



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

MATHEUS JARDIM DOS SANTOS

**EFICIÊNCIA DA FURFURILAÇÃO E DO TRATAMENTO TÉRMICO DA
MADEIRA *Simarouba amara* (AUBL), SOBRE A AGREGAÇÃO DE RESISTÊNCIA
AO TÉRMITA *Coptotermes gestroi* (Wasmann), EM CONDIÇÕES DE CAMPO**

Prof. Dr. Henrique Trevisan
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
DEZEMBRO – 2024



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

MATHEUS JARDIM DOS SANTOS

**EFICIÊNCIA DA FURFURILAÇÃO E DO TRATAMENTO TÉRMICO DA
MADEIRA *Simarouba amara* (AUBL), SOBRE A AGREGAÇÃO DE RESISTÊNCIA
AO TÉRMITA *Coptotermes gestroi* (Wasmann), EM CONDIÇÕES DE CAMPO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. Henrique Trevisan
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
DEZEMBRO – 2024

**EFICIÊNCIA DA FURFURILAÇÃO E DO TRATAMENTO TÉRMICO DA
MADEIRA *Simarouba amara* (AUBL), SOBRE À AGREGAÇÃO DE RESISTÊNCIA
AO TÉRMITA *Coptotermes gestroi* (Wasmann), EM CONDIÇÕES DE CAMPO**

MATHEUS JARDIM DOS SANTOS

APROVADA EM: 13/12/2024

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Henrique Trevisan – UFRRJ
Orientador

Dr. Vinícius José Fernandes – UFRRJ
Membro

João Vinícius Lourenço Coelho Netto – UFRRJ
Membro

Dedico a todos aqueles que vieram antes de mim, que com muita luta, trilharam seus caminhos sob o sol permitindo que hoje eu possa caminhar pela sombra.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus familiares, em especial a minha mãe Ruth, meu pai Evanildo e meu irmão Victor, que com muita dificuldade, sempre se desdobraram para que se tornasse possível fazer a graduação. Expresso meu agradecimento pelas contribuições ao longo da minha vida, ressaltando a importância dos estudos, me incentivando e possibilitando que eu possa almejar uma graduação.

A minha companheira de vida Larissa, por toda parceria durante a vida e na caminhada acadêmica. Saiba que, sem dúvida, seu apoio em todos os momentos durante essa jornada foi crucial para a conclusão das etapas dessa monografia e do curso. Agradeço pelo amor, carinho, pelos inúmeros suportes, apoio nos momentos difíceis e todo o companheirismo durante esses anos. Seu apoio e compreensão foram essenciais para mim e para elaboração desse trabalho.

Ao meu primo/irmão Marcus, que sempre me incentivou e me apoiou durante toda essa caminhada. Nos momentos difíceis sempre estendeu a mão para que eu pudesse me reerguer e continuar lutando. Agradeço a parceria e pelo apoio na vida.

Aos meus amigos de LICA, ao grupo PET Floresta e a CAP e-Sports, que me ensinaram muitas coisas sobre a vida e tornaram a experiência acadêmica mais leve de ser vivida.

Aos meus amigos acadêmicos, que dividiram a experiência de graduação comigo e tornaram-se mais que colegas de curso e sim amigos para a vida, em especial Marcelo Araújo, Arthur Saize, Ben Gur, Jean Nakano, Moreno Brum e Pedro Henrique.

Aos meus companheiros de laboratório João Vinícius e Vinícius Fernandes, agradeço a parceria e todo apoio durante os momentos partilhados e trabalhos confeccionados, ambos têm extrema importância na minha vida acadêmica.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, local onde foi construído absolutamente tudo que tenho, para além do ensino público de qualidade, toda a experiência social e profissional adquirida nesses anos.

Aos professores de graduação, que partilharam seus saberes e me tornaram o profissional que hoje sou, em especial aqueles que tiveram uma passagem maior em minha trajetória, Bruno Bahia, Vanessa Basso, Jerônimo Sansevero, André Felipe, Emanuel Araújo e Rafaella Curto.

