasil. Maior família da ordem Santalales, a ocorre no Brasil juntamente com as famílias

Santalaceae e Viscaceae, representada por 12 gêneros e 131 espécies distribuídas por todos os domínios fitogeográficos. O gênero *Struthanthus* são os mais diversos dentro desta família, possuindo cerca de 45 espécies. (SANTOS, 2016, p. 14).

A maioria destes vegetais possui em suas sementes uma substância chamada de visco que as permitem fixar-se na planta hospedeira, após serem ingeridas e depositadas por pássaros, com exceção das sementes dos gêneros *Nuytsia* e *Misodendrum* que são dispersas pelo vento. Devido ao fato de os pássaros serem os agentes dispersores das sementes das duas principais famílias, Loranthaceae e Viscaceae, estas plantas recebem o nome popular de ervas-de-passarinho. (SANTOS, 2016, p. 15).

A sobrecarga atribuída aos hospedeiros, seja nutricional ou hídrica, aliada ao sombreamento são os principais efeitos causados por esses parasitas. Ao serem infestadas as plantas têm seu crescimento retardado ou não florescem. Nos locais parasitados (ramos), ocorrem a formação de galhas, bem como a presença de diversos agentes infecciosos que penetram nos tecidos próximos aos haustórios. (SANTOS, 2016, p. 15)

Além da aplicação como preservante de madeira, os extratos de *Struthanthus spp.* apresentam um amplo espectro de aplicações biotecnológicas que merecem ser exploradas, por apresentar uma característica protetora, este efeito protetor está possivelmente relacionado à presença dos compostos fenólicos e triterpenos na composição do extrato (Suaza-Gaviria et al., 2023; Vittorazzi et al., 2016; Liu et al., 2024), que atuam inibindo o crescimento micelial e a ação enzimática do fungo.

As aplicações biotecnológicas potenciais incluem:

- **Indústria Farmacêutica:** As propriedades antimicrobianas detectadas contra bactérias Gram-positivas como *Staphylococcus mutans* e *Staphylococcus aureus* (Vittorazzi et al., 2016) abrem perspectivas para o desenvolvimento de novos agentes antibacterianos, especialmente diante do crescente problema da resistência bacteriana a antibióticos convencionais.
- **Cosmética e Produtos de Higiene:** Os compostos fenólicos, reconhecidos por sua atividade antioxidante, podem ser utilizados em formulações cosméticas com propriedades anti-idade e protetoras da pele.
- **Agroquímica:** A atividade antifúngica do extrato (Suaza-Gaviria et al., 2023; Liu et al., 2024) pode ser estendida ao controle de fungos fitopatogênicos que atacam culturas agrícolas, oferecendo uma alternativa biológica aos fungicidas sintéticos.

- **Nanotecnologia:** Estudos recentes indicam o potencial de extratos vegetais na síntese verde de nanopartículas metálicas com propriedades antimicrobianas aprimoradas (Wozniak, 2022).

O estudo do potencial biotecnológico da erva-de-passarinho insere-se em um contexto mais amplo de bioprospecção e valorização da biodiversidade amazônica. Como destacam Fernandes et al. (2024), com a crescente demanda por utilização de madeiras preservadas é de extrema importância a bioprospecção por alternativas menos agressivas ambientalmente.

Conforme salienta Valle (*apud* Observatório Científico UFC, 2024), "nós temos uma infinidade de produtos que podem ser extraídos da natureza e utilizados gerando baixo impacto ao ambiente. Precisamos de incentivo para realizar pesquisas com produtos naturais para achar soluções de preservação da madeira". Esta afirmação corrobora os resultados de Fernandes et al. (2024), que demonstraram a eficácia de óleos de açaí, murmuru e patoá na redução da perda de massa de madeiras amazônicas, incluindo o marupá (*Simarouba amara*), quando expostas a agentes xilófagos em condições de campo por nove meses.

Esta aplica-se perfeitamente ao caso da erva-de-passarinho, cujo extrato aquoso demonstrou, no presente estudo, ser uma alternativa viável, renovável e de baixo custo aos preservantes químicos sintéticos, alinhada aos princípios da bioeconomia e do desenvolvimento sustentável para a região amazônica.

4.9 Mecanismos de Ação dos Compostos Bioativos e Propriedades Químicas

A eficácia documentada é atribuída a classes de compostos como taninos, flavonoides, alcaloides e terpenos. Os principais mecanismos propostos são:

4.9.1 Indústria Farmacêutica (Atividade Antimicobacteriana e Antimicrobiana)

Os extratos de *Struthanthus* spp. demonstram atividade contra micobactérias, incluindo cepas resistentes. Em estudo realizado por Carvalho et al. (2013), os extratos de *Struthanthus marginatus* e *Struthanthus concinnus* apresentaram Concentração Inibitória Mínima (CIM) contra *Mycobacterium tuberculosis* (cepa H37Rv e cepa resistente à rifampicina ATCC 35338) variando de 25 a 200 µg/mL. Compostos isolados

como o obtusifoliol apresentaram CIM de 50 µg/mL contra H37Rv e 12,5 µg/mL contra a cepa resistente, demonstrando potencial significativo no desenvolvimento de novos agentes antituberculose.

A atividade antimicrobiana também foi confirmada por Vittorazzi et al. (2016), que detectaram que o extrato etanólico de *Struthanthus vulgaris* inibiu o crescimento das bactérias Gram-positivas *Staphylococcus mutans* e *Staphylococcus aureus*, com valores de Concentração Inibitória Mínima de 125 e 500 µg/mL, respectivamente.

4.9.2 Controle de Fitopatógenos (Agroquímica)

Suaza-Gaviria et al. (2023) avaliaram a atividade antimicrobiana de extratos de *Struthanthus calophyllus* contra as bactérias fitopatogênicas *Erwinia*, *Pectobacterium* e *Xanthomonas*, utilizando o método de difusão em ágar. Os resultados demonstraram que *Pectobacterium* e *Xanthomonas* apresentaram zonas de inibição de crescimento similares ao controle com estreptomicina, evidenciando o potencial do extrato como alternativa biológica aos bactericidas sintéticos no controle de doenças em plantas cultivadas.

Adicionalmente, Oliveira (2017) demonstrou que o fungo endofítico *Muscodor* sp., isolado de folhas da planta parasita *Struthanthus* sp., produziu compostos orgânicos voláteis capazes de inibir completamente o crescimento micelial do fungo fitopatogênico *Botrytis cinerea*, agente causal do mofo cinzento em morangos e outras culturas de importância econômica. Este achado abre perspectivas para o desenvolvimento de biofungicidas a partir de microrganismos associados ao gênero *Struthanthus*.

4.9.3 Cosmética e Cicatrização de Feridas (Propriedades Antioxidantes e Reparo Tecidual)

Vittorazzi et al. (2016) investigaram as propriedades cicatrizantes de extratos de *Struthanthus vulgaris* utilizando o ensaio de "scratch assay" em fibroblastos. Os resultados demonstraram que os extratos de folhas e ramos na concentração de 100 µg/mL estimularam a migração e proliferação de fibroblastos, aumentando o número de células em 56,2% e 18,6%, respectivamente. A atividade antioxidante apresentou valores de IC₅₀ de 24,3 µg/mL (folhas) e 18,9 µg/mL (ramos) no ensaio de sequestro do radical DPPH, correlacionando-se com o alto teor de compostos fenólicos detectados (813,6 ± 2,7 mg/g

nas folhas). Estes resultados suportam o uso tradicional da planta para banho de feridas e indicam potencial para o desenvolvimento de formulações cosméticas e farmacêuticas com propriedades regeneradoras e anti-idade.

Marques et al. (2017) complementaram estes achados demonstrando os efeitos anti-inflamatórios de *Struthanthus vulgaris* tanto in vitro quanto in vivo, enquanto Dos Santos Gramma et al. (2016) confirmaram que uma pomada à base de *Struthanthus vulgaris* preveniu a superexpressão da resposta inflamatória e acelerou a cicatrização cutânea.

