



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

ANTÔNIO THIAGO SOARES DE ALMEIDA

**EXTRATOS DE MADEIRAS AMAZÔNICAS COMO PRESERVATIVO
NATURAL E SUA INFLUÊNCIA NA COR DA MADEIRA DE *Hevea
brasiliensis***

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2023

ANTÔNIO THIAGO SOARES DE ALMEIDA

**EXTRATOS DE MADEIRAS AMAZÔNICAS COMO PRESERVATIVO
NATURAL E SUA INFLUÊNCIA NA COR DA MADEIRA DE *Hevea
brasiliensis***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Orientador: Juarez Benigno Paes

Coorientadores: Víctor Fassina Brocco

Yonny Martínez López

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2023

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

A447e Almeida, Antônio Thiago Soares de, 1995-
EXTRATOS DE MADEIRAS AMAZÔNICAS COMO
PRESERVATIVO NATURAL E SUA INFLUÊNCIA NA COR
DA MADEIRA DE *Hevea brasiliensis* / Antônio Thiago Soares
de Almeida. - 2023.
81 f. : il.

Orientador: Juarez Benigno Paes.

Coorientadores: Victor Fassina Brocco, Yonny Martínez
López.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) -
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências
Agrárias e Engenharias.

1. Seringueira. 2. Madeiras claras. 3. Extrativos. 4. Ensaio
biológicos. 5. Composição química. I. Paes, Juarez Benigno. II.
Brocco, Victor Fassina. III. López, Yonny Martínez. IV.
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências
Agrárias e Engenharias. V. Título.

CDU: 630

**EXTRATOS DE MADEIRAS AMAZÔNICAS COMO PRESERVATIVO NATURAL E
SUA INFLUÊNCIA NA COR DA MADEIRA DE *Hevea brasiliensis***

Antônio Thiago Soares de Almeida

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 27 de Julho de 2023.

Prof.^a Dr.^a Laís Gonçalves da Costa Brocco (Examinadora externa)
Universidade do Estado do Amazonas

Prof. Dr. Fabrício Gomes Gonçalves (Examinador interno)
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Juez Benigno Paes (Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação para conclusão de mais uma etapa.

À Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Ciências Florestais e da Madeira e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, pela oportunidade de formação profissional e suporte para a realização deste trabalho.

Ao Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara da Universidade do Estado do Amazonas (CESIT - UEA), pela ajuda e suporte na coleta dos resíduos dos extratos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), pela concessão da bolsa de mestrado. A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Espírito Santo (FAPES), pela concessão de bolsa de intercâmbio. Ao proprietário da Fazenda Santa Maria, Renato Dardengo, pela doação da madeira de seringueira.

Ao Prof. Dr. Juarez Benigno Paes, pela paciência, orientação, incentivo, ensinamentos profissionais, sendo capaz de transmitir seus conhecimentos, os quais serão levados ao longo da minha caminhada e pela alegre convivência.

Aos Professores Dr. Victor Fassina Brocco e Dr. Yonny Martínez López, pela coorientação, disponibilidade e conselhos.

Aos membros da banca examinadora, Professor Dr. Fabricio Gomes Gonçalves e Professora Dr^a. Lais Gonçalves da Costa Brocco, pelas valiosas contribuições e sugestões para melhoria do trabalho.

Ao Prof. Dr. José Luis Penetra Cerveira Lousada, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal, pela colaboração, suporte prestado e por ter me aceito para o estágio técnico científico e realização das análises em espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR).

Agradeço imensamente a todos os professores do programa de Pós-Graduação, pelo apoio e por compartilhar os conhecimentos adquiridos.

Aos técnicos de laboratório, Damielle Figueiredo, José Geraldo e Elecy Constantino pela ajuda, conselhos e paciência, e demais funcionários do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira.

Aos colegas de pesquisa Marcos Nicácio, Fernanda Mafioletti, Vaniele Bento, Giovana Santos, Paulo Silvaes e Bruno Araújo, pela colaboração e dedicação durante as etapas de realização deste trabalho.

Aos amigos que fiz em Jerônimo Monteiro e a todos aqueles que, direta ou indiretamente, fizeram parte da minha formação, muito obrigado.

RESUMO

ALMEIDA, Antônio Thiago Soares de. **Extratos de madeiras amazônicas como preservativo natural e sua influência na cor da madeira de *Hevea brasiliensis***. 2023. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes. Coorientadores: Prof. Dr. Victor Fassina Brocco e Prof. Dr. Yonny Martínez López.

A pesquisa objetivou avaliar o uso de extratos em etanol de resíduos do processamento de madeiras amazônicas na melhoria da estabilidade da cor e da resistência biológica da madeira de seringueira proveniente de plantios. Assim, foi coletado na fazenda Santa Maria, interior do município de Cachoeiro de Itapemirim, Sul do estado do Espírito Santo, três árvores (27 anos), que foram transformadas em amostras para os ensaios físicos, colorimétricos e as impregnações de extratos de madeiras amazônicas de alta resistência natural (*Hymenolobium flavum*, *Roupala montana* e *Dinizia excelsa*), além do extrato de *Tectona grandis*. A madeira teve densidade média e estabilidade dimensional moderadamente estável. Os extratos foram utilizados nas concentrações 1, 2, 4 e 8% em teste de inibição a fungos de podridão parda (*Rhodonía placenta* e *Neolentinus lepideus*) e branca (*Polyporus fumosus* e *Trametes versicolor*). Foram selecionadas as concentrações de 2, 4, e 8%, para a impregnação da madeira. Dos extratos foram obtidos o pH (3,47 - 6,80), e a espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), que identificou compostos contendo anéis aromáticos e outros fenólicos bioativos. A estabilidade da cor foi realizada na madeira ao natural, impregnada, intemperizada e após o ataque dos fungos. Para testar a eficácia dos extratos foram realizados ensaios com os fungos citados e a térmitas xilófagas (madeira seca e de solo). Os extratos de *R. montana* e *T. grandis*, nas concentrações de 4 e 8%, foram mais eficientes na estabilidade da cor e controle do desenvolvimento de fungos xilófagos. Os extratos de *D. excelsa* e *R. montana*, independente da concentração utilizada, apresentaram maior eficácia no controle de térmitas.

Palavras-chave: Seringueira; Madeiras claras; Extrativos; Ensaio biológicos; Composição química.

ABSTRACT

ALMEIDA, Antônio Thiago Soares de. **Amazonian wood extracts as a natural preservative and its influence on the color of *Hevea brasiliensis* wood.** 2023. Dissertation (Master's degree in Forestry Sciences) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Adviser: Juarez Benigno Paes. Co-advisers: Victor Fassina Brocco and Yonny Martínez López.

The research aimed to evaluate the use of ethanol extracts from residues from the processing of Amazonian wood in the improvement of color stability and biological resistance of rubber tree wood from plantations. Thus, three trees (27 years old) were collected at the Santa Maria farm, in the interior of the municipality of Cachoeiro de Itapemirim, in the south of the state of Espírito Santo, which were transformed into samples for physical, colorimetric and impregnation tests of Amazonian wood extracts. of high natural resistance (*Hymenolobium flavum*, *Roupala montana* and *Dinizia excelsa*), in addition to the extract of *Tectona grandis*. The wood had medium density and moderately stable dimensional stability. The extracts were used at concentrations 1, 2, 4 and 8% in an inhibition test for brown (*Rhodonía placenta* and *Neolentinus lepideus*) and white (*Polyporus fumosus* and *Trametes versicolor*) rot fungi. Having selected the concentrations (2, 4, and 8%) for the impregnation of the wood. The pH (3.47 - 6.80) was obtained from the extracts, and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) identified compounds containing aromatic rings and other bioactive phenolics. Color stability was carried out on natural wood, impregnated, weathered and after fungus attack. To test the effectiveness of the extracts, tests were carried out with the previously mentioned fungi and xylophagous termites (dry wood and soil). The extracts of *R. montana* and *T. grandis*, at concentrations of 4 and 8%, were more efficient in color stability and control of the development of xylophagous fungi. *D. excelsa* and *R. montana* extracts, regardless of the concentration used, were more effective in controlling termites.

Keywords: Rubberwood; Light woods; Extractives; Biological tests; Chemical composition.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	12
2.1 GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 <i>Hevea brasiliensis</i> Muell. Arg.	13
3.2 SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS NATURAIS PRESENTES NA MADEIRA.....	15
3.2.1 Angelim pedra (<i>Hymenolobium flavum</i> Kleinh)	16
3.2.2 Angelim vermelho (<i>Dinizia excelsa</i> Ducke)	17
3.2.3 Louro faia (<i>Roupala montana</i> Aublet.)	17
3.3 PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS	18
3.4 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)	19
3.5 ORGANISMOS XILÓFAGOS	20
4 METODOLOGIA	23
4.1 LOCALIZAÇÃO DO PLANTIO, COLETA E AMOSTRAGEM	23
4.2 OBTENÇÃO E PREPARO DAS SOLUÇÕES PARA IMPREGNAÇÃO DA MADEIRA.....	25
4.2.1 Determinação do pH dos extratos e anatomia qualitativa das madeiras	26
4.3 ESPECTROS COM TRANSFORMADA FOURIER (FTIR).....	27
4.4 TESTE DE TRIAGEM E DEFINIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES.....	27
4.5 SOLUÇÕES PARA A IMPREGNAÇÃO DA MADEIRA	28
4.6 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E COLORIMÉTRICA DA MADEIRA.....	29
4.7 EFICIÊNCIA DOS EXTRATOS CONTRA FUNGOS XILÓFAGOS	30
4.8 EFICIÊNCIA DOS EXTRATOS CONTRA TÉRMITAS XILÓFAGAS	32
4.8.1 Ensaio de alimentação forçada com térmitas de madeira seca	32
4.8.2 Ensaio de preferência alimentar com térmitas de madeira seca	33
4.8.3 Ensaio de alimentação forçada com térmitas subterrâneas	34
4.8.4 Ensaio de preferência alimentar com térmitas subterrâneas	35
4.9 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1 CARACTERÍSTICAS DOS EXTRATOS DE MADEIRAS AMAZÔNICAS... 37	
5.1.1 pH e teor de sólidos totais (TST) dos extratos	37

5.1.2 Espectroscopia de infravermelho (FTIR) dos extratos	38
5.2 CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DAS MADEIRAS ESTUDADAS	40
5.2.1 Descrição anatômica qualitativa da madeira de angelim pedra	41
5.2.2 Descrição anatômica qualitativa da madeira de angelim vermelho..	41
5.2.3 Descrição anatômica qualitativa da madeira de louro faia	42
5.3 RETENÇÃO DOS EXTRATOS NA MADEIRA DE SERINGUEIRA.....	43
5.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA DE SERINGUEIRA	45
5.5 INFLUÊNCIA DOS EXTRATOS NA COLORIMETRIA DA MADEIRA.....	46
5.6 RESISTÊNCIA DA MADEIRA IMPREGNADA À FUNGOS XILÓFAGOS ..	48
5.6.1 Resistência biológica a fungos de podridão parda.....	48
5.6.2 Resistência biológica a fungos de podridão branca.....	50
5.7 RESISTÊNCIA DA MADEIRA IMPREGNADA À TÉRMITAS XILÓFAGAS	53
5.7.1 Resistência biológica a térmitas de madeira seca	53
5.7.2 Térmitas subterrâneas - Alimentação forçada.....	55
5.7.3 Térmitas subterrâneas - Preferência alimentar.....	56
6 CONCLUSÕES	59
7 REFERÊNCIAS.....	61
APÊNDICES.....	74

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, no Brasil e em outras partes do mundo, como no sudeste da Ásia, (Malásia, Ceilão e Cingapura) e na África Ocidental (Nigéria, Senegal, Serra Leoa e Togo), os plantios de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) possuem um ciclo de produção de látex que dura em média 25-30 anos. Após esse período, os plantios atingem o fim da sua viabilidade econômica em função da reduzida produção de látex. A exploração da madeira da seringueira passa a representar uma nova fonte de utilização econômica, e tem sido utilizada por diversos setores, como madeira serrada, indústria moveleira (fabricação de móveis, caixotarias, forros e portas) e painéis de madeira (Martins; Marques; Gouveia, 2019; Teoh; Don; Ujang, 2011).

No entanto, os principais problemas com a utilização da madeira de *H. brasiliensis* estão relacionados a sua cor clara, baixa estabilidade dimensional e elevada susceptibilidade ao ataque de organismos xilófagos, causado pelo alto conteúdo de açúcar simples e amido, e a ausência de cerne nítido (poucos extrativos de caráter fenólico), havendo assim uma rápida degradação por fungos e insetos. Apesar do seu potencial de aplicação para a indústria madeireira, esses problemas desvalorizam a madeira de seringueira no mercado e exigem a adoção de técnicas para melhorar sua qualidade, principalmente quanto a cor e durabilidade (Hassan et al., 2017; Zaidon et al., 2003). O incremento na durabilidade da madeira é obtido pela impregnação de substâncias químicas (naturais, sintéticos ou inorgânicos).

Os produtos químicos convencionais para o tratamento da madeira, apesar de sua eficiência contra os agentes xilófagos, têm se tornado menos populares, em função dos potenciais riscos ambientais, além da descaracterização da cor natural da madeira (Teoh; Don; Ujang, 2011).

Assim, a demanda por técnicas e produtos alternativos têm sido uma força motriz no desenvolvimento de abordagens menos tóxicas para a melhoria da durabilidade natural da madeira (Matan et al., 2009). Nesse sentido, espécies florestais tropicais, provenientes da Floresta Amazônica, que possuem cerne escuro ou avermelhado, podem ser utilizadas, na produção de produtos

(extrativos) para a melhoria da cor e resistência natural da madeira (Barbosa; Nascimento; Morais, 2007, Brocco et al., 2022).

A Amazônia representa cerca de 30% de todas as florestas tropicais remanescentes do mundo, possuindo um vasto estoque de madeira comercial. As espécies louro faia (*Roupala montana*), angelim vermelho (*Dinizia excelsa*), e angelim pedra (*Hymenolobium flavum*) são algumas das principais espécies comercializadas nas serrarias localizadas na calha do baixo Amazonas [Itacoatiara (175 Km de Manaus), Parintins (368 Km de Manaus), Barreirinha (329 Km de Manaus) e Maués (257 Km de Manaus)]. Essas madeiras são valorizadas no mercado por apresentar características desejáveis para usos na construção civil, esquadrias, pisos e outras peças estruturais de uso interno e externo (Brandon et al., 2005; Oliveira; Stöffel; Farias, 2018) corroborando com tal afirmativa o Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (2013) e Serviço Florestal Brasileiro - SFB (2010).

De acordo com Aro e Batalha (2013) e Straglioto, Pereira e Oliveira (2020) a exploração e processamento industrial de madeiras da Floresta Amazônica apresenta baixo rendimento (30-40%), principalmente durante o desdobro principal das toras, em que há maior geração de resíduos (serragem, aparas, cepilhos e costaneiras).

Os resíduos gerados são queimados, a céu aberto, sem nenhum fim energético; descartados nos rios ou ficam concentrados em determinado local na serraria para serem biologicamente degradados, além de ocuparem um espaço físico que poderia ser melhor utilizado, resulta em impactos ambientais negativos e perdas econômicas significativas (Carvalho, 2018; Fagundes, 2003).

A necessidade do aproveitamento de resíduos provenientes das indústrias processadoras de madeiras tem apresentado um notável crescimento, sobretudo pelas exigências ambientais. O que tem contribuído para a racionalização dos recursos florestais, proporcionando uma nova alternativa socioeconômica às empresas, ambientalmente adequadas ao gerenciamento de resíduos sólidos industriais, bem como, da necessidade de introduzir no mercado produtos mais competitivos (melhor qualidade e custo viável), que passam obrigatoriamente pelo uso racional da matéria-prima, transformando os resíduos em subprodutos, com a agregação de valor (Carvalho, 2018; Gomes; Sampaio, 2004).

Estudos têm demonstrado que extratos de casca e cerne de muitas espécies florestais lenhosas têm atividades biológicas, como inibição de enzimas, atividades antioxidantes, antifúngicas e antitermíticas. Portanto, os extratos da biomassa vegetal, principalmente de resíduos de madeiras tropicais de elevada durabilidade, oferecem potencial para o descobrimento e fornecimento de substâncias alternativas para o tratamento da madeira (Asamoah; Frimpong-Mensah; Antwi-Boasiako, 2011; Balfas, 2019; Brocco et al., 2020; Paes; Melo; Lima, 2007), a fim de incrementar sua durabilidade e estabilizar a cor das mesmas.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar a eficácia do uso de extratos em etanol, provenientes de resíduos do processamento de madeiras amazônicas, para a melhoria das propriedades físicas (densidade básica e estabilidade dimensional), estabilidade da cor e da resistência natural da madeira de seringueira (*Hevea brasiliensis*).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Quantificar e caracterizar os extrativos obtidos do processamento de madeiras provenientes da Região Amazônica;
- b) Caracterizar a estrutura anatômica microscópica do lenho visando a identificação botânica correta das espécies;
- c) Avaliar a impregnabilidade dos extrativos na madeira de *H. brasiliensis* de floresta plantada;
- d) Determinar as propriedades físicas (densidade básica e estabilidade dimensional) da madeira de *H. brasiliensis*;
- e) Analisar por meio da colorimetria quantitativa, o efeito dos tratamentos preservativos nas alterações da cor e resistência ao intemperismo; e
- f) Verificar a influência dos extratos na melhoria da durabilidade natural da madeira de *H. brasiliensis* a organismos xilófagos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 *Hevea brasiliensis* Muell. Arg.

A seringueira é originária da Região Amazônica e tem como área de ocorrência a Amazônia brasileira e países próximos, como Bolívia, Colômbia, Peru, Venezuela, Equador, Suriname e Guiana (região equatorial). Sendo que no Brasil há incidência de 11 conhecidas, dentre as quais destaca-se *Hevea brasiliensis*, com maior capacidade produtiva e variabilidade genética. Dela vem a borracha natural, principal fonte de matéria-prima consumida mundialmente. A espécie pertence à família Euphorbiaceae. Botanicamente é uma dicotiledônea, gênero *Hevea*, e todas as espécies conhecidas são lenhosas e arbóreas (Costa et al. 2001; Servolo-Filho, 2006).

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2021), o Brasil teve, uma produção de 399.751 toneladas de borracha, um valor de produção de 1.495.091 mil reais, em uma área colhida de 176.373 hectares, com rendimento médio de 2,367 kg por hectare. No estado do Espírito Santo, a quantidade produzida e de 14,562, em uma área colhida de 9.746 hectares, com rendimento médio de 1,494 kg por hectare. Para a produção mundial de borracha, o International Rubber Study Group (2020), o Brasil representa apenas 1,37% da produção, sendo um produtor inexpressivo no contexto mundial, apesar de ser o país da origem da seringueira.

A borracha natural é, hoje, uma *commodity* de múltipla utilização na indústria, que vão desde a indústria automobilística, materiais médico-hospitalares, calçados até a fabricação de pneus de avião. Apesar de ser originária da Região Equatorial, o aumento de demanda da borracha natural e a dificuldade de produção como monocultura nestas áreas, fez com que fosse cultivada fora desta zona convencional, ocorrendo em mais de 30 países, localizados nas regiões subtropical e tropical (Coelho Junior et al., 2009; Oliveira Junior, 2011). A seringueira é uma planta de grande importância econômica e ecológica.

Durante o ciclo produtivo para produção de látex efetua-se a sangria do caule, procedimento tecnológico constante no período produtivo desta espécie (25-30 anos). Quando finda o período produtivo de látex das árvores, o

povoamento é suprimido para replantio (Killmann; Hong, 2000). Assim a madeira de seringueira torna-se um subproduto disponível para outras finalidades de usos.

No Brasil, tradicionalmente e de forma quase exclusiva, a madeira ser queimada em fornos e caldeiras. Usos de maior valor agregado são incipientes, a despeito da prática internacional, que esse produto oferece, basta citar que a produção e exportação de mobiliário confeccionado com madeira de seringueira é uma atividade importante em diversos países asiáticos, como Malásia, Indonésia, Vietnã e Filipinas (Leonello et al., 2012; Lüneburger et al., 2022; Martins; Marques; Gouveia, 2019; Teoh; Don; Ujang, 2011).

A seringueira tem sido objeto de extenso estudo e pesquisa devido ao seu valor econômico, bem como ao seu potencial como fonte sustentável de produtos renováveis (Amorim et al., 2023; Beskopylny et al., 2022; Bhattacharjee et al., 2021; Saosee; Sajjakulnukit; Gheewala, 2022).

A madeira proveniente desses plantios poderia ser uma importante matéria-prima para vários tipos de produtos florestais e uma alternativa para substituir a madeira de florestas naturais. Apresenta boas características de trabalhabilidade (colagem, pregação e furação) e também pode ser usada na confecção de móveis, painéis à base de madeira, aglomerado, placa de cimento, fibra de média densidade a produção de celulose e papel (Faria et al., 2019; Okino et al., 2004).

Para Dumkor e Poompradub (2023), embora a seringueira produza madeira de boa qualidade, ela apresenta algumas limitações que a torna seu uso menos comum em comparação as espécies já consolidadas no mercado.

Na madeira de seringueira, não há distinção entre o alburno e o cerne, apresenta densidade básica baixa, a coloração clara (branco ao creme) e, às vezes, um tom rosáceo, pela ausência de extrativos na madeira e a um alto teor de amido (7,5 a 10,2%) e açúcares livres (1 a 2, 3%). Assim, a madeira de seringueira torna-se suscetível ao ataque de fungos e insetos (besouros e cupins), o que reduz sua vida útil, necessitando, portanto, de um tratamento profilático (Milingliang; Zhijuan, 2008).

Apesar dessas limitações, alguns esforços estão sendo feitos para explorar o potencial da madeira de seringueira, como os tratamentos químicos (arseniato de cobre cromatado - CCA, borato de cobre cromatado - CCB e ácidos

e sais). Embora os conservantes de madeira convencionais sejam bastante eficazes, devido a crescentes preocupações ambientais, mais ênfase está sendo dada a produtos e métodos alternativos que seja relativamente mais seguro para o meio ambiente, incluindo para ser humano (Brocco, 2019; Brocco et al., 2017; Shukla; Zhang; Kamdem, 2019).