Ao meu orientador Henrique Trevisan, que abriu as portas do mundo científico para mim. Agradeço pelo companheirismo, apoio, dedicação na confecção de diferentes trabalhos e, acima de tudo, pela paciência comigo. Agradeço todo ensinamento partilhado e expresso minha maior gratidão pela contribuição na minha carreira acadêmica e profissional.

Às diferentes formas de amparo financeiras que são oportunizadas durante a graduação, e foram cruciais para a minha permanência acadêmica, à bolsa de Extensão, ao PET Floresta e ao PIBIC. Ao CNPq e ao MEC, meu profundo agradecimento pelo fornecimento de subsídios.

RESUMO

A madeira é um material natural amplamente utilizado ao longo do desenvolvimento da humanidade, ainda sendo muito utilizada nos dias de hoje em diferentes setores, como o setor de construção civil, alvenaria ou em mourões e cercas. Entretanto, um dos desafios que o setor madeireiro enfrenta, é o aumento da durabilidade de madeiras suscetíveis aos organismos xilófagos, como os térmitas, visando ampliar sua vida útil e aplicações comerciais. Por isso, este trabalho tem como objetivo avaliar a eficácia do tratamento térmico e do tratamento preservativo à base de álcool furfurílico na resistência da madeira de *Simarouba amara* Aubl. (Marupá) à ação do térmita subterrâneo *Coptotermes gestroi* (Wasmann, 1896), em condições de campo. Para tanto, amostras dessa madeira foram submetidas à ação de *C. gestroi* em quatro condições: madeira natural (T1), madeira tratada com álcool furfurílico 50% (T2), madeira tratada termicamente (T3) e a madeira com tratamento térmico + álcool furfurílico 50% combinados (T4), aplicados à madeira de *S. amara*. Os resultados incluíram a análise da perda de massa percentual, dada pelo consumo de biomassa pelos térmitas, bem como pela classificação visual das lesões nas amostras proporcionadas pela ação desses insetos, conforme critérios descritos na norma AWWA E1-2016. Pela avaliação dos critérios da norma os tratamentos T1, T2, T3 e T4 receberam as seguintes notas médias, respectivamente: 9,25; 10; 8,65 e 9,75. Já na avaliação da perda de massa percentual, para T1, T2, T3 e T4, foi 2,10%, 1,09%, 2,68% e 1,55%, respectivamente. Os resultados demonstraram que o tratamento com álcool furfurílico proporcionou maior resistência à ação dos térmitas, com menor perda de massa, enquanto o tratamento térmico isolado reduziu a resistência da madeira. O estudo conclui que a furfurilação representa uma alternativa promissora e sustentável aos métodos convencionais de preservação, enquanto o tratamento térmico requer ajustes para maximizar sua eficiência em madeiras de baixa densidade.

Palavras-chave: madeira furfurilada, térmitas xilófagos, tratamento de madeira

ABSTRACT

Wood is a natural material widely used throughout the development of humanity, still being used today in various sectors such as civil construction, masonry, or in posts and fences. However, one of the challenges the timber industry faces is increasing the durability of wood against attack by xylophagous organisms, such as termites, in order to extend its lifespan and commercial applications. Therefore, this study aims to evaluate the effectiveness of thermal treatment and preservative treatment based on furfuryl alcohol in enhancing the resistance of *Simarouba amara* Aubl. (Marupá) wood against the subterranean termite *Coptotermes gestroi* (Wasmann) under field conditions. For this purpose, wood samples were subjected to the action of *C. gestroi* under four conditions: natural wood (T1), wood treated with 50% furfuryl alcohol (T2), thermally treated wood (T3), and wood treated with a combination of thermal and furfuryl alcohol treatments (T4). The results included an analysis of percentage mass loss due to termite biomass consumption, also as a visual classification of the lesions on the samples caused by termite action, according to the criteria described in the AWP A E1-2016 standard. Based on the standard's criteria, the treatments T1, T2, T3, and T4 received the following average scores: 9.25, 10, 8.65, and 9.75, respectively. Regarding percentage mass loss, the values for T1, T2, T3, and T4 were 2.10%, 1.09%, 2.68%, and 1.55%, respectively. The results showed that furfuryl alcohol treatment provided the highest resistance to termite attack, with the lowest mass loss, while the thermal treatment alone reduced the wood's resistance. The study concludes that furfurylation represents a promising and sustainable alternative to conventional preservation methods, while thermal treatment requires adjustments to maximize its efficiency in low-density woods