4.9.4 Nanotecnologia (Síntese Verde de Nanopartículas)

Câmara et al. (2021) sintetizaram e caracterizaram nanopartículas de prata estabilizadas em extrato de *Struthanthus flexicaulis* Mart. através da síntese verde, uma abordagem ambientalmente correta. As nanopartículas sintetizadas foram confirmadas pela presença de banda plasmônica visível no espectro entre 430 nm e 480 nm, com tamanho de diâmetro entre 45 nm e 60 nm e índice de polidispersividade entre 0,296 e 0,303, indicando homogeneidade nas amostras e ausência de agregados. Os resultados demonstraram que a síntese verde utilizando extrato de *Struthanthus* produziu nanopartículas com características desejáveis para futuros estudos de aplicação biotecnológica.

Liu et al. (2024) explicam que os compostos fenólicos exercem seu efeito antifúngico por meio de interação direta com enzimas produzidas pelos fungos, inibindo a ação de celulases, hemicelulases e ligninases — exatamente as enzimas responsáveis pela degradação da parede celular da madeira. Essa inibição enzimática confere à madeira tratada maior resistência ao ataque fúngico e constitui a base química para o uso do extrato como preservante natural.

Estudos fitoquímicos realizados com espécies do gênero *Struthanthus* e de outros gêneros da família Loranthaceae revelam a presença de classes importantes de compostos bioativos. Suaza-Gaviria et al. (2023) isolaram e caracterizaram quimicamente uma mistura de compostos triterpênicos (α -amirina, β -amirina e 24-metileno cicloartanol) em *Struthanthus calophyllus* (Loranthaceae), classe conhecida por apresentar atividades biológicas diversas, incluindo propriedades antifúngicas.

Além dos triterpenos, Vittorazzi et al. (2016) detectaram capacidade antimicrobiana contra as bactérias Gram-positivas *Staphylococcus mutans* e *Staphylococcus aureus* em extratos de *Struthanthus vulgaris*, inibindo seu crescimento. Foi detectado um teor total de compostos fenólicos apreciável no extrato, o que possivelmente esteve envolvido na inibição do crescimento microbiano.

De acordo com Liu et al. (2024), os compostos fenólicos atuam por múltiplos mecanismos contra fungos xilófagos, pois possuem interação direta com enzimas fúngicas, inibindo a ação de celulasas, hemicelulasas e ligninases, conferindo à madeira maior resistência ao ataque fúngico.

4.10 Proteção da Madeira com Preservantes do Mercado Industrial: Preservantes Químicos Sintéticos

Os preservantes industriais atualmente disponíveis no mercado podem ser classificados em duas grandes categorias: os preservantes químicos sintéticos tradicionais e os preservantes de base biológica, que vêm ganhando espaço como alternativas ecológicas.

Os preservantes tradicionalmente empregados pela indústria madeireira incluem o arseniato de cobre cromatado (CCA), o creosoto, o pentaclorofenol e os sais de cobre de última geração (como o cobre-8-quinolinolato). Estes produtos atuam por meio de mecanismos de toxicidade direta aos organismos xilófagos, apresentando alta eficácia e longa vida útil para a madeira tratada.

No entanto, os impactos toxicológicos e ambientais desses compostos são significativos. Conforme demonstrado por Silva (2007), o pentaclorofenol e o cobre-8-quinolinolato — substâncias potencialmente tóxicas ao ser humano — são amplamente utilizados como preservantes. Em seu estudo sobre a migração desses agentes para alimentos em contato com madeira tratada, a autora identificou a presença de pentaclorofenol em amostras de palitos de picolé e verificou efeito genotóxico para o cobre-8-quinolinolato, indicando potencial carcinogênico.

Diante desses riscos, diversos países têm restringido ou banido o uso de preservantes à base de metais pesados e compostos organoclorados. A União Europeia, por exemplo, proibiu o uso de CCA em aplicações residenciais e de contato com o público, direcionando seu uso apenas para aplicações industriais específicas.

4.10.1 Preservantes Ecológicos e de Base Biológica

Em contrapartida, uma nova geração de preservantes de baixo impacto ambiental tem sido desenvolvida e, em alguns casos, já está disponível no mercado. Estes produtos utilizam compostos ativos de origem natural ou sintéticos inspirados em moléculas bioativas encontradas na natureza.

O autor Wozniak (2022) apresenta uma revisão abrangente dos agentes antifúngicos aplicáveis à proteção ecológica da madeira, incluindo extratos vegetais, alcaloides, óleos essenciais e seus componentes, extrato de própolis, quitosana, compostos de silício e nanopartículas. A revisão também aborda formulações combinadas, nas quais diferentes agentes são associados para potencializar o efeito protetor por meio de sinergismo.

4.15.1 Entre os produtos com potencial de comercialização, destacam-se.

Tabela 2. Produtos com potencial de comercialização.

Classe	Exemplos	Mecanismo de Ação	Fonte
Óleos essenciais	Óleo de melaleuca, óleo de cravo, carvacrol	Toxicidade direta e inibição enzimática	Woźniak, 2022; Broda, 2020
Taninos	Tanino de acácia negra	Complexação com enzimas fúngicas	Barbero-López et al., 2021; Broda, 2020
Extratos vegetais	Extrato de nim, extrato de própolis	Múltiplos compostos bioativos	Woźniak, 2022; Broda, 2020; Kirker et al., 2024

Classe	Exemplos	Mecanismo de Ação	Fonte
Quitosana	Derivada da quitina de crustáceos	Formação de barreira física e atividade antifúngica	Woźniak, 2022 Broda, 2020
Nanopartículas	Nanopartículas de prata, cobre e dióxido de titânio	Liberação controlada de íons metálicos	Woźniak, 2022

No Brasil, a pesquisa nessa área tem avançado significativamente. Camargo (2020), em projeto desenvolvido na Universidade Federal de Santa Catarina, investigou a eficiência de óleos essenciais de capim-limão (*Cymbopogon citratus*), aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius*) e neem (*Azadirachta indica*), além do tall oil, como preservantes da madeira de *Pinus taeda* contra os fungos *Pycnoporus sanguineus* e *Gloeophyllum trabeum*. O estudo avaliou diferentes concentrações dos produtos (0, 250, 500 e 1000 ppm) e empregou métodos de imersão para o tratamento, seguindo normas internacionais (ASTM D 2017).

4.10.2 Comparativo de Eficácia e Aplicabilidade

Tabela 2. Eficácia e Aplicabilidade.

Critério	Preservantes Sintéticos	Preservantes Biológicos/Ecológicos	Fonte
Eficácia	Alta (20-40 anos de proteção)	Variável (dependente da concentração e método)	Woźniak, 2022
Custo	Moderado a alto	Baixo a moderado (depende da fonte)	Barbero-López et al., 2021
Toxicidade humana	Alta (carcinogênico, neurotóxico)	Baixa a moderada	Woźniak, 2022; Broda, 2020
Persistência ambiental	Alta (décadas)	Baixa (biodegradável)	Barbero-López et al., 2021
Regulamentação	Restritiva (proibido em vários usos)	Favorável (incentivada)	Woźniak, 2022; Broda, 2020
Disponibilidade no mercado	Ampla (produtos consolidados)	Limitada (em desenvolvimento)	

4.10.3 Toxicidade Comparativa: Sintéticos Versus Naturais

A principal vantagem dos preservantes naturais reside no seu perfil toxicológico mais favorável. Enquanto os preservantes sintéticos frequentemente contêm metais pesados (cromo, arsênio, cobre) ou compostos organoclorados persistentes, os extratos vegetais e óleos naturais são constituídos por moléculas bioativas que ocorrem naturalmente no ambiente, como fenóis, terpenos, flavonoides e taninos (González-Laredo et al., 2015). Essas substâncias, embora tóxicas para fungos e insetos xilófagos, geralmente apresentam menor persistência ambiental.