3.2 SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS NATURAIS PRESENTES NA MADEIRA

Segundo Goodell, Winandy e Morrell (2020), há muito tempo a pesquisa trabalha para limitar o risco de deterioração e prolongar a vida útil da madeira. Inicialmente, fizeram isso sem saber que os fungos eram os agentes causais, o conhecimento emergente levou ao desenvolvimento de uma gama de biocidas que poderiam proteger a madeira da decomposição, como por exemplo, o creosoto. Como resultado, a proteção da madeira permanece em grande parte uma combinação de pesquisas que limitam a umidade, juntamente com o uso de madeiras naturalmente duráveis ou impregnação com biocidas onde o controle da umidade não é possível.

Segundo os mesmos autores, os tipos de biocidas usados e seu método de aplicação estão mudando à medida que surgem preocupações sobre o uso de produtos químicos no meio ambiente.

Substâncias químicas naturais produzidas por diferentes grupos de plantas têm sido fonte de aplicação, não somente na área de produtos florestais, mas em diversos campos da ciência (fitofármacos, nutracêutica: suplemento alimentar, químicas e industriais). A resistência natural da madeira ao ataque de diversos organismos xilófagos é um fenômeno complexo e está geralmente atribuída a compostos químicos não estruturais presentes no cerne e casca de diversas espécies florestais (Batista et al., 2020; Varejão; Nascimento; Cruz, 2012). A Floresta Amazônica é conhecida por sua rica biodiversidade e vasta gama de espécies vegetais com diversos potenciais.

Os extrativos são compostos químicos da parede celular, geralmente formados a partir de ácidos graxos, álcoois graxos, fenóis, terpenos, esteróides, resinas ácidas, e ceras (Rowell et al., 2005).

Estudos realizados em madeiras tropicais têm constatado a utilização de extrativos como fonte de compostos bioativos na repelência e à sobrevivência

de organismos xilófagos, em testes de laboratório (Barbosa; Nascimento; Morais, 2007, Brocco et al., 2022; Carneiro et al., 2009). Compreender os compostos bioativos e seus usos potenciais pode contribuir para o desenvolvimento sustentável da Floresta Amazônica.

A propriedade que faz a madeira resistir ao ataque de agentes deterioradores (biológicos, físico-químicos) sem tratamento preservativo, denomina-se resistência natural (Paes; Melo; Lima, 2007). Sendo assim, a madeira pode apresentar alta, média ou baixa resistência à ação desses agentes (Gomes; Ferreira, 2002).

A quantidade e a qualidade dos extrativos podem variar dependendo de vários fatores, incluindo a parte da planta utilizada (casca ou lenho), região geográfica, clima e condições do solo, nas madeiras de elevada durabilidade natural, são amplamente variáveis e dependentes das espécies (Oliveira et al., 2005).

A perda de massa, os extrativos fenólicos (taninos, polifenóis, estilbenos, lignanas e flavonóides) e o potencial de resistência natural, estão diretamente relacionados. Madeiras da região amazônica que apresentam elevado teor de extrativos possuem potencial de alta resistência natural e, conseqüentemente as perdas de massa são mínimas causadas pelos organismos xilófagos (Carneiro et al., 2009, Paes, 2002, Walker, 2006).

3.2.1 Angelim pedra (*Hymenolobium flavum* Kleinh)

A espécie *Hymenolobium flavum* pertence à família Fabaceae e no Brasil tem ocorrência nos estados do Amazonas, Amapá e Maranhão. Árvore de grande porte, 26-38m de altura. O cerne é amarelo-claro sobre fundo amarelo-pardacento; alburno amarelo; grã-direita; textura média; ausência de brilho; cheiro imperceptível. Apresenta densidade 0,80-0,90 g.cm⁻³ considerada pesada e de trabalhabilidade difícil. Seu acabamento é de regular a bom na plaina, torno e broca. Moderadamente fácil de serrar; fácil de pregar, parafusar e permite acabamento satisfatório. Na etnofarmacologia dos povos da Amazônia, sua casca é utilizada para tratar feridas. Dados da literatura relatam o isolamento de alguns compostos fenólicos na subfamília Faboideae, que apresentam

atividades antioxidantes agindo no combate a microrganismos (Ferreira; Silva; Gomes, 2001; Peres et al., 2009).

3.2.2 Angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke)

O angelim vermelho, também conhecido como *Dinizia excelsa*, é uma espécie nativa da floresta Amazônica, pertencente à família Leguminosae. Ocorre, principalmente no Amazonas, Pará, Acre, Rondônia, Roraima e Amapá. É uma das maiores árvores da floresta amazônica, podendo atingir até 60 metros de altura. Por seu tamanho e ocorrência, contribui consideravelmente para a biomassa da floresta (EMBRAPA, 2004; Mesquita; Ferraz; Camargo, 2007).

O angelim vermelho é muito procurado por sua madeira, que é durável, densa e resistente à podridão e pragas. Possui cerne marrom-avermelhado claro, pouco distinto do alburno cinza-avermelhado. Seus anéis de crescimento são distintos, sua grã reversa, textura média, brilho moderado e cheiro desagradável. Madeira pesada, de densidade a 12% de umidade de $0,83 \text{ g.m}^{-3}$ e básica de $0,93 \text{ g.m}^{-3}$. A madeira é usada na construção civil e naval, dormentes, postes, torneados, ambientes internos, fabricação de esquadrias de madeiras, degraus de escadas (EMBRAPA, 2004; Ferreira; Silva; Gomes, 2001; Souza et al., 1997).

3.2.3 Louro faia (*Roupala montana* Aublet.)

A espécie pertence à família Proteaceae, ocorre nos Biomas Amazônia, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica, e em todos os estados do Brasil, com ampla distribuição na América do Sul. O louro faia é uma árvore de porte médio a grande, podendo atingir até 30 metros de altura. Ela possui um tronco reto e cilíndrico, com casca lisa e acinzentada (Prance et al., 2007).

A sua madeira apresenta o cerne marrom, distinto do alburno marrom avermelhado-claro. Madeira pesada, densidade a 12% de umidade de $0,93 \text{ g.m}^{-3}$ e básica de $0,77 \text{ g.cm}^{-3}$. Secagem muito rápida em estufa, apresentando tendência moderada a encañoamento forte e a torcimento médio no programa de secagem. Com uso de plaina: é de fácil trabalhabilidade, garantindo acabamento regular; aceita lixamento com facilidade, permitindo acabamento regular, no torno comporta-se com certa regularidade para se trabalhar, com

acabamento bom; com broca: regular para se trabalhar, com acabamento bom; com broca, seu uso é: regular para se trabalhar, garantindo um bom acabamento. A madeira é usada na construção civil, na fabricação de móveis, artigos domésticos decorativos, torneados e em lâminas. Alguns dos compostos químicos presentes no gênero *Roupala* incluem alcaloides, flavonoides e esteróides (Carvalho, 2009; Souza et al., 1997; Ramos, 2015).

3.3 PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS

Os parâmetros colorimétricos são medidas quantitativas usadas para descrever e especificar as características de cor de um objeto ou uma fonte de luz. Na madeira a determinação da cor, é evidente, por ser um dos primeiros contatos visuais com o material, sendo um dos parâmetros utilizados para a classificação da madeira quanto à finalidade de uso (Martins et al. 2015, Mori et al., 2005).

A avaliação da cor da madeira pode ser realizada por métodos e ferramentas específicas para medição e análise colorimétrica, como, colorímetros e espectrofotômetros. Essas técnicas permitem quantificar e comparar objetivamente as características de cor da madeira, fornecendo informações precisas e consistentes (Stargerlin, 2012)

Dentre os sistemas mais utilizados para avaliar a cor da madeira, destaca-se o método CIELAB ou CIEL^{*}a^{*}b^{*}, da *Comission International d'Eclairage* - CIE, o qual se baseia em três elementos principais: luminosidade, tonalidade/matiz e saturação/cromaticidade. A claridade refere-se a variável L^{*} que varia entre 0 e 100, em que 0 caracteriza o preto total e 100 o branco total, também denominado eixo cinza (Pincelli et al., 2012).

A tonalidade é representada pelas cores primárias (vermelho, verde, amarelo e azul). E é simbolizada pelas variáveis cromáticas a^{*} e b^{*} localizadas no eixo perpendicular ao eixo cinza. O a^{*} identifica a cor no eixo verde-vermelho e o b^{*} descreve a cor no eixo azul-amarelo, e cada variável vai de -60 a 60. Quando o a^{*} é positivo, ele está localizado na parte vermelha do eixo, quando é negativo, é encontrado no lado verde do eixo. Quando o b^{*} é positivo, a cor está localizada no lado amarelo do eixo, quando é negativo o b^{*} tende a cor a azul (Camargos; Gonzalez, 2001; Pincelli et al., 2012).

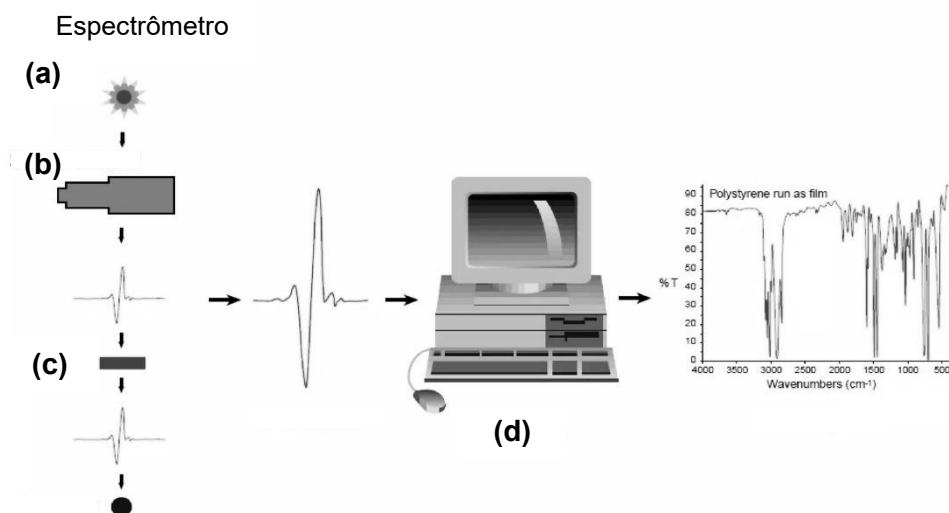
O espaço de cores CIELab possui dentre as principais vantagens a mensuração da cor dos objetos de maneira mais uniforme. Além da determinação de características organolépticas da madeira *in natura*, a avaliação da cor é estudada no meio científico com vistas a ser consolidado no meio industrial, qualificando produtos acabados, avaliando o mecanismo de biodeterioração (fungos apodrecedores), intemperismo natural ou artificial, aos diferentes tratamentos térmicos. Essa avaliação possibilita, analisar as modificações oriundas de um tratamento preservativo (natural ou químico) e à diferentes produtos de acabamento (Martins et al., 2015; Vetter, 1988).

3.4 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

A FTIR, é utilizado para analisar estruturas de moléculas de compostos orgânicos e inorgânicos puros, pois é capaz de identificar diferentes ligações químicas entre átomos pelas deformações rotacionais e vibracionais, as quais absorvem energia em determinada frequência de ressonância, de acordo com as características químicas dos átomos envolvidos. A espectroscopia infravermelho médio é a região espectral que vai dos 4000 a 400 cm^{-1} , números de onda e corresponde às vibrações fundamentais, de maior alongamento e deformação dos grupos funcionais (carotenoides, compostos fenólicos e derivados) (Niemann; Skoog; Holler, 2009; Tang et al., 2022)

A transformada de Fourier é um processo matemático pelo qual o interferograma é analisado em seus componentes de frequências com suas amplitudes (Figura 1). Dois espelhos planos posicionados perpendicularmente um ao outro. Um espelho semitransparente alinhado com a fonte de radiação, que retornando ao separador de feixes, recombina passa por interferência. O raio percorre em direção da amostra e em seguida ao detector que é denominado radiação transmitida e por fim os espectros são obtidos pelo cálculo da transformada de Fourier (Niemann; Skoog; Holler, 2009).

Figura 1. Sistema de Espectroscopia no Infravermelho com transformada de Fourier e seus principais componentes são: fonte (a), divisores de feixe (b), a amostra o detector (c), computador para gerar o espectro da amostra analisada (d).



Fonte: Adaptado de Thermo Nicolet Corporation, citado por Novaes (2016).

3.5 ORGANISMOS XILÓFAGOS

A madeira é formada por tecidos vegetais, sendo constituída a partir de um conjunto heterogêneo de diferentes tipos celulares, com múltiplas funções, desde a condução de líquidos; transformação, armazenamento e transporte de substâncias nutritivas; até a sustentação da árvore. A formação anatômica vai definir suas características específicas associadas às propriedades físicas, mecânicas e de resistência natural (Canhoto, 2018; Pinheiro, 2001).

A madeira é um material de natureza orgânica, e conseqüentemente é facilmente deteriorada, por elementos físicos (fenômenos naturais como chuvas), químicos (abrasivos, ácidos) e organismos vivos, como é o caso de fungos e térmitas xilófagos (Castro; Guimarães, 2018).

O desenvolvimento dos fungos apodrecedores pode depender de diversos fatores, como a fonte de alimento, a temperatura, a disponibilidade de oxigênio e a umidade. Entre os fungos responsáveis pelo apodrecimento da madeira, destaca-se a classe dos basidiomicetos, na qual se encontram os fungos responsáveis pela podridão-parda e podridão-branca, que possuem características enzimáticas próprias, quanto à decomposição dos constituintes

primários da madeira. Os primeiros decompõem os polissacarídeos da parede celular, e a madeira atacada apresenta uma coloração residual pardacenta. Os últimos atacam, indistintamente, tanto os polissacarídeos quanto a lignina. Nesse caso, a madeira atacada adquire um aspecto mais claro (Castro; Guimarães, 2018; Goodell; Winandy; Morrell, 2020; Oliveira et al., 2005).

A durabilidade da madeira pode ser indicada por meio da perda de massa diante do ataque do fungo. A porcentagem de perda de massa tem sido considerada como o melhor indicador para perda de resistência mecânica, a qual indica realmente a performance em serviço (Acker; Militz; Stevens, 1999).

As térmitas insetos eusociais da ordem Isoptera, são os principais agentes biológicos de degradação de madeira. No Brasil, as principais famílias encontradas são: Kalotermitidae, Termopsidae, Rhinotermitidae, Termitidae e Serritermitidae, entre as quais apenas Kalotermitidae, Rhinotermitidae e Termitidae são economicamente importantes (Gallo et al., 2002).

Os cupins (térmitas), são dentre os insetos xilófagos, os maiores causadores de danos. O principal dano causado pelos cupins é consequência da sua capacidade de digerir celulose, proporcionada por fauna microbiológica simbiote presente em seu intestino, sendo atraídos por todo o material de origem celulósica, como a madeira em seu estado bruto, papel e tecidos (Oliveira; Lelis; Lepage, 1986; Lepage; Salis; Guedes, 2017; Paes; Vital, 2000).

Existem mais de 281 gêneros e mais de 2.600 espécies, no Brasil, encontrados cerca de 200 espécies, onde a *Cryptotermes brevis*, do ponto de vista econômico é a mais importante pelos danos causados à madeira (Gonçalves et al., 2013). Estes cupins conseguem sobreviver em condições de baixa umidade, como comprovado nas fezes deste inseto, as quais são formadas por pelotas fecais secas, comprimidas durante o processo de excreção, a fim de não perder água no processo de eliminação de impurezas orgânicas. Essas fezes ficam armazenadas por um tempo em uma câmara no ninho e podem ser usadas para fechar canais que eventualmente não estejam mais sendo utilizados, ou ainda, para fins de defesa da colônia (Gonçalves; Oliveira, 2006).

A maioria das espécies pertencentes ao gênero *Nasutitermes* constrói ninhos arborícolas, e algumas encontradas em plantações de *Eucalyptus* podem nidificar sobre o solo. São os responsáveis pelos maiores volumes de perda de madeira, as colônias são compostas por milhares de indivíduos, os seus ninhos

são fáceis de serem encontrados e podem ser também relativamente fáceis de serem identificados pela morfologia externa e local de nidificação (Cavalcante, 1985).

Espécies do gênero *Nasutitermes* consomem as madeiras das edificações e mobiliários internos, tanto no meio rural quanto no urbano. Do ponto de vista alimentar, a espécie *Nasutitermes corniger* prefere o alburno ao cerne da madeira, mas ataca indistintamente madeiras duras ou moles, secas ou úmidas, manufaturadas ou não (Bandeira et al., 1998; Paes; Melo; Lima, 2003).

4 METODOLOGIA

4.1 LOCALIZAÇÃO DO PLANTIO, COLETA E AMOSTRAGEM

As árvores de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.), objeto do estudo, foram provenientes de plantio localizado na Fazenda Santa Maria, distrito de Pacotuba, município de Cachoeiro de Itapemirim, sul do estado do Espírito Santo (latitude 20°72'44.4"S, longitude 41°32'43.6"W com altitude média de 113 metros). O clima é tropical de altitude (Cwa), com chuvas mal distribuídas ao longo do ano, com verão chuvoso e inverno seco, de acordo com a classificação de Köpen. A temperatura média do mês mais frio é inferior a 20 °C e do mais quente superior a 27 °C (Oliveira, 2007).

Na propriedade, os clones existentes são FX 3864 e IAN 873, com 27 anos, perfazendo uma população de 1200 árvores, implantadas no espaçamento de 7 x 3 m, com o objetivo da produção e exploração de látex (Tabela 1). Foram realizadas duas adubações, uma no momento do plantio, com fósforo (200g) e calcário (200g) por cova. E a outra com 40 dias pós plantio, com nitrogênio (30g). O material utilizado na pesquisa foi proveniente de três árvores do clone IAN 873. As árvores 1 e 2 eram saudáveis, porém, a 3 estava atacada por térmitas do gênero *Nasutitermes*, em um galho quebrado próximo à copa (Figura 2).

Tabela 1. Informações dendrométricas das três árvores de *Hevea brasiliensis* (clone IAN 873) utilizadas, proveniente da Fazenda Santa Maria.

Clone IAN 873	Diâmetro altura do peito (cm)	Alturas total (m)	Altura comercial (m)
1	24,84	15,20	3,35
2	21,34	12,60	2,63
3	24,00	8,40	2,10
Média	23,39	12,07	2,70

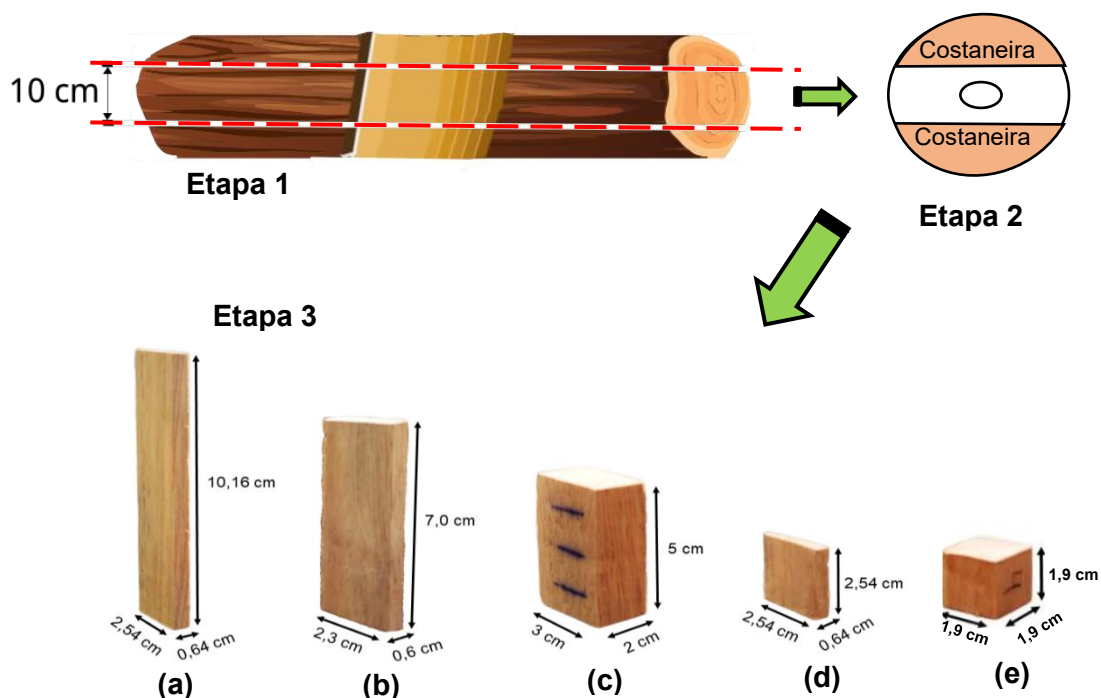
Figura 2. As três toras de seringueiras utilizadas na pesquisa. A seta indica a parte da tora atacada por térmitas.



Fonte: O autor.

As árvores foram transportadas para a Unidade de Processamento da Madeira, Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM), Centro de Ciências Agrárias e Engenharias (CCAIE), Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), em Jerônimo Monteiro, onde foi realizado o desdobro. De cada indivíduo foram retirados pranchões centrais com aproximadamente 10 cm de espessura, as costaneiras contendo o alburno foram separadas para a realização dos ensaios biológicos (Figura 3).

Figura 3. Esquema das etapas envolvidas para a obtenção das amostras para a realização dos ensaios. Etapa 1: desdobro da tora, Etapa 2: pranchão central e costaneiras contendo o albúrnio, Etapa 3: dimensões das amostras. As amostras obtidas (Etapa 3) foram impregnadas com extrativos de espécies amazônicas. Ensaios - preferência alimentar com térmitas subterrâneas (a), alimentação forçada com térmitas de madeira seca (b), densidade básica e coeficiente de anisotropia (c), preferência alimentar com térmitas de madeira seca e alimentação forçada com térmitas subterrâneas (d) e fungos xilófagos (e).



Fonte: O autor.

4.2 OBTENÇÃO E PREPARO DAS SOLUÇÕES PARA IMPREGNAÇÃO DA MADEIRA

Os extratos impregnados na madeira de seringueira foram obtidos de resíduos do processamento industrial (serragem) de madeiras amazônicas com alta durabilidade natural, como louro faia (*Roupala montana* Aub.), angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke) e angelim pedra (*Hymenolobium flavum* Ducke). As serragens foram coletadas na empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda. (*Precious Woods Amazon – PWA*), localizada na Rodovia AM 363, zona rural do município de Itacoatiara, Amazonas (latitude 03°00'S, longitude 58°30'W com altitude média de 612 metros).