Keywords: furfurylated wood, xylophagous termites, wood preservation.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	7
3.1. Preparação dos corpos de prova e aplicação dos tratamentos.....	7
3.2. Implementação do experimento em campo.....	9
3.3. Retirada e avaliação dos corpos-de-prova.....	9
4 RESULTADOS.....	10
5 DISCUSSÃO.....	12
6 CONCLUSÕES.....	14
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material natural amplamente utilizado desde os primórdios da civilização devido sua versatilidade na utilização e devido suas propriedades físicas (Júnior; Silva; Soares, 2017). Essas características tornam-na uma matéria-prima essencial em diversos setores, incluindo construção civil, produção de energia, produção de papel e celulose. Além disso, a madeira é um recurso renovável e, quando manejada de forma sustentável, apresenta grande relevância econômica e ambiental (Oliveira; Müller, 2024).

Dentre as espécies encontradas no mercado, a madeira de *Simarouba amara* (Aubl., 1775) (*Simaroubaceae*), conhecida popularmente como marupá, é amplamente utilizada em diferentes áreas comerciais devido à sua leveza, facilidade de trabalho e estética (Carvalho, 2008). No entanto, uma das suas desvantagens é sua baixa durabilidade natural, o que a torna susceptível ao ataque de organismos xilófagos, especialmente em ambientes externos (Sousa, 2016).

A durabilidade natural da madeira, no que se refere a capacidade intrínseca de resistir ao ataque de organismos xilófagos, sem a necessidade de tratamentos preservativos, é um dos fatores que podem afetar a vida útil deste material (Neto *et al.*, 2024). Essa durabilidade varia significativamente entre espécies, sendo influenciada por fatores como a presença de compostos químicos naturais, a densidade, a estrutura anatômica da madeira assim como também por fatores externos, por exemplo a umidade, insolação e temperatura (Melo *et al.*, 2010).

Entre os organismos xilófagos, pode-se citar as bactérias, perfuradores marinhos, fungos e os insetos representados por térmitas, coleobrocas e em menor escala vespas (Oliveira; Müller, 2024). Os térmitas destacam-se, pois, podem causar deterioração severa, comprometendo a integridade estrutural do material. A preservação da madeira contra esses agentes é crucial para garantir um aumento da vida útil da madeira, especialmente locais que tornam o ambiente propício ao ataque dos térmitas.

Os térmitas, além de utilizar a madeira como sua fonte de alimentação, algumas espécies utilizam-na também como meio físico de abrigo, fazendo galerias e escavações significativas, modificando a estrutura física do material e consequentemente sua resistência (Souza, 2008). Dentre os térmitas, a espécie exótica *Coptotermes gestroi* (Wasmann, 1896) originária da Ásia,

tem se adaptado bem ao clima tropical e subtropical, sendo uma praga significativa no Brasil, destaca-se por sua agressividade e capacidade de destruir rapidamente estruturas de madeira, inclusive em áreas urbanas (Souza, 2008). Dessa maneira, o controle dessa espécie demanda estratégias eficazes de tratamento preservativo, visando mitigar os danos econômicos e estruturais que causam.

Ao longo dos anos, diferentes métodos de preservação da madeira têm sido desenvolvidos para aumentar sua durabilidade frente ao ataque de organismos xilófagos. Entre os mais comuns, destacam-se os tratamentos com sais hidrossolúveis, como o CCA (arseniato de cobre cromatado), e óleos como o creosoto, amplamente usados na proteção de madeiras em ambientes externos. Esses métodos são eficazes, mas levantam preocupações ambientais devido ao potencial de contaminação do solo e da água por compostos tóxicos (De Menezes e Damineli, 2024).