Os óleos naturais de açai, murmuru e patoá conferiram proteção às madeiras amazônicas sem os riscos associados à lixiviação de metais pesados no solo e na água (Fernandes et al., 2024). A pesquisa buscou testar alternativas viáveis e menos nocivas ao ambiente, já que os preservantes sintéticos são considerados tóxicos à saúde humana e de animais.

É importante ressaltar, no entanto, que "natural" não é sinônimo de "atóxico" e que cada substância deve ser avaliada individualmente. Alguns óleos essenciais, por exemplo, podem apresentar toxicidade aguda se ingeridos ou em altas concentrações. No entanto, o equilíbrio entre eficácia, persistência e toxicidade ambiental tende a ser mais favorável para os preservantes de origem vegetal, especialmente quando comparados aos compostos sintéticos de elevada toxicidade crônica.

4.11 A Problemática dos Preservantes Sintéticos e os Desafios para a Industrialização

A preservação da madeira é essencial para aumentar sua durabilidade, especialmente quando se trata de espécies de baixa resistência natural, como o marupá (*Simarouba amara*). Historicamente, os preservantes mais utilizados pela indústria madeireira são produtos químicos sintéticos (Järvinen et al., 2022, *apud* Fernandes et al., 2024). No entanto, essas soluções convencionais apresentam sérias desvantagens do ponto de vista ambiental e toxicológico.

Os preservantes tradicionais incluem compostos como arseniato de cobre cromatado (CCA), creosoto e pentaclorofenol (González-Laredo et al., 2015, *apud* Fernandes et al., 2024). Estudos demonstram que estas substâncias são tóxicas ao meio ambiente e à saúde humana, podendo lixiviar da madeira tratada e

contaminar o solo e a água (Fernandes et al., 2024). Conforme destacam pesquisadores da área, atualmente os produtos preservantes mais utilizados são sintéticos e considerados tóxicos e nocivos à saúde humana e de animais (Valle, *apud* Observatório Científico UFC, 2024)

Diante desse cenário, cresce a demanda por alternativas menos agressivas ao ambiente, que sejam eficazes na proteção da madeira, mas que apresentem menor toxicidade e maior biodegradabilidade.

Apesar do potencial promissor, a adoção em larga escala de preservantes naturais enfrenta desafios. Broda (2020) aponta que a variabilidade na composição química de extratos vegetais, a influência de fatores ambientais (umidade, temperatura, radiação UV) na estabilidade dos princípios ativos e a necessidade de métodos de aplicação específicos são barreiras a serem superadas. Além disso, a ausência de padrões regulatórios específicos para formulações naturais dificulta a certificação e comercialização desses produtos.

No entanto, a colaboração com outras indústrias interessadas na utilização de compostos ativos naturais (como as indústrias farmacêutica, cosmética e de alimentos) pode reduzir os custos associados à pesquisa e desenvolvimento, facilitando a implementação bem-sucedida de novos agentes antifúngicos alternativos.

5. Metodologia

5.1 Preparo do Extrato Aquoso

A coleta da erva-de-passarinho foi realizada na região periurbana da cidade de Parintins (AM), na região amazônica. O material vegetal foi seco à sombra e triturado em moinho para fragmentação. Em seguida o material vegetal passou pelo método de infusão à aproximadamente 90°C até seu resfriamento para liberação dos compostos bioativos em condição estacionária, após esse período o material foi filtrado e armazenado por 24 horas em frascos estéreis para posterior utilização nos testes biológicos. Foi testada a concentração de 5% do extrato aquoso de folhas de erva-de-passarinho (*Struthanthus spp*)

5.2 Coleta, Assepsia e Isolamento do Fungo *Lentinus Crinitus*

O carpóforo de *Lentinus crinitus* foi coletado em área de vegetação florestal consolidada, localizada na região periurbana do município de Parintins-Am. O espécime foi encontrado sobre a camada de serrapilheira fixado em substrato lenhoso em estágio inicial de decomposição, apresentando desenvolvimento estrutural completo, com



características macroscópicas indicativas de sanidade e maturidade reprodutiva.

Figura 2: Fungo *Lentinus crinitus* coletado.

Para efetuar a inoculação do material fúngico utilizou-se fragmentos de 5mm das extremidades do carpóforo, que passou por um procedimento de assepsia através de lavagens sucessivas em solução de álcool 70%, hipoclorito de sódio a 3% e água destilada. Após assepsia os fragmentos foram inoculados em meio de cultura BDA (batata, dextrose e ágar) autoclavado e mantidas em temperatura de 30° C em estufa BOD por 5 dias. Três repicagens sucessivas foram realizadas para a aquisição de cultura pura para utilização nos testes biológicos posteriores.



Figura 3: Assepsia do Fungo *Lentinus crinitus*.

5.3 Confecção das amostras de *Simarouba amara* (corpos de prova)

A madeira de *Simarouba amara* (marupá) foi obtida junto a uma marcenaria do distrito industrial do município de Parintins-Am. A partir de uma peça de madeira de dimensões 30 x 20 cm, proveniente da região do cerne, foram confeccionados corpos de prova com dimensões padronizadas de 2 x 2 x 1 cm. As amostras foram secas em estufa a 60°C até atingirem massa constante, momento em que foram registradas as massas iniciais dos corpos de prova (peso inicial).



Figura 4: Confecção das amostras de madeira *Simarouba amara* (corpos de prova).

5.4 Tratamentos e Incubação

Foram utilizadas 20 amostras de madeira de *Simarouba amara*, divididos em dois grupos experimentais: 10 amostras tratadas com extrato e 10 amostras não tratadas (controle). As madeiras do grupo tratado foram previamente embebidas por 72h no extrato aquoso de erva-de-passarinho (*Struthanthus spp*). Após esse período, foram secos em estufa a 50°C até peso constante, em seguida autoclavados e submetidos aos ensaios de resistência ao apodrecimento fúngico frente ao fungo basidiomiceto *Lentinus crinitus*.



Figura 5: Amostras de madeira de marupá (*Simarouba amara*) embebidos em extrato aquoso de erva-de-passarinho (*Struthanthus spp*).



Figura 6: Aspecto das madeiras de marupá com extrato (B) e sem extrato (A).

As amostras de madeira de *Simarouba amara* foram incubados em placas de Petri com o fungo *Lentinus crinitus* e divididos em dois grupos, primeiro grupo com amostras de madeira previamente embebidos com extrato aquoso de erva-de-passarinho (*Struthanthus spp*) e segundo grupo sem a presença do extrato (tratamento controle). Todos os testes foram realizados em triplicatas e incubados por um período de 120 dias em temperatura ambiente.

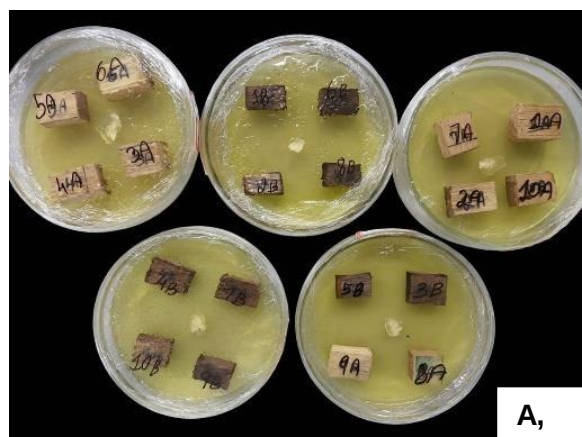


Figura 7: Aspecto das amostras de marupá no início da incubação.