Após a coleta, as serragens foram transportadas para o Laboratório de Tecnologia da Madeira, Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara, Universidade do Estado do Amazonas - CESIT/UEA, onde foram secos ao ar, homogeneizado e quarteado para garantir a representatividade das amostras a serem utilizadas. Um total de 20 kg de serragem de cada espécie florestal foi passado em conjunto de peneiras (10 e 50 *mesh*) para retirada de partículas maiores, outros resíduos (casca e impurezas) e dos finos (< 10 *mesh*).

A serragem foi seca em estufa (50 - 60 °C), por 24 h, para posterior solubilização em álcool etílico, conforme metodologia descrita por Nogueira et al. (2002). As soluções de impregnação foram obtidas pela solubilização em etanol 96 °GL das serragens, conforme descrito por Brocco (2019). Para tanto, a mistura serragem:solvente foi utilizada na proporção 1:5. O material obtido foi filtrado em funil de Büchner com papel de filtro com porosidade de 14µm, ajustado a um Kitassato e por sucção em bomba de vácuo, foi realizada, para a eliminação de partículas finas de serragem.

Os extratos obtidos foram concentrados em evaporador rotativo até obtenção do extrato bruto concentrado. De cada extrato foram retiradas três alíquotas de 5 mL e secas em estufa (50 - 60 °C) para cálculo do teor de sólidos totais (TST) existentes em cada um dos extratos (Equação 1).

$$\text{TST} = \left(\frac{M_2}{M_1} \right) * 100 \quad (1)$$

Em que: TST é o teor de sólidos totais (%), M_1 é a massa inicial da alíquota (g) e M_2 e a massa seca da alíquota (g).

4.2.1 Determinação do pH dos extratos e anatomia qualitativa das madeiras

Os valores de potencial hidrogeniônico (pH) dos extratos totais foram obtidos com pHmetro digital (Alfakit, AT-355, Santa Catarina), que foi calibrado a pH 4, 7 e 10, com soluções tampão padronizadas. A mensuração foi efetuada à temperatura de 25°C e o valor do pH foi obtido por meio do contato do eletrodo com a solução como citado, por Silva (2021).

Para os estudos anatômicos qualitativos das madeiras de louro faia, angelim vermelho e angelim pedra seguiu-se os procedimentos da *Comisión*

Panamericana de Normas Técnicas - COPANT (1972), em amostras obtidas do cerne externo das madeiras amazônicas utilizadas. Com relação as características anatômicas, foram realizados cortes em micrótomo de deslize (Leica SM 2000R, Alemanha) com montagem permanente. Foi utilizado um microscópio óptico confocal (10x) (Olympus - LEXT OLS5100, Japão) e um sistema analisador de imagem provido de software *LEXT Analysis application*.

4.3 ESPECTROS COM TRANSFORMADA FOURIER (FTIR)

A análise para identificação dos espectros com transformada de Fourier (FTIR) presentes nas soluções selecionadas para o tratamento da madeira foi realizada no Instituto Superior de Agronomia - ISA, Universidade de Lisboa, Portugal.

Os espectros foram obtidos em espectrômetro (Bruker ALPHA FTIR, Estados Unidos) de diamante de reflexão única. Com uma resolução de 4 cm^{-1} na região de comprimento de onda $4000\text{-}500\text{ cm}^{-1}$. Os espectros foram obtidos com o software Bruker Optics (OPUS). As medições espectrais foram realizadas em ambiente climatizado ($20 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $60 \pm 5\%$ de umidade relativa – UR). Para fins de identificação, os espectros obtidos foram comparados com dados da literatura específica.

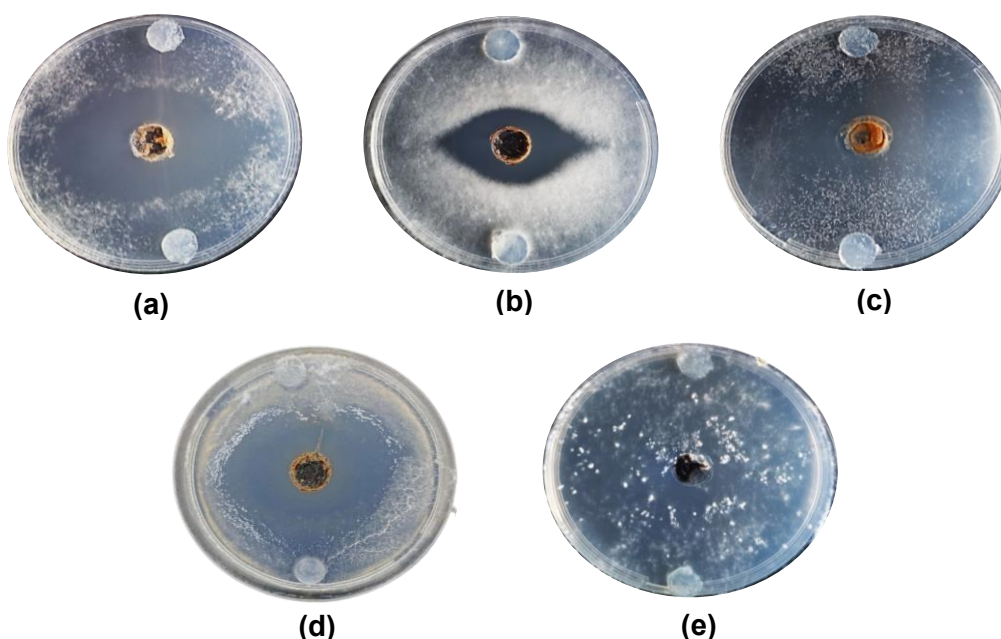
4.4 TESTE DE TRIAGEM E DEFINIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES

Os testes de inibição fúngica foram realizados conforme o método do poço, descrito pelo *Laboratory Standards Institute - CLSI (2018)*, com adaptações. Assim, um orifício (12 mm de diâmetro) foi realizado, no meio de cultura malte-ágar disposto em placas de Petri. Foram preparados 40 mL dos extratos, nas concentrações de 1; 2; 4; e 8% m/v (massa:volume).

Fragmentos de $\approx 5 \times 5$ mm obtidos da borda da placa de Petri, com crescimento ativo de fungos de podridões parda, *Neolentinus lepideus* (Mad 534) e *Rhodonía placenta* (Sin. *Postia placenta*) (Mad 698R) e branca *Polyporus fumosus* (FCC 496 A) e *Trametes versicolor* (Mad 697), foram utilizados na inoculação. As culturas, foram incubadas a $25 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ de UR, durante três semanas até o surgimento de uma camada de crescimento micelial cobrindo toda a superfície do meio.

Com uma micropipeta, os poços foram preenchidos com 10 μ L de cada extrato, nas concentrações a serem testadas. Após a evaporação dos solventes, os fungos (inóculo de 10 \times 10 mm) foram adicionados nas duas extremidades da placa de Petri, sendo empregados três repetições por fungo, extrato e concentração. Para avaliar o crescimento do fungo em cada concentração, foram utilizadas como controle (teste em branco), placas de Petri contendo apenas meio de cultura e inoculados com fragmentos do fungo testado. As placas foram encubadas em sala climatizada sob as mesmas condições citadas, sendo avaliadas as zonas de inibição de crescimento após transcorridos sete dias (Figura 4).

Figura 4. Testes de inibição fúngica – *Rhodonía placenta* (a), *Neolentinus lepideus* (b), *Polyporus fumosus* (c), *Trametes versicolor* (d) e controle (e).



Fonte: O autor.

4.5 SOLUÇÕES PARA A IMPREGNAÇÃO DA MADEIRA

As soluções dos extratos, para a impregnação da madeira de seringueira, foram definidas por testes de triagem com fungos causadores das podridões parda e branca. Após o ajuste das concentrações finais, as amostras foram tratadas pelo método de imersão a frio, com suas respectivas concentrações,

intervalos de tempo, para térmitas 30 min e fungo 5 horas. Para cada extrato testado, foram tratadas amostras controle sob as mesmas situações, sem a presença dos extratos.

Depois da impregnação, foi determinada a taxa de retenção dos extrativos para cada solução (Equação 2), que consistiu entre o ganho de massa após a impregnação e o volume das amostras. Antes da impregnação as amostras foram secas em estufa, mantida a 103 ± 2 °C, até atingirem massa constante.

$$T_{xr} = \left(\frac{M_2 - M_1}{V} \right) * 100 \quad (2)$$

Em que: T_{xr} é a taxa de retenção, em $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, M_2 é a massa final após o tratamento preservativo (g), M_1 é a massa inicial antes do tratamento preservativo (g) e V é o volume da amostra (cm^{-3}).

4.6 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E COLORIMÉTRICA DA MADEIRA

A densidade básica e os coeficientes de contração lineares tangencial, radial e os de anisotropia foram determinadas conforme as especificações da Norma Brasileira - NBR - 7190, Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2022). As amostras utilizadas foram as mesmas para os ensaios citados.

Para as alterações colorimétricas e fotoestabilidade da madeira de seringueira impregnada com os extratos das espécies amazônicas e de teca, foram avaliados os padrões colorimétricos, pelo espaço de cor CIE-L*a*b* da *Commission Internationale de L'Éclairage* - CIE (1976). Assim, antes e após as impregnações.

O padrão de cor da madeira foi determinado com espectrofotômetro portátil Konica Minolta CM-2500D, Japão, iluminante padrão D65, ângulo de observação de 10° e luz especular incluída. O equipamento foi calibrado com padrão preto e branco, as leituras realizadas (quatro) ao longo das faces radial-tangencial de cada amostra em que foram obtidos os valores das coordenadas L^* (claridade ou luminosidade), a^* (matizes do eixo vermelho – verde) e b^* (matizes do eixo amarelo – azul) para cada tratamento.

As amostras tratadas e o controle foram submetidos ao ensaio de intemperismo acelerado em condições de laboratório para avaliação da

estabilidade da cor. O intemperismo acelerado foi executado em câmara de intemperismo (BASS UUV, São Paulo, Brasil), com efeito da radiação solar simulado com lâmpadas fluorescentes UV sob ciclos alternados de radiação, umidade e temperatura como designado pela *American Society for Testing and Materials* - ASTM G 154 (2006).

Ao total, a madeira de seringueira tratada e controle foram expostos a 28 ciclos de 12 horas, perfazendo um total de 336 horas de exposição. As amostras intemperizadas foram acondicionadas em recipiente escuro, e posteriormente, pesadas e determinada a estabilidade da cor da madeira, pelas variações das coordenadas colorimétricas (ΔL^* , Δa^* e Δb^*) e pela variação total da cor (ΔE^*) determinada conforme Minolta (2007), Equação 3.

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3)$$

Em que: ΔE^* : variação total da cor da madeira após os tratamentos e ΔL^* , Δa^* e Δb^* : variação das coordenadas L^* , a^* e b^* após os tratamentos, respectivamente.

As variações totais da cor das amostras foram classificadas ao utilizar a classificação proposta por Hikita, Toyoda e Azuma (2001), realizada com base em níveis de percepção visual (Tabela 2). Após esse procedimento, as amostras intemperizadas, foram submetidos ao ataque fúngico.

Tabela 2. Classificação da variação total da cor (ΔE^*) da madeira após os tratamentos.

Varição Total da Cor (ΔE^*)	Classificação
Desprezível	0,0 – 0,5
Quase imperceptível	0,5 – 1,5
Ligeiramente perceptível	1,5 – 3,0
Notável	3,0 – 6,0
Muito expressiva	6,0 – 12,0

Fonte: adaptado de Hikita, Toyoda e Azuma (2001).

4.7 EFICIÊNCIA DOS EXTRATOS CONTRA FUNGOS XILÓFAGOS

Para testar a eficiência dos extratos vegetais obtidos de espécies florestais da Amazônia na proteção biológica da madeira de *H. brasiliensis*, foi

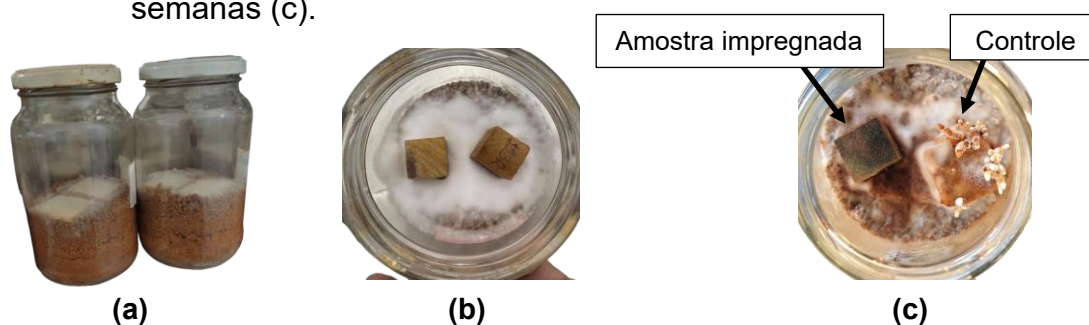
utilizado como padrão de comparação o extrato teca (*Tectona grandis* L. f.), utilizado na pesquisa realizada por Brocco (2019). As amostras impregnadas e controle (não impregnadas) foram submetidas à ação de fungos de podridão parda e branca, listados no teste de triagem, conforme metodologia descrita pela *American Wood Protection Association - AWP*A E10-16 (2016). Foram testadas três concentrações, para cada extrato, definidas como; menor, maior e igual ao limite inicial da inibição (*threshold*), obtidos do teste de triagem.

O ensaio foi preparado em frascos de 600 mL, preenchidos com 300 g de solo, capacidade de retenção de água (24,05%) e pH (6,28) conforme norma acima citada. O solo de cada frasco foi umedecido para 130 % da capacidade de retenção, pela adição de 63 mL de água destilada e foram adicionados dois alimentadores de madeira de *Pinus elliottii* acima do solo, no interior do frasco, os quais foram esterilizados em autoclave a 103 kPa e 121 °C por 30 minutos.

Depois do resfriamento dos frascos, fragmentos ($\approx 5 \times 5$ mm) obtidos de culturas puras dos fungos foram inoculados nos alimentadores. Após o desenvolvimento do fungo nos alimentadores e a colonização do mesmo no solo, foram adicionadas as amostras, totalizando 6 amostras para cada situação (fungo \times extrato \times concentração) e controles (seringueira e pinus). O ensaio foi mantido em sala climatizada (25 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de UR) por 12 semanas.

Decorrido tal período, os frascos foram abertos, as amostras de madeira retiradas e limpas (remoção do micélio do fungo) (Figura 5). As amostras foram secas em estufa (mesma condição inicial do experimento) e a perda de massa avaliada em função da classe de resistência (Tabela 3).

Figura 5. Frascos contendo alimentadores de madeira de pinus e fungos xilófagos (a), amostras dispostas aos fungos (b) e amostras após 12 semanas (c).



Fonte: O autor.

Tabela 3. Classes de resistência da madeira atacada por fungos xilófagos.

Perda de Massa (%)	Massa residual (%)	Classe de Resistência
0-10	90-100	Altamente resistente
11-24	76-89	Resistente
25-44	56-75	Resistência Moderada
≥45	≤55	Não Resistente

Fonte: adaptado da AWWPA E 30-16 (2016).

4.8 EFICIÊNCIA DOS EXTRATOS CONTRA TÉRMITAS XILÓFAGAS

4.8.1 Ensaio de alimentação forçada com térmitas de madeira seca

Para este ensaio, foi utilizado o procedimento do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo/Divisão de Madeiras - IPT/DIMAD D-2 (1980), que possui algumas similaridades com o descrito por Maistrello (2018) e Gonçalves et al. (2020). Assim, foram utilizadas seis amostras para cada situação (extrato × concentração), mais e o controle (pinus). As amostras foram dispostas em placas de Petri, unidos aos pares com fita adesiva. Sobre cada par de amostras, foi fixado com parafina, um recipiente de policloreto de polivinila (PVC), com 3,5 cm de diâmetro e 4,0 cm de altura (Figura 6). Após a adição dos insetos, os recipientes foram dispostos em placa de Petri e fixado sobre os mesmos uma tela (tipo filó), a fim de evitar a ação de predadores, como formigas, aranhas e lagartixas.

Figura 6. Alimentação forçada com térmitas de madeira seca. (a) Amostra com recipiente PVC e térmitas em seu interior; (b) Disposição do experimento em placas de Petri.



Fonte: O autor.

Dentro de cada recipiente foram inseridas 40 térmitas de madeira seca da espécie *Cryptotermes brevis* Walker (39 operários e um soldado). O ensaio foi mantido em sala climatizada (25 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de UR), durante 45 dias. Ao término do ensaio, as amostras foram avaliadas quanto à perda de massa, conforme AWPA E30 - 16 (2016), e desgaste (nota) avaliado conforme Tabela 4, proposta pelo IPT/DIMAD D - 2 (1980). Também foi contabilizada a quantidade de orifícios (furos) promovidos pelos insetos que ultrapassaram a espessura da amostra, a mortalidade (%) e o tempo de sobrevivência, conforme Lima (2019), Medeiros (2021) e Paes, Melo e Lima (2007).

Tabela 4. Notas atribuídas ao desgaste causado pelas térmitas de madeira seca.

Nota	Classificação
0	Nenhum desgaste
1	Desgaste superficial
2	Desgaste moderado
3	Desgaste acentuado
4	Desgaste profundo

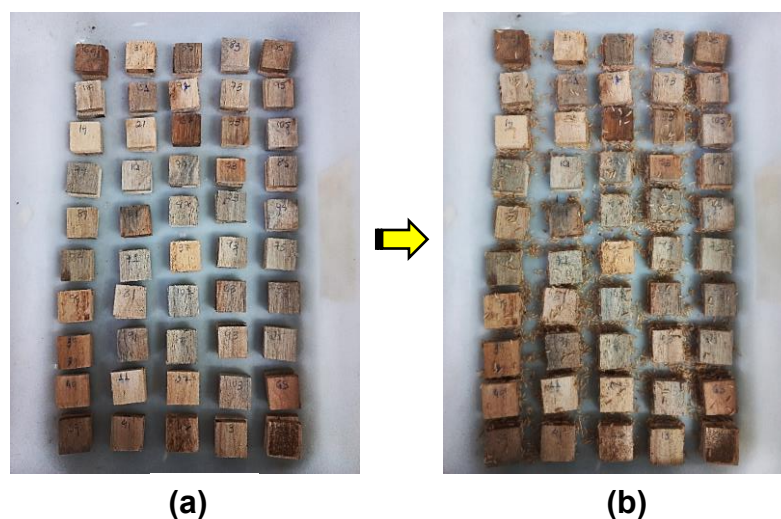
Fonte: adaptado do IPT/DIMAD D-2 (1980).

4.8.2 Ensaio de preferência alimentar com térmitas de madeira seca

No ensaio de preferência alimentar foram utilizadas 6 amostras para cada situação (extrato × concentração) e o controle (pinus), distribuídas aleatoriamente em uma bandeja de polietileno, com dimensões de 10× 30 × 48 cm (altura × diâmetro × comprimento).

No recipiente foram adicionadas térmitas (*Cryptotermes brevis*) na quantidade de 10 vezes o número de amostras (540 térmitas, 14 soldados). O ensaio foi mantido em sala climatizada (25 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$), por 45 dias, conforme descrito por Lima (2019) e Medeiros (2021). As amostras foram dispostas uma sobre a outra aos pares (Figura 7). Ao término de 45 dias, o ensaio foi desativado, e para análise foi avaliado a perda de massa e o desgaste provocado na madeira pelas térmitas.

Figura 7. Preferência alimentar com térmitas de madeira seca. Disposição aos pares dos corpos de provas antes no ensaio (a) e durante o ensaio sendo submetidas as térmitas (b).



Fonte: O autor

4.8.3 Ensaio de alimentação forçada com térmitas subterrâneas

O ensaio biológico de alimentação forçada com a térmita subterrânea (*Nasutitermes corniger* Motsch.) foi realizado conforme o método AWPA E1-16 (2016), com algumas modificações descritas por Brocco et al. (2017; 2019). Para tanto, foram coletadas colônias nas proximidades do município de Jerônimo Monteiro, ES.

O experimento foi preparado em frascos de 600 mL, preenchidos com 200 g de areia cuja umidade foi corrigida de acordo com a sua capacidade de retenção de água. Foram utilizadas seis amostras para cada situação (extrato × concentração) e o controle (pinus), adicionados em cada frasco uma amostra e $1 \pm 0,05$ g da térmita *Nasutitermes corniger*, o que corresponde a ± 350 indivíduos, na proporção de 89% de operários e 11% de soldados.

O ensaio permaneceu em sala climatizada (25 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$), por 28 dias. Ao término do ensaio foi avaliada a eficiência do tratamento em função do desgaste visual (nota) produzido nas amostras (Tabela 5), da mortalidade dos cupins (%) e a perda de massa (%).

Tabela 5. Avaliação do desgaste nos corpos-de-prova e da mortalidade dos cupins.

Classificação visual do desgaste	Nota
Sadio, permitindo escarificações superficiais	10
Ataque superficial	9
Ataque moderado, havendo penetração	7
Ataque intenso	4
Falha, havendo ruptura dos corpos de prova	0
Mortalidade	%
Baixa	0-33
Moderada	34-66
Alta	67-99
Total	100

Fonte: Adaptado da AWPA E1-16 (2016).

4.8.4 Ensaio de preferência alimentar com térmitas subterrâneas

O ensaio de preferência de alimentar foi realizado com a térmita *N. corniger*. Para a instalação do ensaio, foram utilizadas seis amostras para cada situação (extrato × concentração) e o controle (pinus), distribuídos segundo um delineamento em blocos casualizados (DBC), dentro de uma caixa com capacidade para 500 litros, contendo uma camada de 10 cm de areia umedecida.

O ensaio permaneceu em sala climatizada (25 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de UR) durante 45 dias (Figura 8). Ao término do ensaio, as amostras foram limpas com escovas de cerdas macias, secas em estufa (50 ± 2 °C) e pesadas para avaliação da resistência da madeira tratada em função da perda de massa e do desgaste provocado pelas térmitas nas amostras (Tabela 5).