Com o avanço da tecnologia e a busca por alternativas mais sustentáveis, novos métodos de preservação da madeira têm sido investigados. A furfurilação da madeira, através da polimerização com álcool furfurílico, é um dos tratamentos químicos que estão atualmente sendo estudados. O químico é considerado uma alternativa verde, pois é derivado de resíduos agrícolas como o bagaço de cana e tem se mostrado capaz de aumentar significativamente a resistência mecânica da madeira e sua durabilidade (Mantanis, 2017).

Outra técnica estudada é a preservação da madeira através do tratamento térmico, que consiste na pirólise controlada da madeira, conferindo ao material uma coloração diferenciada, aumento de sua estabilidade natural e aumento de sua durabilidade natural sem a necessidade de produtos químicos (Ferreira *et al.*, 2019). Atualmente, é uma técnica bastante difundida, principalmente na América do Norte e na Europa, onde inclusive apresentam métodos patenteados para comercialização de madeiras tratadas termicamente (Lazarotto *et al.*, 2016; Juizo *et al.*, 2018).

Diante do exposto, dado o cenário de crescente demanda por soluções mais eficazes e sustentáveis para o tratamento de madeiras de baixa durabilidade, como a *S. amara*, este trabalho tem como objetivo avaliar a eficácia do tratamento térmico e do tratamento preservativo à base de álcool furfurílico na resistência dessa madeira à ação do térmita subterrâneo *C. gestroii*, em condições de campo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A madeira é um dos materiais mais antigos e versáteis utilizados pelo homem, destacando-se por suas propriedades estruturais e estéticas (Araujo, 2020). Classificada como um recurso natural renovável, ela é amplamente empregada em construções civis, mobiliário, papel e diversos outros produtos, e estruturalmente, a madeira pode ser avaliada com base em suas características físicas e mecânicas, como densidade, resistência, elasticidade e durabilidade (Alves, Oliveira e Carrasco, 2017; Araujo, 2020). Geralmente, as espécies de madeira são divididas em dois grupos principais: gimnospermas, que seriam as madeiras de coníferas, e as angiospermas, que seriam as madeiras de folhosas (Amorim, Paes e Nicácio, 2021). Essas classificações são essenciais para determinar seu uso em diferentes aplicações, garantindo eficiência e segurança, dado que essa divisão reflete diferenças significativas na composição anatômica e no desempenho estrutural (Amorim, Paes e Nicácio, 2021).

O fomento da utilização da madeira em construções rurais e construções civis se faz pertinente pois quando comparada ao aço e o concreto, a madeira sai à frente dos outros materiais, principalmente pelas propriedades de resistência mecânica e densidade (Moraes, 2023). Não obstante, a madeira ainda se apresenta muito à frente dos outros materiais no que tange os assuntos de preservação do meio ambiente e redução dos impactos ambientais, dado que a madeira é um recurso renovável e em áreas reflorestadas apresenta a contribuição na redução da emissão de gases poluentes durante o seu crescimento, enquanto os outros materiais convencionais são recursos de alto impacto (Moraes, 2023).

A madeira de *S. amara*, é uma espécie de ocorrência em diferentes formações florestais, sendo Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Ombrófila Densa, Savana, Cerradão e Savana florestada, e no Brasil, ela é encontrada mais comumente na região Amazônica e tem ocorrências também nos estados da Bahia, Ceará e Pernambuco (Carvalho, 2008; Vieira, 2019). O Marupá apresenta madeira leve de densidade entre 0,35 a 0,55 g/cm³, de fácil trabalhabilidade e por isso, torna-se muito utilizada na indústria madeireira, especialmente para a fabricação de móveis, painéis e peças decorativas, como também na construção de diferentes instrumentos musicais (Carvalho, 2008; Azevedo *et al.*, 2010; Marques *et al.*, 2023). Sua leveza e coloração clara são características que a tornam atrativa no mercado, entretanto, estudos demonstram que a madeira de Marupá é classificada como pouco ou não resistente à ação de fungos xilófagos

(Vieira, 2019). Por conta disso, estudos sobre tratamentos preservativos são comumente realizados frente a madeira de Marupá, visando ampliar sua vida útil e melhorar sua resistência a agentes deterioradores (Freitas; González e Del Menezzi, 2016; Fernandes *et al.*, 2024).