Após o período experimental, as amostras de madeira foram lavadas e escovadas em água corrente para retirada dos resíduos fúngicos e em seguida secos em estufa a 60°C até peso constante e realizada pesagem final. Para análise do percentual da perda de massa da madeira utilizou-se a fórmula:

$$\% \text{ Perda de Massa} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Onde:

Pi: Peso inicial das amostras de madeira

Pf: peso final das amostras de madeira

E para análise de dados do percentual de eficiência preservativa utilizou-se a formula:

$$EP(\%) = \frac{PM_c - PM_t}{PM_c} \times 100$$

Onde:

- EP (%) = eficiência preservativa;
- PMc = perda de massa do controle (sem extrato);
- PMt = perda de massa da madeira tratada com extrato vegetal.

Figura 8: Formula para calcular percentual de eficiência preservativa.

Os dados foram analisados estatisticamente em software BioEstat 5.3. O experimento foi inteiramente casualizado. Foram comparadas as médias entre os tratamentos e utilizado o teste ANOVA para análise de variâncias e o teste de Tukey para contraste das médias ($p < 0,05$).

6. Resultados

A obtenção da cultura pura de *Lentinus crinitus* foi realizada por meio de três repicagens sucessivas a partir do isolado inicial, visando sua utilização nos ensaios de biodeterioração. O crescimento micelial do fungo, mantido em estufa BOD a 30 °C, foi monitorado diariamente, observando-se o completo preenchimento da superfície da placa de Petri em um período de cinco dias.



Figura 9: Isolado de *Lentinus crinitus* em meio de cultura BDA.

Após o estabelecimento da cultura pura, as amostras de madeira de marupá (*Simarouba amara*), com e sem impregnação do extrato aquoso de erva-de-passarinho (*Struthanthus* spp.), foram incubados sob condições controladas para o teste de biodeterioração, sendo realizadas observações diárias do crescimento fúngico. O fungo colonizou completamente a superfície das placas de Petri no período de uma semana. No entanto, o preenchimento da superfície da madeira ocorreu apenas após aproximadamente 30 dias de incubação, sendo necessário cerca de 60 dias para a formação de uma camada micelial mais densa sobre o substrato lenhoso.



Figura 10: Aspecto das amostras de marupá após 120 dias de incubação.

Após o período de incubação de 120 dias, foram comparadas as médias dos tratamentos e observados percentuais de perda de massa das amostras de madeira frente ao ataque do fungo *Lentinus crinitus*. Na figura 11 são observadas as médias dos tratamentos com e sem a presença do extrato vegetal aquoso de (*Struthanthus spp.*). Os resultados indicam redução significativa da perda de massa das amostras tratadas com extrato vegetal, sugerindo atividade antifúngica protetora. Observou-se maior resistência ao ataque de *Lentinus crinitus* nos tratamentos previamente embebidos no extrato aquoso da erva-de-passarinho, enquanto o controle (sem extrato) apresentaram perda de massa expressivamente superior.

O fungo consumiu 37,4% da massa da madeira no período de 6 meses de ataque ininterrupto (Tabela 3). Por outro lado, o extrato de *Struthanthus sp* promoveu 65,3% contra a degradação de *Lentinus crinitus* (Tabela 3).

Tabela 3. Características preservativas da madeira de *Simarouba amara* sob ataque de *Lentinus crinitus*.

Fungo	Perda massa (%)	Classificação Resistencia Natural	Eficiência Preservativa (%)
<i>Lentinus crinitus</i>	37,4	Moderadamente resistente	65,3

De acordo com a Classificação da resistência natural da madeira pela American Standard Testing Material -ASTM D-2017 a madeira de *Simarouba amara* é moderadamente resistente ao ataque do fungo *Lentinus crinitus* (Tabela 3 ,4).

Tabela 4. Classe de resistência da madeira de acordo com ASTM-D 2017.

Perda de massa (%)	Classe de resistência
0–10%	Altamente resistente
11–24%	Resistente
25–44%	Moderadamente resistente

Perda de massa (%)	Classe de resistência
$\geq 45\%$	Não resistente

A perda de peso nas amostras impregnadas e não impregnadas com extrato é mostrado na figura 11. As amostras impregnadas com extrato de *Struthanthus sp* mostraram uma menor perda de peso em relação àquelas não impregnadas. Isto de modo geral, é refletido no % eficiência preservativa. O extrato testado mostrou-se, então com uma boa capacidade protetiva da madeira contra ataques do fungo xilófago *Lentinus crinitus*.

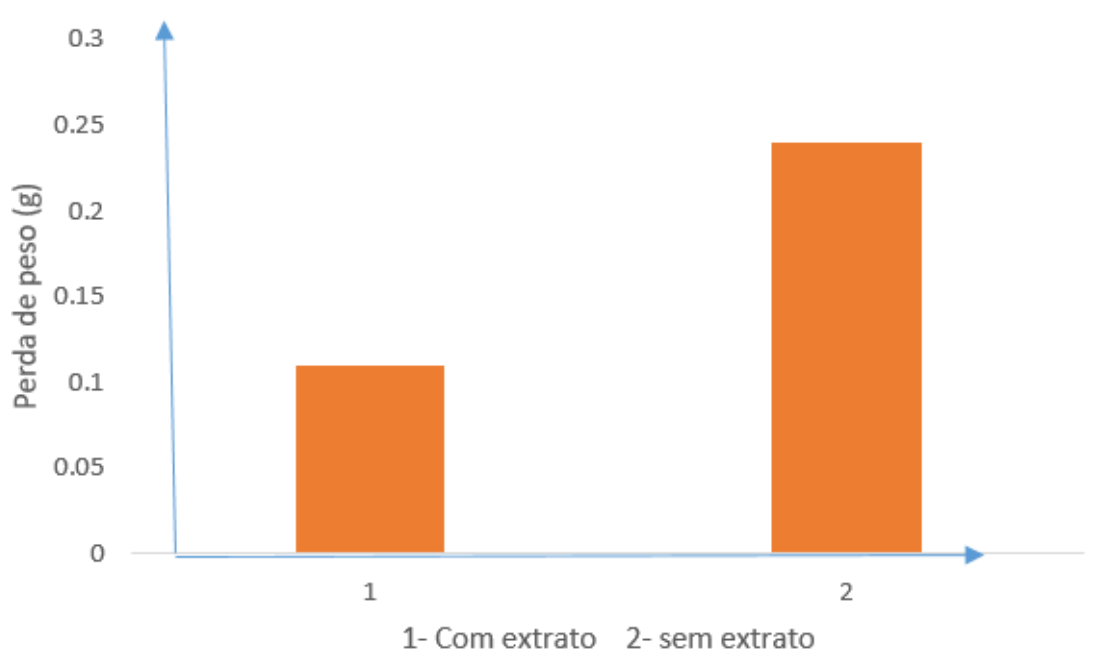


Figura 11. Media da perda de peso (g) das amostras impregnadas e não impregnadas com o extrato de *Struthanthus sp* após inoculação com *Lentinus crinitus*.

7. Discussão

Os resultados obtidos neste estudo demonstraram que a madeira Marupá (*Simarouba amara*) impregnada com extrato aquoso de erva-de-passarinho (*Struthanthus spp.*) na concentração de 5% apresentou perda de massa de 37,4% após seis meses de exposição ao fungo xilófago *Lentinus crinitus*, resultando em uma eficiência preservativa de 65,3% quando comparada ao tratamento controle. Embora a degradação fúngica tenha permanecido expressiva, os dados sugerem um efeito protetivo do extrato vegetal frente à biodeterioração da madeira. Vale ressaltar que foi observada diferença estatística a um nível de 95% de significância ($p < 0,05$) entre os tratamentos com e sem extrato.