Figura 8. Preferência alimentar com térmitas subterrâneas. Distribuição dos tratamentos em DBC (a) e colônia térmita subterrânea disposta sobre os corpos de prova apoiada sobre uma estrutura de plástico (b).



Fonte: O autor

4.9 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Os dados da quantificação, retenção dos extratos vegetais na madeira, ensaios de toxidez e propriedades físicas, foram avaliadas por meio de estatística descritiva com a posterior comparação de médias e desvio padrão. Nos resultados obtidos dos espectros FTIR, foram identificados os picos de maior intensidade e precisão, e comparados com a literatura pertinente.

Para os valores referentes à alteração de cor, ensaio biológico com fungos e resistência a térmitas foram empregadas 6 repetições para cada extrato, concentração e situação testada, sendo utilizado um delineamento inteiramente causalizado (DIC), em que foram avaliados os efeitos das soluções de tratamento na cor da madeira, perda de massa para os fungos e térmitas testados, e desgaste provocado e mortalidade (térmitas). Para o ensaio de preferência alimentar a térmitas foi utilizado um delineamento em blocos casualizados (DBC), avaliados os mesmos fatores já citados. Para os fatores e interação detectados como significativos pelo teste F ($p \leq 0,05$), foi empregado o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Para o ensaio com fungos xilófagos foram considerados quatro tipos de fungos, sendo seis repetições para extrato e concentração, totalizando 288 amostras. Neste ensaio, os danos causados pelos fungos não foram comparados entre si, por causarem danos diferentes à madeira.

Antes da aplicação da análise de variância (ANOVA), em todos os casos foram verificados a normalidade (teste Lilliefors, $p \leq 0,05$) e homogeneidade das variâncias (teste de Cochran, $p \leq 0,05$). Quando houve necessidade, os dados foram transformados, com indicado por Steel, Torrie e Dicky (1997), para dados em porcentagem e valores numéricos, contendo zero. Para os fatores e interação detectados como significativos (teste F, $p \leq 0,05$) foi aplicado o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERÍSTICAS DOS EXTRATOS DE MADEIRAS AMAZÔNICAS

5.1.1 pH e teor de sólidos totais (TST) dos extratos

Os resultados indicam que os extratos obtidos são ácidos ($\text{pH} < 7$), com variação de 3,36 a 6,23, em que o louro faia foi o mais ácido. Em relação ao teor de sólidos, verifica-se que o angelim vermelho apresentou valor médio superior aos demais, e o menor valor foi para o louro faia (Tabela 6).

Tabela 6. Valores médios de pH para as concentrações estudadas e os teores de sólidos totais (TST) dos extratos.

Extratos	Concentração (%)	pH	TST (%)
Angelim pedra	2	6,00 (0,01)	36,03
	4	6,23 (0,20)	
	8	6,02 (0,35)	
Média geral		6,08 (0,12)	
Angelim vermelho	2	5,53 (0,01)	44,48
	4	5,48 (0,08)	
	8	5,45 (0,01)	
Média geral		5,49 (0,04)	
Louro faia	2	3,61 (0,09)	27,92
	4	3,43 (0,05)	
	8	3,36 (0,06)	
Média geral		3,47 (0,13)	

Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

Os resultados do pH obtidos estão de acordo com os mencionados por Fonte et al. (2017), cujo valores encontram-se em torno de 5 a 6 (alburno), e 3 e 4 (cerne). O extrato de caráter mais ácido (louro faia) tem tendência a proporcionar maior resistência a fungos e térmitas xilófagos. Tendo os valores de pH dos extratos de angelim pedra e o louro faia situado fora do limite ótimo para o desenvolvimento de basidiomicetos deterioradores de madeira, que corresponde ao intervalo de 5,0 - 6,0 (Schmidt, 2006).

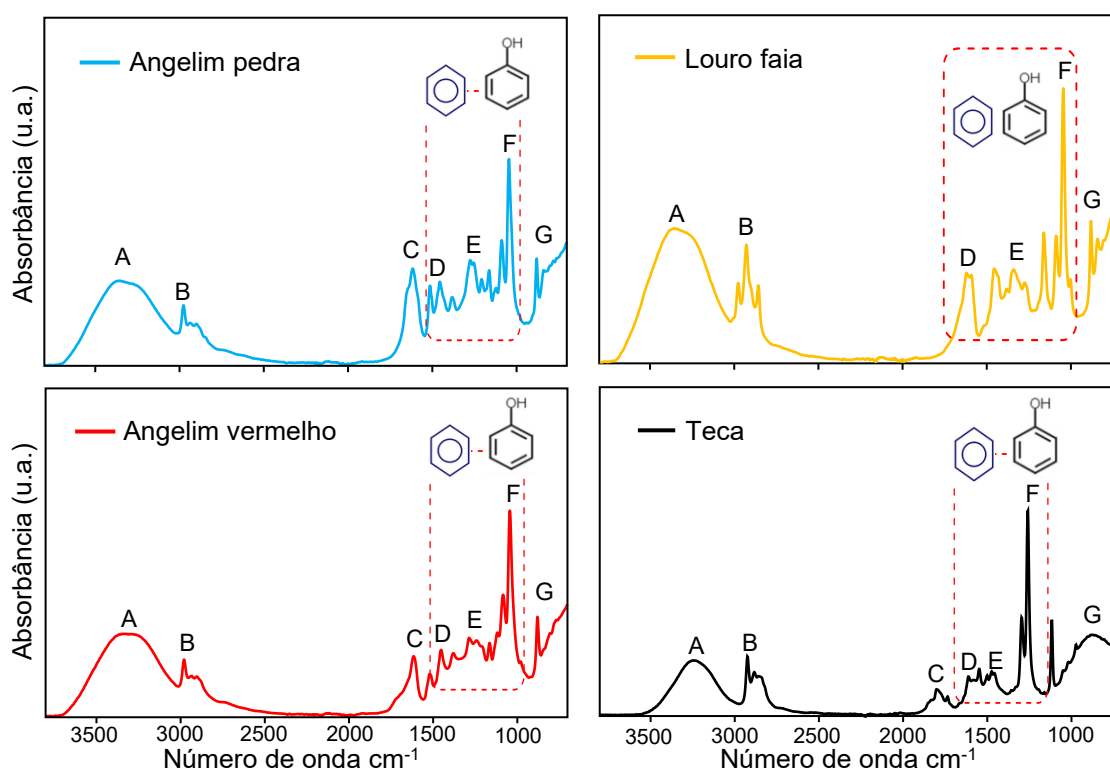
Isso ocorre, pois, o valor de pH influencia a germinação dos esporos, o crescimento micelial, a atividade enzimática (deterioração da madeira) e

formação do corpo de frutificação (Schmidt, 2006). O que pode ser observado nos resultados obtidos para os ensaios realizados nesta pesquisa.

5.1.2 Espectroscopia de infravermelho (FTIR) dos extratos

Os espectros de infravermelho para os extratos obtidos das espécies amazônicas e de teca constam na Figura 9, e na Tabela 7, as principais bandas observadas e seus atributos espectrais.

Figura 9. Espectros de infravermelho (FTIR) dos extratos de madeiras amazônicas e de teca.



Fonte: O autor.

De acordo com os resultados (Figura 9, Tabela 7), é observado as primeiras bandas (letra A), que correspondem a deformação axial do grupo O–H, juntamente com aqueles do grupo C–H, que são aromáticos contidas na faixa de $3400\text{--}3100\text{ cm}^{-1}$ para as espécies estudadas. Os picos observados compreendem o anel benzênico e a grupos metílicos, correspondendo a presença de OH (Chaves, 2022; Hemmalakshmi; Priyanga; Devaki, 2017; Liu et al., 2014; Oliveira, 2022; Poletto; Zattera; Santana, 2012).

Tabela 7. Atributos do espectro FTIR dos extratos de madeiras amazônicas e de teca, ilustrados na Figura 9.

Extrato	Letra	Número de ondas (cm ⁻¹) (extratos)	Número de ondas (cm ⁻¹) (literatura citada no texto)	Grupo funcional e atribuição
AP AV LF TC	A	3365,64 3348,89 3379,15	3400-3100	Vibração axial de ligações O–H
AP AV LF TC	B	2977,60 2978,09 2977,38	3000-2840	Vibrações de estiramento assimétrico C–H de grupos aromáticos
AP AV TC	C	1652,44 1670,27	1675-1650	Estiramento de C=O em cetonas conjugadas e em aldeídos
AP AV LF TC	D	1453,12 1587,53 1457,68	1600-1450	Deformação axial C=C do anel aromático
AP AV LF TC	E	1274,70 1349,73 1374,76	1374-1157	Ligações C–O; Ligações C–H; Alongamento simétrico para metileno
AP AV LF TC	F	1160,85 1158,85 1374,76	1200-1000	Deformação angular de O–H e deformação axial de C–O
AP AV LF TC	G	879,01 879,14 930,00	930-600	Deformação de ligações C–H fora do plano de anéis aromáticos.

Em que: AP – angelim pedra; AV – angelim vermelho; LF – louro faia; TC – teca.

Foram observados picos presentes na faixa de 3000-2840 cm⁻¹ (letra B). Eles são estriamentos de ligações C-H de grupos CH, CH₂ e CH₃, comuns em várias classes de compostos alifáticos, como ácidos, ésteres graxos e álcoois de cadeia longa (Mészáros; Jakab; Várhegyi, 2007; Oliveira, 2011; Silvério et al., 2006). Na faixa de 1675-1650 cm⁻¹ (letra C) foi observado estiramento de C=O (extratos AP, AV e TC) presente em cetonas conjugadas e em aldeídos.

Na região entre 1600-1450 cm^{-1} (letra D) caracteriza a deformação axial C=C do anel aromático com ligações C=C-C. Nessa faixa indica a presença de pontes de compostos metílicos (CH_2) e vibrações de alongamento dos anéis aromáticos e também estruturas (C-C) em anéis aromáticos de compostos fenólicos (Baltacioğlu et al., 2021; Chaves, 2022; Hemmalakshmi; Priyanga; Devaki, 2017; Oliveira, 2022; Martins, 2020).

A região do espectro entre as bandas 1374-1157 cm^{-1} (letra E) constitui a presença de diversas ligações químicas, como a vibração de ligações C-O, que pode ser atribuída a presença do pirano, típico dos anéis C das unidades flavonoides formadoras de taninos. Relacionado aos picos na faixa de 1200-1000 cm^{-1} (letra F) de deformação angular de O-H e axial de C-O, que podem estar associadas às vibrações de alongamento de ligações C-O-H, C-O-C e C-C, o que podem indicar a presença de anel pirano comuns em flavonoides, grupo de compostos fenólicos bioativos (Fernández; Agosin, 2007; Grasel; Ferrão; Wolf, 2016; Nogales-Bueno et al., 2017; Puică; Pui; Florescu, 2006).

A região entre 930-600 cm^{-1} (letra G) é atribuída a deformação de ligações C-H fora do plano de anéis aromáticos, indicam que alguns dos compostos alifáticos são de cadeia longa (Grasel; Ferrão; Wolf, 2016; Silvério et al., 2006).

Os grupos de compostos presentes nos espectros onda (A) e picos (D, E e F) são deformações atribuídas a compostos de anéis aromáticos, compostos fenólicos como taninos e outros compostos fenólicos bioativos. De modo geral, composto de caráter fenológico conferem à madeira resistência a organismos xilófagos como fungos e térmitas. O pico C observado para as espécies AP, AV e TC, é característico de grupos cetônicos. No extrato obtido em cetona, maior afinidade com grupos cetônicos, foi observado ter maior eficiência na proteção na madeira de alburno de pinus contra xilófagos (Brocco, 2019).

5.2 CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DAS MADEIRAS ESTUDADAS

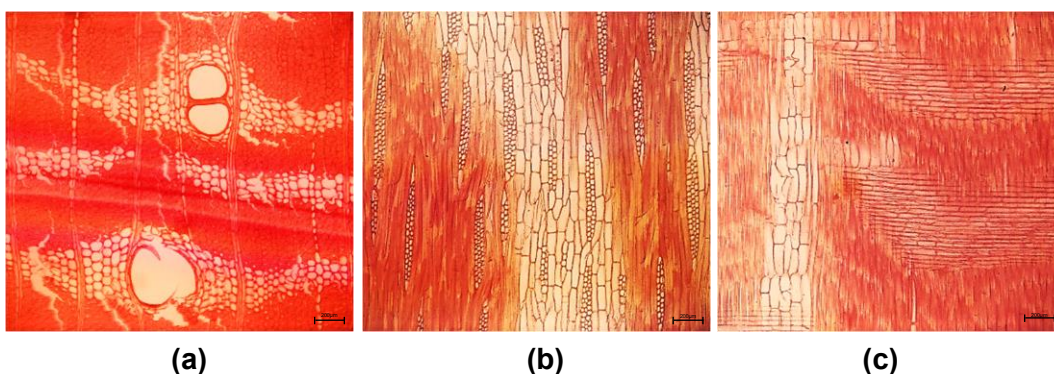
As fotomicrografias das seções transversal (A), longitudinal tangencial (B) e longitudinal radial (C) das madeiras de angelim pedra (*Hymenolobium flavum*), angelim vermelho (*Dinizia excelsa*) e louro faia (*Roupala montana*) constam nas Figuras 10, 11 e 12 (respectivamente). Barra = 200 μm .

5.2.1 Descrição anatômica qualitativa da madeira de angelim pedra

A madeira de angelim pedra possui cerne amarelo ou com tons de amarelo, com veias pronunciada. Com cor classificada em 10YR 8/6 de acordo com a escala de Munsell (2000).

Para caracterização microscópica (Figura 10), observa-se parênquima axial aliforme e aliforme confluyente formando faixas descontinua. Porosidade difusa. Vasos agrupados geralmente em grupos curtos radiais (2-4 vasos) (Figura 10A). Raios multisseriados com (2-4) células de largura, raios compostos com dois tipos de célula (heterogêneos), não estratificado (Figura 10B). Raios heterogêneos com células quadradas e eretas às fileiras marginais (Figura 10C).

Figura 10. Fotomicrografia da madeira de angelim pedra (*H. flavum*). transversal (a), longitudinal tangencial (b) e longitudinal radial (c).



Fonte: O autor. Barra de escala: 200 μ m.

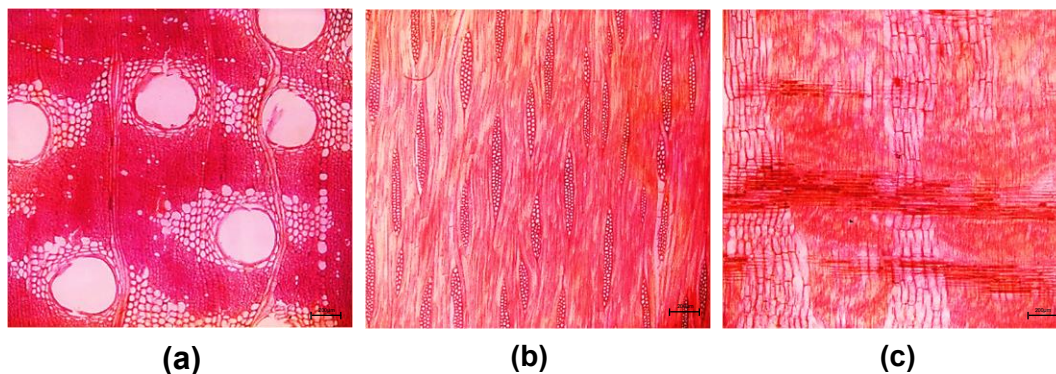
5.2.2 Descrição anatômica qualitativa da madeira de angelim vermelho

A madeira de angelim vermelho possui cerne marrom à vermelho. Com cor classificada em 5YR 3/4 de acordo com a escala de Munsell (2000). Alburno distinto do cerne, cheiro perceptível (muito desagradável e persistente).

Para caracterização microscópica (Figura 11), observa-se parênquima axial em faixas descontinua, além da presença do parênquima apotraqueal difuso e difuso em agregado. Paratraqueal aliforme e confluyente, parênquima axial em série, 2-5 células por série. Porosidade difusa. Os vasos são solitários e múltiplos agrupado geralmente em grupos curtos (2-3 vasos), Figura 11A. Raios multisseriados com (2-3) células de largura e não estratificados (Figura 11B). Raios compostos com único tipo de célula (homogêneo) e composto por 2

ou mais tipos de células (heterogêneo), células procumbentes. Raios heterógenos com células quadradas e eretas restritas em fileiras marginais (Figura 11C).

Figura 11. Fotomicrografia da madeira de angelim vermelho (*D. excelsa*). transversal (a), longitudinal tangencial (b) e longitudinal radial (c).



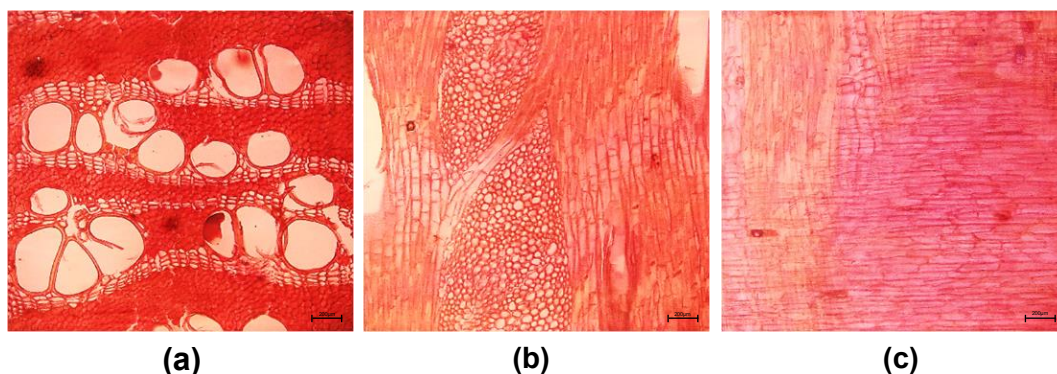
Fonte: O autor. Barra de escala: 200µm.

5.2.3 Descrição anatômica qualitativa da madeira de louro faia

A madeira de louro faia possui coloração marrom avermelhado e alburno de coloração distinto da cor do cerne. Com cor classificada em 5YR 5/3 de acordo com a escala de Munsell (2000). Apresenta figura conspícua (grã prateada causada por raios de várias camadas de células).

Para caracterização microscópica (Figura 12), observa-se parênquima axial em faixas. Estas não apenas marginais (ou simulando faixas marginais). Faixas do parênquima formando um padrão escalariforme com raios. Vasos ou poros visíveis a olho nu, porosidade difusa. Os vasos dispostos em cadeia tangencial, agrupado, geralmente em ráculos. Vasos múltiplos tangenciais de 2-4 (Figura 12A). Raios multisseriados com 10-30 células de largura (Figura 12B). Raios compostos por um único tipo de célula (homogêneo); células dos raios procumbentes (Figura 12C).

Figura 12. Fotomicrografia da madeira de louro faia (*R. montana*). transversal (a), longitudinal tangencial (b) e longitudinal radial (c).



Fonte: O autor. Barra de escala: 200µm.

A descrição das espécies angelim pedra (*H. flavum*) e angelim vermelho (*D. excelsa*) corrobora com as observações de Ferreira; Silva; Gomes (2001) e Rangel (2012) que, identificaram por fotomicrografia, as mesmas características observadas neste estudo.

A caracterização anatômica de louro faia (*R. montana*) assemelha-se ao relatado por Alves (2020) ao elaborar uma chave dicotômica para identificação de espécies arbóreas do cerrado mineiro com base na anatomia da madeira.

5.3 RETENÇÃO DOS EXTRATOS NA MADEIRA DE SERINGUEIRA

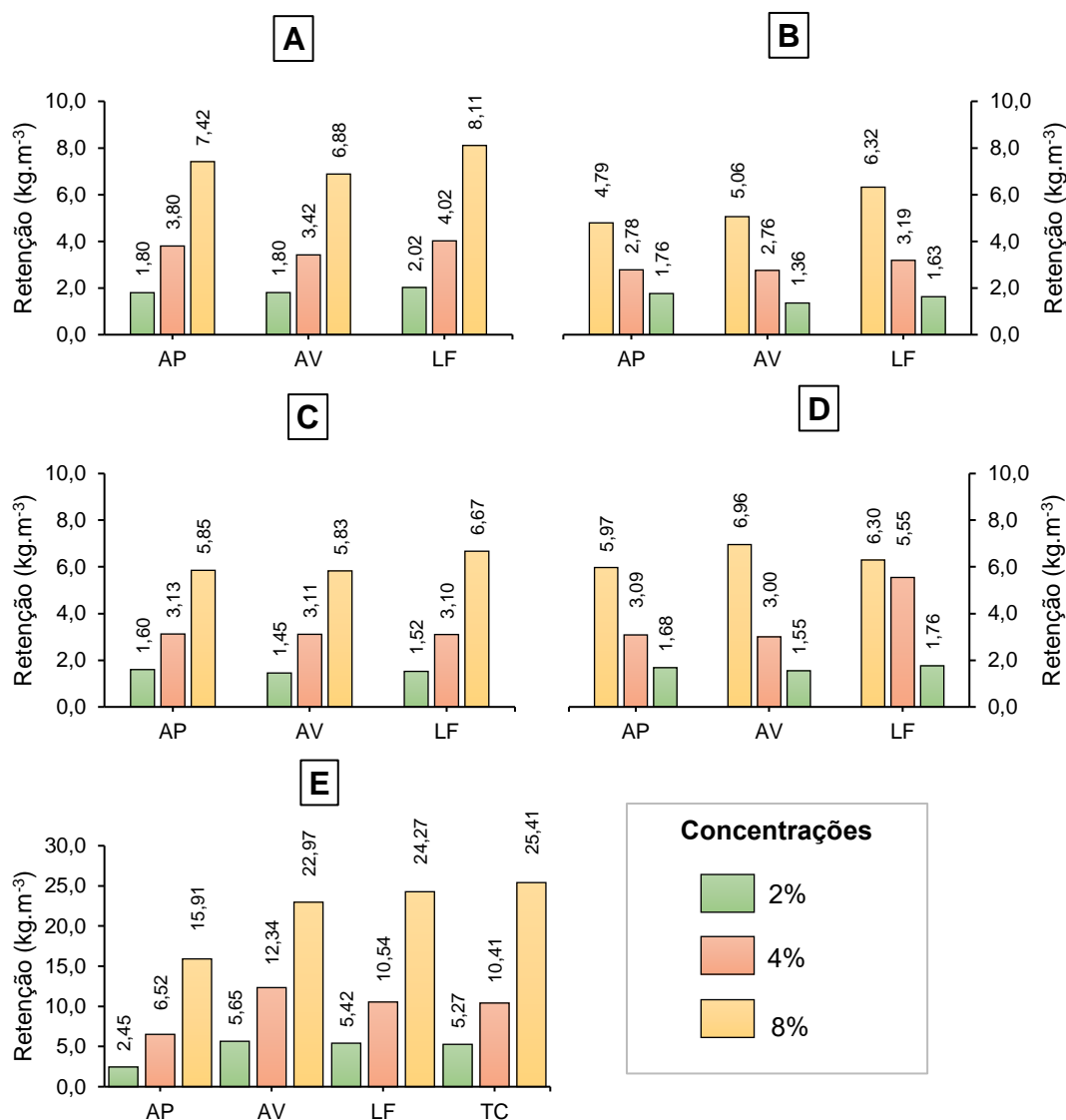
As retenções dos extratos de cada espécie florestal, na madeira de seringueira, conforme a concentração e ensaios biológicos realizados, constam na Figura 13.