A perda de massa é um dos principais parâmetros utilizados para mensurar a resistência biológica da madeira ao ataque de fungos apodrecedores, refletindo diretamente o grau de degradação dos componentes estruturais lignocelulósicos, especialmente celulose, hemicelulose e lignina (Moreschi, 2013). Nesse contexto, o percentual de 37,4% encontrado neste estudo indica que, mesmo após o tratamento preservativo, a madeira permaneceu moderadamente suscetível à ação do fungo. Entretanto, ao se observar a eficiência preservativa de 65,3%, torna-se evidente que o extrato de *Struthanthus sp.* reduziu significativamente a intensidade da degradação quando comparado à madeira não tratada, sugerindo potencial bioativo para aplicações preservativas.

A ação preservativa observada pode estar associada à composição fitoquímica da erva-de-passarinho, gênero amplamente reconhecido pela presença de metabólitos secundários bioativos, incluindo compostos fenólicos, flavonoides, taninos, alcaloides e terpenos, substâncias frequentemente relacionadas à atividade antimicrobiana e antifúngica (Deeni & Sadiq, 2002; Silva et al., 2020). Compostos fenólicos, particularmente taninos condensados e flavonoides, possuem reconhecida capacidade de inibir enzimas extracelulares produzidas por fungos lignocelulolíticos reduzindo a degradação da parede celular vegetal. Além disso, tais metabólitos podem atuar alterando a permeabilidade da membrana plasmática fúngica, comprometendo o crescimento micelial e a atividade enzimática do patógeno. Em estudo realizado por Suaza-Gaviria et al., (2023) com espécie da mesma família (Loranthaceae), que isolou e caracterizou quimicamente uma mistura de compostos triterpênicos, (α -amirina, β -amirina e 24-metileno cicloartanol), os quais são pertencentes a uma classe conhecida por

apresentarem atividades biológicas diversas, incluindo atividade antifúngica. Tais compostos podem estar envolvidos na resistência conferida à madeira testada.

A proteção conferida pode ser atribuída à formação de uma barreira química na superfície e no interior das amostras de madeira, resultante da deposição dos compostos bioativos presentes no extrato durante o processo de embebição. A secagem a 50°C após a impregnação possivelmente favoreceu a fixação dessas substâncias na parede celular da madeira, reduzindo sua lixiviação durante o período de incubação. E favorecendo que os compostos ativos permanecessem retidos na matriz lenhosa em concentrações suficientes para inibir o desenvolvimento fúngico.

De acordo com Liu et al. (2024), os compostos fenólicos atuam por múltiplos mecanismos contra fungos xilófagos, pois possuem interação direta com enzimas fúngicas, inibindo a ação de celulases, hemicelulases e ligninases, conferindo à madeira maior resistência ao ataque fúngico. No presente estudo o fungo *Lentinus crinitus* apresentou crescimento reduzido nas amostras embebidos com o extrato aquoso de *Struthanthus spp.*, comportamento que pode estar relacionado à presença de compostos fenólicos produzidos pela família Lorantaceae.

O fungo *Lentinus crinitus* é classificado como fungo de podridão branca, possuindo elevada capacidade de degradação da lignina por meio da produção de enzimas oxidativas extracelulares, como lacases, manganês peroxidases e lignina peroxidases. Essas enzimas promovem intensa decomposição da madeira, permitindo posterior acesso aos carboidratos estruturais (Alexopoulos; Mims; Blackwell, 1996). Assim, o elevado potencial degradativo de *L. crinitus* pode explicar a persistência de uma perda de massa relativamente elevada mesmo após o tratamento com o extrato vegetal. O longo período experimental de seis meses também favoreceu a intensificação da deterioração, considerando que o tempo de exposição influencia diretamente a progressão da colonização micelial e a degradação dos constituintes lenhosos. E a inibição do seu crescimento nas amostras tratadas indica que o extrato aquoso de *Struthanthus spp.* possivelmente interfere nesse sistema enzimático, seja por inativação direta das enzimas, seja por impedir a germinação dos esporos ou o desenvolvimento do micélio na superfície da madeira.

Outro aspecto importante refere-se às características intrínsecas da madeira de Marupá (*Simarouba amara*). Trata-se de uma espécie comercialmente valorizada na

Amazônia devido à baixa densidade, boa trabalhabilidade e ampla utilização industrial, porém reconhecida por apresentar baixa durabilidade natural frente ao ataque de agentes xilófagos (IBAMA, 1997; IPT, 1989). Madeiras de baixa densidade geralmente apresentam maior permeabilidade e menor concentração de extrativos naturais de defesa, tornando-se mais vulneráveis ao ataque fúngico. Dessa forma, os resultados observados corroboram a literatura ao demonstrar que o Marupá apresenta elevada susceptibilidade biológica, justificando a necessidade de tratamentos preservativos alternativos.

Por outro lado, a baixa densidade da espécie, embora seja um fator de vulnerabilidade, também favorece a impregnação de soluções preservantes, pois a madeira apresenta maior permeabilidade e maior volume de espaços vazios (lúmens celulares) disponíveis para absorção. Esta característica, aliada à afinidade química entre os compostos fenólicos do extrato e os sítios de ligação da parede celular (especialmente a lignina), pode explicar a retenção dos princípios ativos mesmo após 120 dias de exposição ao fungo em condições de alta umidade.

Apesar da perda de massa ainda considerável, a eficiência preservativa de 65,3% evidencia um potencial promissor do extrato aquoso de *Struthanthus spp.* como agente protetor natural. Estudos envolvendo extratos vegetais aplicados à preservação de madeiras têm demonstrado resultados semelhantes. Paes et al. (2010) observaram que extratos tânicos e compostos fenólicos provenientes de espécies vegetais reduziram significativamente a degradação causada por fungos apodrecedores em madeiras tropicais. Resultados semelhantes também foram descritos por Schultz e Nicholas (2002), que relataram que extratos naturais ricos em fenólicos podem atuar como alternativas sustentáveis aos preservantes sintéticos, sobretudo em contextos de menor toxicidade ambiental.

Além disso, investigações sobre preservantes botânicos indicam que concentrações reduzidas, como a utilizada neste estudo (5%), frequentemente apresentam atividade antifúngica parcial, sendo comum a observação de incremento da eficiência preservativa à medida que a concentração do extrato aumenta (Temiz et al., 2005). Dessa maneira, os resultados sugerem que concentrações superiores do extrato de erva-de-passarinho poderiam potencializar a resistência do Marupá frente ao *L. crinitus*, reduzindo ainda mais a perda de massa observada.

A utilização de extratos naturais pode atuar de maneira mais específica sobre o metabolismo fúngico, o que reduz os riscos de contaminação ambiental, mas pode exigir concentrações mais elevadas ou tempos de impregnação maiores para alcançar níveis de proteção equivalentes aos produtos sintéticos em exposições prolongadas.

Além disso, a escolha do extrato aquoso (em oposição a extratos orgânicos como etanólicos ou metanólicos) representa uma vantagem adicional do ponto de vista ambiental e de segurança ocupacional, pois elimina a necessidade de solventes tóxicos tanto no preparo quanto na aplicação do preservante. É importante frisar, que a técnica de infusão utilizada na presente pesquisa, utilizada no preparo do extrato, é simples, de baixo custo e facilmente replicável em contextos de comunidades tradicionais ou pequenos empreendimentos madeireiros da região amazônica, o que vem a mostrar-se como alternativa preservante.

Do ponto de vista biotecnológico e ambiental, os achados possuem relevância significativa para a bioeconomia amazônica, especialmente por explorarem um recurso vegetal regional frequentemente considerado hemiparasita de importância secundária. O aproveitamento de *Struthanthus sp.* como fonte de compostos bioativos para preservação de madeira pode representar uma alternativa sustentável aos preservantes químicos convencionais, como compostos à base de cobre, cromo e arsênio, cujo uso é frequentemente associado a impactos ambientais e riscos toxicológicos.

8. Conclusão

Os resultados demonstram que o extrato aquoso de *Struthanthus* spp. (erva-de-passarinho) conferiu proteção significativa as amostras de madeira de *Simarouba amara* contra o fungo *Lentinus crinitus*, evidenciada pela menor perda de massa nos tratamentos com o extrato em comparação aos controles não tratados, com diferença estatisticamente significativa.

A análise aprofundada dos dados experimentais permite afirmar que o mecanismo de proteção está associado, provavelmente, à presença de compostos fenólicos e triterpenos no extrato aquoso, os quais atuam na inibição do crescimento micelial e na interferência com o sistema enzimático ligninolítico produzido pelo fungo. A baixa densidade do marupá, embora responsável por sua vulnerabilidade natural, mostrou-se favorável à impregnação do extrato, permitindo a penetração e retenção dos compostos bioativos na estrutura da madeira.

Em síntese, embora a madeira tratada tenha apresentado perda de massa significativa após seis meses de exposição ao *Lentinus crinitus*, a eficiência preservativa de 65,3% indica que o extrato aquoso de erva-de-passarinho exerceu efeito protetor moderado, reduzindo a intensidade da deterioração quando comparado ao material não tratado. Esses resultados reforçam o potencial de utilização de extratos vegetais amazônicos como agentes preservativos naturais, contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias ambientalmente mais sustentáveis aplicadas à conservação da madeira.

Conclui-se que o extrato aquoso de *Struthanthus* spp. apresenta potencial promissor para aplicação como preservativo natural de madeira, oferecendo uma alternativa ecológica, renovável, de baixo custo e com perfil toxicológico mais favorável em comparação aos produtos químicos sintéticos tradicionalmente utilizados pela indústria madeireira.

9. Considerações Finais

Todavia, destaca-se que a eficácia do extrato ainda necessita de aprofundamento experimental, incluindo avaliações em diferentes concentrações, métodos de impregnação, identificação fitoquímica dos compostos ativos e análises complementares da atividade enzimática do fungo. Ensaios adicionais envolvendo diferentes espécies de fungos xilófagos e tempos de exposição também são recomendados para ampliar a compreensão do potencial preservativo do extrato aquoso de *Struthanthus sp.* sobre madeiras amazônicas.

10. Referências Bibliográficas

- AGUIAR, J. F. **Resistência natural de sete madeiras amazônicas a fungos xilófagos em ensaio de laboratório**. 2022. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara, Universidade do Estado do Amazonas, Itacoatiara, 2022.
- ALEXOPOULOS, C. J.; MIMS, C. W.; BLACKWELL, M. **Introductory mycology**. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, 1996.
- ALMEIDA, F. B.; SILVA, R. A.; COSTA, L. M. Atividade inseticida de extratos vegetais na preservação da madeira. **Revista Brasileira de Biotecnologia**, v. 15, n. 3, p. 45-60, 2018.
- AMARAL, D. F.; SOUSA, G. T. Uso de extratos naturais como bioprotetores de madeira contra insetos. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 1, p. 1-12, 2021.
- AMAZÔNIA LATITUDE. Pesquisadora da UFC testa óleos da Amazônia para proteger madeira. **Amazônia Latitude**, 2024. Disponível em: [link]. Acesso em: 10 maio 2026.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16143: Preservação de madeiras — Sistema de categorias de uso**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- BARBERO-LÓPEZ, A. et al. Tannin-based wood preservatives: a review. **Holzforschung**, v. 75, n. 6, p. 511-522, 2021.
- BRASIL, M. S. et al. Caracterização química de extratos vegetais com atividade inseticida. **Química Nova**, v. 39, p. 267-273, 2016.
- BRODA, Magdalena. Natural compounds for wood protection against fungi: a review. **Molecules**, v. 25, n. 15, p. 3538, 2020. DOI: 10.3390/molecules25153538.
- BROWNING, B. L. (ed.). **The chemistry of wood**. New York: Interscience Publishers, 1963. 689 p.

CÂMARA, Nádia Livia Amorim da Silva; VIANA, Deuzuíta dos Santos Freitas; VIANA, Vicente Galber Freitas. Synthesis and characterization of silver nanoparticles stabilized in extract of *Struthanthus flexicaulis* Mart. (birdweed). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, 2021.

CAMARGO, Tarcisio Francisco de. **Utilização de substâncias extraídas de plantas como preservante de madeiras contra ação de fungos apodrecedores**. 2020. Projeto de Pesquisa (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

CARVALHO, E. G. et al. Medicinal plants from open-air markets in the State of Rio de Janeiro, Brazil as a potential source of new antimycobacterial agents. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 150, n. 1, p. 111-119, 2013.

CASTRO E SILVA, Ademir; AGUIAR, Izonete de Jesus Araujo. Micromorfologia da degradação de madeira da espécie amazônica *Hura crepitans* L. por fungos lignolíticos pertencentes à classe Hymenomycetes. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 23, n. 2-3, p. 89-110, 1993.

CASTRO, Marcelly Cristina Monteiro de et al. Antifungal and antitermitic potential of extracts of industrial wood waste from Central Amazon, Brazil. **Maderas: Ciencia y tecnología**, v. 26, 2024.

DEENI, Y. Y.; SADIQ, N. M. Antimicrobial properties and phytochemical constituents of the leaves of African mistletoe (*Tapinanthus dodoneifolius* (DC) Danser) (*Loranthaceae*): an ethnomedicinal plant of Hausaland, Northern Nigeria. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 83, n. 3, p. 235–240, 2002.

DOS SANTOS GRAMMA, L. S. et al. *Struthanthus vulgaris* ointment prevents an over expression of inflammatory response and accelerates the cutaneous wound healing. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 190, p. 319-327, 2016.

FARIAS, Suelem Marina de Araújo Pontes. **Degradação biológica e durabilidade natural de madeiras da Amazônia em campo de apodrecimento**. 2023. 71 f. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia – Rede BIONORTE) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2023.

FERNANDES, A. S. et al. Evaluation of the potential of natural oils from the Amazon as wood preservatives. **Maderas: Ciencia y tecnología**, v. 26, 2024.

FERNANDES, Neila Cristina de Lima et al. Óleos naturais no tratamento preservativo de cinco espécies de madeiras amazônicas. **Revista do Instituto Florestal**, v. 36, e936, 2024.

GONZÁLEZ-LAREDO, R. F. et al. Natural preservatives for wood: a review. **Madera y Bosques**, v. 21, n. especial, p. 155-168, 2015.

HAYGREEN, John G.; BOWYER, Jim L. **Forest products and wood science**. 1. ed. Ames: The Iowa State University Press, 1982. 495 p.

HERMES, E. A. **Ocorrência de erva-de-passarinho (*Struthanthus marginatus*) em espécies arbóreas urbanas de Dois Vizinhos – PR**. 2022. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2022.

HUNT, G. M.; GARRATT, G. A. **Wood preservation**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1967.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Madeiras da Amazônia: características e utilização**. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais, 1997.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Madeiras brasileiras: características gerais, zonas de uso e índices para construção civil**. São Paulo: IPT, 1989.

JÄRVINEN, J. et al. Preservative treated wood in the Nordic context: how to be sustainable in the future? **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 1122, 2022.

KIRKER, G. T. et al. Natural extracts for wood protection: current status and future prospects. **Forest Products Journal**, v. 74, n. 2, p. 98-112, 2024.

LEPAGE, E. S. (coord.). **Manual de preservação de madeiras**. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1986. 2 v.

LEROY, Maeva et al. Natural durability of 8 tropical species suitable for structural roundwood: laboratory screening tests for resistance to fungi and termites. **Bois et Forêts des Tropiques**, v. 359, p. 5-20, 2024.