Os valores obtidos para o ensaio de térmitas variaram de 1,36 - 8,11 kg.m⁻³, enquanto para o ensaio com fungo foi de 2,45-25,41 kg.m⁻³, de acordo com concentração de extrato e tempo avaliados. Certamente o tempo de impregnação, 30 min para ensaio com térmitas e 5 h para ensaio com fungos, influenciou nos valores de retenção mais baixos para ensaios com térmitas e altos para fungos.

Para impregnação da madeira de marupá (*Simarouba amara*) com extratos obtidos do lenho e casca de espécies amazônicas, para proteção contra térmitas subterrâneas, Barbosa, Nascimento e Morais (2007) encontraram variações de retenção entre 4,85-6,69 kg.m⁻³. Brocco et al. (2017) obtiveram para extrato de teca retenções que variaram de 21-23 kg.m⁻³, para madeira de pinus,

e de 10,54-15,63 kg.m⁻³ para o alburno de teca. Em síntese, madeiras de coníferas tendem a absorver mais produto que aquelas de folhosas. Tendo as retenções sido efetivas para os organismos xilófagos testados.

Figura 13. Retenções dos extratos para as espécies, concentração e ensaios biológicos.



Fonte: O autor. Em que: Ensaio térmitas de madeira seca. A - Ensaio preferência alimentar e B - Ensaio alimentação forçada; térmitas subterrâneas. C - Ensaio preferência alimentar e D - Ensaio alimentação forçada. E - Ensaio ensaio com fungos xilófagos. AP – angelim pedra; AV – angelim vermelho; LF – louro faia; TC – teca.

Fatores como a anatomia do lenho influenciam na quantidade de produto que o lenho absorve. A estrutura anatômica da madeira de conífera é

relativamente simples quando comparada às folhosas. Contribuindo para maior penetração e impregnação de produtos preservativos na madeira (Sales-Campos; Vianez; Mendonça, 2003; Gonzaga, 2006).

5.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA DE SERINGUEIRA

A densidade básica influencia diretamente as propriedades físicas (estabilidade dimensional) e mecânicas da madeira. O valor médio encontrado para madeira de seringueira foi de $0,53 \text{ g.cm}^{-3}$, considerada média, de acordo com a classificação de Melo, Coradin e Mendes (1990). Os valores das contrações tangencial e radial foram de 5,64% e 2,39% respectivamente, e o coeficiente de anisotropia de 2,36. Considerada uma madeira de baixa qualidade (≥ 2), como citado por Durlo e Marchiori (1992). Podendo ser utilizada na indústria moveleira (fabricação de móveis, caixotarias, forros e portas), além de laminados, compensados e outros painéis reconstituídos de madeira.

O valor médio de densidade básica foi similar ao encontrado por Portal-Cahuana et al. (2022), no entanto, o coeficiente de anisotropia obtido foi de 1,74, valor inferior ao encontrado no presente estudo. Tal valor pode ter sido influenciado pela idade e características edafoclimáticas. Santana, Eiras e Pastore (2001) obtiveram para clone de seringueira utilizado nesta pesquisa, densidade básica de $0,49 \text{ g.cm}^{-3}$, sendo inferior ao obtido.

Com relação a contração e o coeficiente de anisotropia, os mesmos autores encontraram valores 5,1%, 2,3% e 2,2 respectivamente, corroborando com o presente estudo. Para as amostras de seringueira obtidas ao longo do fuste, Raia et al. (2018) encontraram densidade básica média de $0,58 \text{ g.cm}^{-3}$ e anisotropia de contração superior a 2,0, estando estes resultados condizentes com os valores obtidos neste estudo.

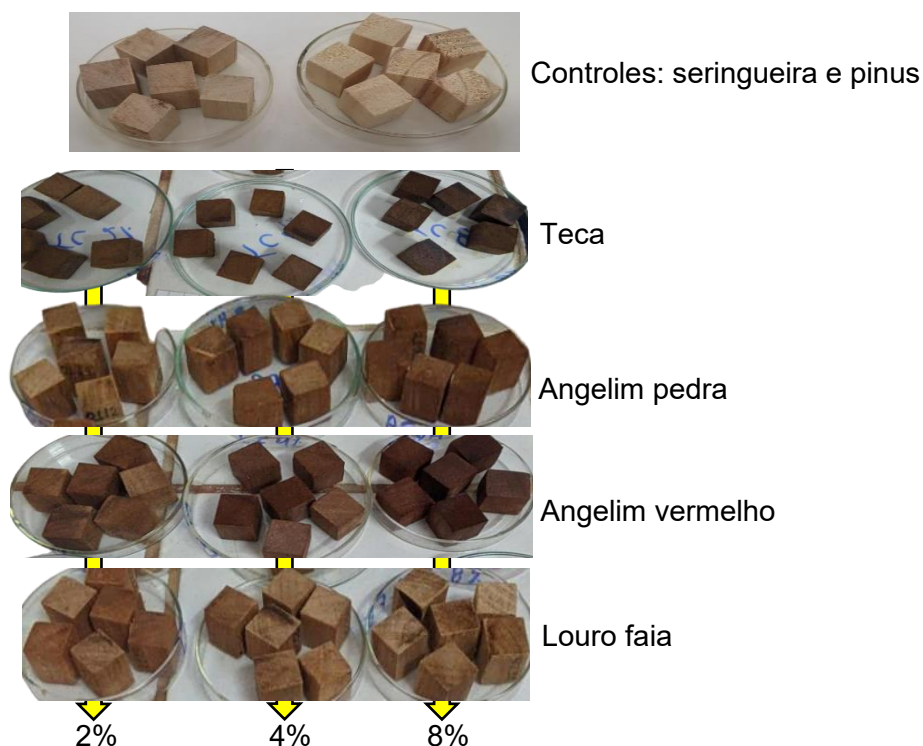
Em relação ao uso que envolverem estabilidade dimensional da madeira, como moveis, pisos e lambris é recomendado que a madeira possua coeficiente de anisotropia próximo de 1, produzindo assim, produtos de melhor qualidade, quanto a esta característica (Oliveira; Silva, 2003).

5.5 INFLUÊNCIA DOS EXTRATOS NA COLORIMETRIA DA MADEIRA

Após a impregnação com os extratos, observou-se diferença das cores. No Apêndice A, observa-se as variações das coordenadas L^* , a^* e b^* e total da cor (ΔE^*) das amostras impregnada (Apêndice A, Tabela 3A), intemperizada (Apêndice A, Tabela 4A) e após o ataque dos fungos (Apêndice A, Tabela 5A).

De modo geral, o incremento da concentração promoveu maiores diferenças da cor da madeira de seringueira (Figura 14), principalmente para a concentração de 8%, em que, foi observado um aumento na diferença da cor (Tabela 8). Os valores observados da diferença da cor após a impregnação foram superiores aos citados por Hikita, Toyoda e Azuma (2001), Tabela 2, cujo valor máximo é 12, que classifica a variação total da cor como muito expressiva. Valores superiores ao de referência, foram observados por Brocco (2019), para madeira de pinus impregnada com extrato de teca, e por Pinto (2020) para madeiras de mogno africano (três espécies), eucalipto e cedro australiano, submetidos à modificação térmica.

Figura 14. Cor da madeira de seringueira após a impregnação com os extratos de madeiras amazônicas e de teca, e os respectivos controles.



Fonte: O autor.

A madeira impregnada submetida ao intemperismo artificial, teve uma variação de cor que a classifica como notável a muito expressiva (Hikita; Toyoda; Azuma, 2001). Isto significa que os extratos tiveram a capacidade de serem pouco afetados negativamente pelas condições de intemperismo submetidas. Nesse contexto, quanto menor a variação total da cor, melhor foi a proteção contra as intempéries ficaria a madeira impregnada. Dentre os extratos testados, aquele que de modo geral, melhor protegeu a madeira quando ao intemperismo foi o extrato de angelim pedra (AP) (Tabela 8).

Tabela 8. Valores médios da variação total da cor (ΔE^*), da madeira impregnada com os extratos, estabilidade após intemperismo e ataque dos fungos testados.

Extrato	ΔE^* / impregnada			ΔE^* / Intemperismo			ΔE^* / <i>R. placenta</i>		
	Concentração (%)			Concentração (%)			Concentração (%)		
	2	4	8	2	4	8	2	4	8
AP	22,04	22,32	25,31	4,69	3,38	2,77	22,62Aa	10,28Ba	15,41ABa
AV	21,20	24,21	29,67	11,18	7,60	6,84	11,20Aa	7,19Aa	8,64Aab
LF	21,20	19,71	16,80	8,33	9,11	9,38	12,96Aa	12,74Aa	12,50Aa
TC	27,78	32,53	30,56	7,47	8,50	5,38	16,04Aa	9,72Aa	4,77Bb
Extrato	ΔE^* / impregnada			ΔE^* / Intemperismo			ΔE^* / <i>N. lepideus</i>		
	Concentração (%)			Concentração (%)			Concentração (%)		
	2	4	8	2	4	8	2	4	8
AP	21,10	20,60	24,38	5,04	8,59	4,07	13,00Aa	12,99Aa	15,72Aa
AV	20,31	25,53	27,25	10,60	6,25	6,78	7,48Ab	6,82Ab	5,10Ab
LF	21,75	20,76	19,03	8,35	8,92	8,44	12,11Aab	11,02Aa	14,12Aa
TC	32,12	32,91	38,07	7,73	7,78	5,03	8,79Aab	9,65Aab	6,06Ab
Extrato	ΔE^* / impregnada			ΔE^* / Intemperismo			ΔE^* / <i>P. fumosus</i>		
	Concentração (%)			Concentração (%)			Concentração (%)		
	2	4	8	2	4	8	2	4	8
AP	20,42	23,24	23,04	6,31	4,41	2,58	11,55Aa	15,89Aa	16,87Aa
AV	20,95	22,93	28,71	9,87	7,53	8,93	8,31Aa	6,12Ab	9,05Aa
LF	21,59	21,29	19,00	9,13	8,50	8,77	13,82Aa	9,74Aab	13,74Aa
TC	27,92	31,87	38,64	8,79	5,32	3,96	11,39Aa	8,41ABb	3,24Bb
Extrato	ΔE^* / impregnada			ΔE^* / Intemperismo			ΔE^* / <i>T. versicolor</i>		
	Concentração (%)			Concentração (%)			Concentração (%)		
	2	4	8	2	4	8	2	4	8
AP	20,04	25,23	24,50	6,90	5,40	5,37	15,68Aa	13,91Aa	13,53Aa
AV	22,16	25,08	24,97	10,64	9,93	11,55	16,83Aa	12,53Aa	10,42Aa
LF	23,43	22,66	18,44	6,95	7,70	9,52	12,67Aa	17,36Aa	13,90Aa
TC	26,19	33,10	38,09	8,85	8,51	6,01	11,62Aa	16,66Aa	7,95Aa

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula, na horizontal, para cada fungo e, ou extrato, ou minúscula, na vertical, para cada concentração, não diferem (Tukey, $p > 0,05$). Em que: AP – angelim pedra; AV – angelim vermelho; LF – louro faia; TC – teca.

Após os ensaios com fungos, os resultados das análises estatísticas indicaram diferença significativa entre os extratos e as concentrações (Apêndice

A, Tabela 1A, Tabela 2A). Houve um incremento da variação total da cor, tendo a mesma sido classificada como muito expressiva (Tabela 8). Exceto para o extrato de teca a 8% de concentração, para os fungos *Rhodonía placenta* e *Polyporus fumosus*, e para o extrato angelim vermelho (*Neolentinus lepideus*), classificadas como notável. Para estes casos, o ataque influenciou pouco na cor da madeira após o intemperismo. Indicando que o extrato de teca, possui boa eficácia na proteção da madeira contra o ataque de fungos, como observado por Brocco et al. (2017) e Brocco (2019).

5.6 RESISTÊNCIA DA MADEIRA IMPREGNADA À FUNGOS XILÓFAGOS

5.6.1 Resistência biológica a fungos de podridão parda

Os extratos das espécies amazônicas testados (2, 4 e 8%) e o de teca (2 e 4%), proporcionaram mudanças de cor semelhantes, tendo protegido a madeira do ataque dos fungos (Tabelas 9 e 10).

Para a perda de massa a fungos de podridão parda, observou-se diferença significativa para as situações testadas (Apêndice B, Tabela 1B). Na comparação da perda de massa (Tabela 9), notou-se que, os extratos angelim pedra (AP), angelim vermelho (AV), louro faia (AF) e teca (TC), nas concentrações (2, 4 e 8%) foram eficientes ao fungo *N. lepideus*, sendo classificadas como resistentes, conforme a AWPA E 30-16 (2016), Figura 15.

Tabela 9. Perda de massa média causada pelos fungos de podridão parda, em função dos extratos e concentrações testadas.

Extratos	Concentração e perda de massa (%) / fungo					
	<i>Neolentinus lepideus</i>			<i>Rhodonía placenta</i>		
	2	4	8	2	4	8
AP	20,36Aa	20,19Aa	14,86Aab	27,19Aab	25,16Ab	26,10Aab
AV	15,71Aab	16,03Aa	19,45Aa	33,79Aa	33,52Aa	33,35Aa
LF	10,97Bb	16,12ABa	17,19Aab	17,84Bc	23,64ABb	26,10Aab
TC	16,40Aab	15,28Aa	11,51Ab	26,09Ab	24,75Ab	20,65Ab
Controle	SG	22,45		38,35		
	PN	34,56		54,11		

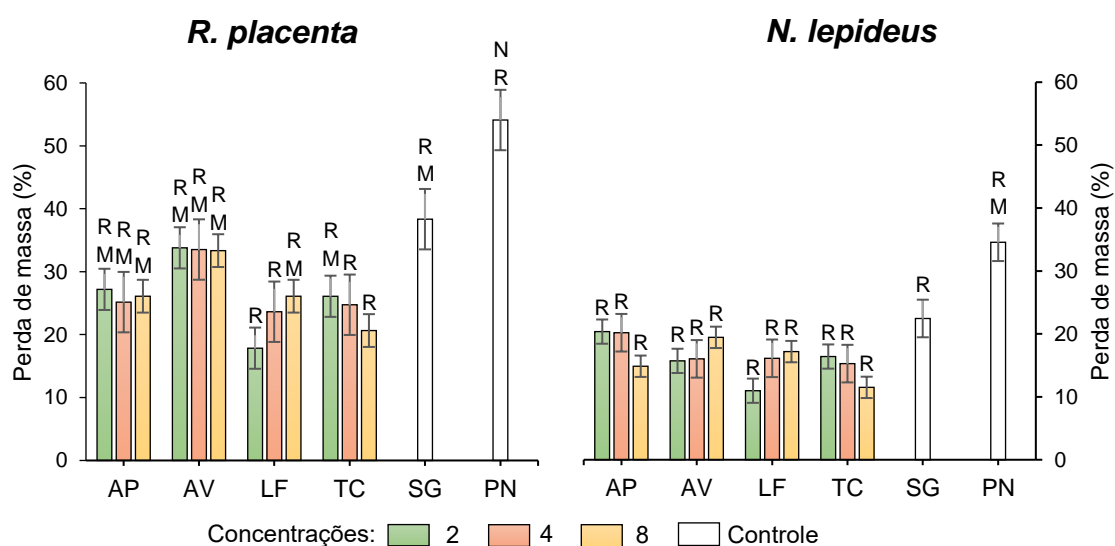
Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula, na horizontal, para cada fungo e, ou extrato, ou minúscula, na vertical, para cada concentração, não diferem (Tukey, $p > 0,05$). AP – angelim pedra; AV – angelim vermelho; LF – louro faia; TC – teca; SG – seringueira e PN – pinus.

Isso pode ser atribuído aos compostos fenólicos presentes nestes extratos identificado pela FTIR (Figura 9 e Tabela 7), que podem ser os possíveis inibidores a esse fungo. O controle de pinus teve perda de massa de 34,56%, considerada de resistência moderada conforme a norma citada.

Para fungo *R. placenta*, a madeira impregnada com os extratos de louro faia, nas concentrações de 2 e 4% e teca, para 4 e 8%, obtiveram menor perda de massa, classificadas como resistentes, AWPA E 30-16 (2016), Figura 15. Os extratos angelim pedra e angelim vermelho atuaram de forma menos eficientes, tendo proporcionado resistência moderada as amostras impregnadas. Vale ressaltar que a madeira de seringueira não teve uma boa retenção para os extratos angelim pedra e angelim vermelho (Figura 13E).

Para os controles (seringueira e pinus), verifica-se para ambos os fungos, que o pinus perdeu maior massa. Segundo Schmidt (2006), a madeira de pinus possui baixa densidade, características anatômicas simples e baixa proporção de extrativos de caráter fenólico, o que a torna facilmente deteriorada por esses microrganismos.

Figura 15. Perda de massa média e classes de resistência da madeira impregnada, para extratos e concentrações, ao ataque de fungos de podridão parda.



Fonte: O autor. Em que: AP – angelim pedra; AV – angelim vermelho; LF – louro faia; TC – teca; SG – seringueira e PN – pinus. R – Resistente; MR – Moderada Resistência; e NR – Resistente e Resistência Moderada e NR – Não Resistente (AWPA E 30-16, 2016).

Para avaliar a resistência biológica da madeira de seringueira, tratada e não tratada com etileno, submetida aos fungos de podridão parda (*Gloeophyllum sepiarium* e *Gloeophyllum striatum*), Cherdchim e Satansat (2016) observaram que os fungos promoveram maior perda de massa na madeira tratada. No entanto, Yingprasert, Cherdchim e Peaklin (2021) observaram que extratos da casca de *Acacia mangium* proporcionaram melhoria da resistência da madeira de seringueira contra o ataque do fungo de podridão parda (*Gloeophyllum striatum*), corroborando com os dados desta pesquisa.

Para avaliar o potencial preservativo do extrato em etanol, do cerne de teca (*Tectona grandis*), impregnado no alburno, e em madeira *Pinus* sp., Brocco et al. (2017) e Brocco (2019) observam uma melhoria na resistência das madeiras aos fungos *P. placenta* e *N. lepideus*, indicando a influência de compostos naturais na resistência de madeiras de baixa durabilidade.

Segundo Goodell, Winandy e Morrell (2020) e Schmidt (2006), os fungos de podridão parda, utilizam principalmente os polímeros de carboidratos da parede celular da madeira, e apesar de proporcionarem um ataque mais heterogêneo, causam maiores perdas de massa em comparação aos de podridão branca.

5.6.2 Resistência biológica a fungos de podridão branca

Para o apodrecimento acelerado aos fungos de podridão branca, verificou-se que a resistência biológica da madeira foi diferenciada, de acordo com os fungos testados. A resistência da madeira de seringueira impregnada, com extratos testados foi maior que os controles em relação ao fungo *P. fumosus*. Para este caso, não foi observada diferença significativa pelo teste F entre as concentrações testadas (Apêndice B, Tabela 1B).

Os extratos de angelim pedra (AP) e louro faia (LF) proporcionaram maior resistência à madeira, classificadas como resistentes. No entanto, aqueles obtidos de angelim vermelho (AV) e teca (TC) proporcionaram melhorias na resistência da madeira (Tabela 10), classificadas como de resistência moderada (Figura 16).

A madeira de pinus teve perda de massa que a classificou como não resistente. Isto demonstra que o fungo utilizado possuía vigor suficiente para consumir a madeira.

Em relação ao *T. versicolor*, foi observado que os fatores extrato, concentração e a interação foram significativos pelo teste F (Apêndice B, Tabela 1B). Porém, seu ataque à madeira de seringueira (SG) e pinus (PN), foi similar ao proporcionado *P. fumosus* (Tabela 10). Os extratos proporcionaram o ganho da resistência similar para todas as concentrações testadas. Uma vez que a concentração de 2% já proporcionou retenção suficiente para o controle dos fungos (Figura 13E).

Tabela 10. Perda de massa causada pelos fungos de podridão branca, em função dos extratos e concentrações.

Extratos	Concentração e perda de massa (%) / fungo				
	<i>Polyporus fumosus</i>		<i>Trametes versicolor</i>		
	-----		2	4	8
AP		21,08b	31,09Aa	24,76ABab	24,03Bb
AV		30,58a	28,63Aa	27,52Aa	32,59Aa
LF		19,02b	15,05Bb	18,77Bb	28,25Aab
TC		26,98a	29,60Aa	21,87Bab	22,18Bb
Controle	SG	36,92		38,58	
	PN	47,41		57,28	

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula, na horizontal, para cada extrato ou minúscula, na vertical, para cada concentração e, ou fungo, não diferem (Tukey, $p > 0,05$). AP – angelim pedra; AV – angelim vermelho; LF – louro faia; TC – teca; SG – seringueira e PN – pinus.