- LIMA, J. C. et al. Avaliação de substâncias bioativas da flora amazônica. **Acta Amazônica**, v. 46, p. 123-131, 2017.
- LIU, L. et al. Efficacy and mechanism of plant-derived active components against wood rot fungi. **Yunnan Chemical Technology**, v. 51, n. 1, p. 1-5, 2024.
- MARQUES, F. M. et al. *In vitro* and *in vivo* anti-inflammatory effects of *Struthanthus vulgaris*. **Planta Medica**, v. 83, n. 9, p. 770-777, 2017.
- MARTINS, C. A. et al. Deterioração da madeira de marupá na mesorregião do Sudeste Paraense. **Revista de Ciências Agrárias Amazônicas**, v. 12, n. 2, p. 45-58, 2024.
- MILITÃO, J. S. L. et al. Compostos bioativos de plantas amazônicas e sua aplicação na preservação da madeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 61., 2021, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBQ, 2021. p. 358-365.
- MORESCHI, J. C. **Biodegradação e preservação da madeira**. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, 2013.
- NICHOLAS, D. D.; SCHULTZ, T. P. Development of environmentally benign wood preservatives based on the combination of organic biocides with antioxidants and metal chelators. **Phytochemistry**, v. 61, n. 5, p. 555–560, 2002.
- OBSERVATÓRIO CIENTÍFICO UFC. Pesquisadora da UFC testa óleos da Amazônia para proteger madeira. **Observatório Científico UFC**, Fortaleza, 2024.
- OLIVEIRA, E. M. **Avaliações não destrutivas para o monitoramento de madeiras submetidas a fungos apodrecedores**. 2016. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- OLIVEIRA, L. M. de. **Biological control of *Botrytis cinerea* in the postharvest of strawberry fruits by *Muscodor* sp.** 2017. 38 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.
- PAES, J. B.; MORAIS, V. M.; LIMA, C. R. Resistência natural de madeiras ao ataque de fungos xilófagos em condições laboratoriais. **Revista Árvore**, v. 28, n. 2, p. 275–282, 2004.

PAES, J. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; LIMA, C. R. Ação de extratos vegetais sobre fungos apodrecedores e cupins xilófagos em madeiras tropicais. **Floresta e Ambiente**, v. 17, n. 1, p. 52–61, 2010.

ROWELL, R. M. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2012.

SANTOS, A. P. dos. **Diversidade e distribuição de plantas hemiparasitas da família Loranthaceae em fragmentos florestais urbanos**. 2016. 78 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

SCHULTZ, T. P.; NICHOLAS, D. D. Naturally durable heartwood: evidence for a proposed dual defensive function of the extractives. **Phytochemistry**, v. 54, n. 1, p. 47–52, 2000.

SILVA, Flávia dos Santos; LANDELL, Melissa Fontes; PAULINO, Gustavo Vasconcelos Bastos; COUTINHO, Henrique Douglas Melo; ALBUQUERQUE, Ulysses Paulino. **Antifungal activity of selected plant extracts based on an ethnodirected study**. *Acta Botanica Brasilica*, São Paulo, v. 34, n. 2, p. 442-448, 2020.

SILVA, M. A. M. **Estudo da migração dos preservantes de madeira em contato com os alimentos**. 2007. 156 f. Tese (Doutorado em Vigilância Sanitária) – Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2007.

STANGERLIN, Diego Martins et al. Dureza Rockwell da madeira de três espécies amazônicas submetidas a ensaios de apodrecimento acelerado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 4, p. 623-630, 2013.

SUAZA-GAVIRIA, Vanessa et al. Antioxidant activity and phytopathogenic control of extracts and fraction from *Struthanthus calophyllus* (Loranthaceae). **Chemistry & Biodiversity**, v. 20, n. 2, e202200830, 2023. DOI: 10.1002/cbdv.202200830.

TEMIZ, A.; TERZIEV, N.; JACOBSEN, B.; EKLUND, L. Bio-efficacy of neem oil extractives and wood preservatives against wood decay fungi and termites. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 56, n. 2, p. 107–113, 2005.

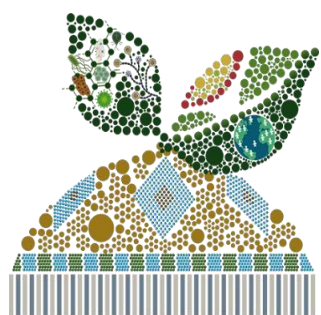
TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

VITTORAZZI, Cátia et al. Antioxidant, antimicrobial and wound healing properties of *Struthanthus vulgaris*. **Pharmaceutical Biology**, v. 54, n. 2, p. 331-337, 2016.

WOZNIAK, Magdalena. Antifungal agents in wood protection: a review. **Molecules**, v. 27, n. 19, p. 6392, 2022. DOI: 10.3390/molecules27196392.

ZENI, A. L.; MAGALHÃES, W. L. E.; AUER, C. G. Resistência de madeiras de *Pinus* e *Eucalyptus* a fungos apodrecedores. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 49, p. 67-78, 2004.

11. Publicações Referente ao trabalho:



1º CONGRESSO BRASILEIRO DE DIVERSIDADE MICROBIANA

PERSPECTIVAS E DESAFIOS FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Avaliação do Extrato Aquoso de Erva-de-Passarinho (*Struthanthus* spp.) na Proteção da Madeira Marupá (*Simarouba amara*) contra *Lentinus crinitus*

Gabriel da Silva Sousa¹, Eduardo Marinho Batalha¹, Solane Hilloury Oliveira da Silva¹,
Nádia Sofia Oliveira Cunha¹, Adriana da Silva Nunes¹, Ademir Castro e Silva¹

¹UEA; E-mail: gdss.bio20@uea.edu.br

Resumo - O estudo avaliou a eficácia do extrato aquoso da erva-de-passarinho (*Struthanthus* spp.), planta amazônica, na proteção da madeira de marupá (*Simarouba amara*) contra o fungo *Lentinus crinitus*. Cavacos de madeira foram divididos em dois grupos: tratados com imersão prévia em extrato aquoso a 10% por 72 horas e controles não tratados. Após 120 dias de incubação com o fungo, os resultados demonstraram que os cavacos tratados apresentaram significativamente menor perda de massa em comparação aos controles, com diferença estatística ao nível de 95% de significância. A família botânica da erva-de-passarinho é reconhecida pela produção de compostos como triterpenos e fenóis, que possuem propriedades antifúngicas. Essas substâncias atuam inibindo enzimas produzidas pelo fungo, responsáveis pela degradação da parede celular da madeira. O efeito protetor observado evidencia o potencial do extrato como um preservativo natural, especialmente indicado para espécies lenhosas de baixa durabilidade natural, como o marupá. Conclui-se que o extrato aquoso da erva-de-passarinho apresenta potencial para aplicação como preservante natural, constituindo uma alternativa ecológica, renovável e de baixo custo aos preservantes químicos sintéticos, valorizando a biodiversidade amazônica e promovendo tecnologias sustentáveis para a indústria madeireira.

www.cbdmicro26.com.br

22 a 26 de junho de 2026 | Manaus - AM



1º CONGRESSO BRASILEIRO DE DIVERSIDADE MICROBIANA

PERSPECTIVAS E DESAFIOS FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Carta de Aceite



Assinado eletronicamente

A comissão científica do Congresso Brasileiro de Diversidade Microbiana informa que o trabalho intitulado **Avaliação do Extrato Aquoso de Erva-de-Passarinho (*Struthanthus spp.*) na Proteção da Madeira Marupá (*Simarouba amara*) contra *Lentinus crinitus***, de autoria de Gabriel da Silva Sousa; Eduardo Marinho Batalha; Solane Hilloury Oliveira da Silva; Nádia Sofia Oliveira Cunha; Adriana da Silva Nunes; Ademir Castro e Silva; foi **APROVADO** para apresentação no referido evento.



TÍTULO: Integração Teoria-Prática em Biossegurança e Procedimentos Laboratoriais: Relato de Minicurso sobre Cultivo de Fungos Endofíticos no Laboratório de Estudos Fúngicos (CESP-UEA).