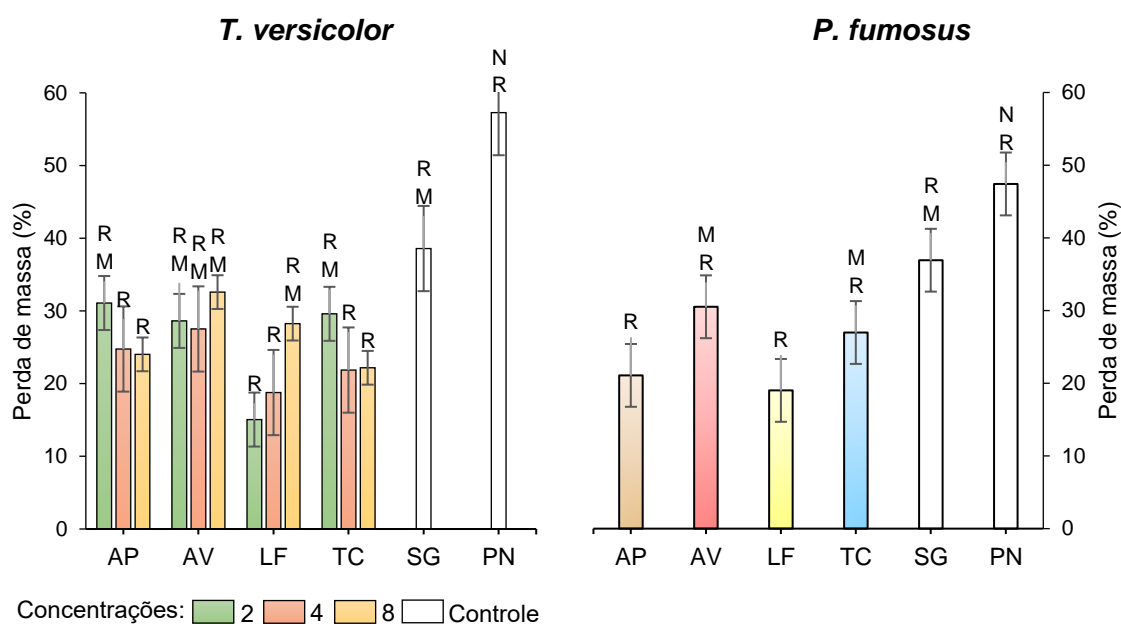
Para a concentração de 2%, o extrato de louro faia proporcionou melhor resistência que os demais. No entanto, para a concentração de 4% a proteção proporcionada foi similar aos extratos de teca e angelim pedra. E para a concentração de 8% o mesmo foi observado. Não tendo os resultados sido influenciados pela retenção dos extratos (Figura 13E). As amostras impregnadas com extrato de angelim pedra, nas concentrações 4 e 8%, louro faia (2 e 4%) e teca (4 e 8%), foram classificadas como resistente. E as demais foram classificadas como resistência moderada (Figura 16).

A diferença ocorrida entre dois fungos *P. fumosus* e *T. versicolor* pode estar associada a forma de ataque. Paes (2002), para a madeira de *Corymbia maculata*, submetida ao ataque dos fungos *Postia* (Sin. *Rhodonía*) *placenta*, *Neolentinus lepideus* e *Polyporus fumosus*, observou que o *P. fumosus* causou menor deterioração que os demais.

De forma geral, o extrato de louro faia foi mais eficiente na proteção da madeira de seringueira, para as concentrações 2 e 4%, contra os fungos de podridão branca testada.

Para extratos obtidos da casca de *A. mangium*, Yingprasert, Cherdchim e Peaklin (2021) verificaram que concentrações maiores, dentre as estudadas (10, 15 e 20%), proporcionam menores perda de massa da madeira de seringueira. Resultado inverso ao obtido no presente estudo, em que o extrato de louro faia nas concentrações de 2 e 4% proporcionaram melhores resultados. Isto pode estar relacionado com a lixiviação do excesso do extrato durante o período de exposição ao fungo.

Figura 16. Perda de massa média e classes de resistência da madeira impregnada, para extratos e concentrações, ao ataque de fungos de podridão branca.



Fonte: o autor. Em que: AP – angelim pedra; AV – angelim vermelho; LF – louro faia; TC – teca; SG – seringueira e PN – pinus. R – Resistente; MR – Moderada Resistência; e NR – Resistente e Resistência Moderada e NR – Não Resistente (AWPA E 30-16, 2016).

Para o extrato de teca, os resultados obtidos por Brocco et al. (2017), na concentração de 4% em etanol, contribuíram para proteção da madeira (alburno de teca e de *Pinus* sp.). Para avaliar a durabilidade natural de 28 espécies amazônicas submetidas ao ataque de diferentes fungos apodrecedores, Carneiro et al. (2009), constaram que a madeira de angelim pedra apresentou

resistência natural ao fungo *T. versicolor*. Para a intensidade do ataque de agentes xilófagos na madeira armazenada em pátios e depósitos das serrarias no estado do Amapá, Costa e Cabral (2020) constaram que jatobá, angelim pedra e angelim vermelho são dificilmente atacadas.

Os resultados encontrados na literatura, e os obtidos neste estudo, indicam que os fatores mais importantes nos índices de biodegradabilidade da madeira, são os níveis de retenção e a qualidades dos extrativos. Esses fatores também proporcionaram uma melhor resistência da madeira de seringueira, aos fungos de podridão branca e parda testados.

5.7 RESISTÊNCIA DA MADEIRA IMPREGNADA À TÉRMITAS XILÓFAGAS

5.7.1 Resistência biológica a térmitas de madeira seca

A análise de variância dos dados de perda de massa, mortalidade e desgaste para o ensaio de alimentação forçada não acusaram diferenças pelo teste de F entre as concentrações testadas. Contudo, foi detectada diferença entre os extratos para a perda de massa (Apêndice B, Tabelas 2B e 3B).

O extrato de angelim vermelho proporcionou maior resistência na madeira seringueira que os demais. Tendo aquele de angelim pedra proporcionado resistência intermediária entre os extratos testados (Tabela 11). A mortalidade e o desgaste (nota) não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos. Sendo classificados como moderado, Tabela 4 e 5 (IPT/DIMAD D – 2, 1980, AWPA E1-16, 2016).

Tabela 11. Perda de massa média, mortalidade, orifícios e desgaste na madeira de seringueira impregnada com os extratos utilizados no ensaio de alimentação forçada.

Extratos	Perda de Massa (%)	Mortalidade (%)	Orifícios (Número)	Desgaste (Nota)
Angelim pedra	7,08ab	61,43a	4	8,18a
Angelim vermelho	6,09b	62,83a	0	8,32a
Louro faia	8,18b	53,17a	6	8,66a
Pinus	7,39ab	58,00a	0	8,53a

Médias seguidas por uma mesma letra minúscula, na vertical, para cada característica, não diferem entre si (Tukey, $p > 0,05$).

Os valores de mortalidade indicam que a madeira de pinus (controle) e os extratos impregnados na seringueira, proporcionaram resistência ao ataque de *Cryptotermes brevis*. Lepage, Salis e Guedes, (2017) citam que a madeira de pinus possui compostos como terpenos ou terpenóides que contribuem para sua resistência.

Foram observados orifícios, somente em algumas amostras impregnadas com extratos de angelim pedra e louro faia (Tabela 11). Isso indica que tais extratos nas retenções utilizadas (Figura 13B), não proporcionam resistência adequada as amostras impregnadas. Em decorrência de tais resultados, para os ensaios com fungos xilófagos foram utilizadas maiores retenções (Figura 13E).

Para a resistência de 10 espécies florestais madeireiras ao ataque de térmitas de madeira seca, Gonçalves et al. (2013) encontraram para o angelim pedra desgaste moderado e mortalidade de 54,5%, inferior ao obtido nesta pesquisa. Isto pode ser explicado, uma vez que a proporção de extrativos empregados na madeira de seringueira foi superior a encontrada naturalmente na madeira citada. Podendo ter alguma relação com a quantidade de materiais inorgânicos (cinzas) existentes no extrato. Corroborando com as observações de Medeiros Neto et al. (2022) e Paes et al. (2013), que constaram que madeiras que apresentam maiores teores de extrativos e cinzas tinham maiores resistência a esses insetos.

No ensaio de preferência alimentar, não houve diferença pelo teste F ($p > 0,05$) para perda de massa e desgaste (nota), não sendo possível avaliar a diferença da eficiência dos extratos testadas (Apêndice B, Tabela 2B). Como ocorreu no ensaio de alimentação forçada, os resultados podem ter sido influenciados pela retenção (Figura 13A). Os valores da perda de massa e desgaste não diferem daqueles da madeira de pinus utilizadas como controle (Tabela 12).

Tabela 12. Perda de massa média e desgaste na madeira se seringueira impregnada com extratos de diferentes espécies amazônicas utilizados ensaio de preferência de alimentar.

Extratos	Perda de Massa (%)	Desgaste (Nota)
Angelim pedra	12,52a	8,29a
Angelim vermelho	11,22a	7,98a
Louro faia	12,06a	8,28a
Pinus	13,17a	7,03a

Médias seguidas por uma mesma letra minúscula, na vertical, para cada característica, não diferem (Tukey, $p > 0,05$).

5.7.2 Térmitas subterrâneas - Alimentação forçada

Para este ensaio, houve diferença pelo teste F ($p < 0,05$) entre as perdas de massa para extratos e concentrações. Enquanto, para o desgaste (nota) e mortalidade, foi detectada diferença, apenas para os extratos (Apêndice B, Tabelas 2B e 3B).

Para as concentrações de 2 e 4% não foram detectadas diferenças entre as perdas de massa. No entanto, para 8%, o extrato de angelim vermelho proporcionou melhor resistência à madeira. Tendo o extrato de angelim pedra proporcionado resistência intermediária entre os demais (Tabela 13). A concentração de 8% proporcionou melhor desempenho à madeira impregnada, exceto para o louro faia, que a concentração de 4% proporcionou melhor proteção.

As retenções proporcionadas pelos extratos nas concentrações de 4 e 8%, para o extrato de louro faia na madeira impregnada, teve valores semelhantes, quando comparados aos demais (Figura 13D), com diferença de apenas $0,75 \text{ kg.m}^{-3}$ de madeira impregnada.

Observa-se que a madeira de pinus utilizada como padrão de comparação teve menor perda de massa que a madeira de seringueira impregnada. Isso provavelmente tenha ocorrido por causa de compostos como terpenos ou terpenóides, que são nocivos a cupins do gênero *Nasutitermes* (Lepage; Salis; Guedes, 2017). Além disto, essas térmitas variam pouco a sua dieta, não tendo o hábito de consumir madeira que não são comuns em sua região de ocorrência (Medeiros Neto et al., 2022).

Tabela 13. Perda de massa média, mortalidade e desgaste em função dos extratos e concentrações utilizados.

Extratos	Concentração e perda de massa (%)			Mortalidade (%)	Desgaste (Nota)
	2	4	8		
Angelim pedra	18,77Aa	17,26ABa	15,25Bb	96,23a	8,00a
Angelim vermelho	14,44Ab	13,86ABb	11,58Bc	91,62a	7,96a
Louro faia	18,76Aa	14,51Bab	18,63Aa	100a	6,68b
Pinus	10,42			65,86	6,20

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula, na horizontal, para cada extrato ou minúscula, na vertical, para cada característica e ou concentração, não diferem (Tukey, $p > 0,05$).

Quanto à mortalidade, independente dos extratos e concentrações testadas, foi classificada como alta e total, diferindo da madeira de pinus que proporcionou mortalidade moderada, de acordo com a Tabela 5 (AWPA E1-16, 2016). A mortalidade das térmitas em contato com a madeira de pinus pode estar relacionada aos compostos existentes na mesma (Lepage; Salis; Guedes, 2017).

Quanto ao desgaste, o extrato do louro faia protegeu menos a madeira de seringueira, tendo o resultado sido semelhante a madeira de pinus (classificado como ataque moderado). E para a madeira impregnada com os extratos de angelim pedra e angelim vermelho o ataque foi superficial. Desta forma, esses extratos proporcionaram elevado grau de proteção à madeira de seringueiras, tornando-a apta a ser utilizadas em locais sujeitos a ataque de tais insetos, como forros, lambris e móveis projetados para se encaixarem em um espaço específico de um ambiente, os quais têm contado direto com a paredes, piso e teto, locais em que as térmitas podem ter acesso, por meio da madeira e solo.

5.7.3 Térmitas subterrâneas - Preferência alimentar

Neste ensaio, houve interação pelo teste F ($p < 0,05$) entre os extratos e concentrações, para a perda de massa e desgaste causado pelas térmitas na madeira (Apêndice B, Tabela 2B). Para a madeira impregnada com o extrato de angelim vermelho, a concentração de 8% proporcionou melhor proteção contra as térmitas. Dentre os extratos, o mais efetivo foi o louro faia para as concentrações de 2 e 4%. Não diferindo da proteção conferida pelo angelim vermelho na concentração de 8% (Tabela 14).

Observa-se que a madeira de pinus utilizada como controle para este teste, foi quase totalmente consumida, tendo obtido perda de massa de aproximadamente 100% e nota de desgaste de 0,40. O que a classifica como não resistente. O mesmo ocorrendo para o extrato de angelim pedra, nas concentrações e retenções testadas.

Tabela 14. Valores médios de perda de massa e desgaste em função dos extratos e concentrações utilizados.

Extratos	Perda de Massa (%)			Desgaste (Nota)		
	Concentração (%)					
	2	4	8	2	4	8
Angelim pedra	94,87Aa	91,55Aa	78,11Aa	0,40Ab	1,07Ac	1,73Ab
Angelim vermelho	84,73Aa	46,79Bb	9,20Cb	1,07Bb	3,99Ab	6,50Aa
Louro faia	1,79Ab	7,34Ac	11,24Ab	9,80Aa	7,30Aa	6,30Aa
Pinus	99,19			0,40		

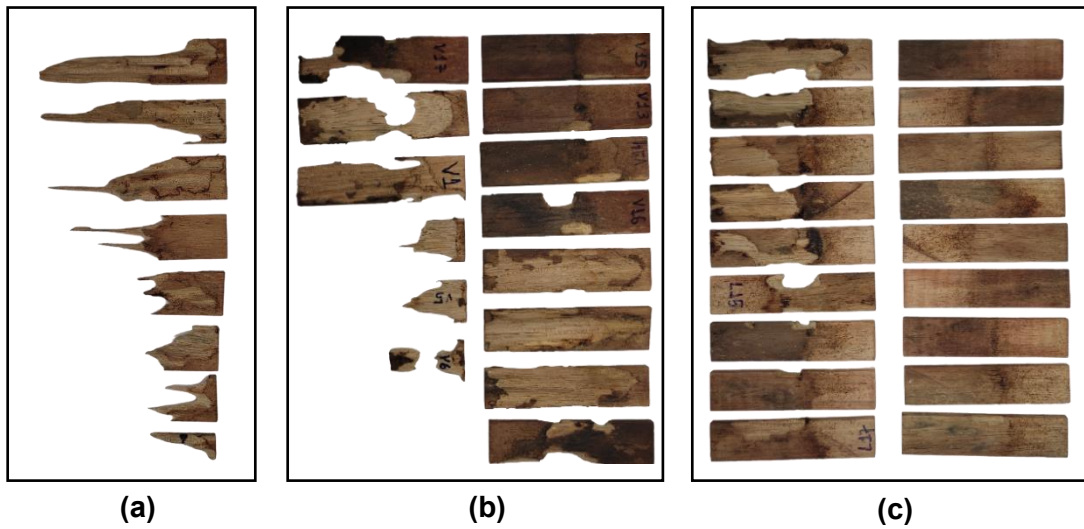
Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula, na horizontal, para cada característica ou extrato, ou minúscula, na vertical, para cada concentração, não diferem (Tukey, $p > 0,05$).

Como este ensaio expõe a madeira a condições mais agressivas, pode-se afirmar que, para condições severas de ataque de térmitas *N. corniger* o extrato de louro faia, para todas as concentrações testadas, e o de angelim vermelho para 8% protegeria a madeira nessas condições (Figura 17). As quais poderiam ser expostas a ambientes externos e móveis projetados para serem encaixados diretos na parede.

Avaliando a resistência natural de sete madeiras ao cupim xilófago *Nasutitermes octopilis*, por meio de um ensaio de alimentação, Costa et al. (2019) constaram que as espécies angelim vermelho e angelim pedra apresentaram resistência ao ataque a esses insetos. Diferindo ao encontrado no presente estudo para o angelim pedra que não apresentou resistência.

Para verificar a eficiência contra térmitas, de extratos brutos de madeira e casca de espécies florestais da Amazônia Central, dentre eles o de angelim vermelho, Barbosa, Nascimento e Morais (2007) concluíram que tais extratos possuem compostos com propriedades de repelência a *Nasutitermes* sp. Os autores utilizaram retenções que variaram de 4,85 e 6,69 kg.m⁻³, próximas àquelas obtidas na concentração de 8% (5,83 kg.m⁻³) (Figura 13 C).

Figura 17. Aspecto visual das amostras após o ensaio de preferência alimentar, e m função dos extratos: Angelim pedra (a), angelim vermelho (b) e louro faia (c).



Fonte: O autor

6 CONCLUSÕES

Os valores de pH dos extratos das madeiras amazônicas de angelim pedra e louro faia estão localizados fora da faixa ótima para o desenvolvimento e ataque de fungos xilófagos na madeira.

A técnica de espectroscopia de infravermelho (FTIR) identificou compostos contendo anéis aromáticos e outros compostos fenólicos bioativos, como taninos e polifenóis.

O estudo anatômico confirmou as espécies amazônicas como sendo, realmente, angelim pedra (*Hymenolobium flavum*), angelim vermelho (*Dinizia excelsa*) e louro faia (*Roupala montana*).

As retenções dos extratos na madeira de seringueira garantiram uma proporção adequada para garantirem melhoria na resistência aos organismos xilófagos testados.

A madeira de *Hevea brasiliensis* (clone IAN 873), é classificada como de média densidade e como estabilidade dimensional moderadamente estável.

Os extratos promoveram um incremento na cor da madeira de seringueira. Mesmo após o intemperismo e ataques de fungos, tiveram a capacidade de serem pouco afetados negativamente pelas condições testadas.

Os extratos das madeiras amazônicas e o de teca influenciaram positivamente na proteção da madeira de seringueira contra o ataque de fungos xilófagos. Os extratos de louro faia e teca asseguram os melhores resultados. Estando a toxicidade associada as concentrações e os fungos testados.

Para a resistência à térmita de madeira seca (*Cryptotermes brevis*), no ensaio de alimentação forçada, o extrato de angelim vermelho foi mais efetivo na proteção da madeira. No ensaio de preferência alimentar não foi observada diferença entre os extratos testados.

Para térmitas subterrâneas (*Nasutitermes corniger*), no ensaio de alimentação forçada, os extratos de angelim vermelho e louro faia proporcionaram melhor resistência à madeira de seringueira, a concentração de 8% (angelim vermelho), garantiu melhor proteção à madeira impregnada. No ensaio de preferência alimentar, independente da concentração testada, o extrato de louro faia proporcionou melhor proteção.

De modo geral, os extratos de angelim vermelho e louro faia proporcionaram resistência a madeira de seringueira, tendo sido similar ao extrato de teca.

Como considerações finais, para a obtenção de dados mais realísticos, recomenda-se a realização de ensaios em simuladores de campo (campos de apodrecimento), a fim de verificar os efeitos, a longo prazo, dos extratos de angelim vermelho, louro faia e teca na proteção de madeiras de baixa resistência natural e no controle de fungos manchadores e emboloradores em madeiras claras.

7 REFERÊNCIAS

- ACKER, J. V.; MILITZ, H.; STEVENS, M. The significance of accelerated laboratory testing methods determining the natural durability of wood. **Holzforschung**, v. 53, p. 449-458. 1999.
- ALVES, A. F. **Chave dicotômica para identificação de espécies arbóreas do Cerrado mineiro com base na anatomia da madeira**. 2020. 75f. (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo 2020.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G 154**: standard practice for operating fluorescent light apparatus for UV exposure of nonmetallic materials. Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, 2006. 4p.
- AMERICAN WOOD PROTECTION ASSOCIATION. **AWPA E10-16**: laboratory method for evaluating the decay resistance of wood-based materials against pure Basidiomycete cultures: soil/block test. AWWA Book of Standards, Birmingham, p. 406-417, 2016.
- AMERICAN WOOD PROTECTION ASSOCIATION. **AWPA E1-16**: laboratory methods for evaluating the termite resistance of wood-based materials: choice and no-choice tests. AWWA Book of Standards, Birmingham, p. 379-498, 2016.
- AMERICAN WOOD PROTECTION ASSOCIATION. **AWPA E30-16**: standard method for evaluating natural decay resistance of woods using laboratory decay tests. AWWA Book of Standards, Birmingham, p. 494-498, 2016b.
- AMORIM, E. P.; LONGUI, E. L.; FREITAS, M. L. M.; YAMAJI, F. M.; SILVA JÚNIOR, F. G.; SILVESTRE, M. A. M.; CAMBUIM, J.; MORAES, M. L. T.; GONÇALVES, P. S. Wood quality of ten clonal progenies of rubber tree as raw material for bioenergy. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 25, 2023. DOI: 10.4067/s0718-221x2023000100428.
- ARO, E. R.; BATALHA, M. O. Competitividade da madeira serrada do estado de Mato Grosso - Brasil. **Gestão & Regionalidade**, v. 29, n. 87, p. 81-94, 2013. DOI: 10.13037/gr.vol29n87.2191.
- ASAMOAH, A.; FRIMPONG-MENSAH, K.; ANTWI-BOASIAKO, C. Efficacy of *Tectona grandis* (teak) and *Distemonanthus benthamianus* (bonsamdua) water extractives on the durability of five selected Ghanaian less used timber species. **Pakistan Journal of Chemistry**, v. 1, n. 1, p. 28-31, 2011. DOI: 10.15228/2011.v01.i01.p05.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT - **NBR 7190**: projeto de Estruturas de Madeiras. Rio de Janeiro, 2022.

BALFAS, J. Impregnation of teak extract and resins in rubberwood and fast-grown teak wood. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 31, n. 2, p. 189-199, 2019. DOI: 10.2307/26626990.

BALTACIOĞLU, H.; BALTACIOĞLU, C.; OKUR, I.; TANRIVERMIŞ, A.; YALIÇ, M. Optimization of microwave-assisted extraction of phenolic compounds from tomato: Characterization by FTIR and HPLC and comparison with conventional solvent extraction. **Vibrational Spectroscopy**, v. 113, p. 103204, 2021. DOI: 10.1016/j.vibspec.2020.103204.

BANDEIRA, A. G.; PEREIRA, J. C. D.; MIRANDA, C. S.; MEDEIROS, L. G. S. Composição faunística de cupins (Insecta, Isoptera) em área de Mata Atlântica em João Pessoa, Paraíba, Brasil. **Revista Nordestina de Biologia**, v. 2, n. 1, fasc. 2, p. 9-17, 1998.

BARBOSA, A. P.; NASCIMENTO, C. S.; MORAIS, J. W. Estudos de propriedades antitermíticas de extratos brutos de madeira e casca de espécies florestais da Amazônia Central, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 37, p. 213-218, 2007.

BATISTA, F.G.; MELO, R. R.; CALEGARI, L.; MEDEIROS, D. T.; LOPES, P. J. G. Resistência natural da madeira de seis espécies à *Nasutitermes corniger* Motsch. em condição de campo. **Madera y Bosques**, v. 26, n. 2, 2020. DOI: 10.21829/myb.2020.2622017.

BESKOPYLNY, A. N.; SHCHERBAN, E. M.; STEL'MAKH, S. A.; MESKHI, B.; SHILOV, A. A.; VARAVKA, V., EVTUSHENKO, A.; ÖZKILIÇ, Y. O.; AKSOYLU C.; KARALAR M. Composition component influence on concrete properties with the additive of rubber tree seed shells. **Applied Sciences**, v. 12, n. 22, p. 11744, 2022. DOI: 10.3390/app122211744.

BHATTACHARJEE, A.; BHOWMIK, M., PAUL, C.; CHOWDHURY, B. D.; DEBNATH, B. Rubber tree seed utilization for green energy, revenue generation and sustainable development—A comprehensive review. **Industrial Crops and Products**, v. 174, p. 114186, 2021. DOI: 10.1016/j.indcrop.2021.114186.

BRANDON, K.; FONSECA, G. A. B.; RYLANDS, A. B.; SILVA, M. C. Conservação brasileira: desafios e oportunidades. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 7-13, 2005.

BROCCO, L. G. C.; BROCCO, V. F.; CASTRO, M. C. M.; CONCEIÇÃO, R. C. A. C.; ALMEIDA, A. T. S.; BARBOSA, A. V. X. Potencial fungicida de extratos provenientes de resíduos madeiros de espécies amazônicas. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA. **Anais...** Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2022.

BROCCO, V. F. **Extratos de resíduos industriais da madeira de teca para proteção da madeira a organismos xilófagos**. 2019. 90 f. Tese (Doutorado

em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2019.

BROCCO, V. F.; PAES, J. B.; COSTA, L. G.; BRAZOLIN, S.; ARANTES, M. D. C. Potential of teak heartwood extracts as a natural wood preservative. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 2093-2099, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.11.074.

BROCCO, V. F.; PAES, J. B.; COSTA, L. G.; KIRKER, G. T.; BRAZOLIN, S. Wood color changes and termiticidal properties of teak heartwood extract used as a wood preservative. **Holzforschung**, v. 74, n. 3, p. 233-245, 2020. DOI: 10.1515/hf-2019-0138.

CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. A. A. Colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**, n. 71, 2001.

CANHOTO, J. M. Madeira. **Revista de Ciência Elementar**, v. 6, n. 4, 2018. DOI: 10.24927/rce2018.074.

CARNEIRO, J. S.; EMMERT L.; STERNADT, G. H.; MENDES, J. C.; ALMEIDA, G. F. Decay susceptibility of Amazon wood species from Brazil against white rot and brown rot decay fungi. **Holzforschung**, v. 63, n. 6, p. 767-772, 2009. DOI: 10.1515/HF.2009.119.

CARVALHO, P. E. R. **Carvalho-do-Cerrado *Roupala montana***. Colombo: Embrapa Florestas, 2009. 6p. (Comunicado Técnico, 223).

CARVALHO, S. A. **Resíduos de espécies madeireiras de manejo florestal para produção de móveis**. 2018. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.

CASTRO, V. G.; GUIMARÃES, P. P. Agentes deterioradores abióticos. In: CASTRO, V. G.; GUIMARÃES, P. P. (Org.). **Deterioração e preservação da madeira**. Mossoró: EdUFERSA, 2018. 7p.

CAVALCANTE, M. S. **Métodos para aumentar a durabilidade da madeira**. Boletim da Associação Brasileira de Preservadores de Madeira, São Paulo: p. 159-170, 1985. (Boletim ABPM, 36).

CHAVES, I. L. S. **Taninos de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. submetidos à hidrólise ácida e adição de microfibras de celulose para produção de adesivos para madeira**. 2022. 121 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2022.

CHERDCHIM, B.; SATANSAT, J. Influences of ethylene stimulation of rubber trees (*Hevea brasiliensis*) on the extractives and fungal resistance of lumber. **Cerne**, v. 22, p. 223-232, 2016.

CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. 13th, **CLSI M02**: performance standards for antimicrobial disk susceptibility test. Wayne, Pensilvânia. p. 1-71, 2018.

COELHO JUNIOR, L. M. REZENDE, J. L. P.; BORGES; L. A. C; OLIVEIRA, A. D. Análise temporal da borracha natural brasileira. **Cerne**, v. 15, n. 1, p. 19-26, 2009.

Comission Panamericana de Normas Técnicas - COPANT: descripción de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledóneas. **COPANT**, v.30, p. 1-19, 1974.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE - CIE. **Colorimetry**. Part 4: CIE 1976 (L*a*b*) System. 2. ed. Vienna; 1986. (CIE, 15.2).

COSTA, A. L. S.; CABRAL, C. P. T. Madeiras nativas atacadas por agentes xilófagos durante o processo de secagem no Estado do Amapá. In: OLIVEIRA, R. J. (Org.). **Engenharia Florestal**: Desafios, limites e potencialidade. Gurujá: Editora Científica, 2020. 594p.

COSTA, F. N. CARDOSO, R. P. MENDES, C. S.; RODRIGUES, P. R. G. REIS, A. R. S. Natural resistance of seven Amazon woods to xylophagous termite *Nasutitermes octopilis* (Banks). **Floresta e Ambiente**, v. 26, 2019. DOI: 10.1590/2179-8087.014517.

COSTA, R. B.; GONÇALVES, P. S.; RÍMOLI, A. O.; ARRUDA, E. J. Melhoramento e conservação genética aplicados ao desenvolvimento local-o caso da seringueira (*Hevea brasiliensis*), **Revista Internacional de Desenvolvimento Local**, v. 1, n. 2, p. 51-58, 2001.

DUMKOR, T.; POOMPRADUB, S. Microcrystalline cellulose from Para rubber leaves as an additive for superabsorbent polymers. **Biological Macromolecules**, v. 233, p. 123556, 2023. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.123556.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira: retratibilidade**. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1992. 33p. (Série Técnica, 10).

EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. **Espécies arbóreas da Amazônia**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2004. 6p. (Comunicado Técnico).

FAGUNDES, H. A. V. **Diagnóstico da produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. 2003. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FARIA, D. L.; SANTOS, C. A.; FURTINI, A. C. C.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. Qualidade da madeira de *Hevea brasiliensis* visando a produção de celulose e papel. **Agrarian Academy**, v. 6, n. 11, 2019.

FERNÁNDEZ, K.; AGOSIN, E. Quantitative analysis of red wine tannins using Fourier-transform mid-infrared spectrometry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 18, p. 7294-7300, 2007. DOI: 10.1021/jf071193d.

FERREIRA, G. C.; SILVA, R. C. V. M.; GOMES, J. I. Contribuição ao conhecimento de espécies de Leguminosae, conhecidas na Amazônia brasileira como “angelim” e variações. **A Silvicultura na Amazônia Oriental- Contribuições do Projeto Embrapa/DFID**: Belém. 459pp, 2001.

FONTE, A. P. N.; TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; ANJOS, R. A. M. Propriedades físicas e químicas da madeira de cerne e alburno de *Cryptomeria japonica*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 3, p. 277-285, 2017. DOI: 10.5965/223811711632017277.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA, N. S.; CARVALHO, R. P. L.; BATISTA, G. C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MACHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia Agrícola**. Piracicaba: FEALQ; 2002. 920 p.

GOMES, J. I.; FERREIRA, G. C. **Durabilidade natural de quatro madeiras amazônicas em contato com o solo**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002. 3p. (Comunicado Técnico, 66).

GOMES, J. I.; SAMPAIO, S. S. **Aproveitamento de resíduos de madeira em três empresas madeireiras do estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2004. 5p. (Comunicado Técnico, 102).

GONÇALVES, F. G. PINHEIRO, D. T. C.; PAES, J. B.; CARVALHO, A. G.; OLIVEIRA, G. L. Durabilidade natural de espécies florestais madeireiras ao ataque de cupim de madeira seca. **Floresta e Ambiente**, v. 20, p. 110-116, 2013.

GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. S. Resistência ao ataque de cupim-de-madeira seca (*Cryptotermes brevis*) em seis espécies florestais. **Cerne**, v. 12, n. 1, p. 80-83, 2006.

GONÇALVES, F. G.; PAES, J. B.; SEGUNDINHO, P. G. A.; CHAVES, I. L. S.; BRITO, A. S.; SILVA, E. S. G.; OLIVEIRA, R. G. E.; LOPEZ, Y. M.; JESUS, F. Q. Ensaio de resistência à biodeterioração por fungos e térmitas em painéis de partículas. In: OLIVEIRA, R.J. (Org.). **Engenharia Florestal: desafios, limites e potencialidade**. São Paulo: Editora Científica Digital, v. 1, 2020. p. 362-379.

GONZAGA, A. L. **Madeira: uso e conservação**. Brasília: IPHAN/MONUMENTA, 2006. 276p. (Cadernos Técnicos, 6).

GOODELL, B.; WINANDY, J. E.; MORRELL, J. J. Fungal degradation of wood: Emerging data, new insights and changing perceptions. **Coatings**, v. 10, n. 12, p. 1210, 2020. DOI: 10.3390/coatings10121210.

GRASEL, S. F.; FERRÃO, M. F.; WOLF, C. R. Development of methodology for identification the nature of the polyphenolic extracts by FTIR associated with multivariate analysis. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 153, p. 94-101, 2016. DOI: 10.1016/j.saa.2015.08.020.

HASSAN, N.; HAMID, N. H.; JAWAID, M.; TAHIR, P. M.; UJANG, S. Decay resistance of acetic, propionic, and butyric anhydrides modified rubberwood Against brown rot (*Coniophora puteana*). **Bioresources**, v. 12, n. 3, p. 4527-4546, 2017.

HEMMALAKSHMI, S.; PRIYANGA, S.; DEVAKI, K. Fourier transform infra-red spectroscopy analysis of *Erythrina variegata* L. **Pharmaceutical Sciences and Research**, v. 9, n. 11, p. 2062-2067, 2017.

HIKITA, Y.; TOYODA, T.; AZUMA, M. Weathering testing of timber: discoloration. In: IMAMURA, Y. **High performance utilization of wood for outdoor uses**. Kyoto: Press-Net, 2001. p. 27-32.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção Agrícola Municipal (PAM)**. 2021. Disponível em: <https://shre.ink/akHb>. Acesso em: 27 julho 2023.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **IPT/DIMAD D2: ensaio acelerado de laboratório da resistência natural ou de madeira preservada ao ataque de térmitas do gênero *Cryptotermes* (Fam. Kalotermitidae)**. São Paulo: IPT/DIMAD; 1980. 1p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil**. São Paulo: IPT, 2013.103p.

KILLMANN, W.; HONG, L. T. Rubberwood—the success of an agricultural by-product. **World**, v. 5, p. 314, 2000.

LEONELLO, E. C.; BALLARIN, A. W.; OHTO, J. M.; PALMA, H.; ESCOBAR, J. F. Classificação estrutural e qualidade da madeira do clone GT 1 de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. **Floresta e Ambiente**, p. 229-235, 2012.

LEPAGE, E.; SALIS, A. G.; GUEDES, E. C. R. **Tecnologia de proteção da madeira**. São Paulo: Montana Química S.A., 2017. 225p.

LIMA, A. C. B. **Efeito da modificação térmica nas propriedades da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.)**. 2019. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2019.

LIU, Y.; WANG, H.; YU G.; YU Q.; Li B.; MU, X. A novel approach for the preparation of nanocrystalline cellulose by using phosphotungstic acid.

Carbohydrate Polymers, v. 110, p. 415–422, 2014. DOI: 10.1016/j.carbpol.2014.04.040.

LÜNEBURGER, S.; GALLINA, A. L.; SOARES, L. C.; BENVENÚ, D. M. Biodiesel production from *Hevea Brasiliensis* seed oil. **Fuel**, v. 324, p. 124639, 2022. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.124639.

MAISTRELLO, L. Termites and standard norms in wood protection: a proposal targeting drywood termites. In: KHAN, M.A.; AHMAD, W. (Eds.). **Termites and sustainable management: Sustainability in plant and crop protection. Economic losses and management.** Cham: Springer International Publishing, 2018, v.2., p. 261-287.

MARTINS, M. F. **Caracterização fitoquímica dos compostos orgânicos da espécie vegetal *Maytenus ilicifolia* Mart. ex Reissek por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier e espectroscopia fotoacústica.** 2020. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Saúde) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2020.

MARTINS, M. F.; BELTRAME, R.; DELUCIS, R. A.; GATTO, D. A.; CADEMARTORI, P. H. G.; SANTOS, G. A. Colorimetria como ferramenta de agrupamento de madeira de clones de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 443-449, 2015. DOI: 10.4336/2015.pfb.35.84.929.

MARTINS, V. A.; MARQUES, M. H. B.; GOUVEIA, F. N. Programa de secagem para a madeira de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Florestal**, v. 29, n. 3, p. 1469-1477, 2019. DOI: 10.5902/1980509825221.

MATAN, N.; WORAPRAYOTE, W.; SAENGKRAJANG, W.; SIRISOMBAT, N. Durability of rubberwood (*Hevea brasiliensis*) treated with peppermint oil, eucalyptus oil, and their main components. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 63, n. 5, p. 621-625, 2009. DOI: 10.1016/j.ibiod.2008.12.008.

MEDEIROS NETO, P. N.; PAES, J. B.; GONÇALVES, F. G.; LOPEZ, Y. M.; BARAÚNA, E. E. P.; RIBEIRO, L. S. Relation of physicochemical characteristics on biological resistance of eucalypts woods to xylophagous termites. **Journal of Building Engineering**, v. 52, p. 104462, 2022. DOI: 10.1016/j.job.2022.104462.

MEDEIROS, J. R. **Efeito da modificação térmica na resistência biológica da madeira de eucalipto.** 2021. 54 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2021.

MELO, J. E.; CORADIN, V. T. R.; MENDES J. Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. 1990. In: VI CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO. **Anais...** Campos do Jordão: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990.

MESQUITA, M. R.; FERRAZ, I. D. K.; CAMARGO, J. L. C. *Dinizia excelsa* Ducke: morfologia externa de frutos e sementes e mudança foliar da plântula à árvore. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. S1, p. 483-485, 2007.

MÉSZÁROS, E.; JAKAB, E.; VÁRHEGYI, G. TG/MS, Py-GC/MS and THM-GC/MS study of the composition and thermal behavior of extractive components of *Robinia pseudoacacia*. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 79, n. 1-2, p. 61-70, 2007. DOI: 10.1016/j.jaap.2006.12.007.

MILINGLIANG, J.; ZHIJUAN, W. Rubber wood preservation by friendly preservatives. In: ZHAO Y (Ed.) **Promotion of rubberwood processing technology in the Asia-Pacific Region**. Haikon: ITTO / CFC, 2008. p.177-128.

MINOLTA, K. **Precise color communication**: color control from perception to instrumentation. Konica Minolta Sensing Inc., 2007. 62 p.

MORI, C. L. S. O.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; TRUGILHO, P. F.; GONCALEZ, J. C. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, v. 11, n. 2, p. 137-146, 2005.

MUNSELL C. **Munsell soil color charts**. Baltimore: Koelmorgen, 2000.

NIEMANN, T. A.; SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J. **Princípios de análise instrumental**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 1056p.

NOGALES-BUENO, J.; BACA-BOCANEGRA, B.; ROONEY, A.; HERNÁNDEZ-HIERRO, J. M.; BYRNE, H. J.; HEREDIA, F. J. Study of phenolic extractability in grape seeds by means of ATR-FTIR and Raman spectroscopy. **Food Chemistry**, v. 232, p. 602–609, 2017. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.04.049.

NOGUEIRA, J. S.; LAHR, F. A. R.; PRIANTE FILHO, N.; NOGUEIRA M. C. J. A. Impregnação com resina natural na figueira branca como forma alternativa de impermeabilização. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.321-324, 2002.

NOVAES, F. J. Espectroscopia de infravermelho - FTIR conceitos básicos e como a ferramenta é pouco usada - Polímeros. **Society of Plastic Engineers - SPE**, São Paulo, 2016.

OKINO, E. Y. A.; SOUZA, M. R.; SANTANA, M. A. E.; SOUSA, M. E.; TEIXEIRA, D. E. Chapa aglomerada de cimento-madeira de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. **Revista Árvore**, v. 28, p. 451-457, 2004.

OLIVEIRA JUNIO, E. F. **Determinação das Propriedades físicas e químicas da madeira de *Hevea brasiliensis* em relação ao painel de extração de látex**. 2011. 55 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

OLIVEIRA, A. L. **Avaliação do potencial antioxidante do tanino vegetal da acácia negra em matrizes poliméricas de poliestireno após processo de**

envelhecimento acelerado. 2022. 99f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) - Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2022.

OLIVEIRA, A. M. F.; LELIS, A. T.; LEPAGE, E. S. Agentes destruidores da madeira. In: LEPAGE, E. S. (Org.). **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, I: 99-278, 1986.

OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, v. 27, n. 3, p. 381–385, 2003.

OLIVEIRA, J. T. S.; SOUZA, L. C.; LUCIA, R. M. D.; SOUZA JÚNIOR, W. P. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 819–826, 2005.

OLIVEIRA, L. S. **Estudos químicos e biológicos da madeira de lei *Hymenolobium Pedraeum* (angelim pedra)**. 2011. 133 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

OLIVEIRA, R. L. C.; STÖFFEL, N. M.; FARIAS, H. L. S. Estrutura populacional e distribuição espacial de alexa canaracunensis em uma floresta estacional semidecidual submontana no norte de Roraima, Amazônia brasileira. **Casa de Makunaima**, v. 1, n. 2, p. 100-109, 2018. DOI: 10.24979/makunaima.v1i2.462.

OLIVIERA, R. B. **Mapeamento e correlação de atributos do solo e de plantas de café conilon para fins de agricultura de precisão**. 2007. 150 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2007.

PAES, J. B. MEDEIROS NETO, P. N.; LIMA, C. R.; FREITAS, M. F.; DINIZ, C. E. F. Efeitos dos extrativos e cinzas na resistência natural de quatro madeiras a cupins xilófagos. **Cerne**, v. 19, p. 399-405, 2013.

PAES, J. B. Resistência natural da madeira de *Corymbia maculata* (Hook.) KD Hill & LAS Johnson a fungos e cupins xilófagos, em condições de laboratório. **Revista Árvore**, v. 26, p. 761-767, 2002.

PAES, J. B.; LIMA, C. R.; MORAIS, V. M. Resistência natural das madeiras de angico (*Piptadenia macrocarpa*), cumaru (*Amburana cearensis*) e pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*) a fungos e cupins xilófagos, em condições de laboratório. **Brasil Florestal**, v. 22, n. 75, p. 45-52, 2003.

PAES, J. B.; MELO, R. R.; LIMA, C. R. Natural resistance of seven woods to xylophagous fungi and termites under laboratory condition. **Cerne**, v. 13, n. 2, p. 160-169, 2007.

PAES, J. B.; VITAL, B. R. Resistência natural da madeira de cinco espécies de eucalipto a cupins subterrâneos em testes de laboratório. **Revista Árvore**, v. 24, n. 1, p. 97-104, 2000.

PERES, M. T. L. P.; SIMIONATTO, E. S.; HESS, S. C.; BONAVI, V. F. L.; CANDIDO, A. C. S.; CASTELLI, C.; POPPI, N. R.; HONDA, N. K.; CARDOSO, C. A. L.; FACCENDA, O. Estudos químicos e biológicos de *Microgramma vacciniifolia* (Langsd. & Fisch.) Copel (Polypodiaceae). **Química Nova**, v. 32, p. 897-901, 2009. DOI: 10.1590/S0100-40422009000400013.

PINCELLI, A. L. P. S. M.; MOURA, L. F.; BRITO, J. O. Effect of thermal rectification on colors of *Eucalyptus saligna* and *Pinus caribaea* woods. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 14, n. 2, p. 239-248, 2012. DOI: 10.4067/S0718-221X2012000200010.

PINHEIRO, R. V. **Influência da preservação contra a demanda biológica em propriedades de resistência e de elasticidade da madeira**. 2001, 187 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

PINTO, J. A.; **Medidas profiláticas para proteger madeiras à ação de insetos xilófagos**. 2020. 101 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2020.

POLETTI, M.; ZATTERA, A. J.; SANTANA, R. M. C. Structural differences between wood species: Evidence from chemical composition, FTIR spectroscopy, and thermogravimetric analysis. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 126, n. S1, p. e337-e344, 2012. DOI: 10.1002/app.36991.

PORTAL-CAHUANA, L. A.; PIÑA, E. G.; TUESTA, G. P.; QUISPE, Y. E. Q.; CHIPA, J. N.; FONSECA, M. V.; SOAREZ, J. C.; LUQUE, E. M. M.; HUAMAN, R. R.; HUAMANTUCO, M. A. R. Dendrología y propiedades tecnológicas de la madera de *Hevea brasiliensis* (Willd. Ex A. Juss.) Mull. Arg. proveniente de la Amazonía suroriental del Perú. In: OLIVEIRA, R. J. (Org.). **Engenharia Florestal: desafios, limites e potencialidade**. Gurujá: Editora Científica, 2022. 77p.

PRANCE, G. T.; PLANA, V.; EDWARDS, K. S.; PENNINGTON, R. T. Proteaceae. **Flora Neotropica Monograph**, 100: 1-218. 2007.

PUICĂ, N. M.; PUI, A.; FLORESCU, M. FTIR spectroscopy for the analysis of vegetable tanned ancient leather. **European Journal of Science and Theology**, v. 2, n. 4, p. 49-53, 2006.