Gabriel da Silva Sousa 1^a; Eduardo Marinho Batalha 2^b; Solane Hilloury Oliveira da Silva 3^c; Nádia Sofia Oliveira Cunha 4^d; Adriana da Silva Nunes 5^e; Ademir Castro e Silva 6^f

^a Universidade do Estado do Amazonas, Campus Parintins, Discente, gdss.bio20@uea.edu.br.

^b Universidade do Estado do Amazonas, Campus Parintins, Discente, ebm.bio20@uea.edu.br.

^c Universidade do Estado do Amazonas, Campus Parintins, Discente, shods.bio21@uea.edu.br.

^d Universidade do Estado do Amazonas, Campus Parintins, Discente, nsoc.bio24@uea.edu.br.

^e Universidade do Estado do Amazonas, Campus Parintins, Docente, biotecs7@gmail.com.

^f Universidade do Estado do Amazonas, Campus Parintins, Docente, adcastro-mao@hotmail.com.

Introdução, Contexto e Objetivo: A formação em microbiologia exige o domínio simultâneo dos fundamentos de biossegurança e da operação de equipamentos essenciais. Nesse sentido, o Laboratório de Estudos Fúngicos (LABEF) promoveu um minicurso com o objetivo de capacitar participantes na rotina de isolamento de fungos endofíticos, articulando os níveis de biossegurança NB-1 e NB-2 com a prática de esterilização e assepsia. O curso visou demonstrar a importância do controle de riscos biológicos e físicos (como calor e pressão) para a obtenção de culturas axênicas, utilizando como modelo o método de fragmentação foliar.

Metodologia: O minicurso foi estruturado em duas etapas. A primeira, teórica e conduzida pelo professor coordenador, abordou a classificação dos laboratórios segundo os Níveis de Biossegurança (NB-1 a NB-4), o uso correto de EPIs (luvas nitrílicas e de látex), a simbologia de risco GHS e o princípio de funcionamento de equipamentos como o bico de Bunsen e as pipetas automáticas (deslocamento de ar e positivo). A segunda etapa, prática e orientada por pesquisadores, focou no ciclo de esterilização da autoclave (121°C/1 atm) para meios de cultura e vidrarias, seguido do procedimento de assepsia: fragmentação de folhas, desinfecção superficial com hipoclorito de sódio e álcool 70% (devido à sua eficácia na desnaturação proteica e rompimento de membranas lipídicas) e subsequente inoculação em meio de cultura.

Resultados: A aula teórica elucidou a diferença crítica entre a chama azul do bico de Bunsen (combustão completa, ideal para esterilização de alças) e a chama amarela de segurança. Foi demonstrado que o álcool 70% é mais eficaz que o 92% devido à presença de água, que facilita a desnaturação proteica e a lise celular. Na prática, os participantes aplicaram os protocolos de segurança da NR-32 ao operar a autoclave, compreendendo a importância da exaustão do ar e do resfriamento para evitar acidentes. A assepsia com hipoclorito garantiu a eliminação da microbiota epifítica, viabilizando o isolamento dos fungos endofíticos do tecido vegetal.

Conclusão: A metodologia dual do minicurso mostrou-se eficaz para consolidar o conhecimento sobre biossegurança e procedimentos operacionais padrão. A experiência destacou a interdependência entre a teoria da esterilização (calor úmido vs. calor seco) e a prática laboratorial segura, comprovando que o uso correto da autoclave e a assepsia rigorosa são pré-requisitos indissociáveis para o sucesso do cultivo e pesquisa de microrganismos endofíticos em ambientes de NB-2.

Palavras-chave: Biossegurança Laboratorial; Autoclave; Fungos Endofíticos; Assepsia; Esterilização.

Agência financiadora: LABEF



TÍTULO: Laboratório de Estudos Fúngicos (LABEF) como Ferramenta de Popularização da Ciência e Tecnologia em Parintins-AM: Relato de Visitas Técnicas e Interação entre Ensino Básico e Superior

Eduardo Marinho Batalha 1; Gabriel da Silva Sousa 2^b; Solane Hilloury Oliveira da Silva 3^c; Nádia Sofia Oliveira Cunha 4^d, Adriana da Silva Nunes 5^e, Ademir Castro e Silva 6^f

^a Universidade do Estado do Amazonas, Campus Parintins, Discente, ebm.bio20@uea.edu.br.

^b Universidade do Estado do Amazonas, Campus Parintins, Discente, gdss.bio20@uea.edu.br.

^c Universidade do Estado do Amazonas, Campus Parintins, Discente, shods.bio21@uea.edu.br.

^d Universidade do Estado do Amazonas, Campus Parintins, Discente, nsoc.bio24@uea.edu.br.

^e Universidade do Estado do Amazonas, Campus Parintins, Docente, biotecs7@gmail.com.

^f Universidade do Estado do Amazonas, Campus Parintins, Docente, adcastro-mao@hotmail.com.

Introdução, Contexto e Objetivo: O Laboratório de Estudos Fúngicos (LABEF) do CESP-UEA tem atuado como núcleo difusor de ciência e tecnologia no município de Parintins-AM, promovendo a interação multidisciplinar entre o ensino básico e o superior. Durante a Semana de Biologia do CESP-UEA, o LABEF recebeu instituições de ensino e órgãos municipais para visitas técnicas e atividades práticas. O objetivo foi popularizar o conhecimento sobre fungos endofíticos e carpóforos, bem como demonstrar rotinas laboratoriais de biossegurança e cultivo, aproximando estudantes e profissionais da realidade científica.

Metodologia: As visitas foram divididas conforme o período de realização e o público-alvo: Período 1 – Semana de Biologia do CESP-UEA: Foram recebidas as seguintes instituições com o intuito de conhecer as coleções científicas de fungos carpóforos e endofíticos, bem como as pesquisas realizadas pela equipe: SESI Parintins, Escola Municipal Cívico Militar "Tsukasa Uyetsuka", Escola Estadual Dom Gino Malvestio e a Secretaria Municipal de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (SEDEMA). As atividades consistiram em visita guiada ao laboratório, apresentação das coleções e explanação sobre os projetos de pesquisa. Período 2 – Visitas técnicas complementares: O laboratório recebeu a Escola Municipal de Tempo Integral Dídimo Rocy e os cursos de Estética e Cosmética (SENAC) e Farmácia (UNIGRANDE). Essas visitas seguiram um roteiro dividido em duas etapas: (1) aula teórica de microbiologia voltada para as respectivas áreas de ensino, abordando conceitos de biossegurança e aplicações dos fungos; (2) minicurso prático sobre assepsia e técnicas de cultivo de microrganismos, incluindo manuseio de materiais, esterilização e inoculação.

Resultados: Os participantes puderam conhecer as coleções científicas de fungos carpóforos e endofíticos mantidas pelo LABEF, bem como as pesquisas em andamento. As aulas teóricas proporcionaram entendimento sobre níveis de biossegurança e aplicações dos fungos nas respectivas áreas profissionais (estética, farmácia, meio ambiente). Na etapa prática, os visitantes executaram procedimentos de assepsia e cultivo sob supervisão, relacionando a teoria à rotina laboratorial. Houve interação produtiva entre alunos do ensino básico, graduandos, professores e técnicos, fortalecendo a percepção da ciência como atividade acessível e colaborativa.

Conclusão: A atuação do LABEF como ferramenta de popularização científica mostrou-se eficaz ao integrar diferentes níveis de ensino e setores da sociedade. O modelo de visita técnica com abordagem dual (teórico-prática) favoreceu a aprendizagem significativa e despertou interesse pela pesquisa em microbiologia. A experiência reforça o papel dos laboratórios de ensino superior na promoção da alfabetização científica e na redução da distância entre a universidade e a comunidade parintinense.

Palavras-chave: Popularização da Ciência; Fungos Endofíticos; Visitas Técnicas; Ensino Básico e Superior.