RAIA, R. Z.; IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; ANDRADE, A. S.; BONFATTI JUNIOR, E. A. Influência da extração de látex nas propriedades físicas e químicas da madeira de *Hevea brasiliensis*. **Revista Ciência da Madeira**, v. 9, n. 3, 2018.

RAIA, R. Z.; IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; ANDRADE, A. S.; BONFATTI JUNIOR, E. A. Influência da extração de látex nas propriedades físicas e químicas da madeira de *Hevea brasiliensis*. **Revista Ciência da Madeira**, v. 9, n. 3, 2018. DOI: 10.12953/2177-6830/rcm.v9n3p152-159.

- RAMOS, R. F. A. **Constituintes químicos e atividade antioxidante de *Roupala paulensis* Sleumer (Proteaceae)**. 2015. 105 f. Dissertação (Mestrado em Produtos Naturais e Sintéticos) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.
- ROWELL, R. M.; PETTERSEN, R.; HAN, J. S. ROWELL, J. S. TSHABALALA, M. A. Cell wall chemistry. In: ROWELL, R. M. (org.). **Handbook of wood chemistry and wood composites**. New York: CRC, 2005. cap. 3, p. 35-74.
- SALES-CAMPOS, C.; VIANEZ, B. F.; MENDONÇA, M. S. Estudo da variabilidade da retenção do preservante CCA tipo A na madeira de *Brosimum rubescens* Taub. Moraceae-(pau-rainha) uma espécie madeireira da Região Amazônica. *Revista Árvore*, v. 27, p. 845-853, 2003. DOI: 10.1590/S0100-67622003000600011.
- SANTANA, M. A. E.; EIRAS, K. M. M.; PASTORE, T. C. M. Avaliação da madeira de quatro clones de *Hevea brasiliensis* por meio de sua caracterização físico-mecânica. **Brasil Florestal**, v. 70, p. 61-68, 2001.
- SAOSEE, P.; SAJJAKULNUKIT, B.; GHEEWALA, S. H. Environmental externalities of wood pellets from fast-growing and para-rubber trees for sustainable energy production: A case in Thailand. **Energy Conversion and Management: X**, v. 14, p. 100183, 2022. DOI: 10.1016/j.ecmx.2022.100183.
- SCHMIDT, O. **Wood and tree fungi: biology, damage, protection, and use**. Berlin: Springer, 2006. 334p.
- SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO - SFB. **Florestas do Brasil em resumo - 2010**: dados de 2005-2010. Brasília, 2010.
- SERVOLO FILHO, H. J. **Avaliação da resistência à tração de couro vegetal de tecido de algodão impregnado com látex de cinco cultivares de seringueira (*Hevea* spp.) e vulcanizado**. 2006. 53 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- SHUKLA, S. R.; ZHANG, J.; KAMDEM, D. P. Pressure treatment of rubberwood (*Hevea brasiliensis*) with waterborne micronized copper azole: Effects on retention, copper leaching, decay resistance and mechanical properties. **Construction and Building Materials**, v. 216, p. 576-587, 2019. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.05.013.
- SHUKLA, S. R.; ZHANG, J.; KAMDEM, D. P. Pressure treatment of rubberwood (*Hevea brasiliensis*) with waterborne micronized copper azole: Effects on retention, copper leaching, decay resistance and mechanical properties. **Construction and Building Materials**, v. 216, p. 576-587, 2019. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.05.013.
- SILVA, E. S. G. **Propriedades tecnológicas da madeira jovem de angico-vermelho e sua eficiência em juntas coladas**. 2021. 97 f. Dissertação

(Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2021.

SILVÉRIO, F. O.; BARBOSA L. C. A.; GOMIDA, J. L.; REIS, F. P.; PILÓ-VELOSO D. Methodology of extration and determination of extractive contents in eucalypt woods. **Revista Arvore**, v. 30, p. 1009-1016, 2006. DOI: 10.1590/S0100-67622006000600016.

SOUZA, M. H.; MAGLIANO, M. M.; CAMARGO, J. A. A.; SOUZA, M. R. **Madeiras tropicais brasileiras**. Brasília: IBAMA, 1997. 155 p.

STANGERLIN, D. M. **Monitoramento de propriedades de madeiras da Amazônia submetidas ao ataque de fungos apodrecedores**. 2012. 256 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H.; DICKY, D. A. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1997. 666p.

STRAGLIOTO, M. C.; PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C. Indústrias madeireiras e rendimento em madeira serrada na Amazônia Brasileira. In: OLIVEIRA, R.J. (Org.). **Engenharia Florestal: desafios, limites e potencialidade**. Gurujá: Editora Científica, 2020. p. 499-518.

TANG, L.; LIU, H.; HUANG, G.; YUAN, Z.; F., M.; BU, Z.; WEN, J.; XU, Y. The structural characterization, physicochemical properties, and stability of gardenia yellow pigment microcapsules. **LWT**, v. 162, p. 113507, 2022. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113507.

TEOH, Y. P.; DON, M. M.; UJANG, S. Assessment of the properties, utilization, and preservation of rubberwood (*Hevea brasiliensis*): a case study in Malaysia. **Journal of Wood Science**, v. 57, n. 4, p. 255-266, 2011. DOI: 10.1007/s10086-011-1173-2.

VAREJÃO, M. J. C.; NASCIMENTO, C. S.; CRUZ, I. A. Avançando fronteiras: potencial químico, ecológico-econômico de espécies florestais de São Gabriel da Cachoeira, AM. In: SOUZA, L. A. G.; CASTELLÓN, E. G. (Org.). **Desvendando as fronteiras do conhecimento na região Amazônica do alto rio negro**. 2. ed. Manaus: INPA, 2012. cap. 4, p. 51-67.

VETTER, R. E. Colorimetria aplicada em pesquisa de madeira. **Acta Amazonica**, v. 18, p. 179-188, 1988.

WALKER, J. C. F. Basic wood chemistry and cell wall ultrastructure. In: WALKER, J. C. F. (Org.). **Primary wood processing: principles and practice**. Dordrecht: Springer, 2006. p.23-67.

YINGPRASERT, W.; CHERDCHIM, B.; PEAKLIN, S. Effects of *Acacia mangium* bark extracts on dimensional stability, termite resistance, and fungal

decay resistance of rubberwood. **Biomass Conversion and Biorefinery**, p. 1-10, 2021. DOI: 10.1007/s13399-021-01484-z.

ZAIDON, A.; MOY, C. S.; SAJAP, A. S.; PARIDAH, M. T. Resistance of CCA and boron-treated rubberwood composites against termites, *Coptotermes curvignathus* Holmgren. **Pertanika Journal of Science & Technology**, v. 11, n. 1, p. 65-72, 2003.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Resumo das análises de variância para os parâmetros colorimétricos

Tabela 1A. Resumo das análises de variância para a variação total da cor da madeira intemperizada (ΔE^*_1), e após o ataque do fungo (ΔE^*_2). Para os extratos testados.

Extratos	FV	GL	Quadrados Médios			
			<i>R. placenta</i>	<i>N. lepideus</i>	<i>P. fumosus</i>	<i>T. versicolor</i>
Angelim pedra	Espécie	3	0,0502 ^{ns}	1,0000 ^{ns}	0,3843 ^{ns}	1,0000 ^{ns}
	Concentração	2	0,0446 ^{**}	1,0000 ^{ns}	1,0000 ^{ns}	1,0000 ^{ns}
	Resíduo	15				
Angelim vermelho	Espécie	3	0,3374 ^{ns}	0,1764 ^{ns}	0,3843 ^{ns}	0,3713 ^{ns}
	Concentração	2	0,2236 ^{ns}	1,0000 ^{ns}	1,0000 ^{ns}	0,3286 ^{ns}
	Resíduo	15				
Louro faia	Espécie	3	1,0000 ^{ns}	1,0000 ^{ns}	1,0000 ^{ns}	0,3382 ^{ns}
	Concentração	2	1,0000 ^{ns}	1,0000 ^{ns}	1,0000 ^{ns}	1,0000 ^{ns}
	Resíduo	15				
Teca	Espécie	3	0,0114 ^{**}	1,0000 ^{ns}	0,0064 ^{**}	0,2379 ^{ns}
	Concentração	2	0,0047 ^{**}	1,0000 ^{ns}	0,0074 ^{**}	0,1369 ^{ns}
	Resíduo	15				

** significativo pelo teste F ($p < 0,01$), ^{ns} não significativo pelo teste F ($p > 0,05$). Dados transformados em Log₁₀.

Tabela 2A. Resumo das análises de variância para a variação total da cor da madeira intemperizada (ΔE^*_1), e após o ataque do fungo (ΔE^*_2). Para as concentrações dos extratos.

Extratos	FV	GL	Quadrados Médios			
			<i>R. placenta</i>	<i>N. lepideus</i>	<i>P. fumosus</i>	<i>T. versicolor</i>
2%	Espécie	4	0,0791 ^{ns}	0,0164 ^{ns}	0,1108 ^{ns}	0,0013 ^{**}
	Concentração	3	0,0806 ^{ns}	0,0176 ^{ns}	1,0000 ^{ns}	0,1214 ^{ns}
	Resíduo	21				
4%	Espécie	4	0,1919 ^{ns}	0,0164 ^{**}	0,1108 ^{ns}	4e-04 ^{**}
	Concentração	3	0,1141 ^{ns}	0,0176 ^{**}	1,0000 ^{ns}	0,1744 ^{**}
	Resíduo	21				
8%	Espécie	4	0,0123 ^{**}	0,0001 ^{**}	0,0000 ^{**}	0,0043 ^{**}
	Concentração	3	0,0059 ^{**}	6e-04 ^{**}	0,0000 ^{**}	0,0646 ^{ns}
	Resíduo	21				

** significativo pelo teste F ($p < 0,01$), ^{ns} não significativo pelo teste F ($p > 0,05$). Dados transformados em Log₁₀.

Tabela 3A. Variação das coordenadas L*, a* e b* e variação total da cor (ΔE^*) das amostras impregnadas.

<i>R.</i> <i>placenta</i>	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE	<i>N.</i> <i>Lepideus</i>	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
AP2	19,13	-9,25	-5,86	22,04	AP2	17,89	-8,85	-6,85	21,10
AP4	19,48	-9,16	-5,88	22,32	AP4	17,16	-8,89	-7,14	20,60
AP8	22,14	-10,22	-6,76	25,31	AP8	21,17	-10,01	-6,75	24,38
AV2	19,47	-7,93	-2,73	21,20	AV2	18,87	-7,46	-0,91	20,31
AV4	22,92	-7,80	0,14	24,21	AV4	24,26	-7,95	-0,07	25,53
AV8	28,31	-8,69	1,88	29,67	AV8	25,91	-8,38	0,95	27,25
LF2	18,57	-9,87	-2,67	21,20	LF2	18,04	-11,54	-3,79	21,75
LF4	17,06	-9,14	-3,70	19,71	LF4	17,80	-10,09	-3,54	20,76
LF8	14,87	-7,54	-2,09	16,80	LF8	16,12	-9,37	-3,80	19,03
TC2	27,74	-1,28	0,98	27,78	TC2	31,85	-0,34	4,13	32,12
TC4	32,21	-0,71	4,45	32,53	TC4	32,73	-1,51	3,00	32,91
TC8	30,39	-1,00	3,07	30,56	TC8	37,59	-1,10	5,93	38,07
<i>P.</i> <i>fumosus</i>	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE	<i>T.</i> <i>versicolor</i>	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
AP2	17,06	-8,88	-6,86	20,42	AP2	16,33	-8,73	-7,68	20,04
AP4	19,88	-9,89	-6,87	23,24	AP4	21,74	-10,58	-7,22	25,23
AP8	19,78	-9,95	-6,37	23,04	AP8	21,26	-10,26	-6,56	24,50
AV2	19,56	-7,50	-0,58	20,95	AV2	20,27	-8,79	-1,62	22,16
AV4	21,71	-7,39	0,05	22,93	AV4	23,40	-8,88	1,52	25,08
AV8	27,15	-9,32	0,43	28,71	AV8	23,69	-7,84	0,97	24,97
LF2	18,28	-11,00	-3,33	21,59	LF2	20,23	-11,37	-3,20	23,43
LF4	18,76	-9,58	-3,16	21,29	LF4	19,56	-10,78	-3,83	22,66
LF8	16,01	-9,43	-4,00	19,00	LF8	15,63	-9,05	-3,75	18,44
TC2	27,89	-0,71	1,10	27,92	TC2	26,14	-0,83	1,37	26,19
TC4	31,71	-1,20	2,89	31,87	TC4	32,86	0,97	3,88	33,10
TC8	38,04	-1,10	6,69	38,64	TC8	37,54	-1,97	6,16	38,09

Em que: AP – angelim pedra; AV – angelim vermelho; LF – louro faia; TC – teca.

Tabela 4A. Variação das coordenadas L*, a* e b* e variação total da cor (ΔE^*) das amostras intemperizadas.

<i>R.</i> <i>placenta</i>	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE	<i>N.</i> <i>Lepideus</i>	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
AP2	3,91	-2,15	-1,45	4,69	AP2	4,84	-1,21	-0,71	5,04
AP4	3,13	-1,18	-0,42	3,38	AP4	8,34	-1,30	1,59	8,59
AP8	2,52	-0,97	-0,62	2,77	AP8	3,68	-1,63	-0,63	4,07
AV2	9,99	-3,88	3,19	11,18	AV2	9,66	-4,27	0,93	10,60
AV4	7,29	-1,70	1,31	7,60	AV4	5,48	-2,82	1,04	6,25
AV8	5,86	-0,20	3,52	6,84	AV8	5,49	-2,00	3,44	6,78
LF2	6,58	-2,08	-4,67	8,33	LF2	7,59	-1,05	-3,32	8,35
LF4	8,10	-2,69	-3,18	9,11	LF4	7,78	-1,44	-4,12	8,92
LF8	7,64	-2,74	-4,70	9,38	LF8	6,64	-2,50	-4,58	8,44
TC2	-1,57	-4,95	-5,36	7,47	TC2	-3,17	-4,62	-5,33	7,73
TC4	-4,55	-4,08	-5,91	8,50	TC4	-3,51	-4,29	-5,46	7,78
TC8	-3,52	-2,33	-3,35	5,38	TC8	-1,55	-3,49	-3,27	5,03
<i>P.</i> <i>fumosus</i>	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE	<i>T.</i> <i>versicolor</i>	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
AP2	6,02	-1,40	1,29	6,31	AP2	6,28	-2,80	-0,63	6,90
AP4	4,08	-1,54	-0,67	4,41	AP4	5,10	-1,75	0,35	5,40
AP8	2,35	-0,94	-0,47	2,58	AP8	5,17	-1,47	0,11	5,37
AV2	9,54	-1,25	2,21	9,87	AV2	9,73	-4,29	-0,50	10,64
AV4	6,90	-3,01	-0,34	7,53	AV4	9,70	-1,82	1,12	9,93
AV8	8,15	-2,95	2,16	8,93	AV8	10,92	-2,12	3,08	11,55
LF2	7,20	-1,93	-5,28	9,13	LF2	5,34	-1,20	-4,29	6,95
LF4	8,03	-2,15	-1,79	8,50	LF4	6,52	-2,02	-3,56	7,70
LF8	7,51	-1,98	-4,08	8,77	LF8	8,54	-2,41	-3,44	9,52
TC2	-2,01	-5,52	-6,53	8,79	TC2	-2,02	-5,91	-6,41	8,95
TC4	-2,44	-3,32	-3,37	5,32	TC4	-2,82	-5,02	-6,27	8,51
TC8	-2,19	-2,51	-2,14	3,96	TC8	-3,31	-3,06	-3,98	6,01

Em que: AP – angelim pedra; AV – angelim vermelho; LF – louro faia; TC – teca.

Tabela 5A. Variação das coordenadas L*, a* e b* e variação total da cor (ΔE^*) das amostras intemperizadas após o ataque dos fungos.

<i>R.</i> <i>placenta</i>	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE	<i>N.</i> <i>Lepideus</i>	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
AP2	13,97	10,38	14,45	22,62	AP2	7,84	4,97	9,11	13,00
AP4	3,29	7,55	6,15	10,28	AP4	4,02	7,92	9,47	12,99
AP8	8,03	8,35	10,17	15,41	AP8	6,31	8,50	11,62	15,72
AV2	-6,19	8,74	3,27	11,20	AV2	-2,92	6,43	2,48	7,48
AV4	-2,50	6,14	2,78	7,19	AV4	-1,09	6,21	2,60	6,82
AV8	-3,06	7,51	2,97	8,64	AV8	-1,81	4,76	0,22	5,10
LF2	-2,69	8,73	9,19	12,96	LF2	2,65	7,06	9,47	12,11
LF4	3,32	8,63	8,76	12,74	LF4	3,02	5,72	8,92	11,02
LF8	5,45	7,51	8,38	12,50	LF8	5,34	7,71	10,55	14,12
TC2	10,89	5,97	10,16	16,04	TC2	4,34	3,76	6,65	8,79
TC4	5,24	0,77	8,15	9,72	TC4	3,46	4,64	7,72	9,65
TC8	1,37	3,62	2,78	4,77	TC8	0,82	4,52	3,96	6,06
<i>P.</i> <i>fumosus</i>	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE	<i>T.</i> <i>versicolor</i>	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
AP2	5,10	7,25	7,40	11,55	AP2	6,99	8,73	10,98	15,68
AP4	8,58	8,75	10,10	15,89	AP4	5,62	8,68	9,30	13,91
AP8	10,02	8,86	10,27	16,87	AP8	1,78	8,92	10,02	13,53
AV2	5,83	5,66	1,74	8,31	AV2	5,60	11,71	10,71	16,83
AV4	-1,00	5,76	1,82	6,12	AV4	0,63	10,42	6,93	12,53
AV8	-1,62	8,61	2,28	9,05	AV8	-4,14	8,71	3,95	10,42
LF2	5,15	8,03	9,99	13,82	LF2	-0,98	7,80	9,94	12,67
LF4	3,41	6,95	5,92	9,74	LF4	3,47	11,09	12,90	17,36
LF8	7,62	7,21	8,87	13,74	LF8	4,20	8,66	10,03	13,90
TC2	7,77	4,40	7,08	11,39	TC2	2,20	6,67	9,26	11,62
TC4	5,41	4,07	4,99	8,41	TC4	6,34	7,61	12,14	15,66
TC8	1,24	2,81	1,03	3,24	TC8	-2,62	5,69	4,90	7,95

em que: AP – angelim pedra; AV – angelim vermelho; LF – louro faia; TC – teca.

APÊNDICE B – Resumo das análises de variância para os ensaios biológicos

Tabela 1B. Resumo das análises de variância para resistência a fungos xilófagos.

FV	GL	Quadrados Médios			
		<i>R. placenta</i>	<i>N. lepideus</i>	<i>P. fumosus</i>	<i>T. versicolor</i>
Espécie (A)	3	0,0000*	0,0085**	0,0000*	1e-05 ^{ns}
Concentração (B)	2	0,8960*	0,4256*	0,3351*	0,0473*
A x B	6	0,0308**	0,0051**	0,1454	2e-05**
Testemunha	1	0,0000*	7e-05 ^{ns}	0,0133*	0,0000*
Fator x Testemunha	1	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
Resíduo	70				

** significativo pelo teste F ($p < 0,01$), * significativo pelo teste F ($0,01 \leq p < 0,05$), ^{ns} não significativo pelo teste F ($p > 0,05$). Dados transformados em $\text{Arcsen} \sqrt{\text{PM}_{(\%)} / 100}$.

Tabela 2B. Resumo das análises de variância para a perda de massa e desgaste para o ensaio de resistência com térmitas.

Ensaio	FV	GL	Quadrados médios		
			Perda de massa	Desgaste	
Térmitas de madeira seca	Alimentação forçada	Espécie (A)	2	0,0001**	0,1408 ^{ns}
		Concentração (B)	2	0,2189 ^{ns}	0,7575 ^{ns}
		A x B	4	0,2141 ^{ns}	0,6939 ^{ns}
		Fator x Testemunha	1	0,6082 ^{ns}	0,5459 ^{ns}
		Resíduo	50		
	Preferência alimentar	Espécie (A)	2	0,1441 ^{ns}	0,7273 ^{ns}
		Concentração (B)	2	0,4332 ^{ns}	0,8037 ^{ns}
		A x B	4	0,0751 ^{ns}	0,6866 ^{ns}
		Fator x Testemunha	1	0,1923 ^{ns}	0,0322 ^{ns}
		Resíduo	50		
Térmitas subterrâneas	Alimentação forçada	Espécie (A)	2	0,0000**	0,0078**
		Concentração (B)	2	0,0007**	0,7896 ^{ns}
		A x B	4	0,0016**	0,3184 ^{ns}
		Fator x Testemunha	1	0,0000**	0,0156 ^{ns}
		Resíduo	40		
	Preferência alimentar	Espécie (A)	2	0,000**	0,000**
		Concentração (B)	2	0,000**	0,0262*
		A x B	4	0,000**	0,0001**
		Fator x Testemunha	1	0,000**	0,000**
		Bloco	5	0,7074 ^{ns}	0,9623 ^{ns}
Resíduo	45				

** significativo pelo teste F ($p < 0,01$), * significativo pelo teste F ($0,01 \leq p < 0,05$), ^{ns} não significativo pelo teste F ($p > 0,05$). Dados transformados em $\text{Arcsen} \sqrt{\text{PM}_{(\%)} / 100}$.

Tabela 3B. Resumo da análise de variância para mortalidade dos ensaios de resistência com térmitas de madeira seca e térmitas subterrâneos.

Ensaio		FV	GL	Quadrados médios
				Mortalidade
Térmitas de madeira seca	Alimentação forçada	Espécie (A)	2	0,0935 ^{ns}
		Concentração (B)	2	0,0781 ^{ns}
		A x B	4	0,6642 ^{ns}
		Fator x Testemunha	1	0,8461 ^{ns}
		Resíduo	40	
Térmitas subterrâneos	Alimentação forçada	Espécie (A)	2	0,0591 ^{ns}
		Concentração (B)	2	0,0676 ^{ns}
		A x B	4	0,2450 ^{ns}
		Fator x Testemunha	1	0,0000 ^{**}
		Resíduo	40	

** significativo pelo teste F ($p < 0,01$), ^{ns} não significativo pelo teste F ($p > 0,05$).