A durabilidade natural da madeira mostra-se como um fator importante na utilização do material, sendo definida por a capacidade intrínseca de uma espécie resistir à degradação causada por agentes biológicos, como fungos, térmitas e outros insetos xilófagos, além de fatores ambientais, como umidade e exposição a intempéries (Paes *et al.*, 2015; Gallio *et al.*, 2024). Essa propriedade varia significativamente entre as espécies e está diretamente relacionada à densidade da madeira, à presença de compostos químicos naturais, como óleos e taninos, e à sua anatomia estrutural (Gonçalves *et al.*, 2013).

Como relatado por Stallbaun *et al.*, (2017), a durabilidade natural de madeiras é um fator chave para uma utilização mais duradoura em ambientes naturais. Apesar da importância ecológica dos organismos xilófagos na degradação da madeira nos ecossistemas naturais, quando o emprego da utilização da madeira é comercial, tecnológico ou construtivo, visa-se aumentar o tempo de vida desse material em campo (Trevisan *et al.*, 2020). A classificação da durabilidade é fundamental na escolha da madeira para diferentes aplicações, especialmente em ambientes externos ou sujeitos à alta umidade, onde a resistência à biodegradação é crucial para prolongar a vida útil do material (Gonçalves *et al.*, 2013).

Dentre os principais agentes deterioradores de madeira estão as brocas marinhas, fungos apodrecedores, térmitas e outros tipos de insetos xilófagos (Neto *et al.*, 2024). Esses organismos, em especial os térmitas, causam danos significativos em peças de madeira, comprometendo sua integridade estrutural e funcional (Neto *et al.*, 2024). Os térmitas, mais conhecidos como térmitas, são insetos eussociais, apresentando uma estrutura social dentro de suas colônias (Trevisan, 2016). A estrutura social desses insetos é composta por indivíduos que são morfologicamente diferentes e são classificados em diferentes castas, que apresentam funções distintas dentro da colônia (Oliveira; Müller, 2024). Os ninhos dos térmitas podem ser construídos em diferentes locais e de diferentes formas, sendo sobre mourões, árvores, postes, na superfície do solo, dentro da madeira ou completamente subterrâneos (Oliveira; Müller, 2024).

Pertencente à família Heterotermitidae, o gênero *Coptotermes* é composto por térmitas subterrâneas que criam colônias no solo e desenvolvem extensas redes de túneis para explorar fontes alimentares, podendo construí-los em diferentes locais, como: tronco de árvores, postes, paredes, mourões, entre outras inúmeras opções (Fernandes, 2017; Hellemans et al., 2024). Entre as várias espécies de térmitas, o *C. gestroi* se destaca por sua ampla distribuição no país, tendo registros no Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Pará e na Amazônia, e pelo impacto significativo em áreas urbanas e agrícolas, sendo inclusive considerado uma das maiores pragas urbanas do sudeste brasileiro (Fernandes, 2017).

Os preservantes de madeira desempenham um papel crucial visando mitigar os danos causados por agentes deterioradores (De Menezes e Damineli, 2024). Contudo, o CCA (Arseniato de cobre cromatado), que é o preservante mais comumente utilizado a nível industrial, traz efeitos nocivos ao meio ambiente e consequentemente à saúde humana, dado que, quando o descarte do material tratado é feito por queima, produz compostos tóxicos voláteis e quando descartados em aterros, há a preocupação de lixiviação de metais pesados para o lençol freático (Townsend *et al.*, 2005; Silva, 2020; De Menezes e Damineli, 2024). Dito isso, há um fomento justificado para pesquisa e estudo de preservantes de madeira que sejam tão eficientes quanto o CCA, mas que sejam ecologicamente sustentáveis e economicamente viáveis.

Entre as abordagens alternativas de preservação da madeira, apresenta-se o uso do tratamento térmico, e esse método tem por objetivo diminuir a higroscopicidade da madeira, através da diminuição dos polímeros hidrofílicos que fazem parte da composição química da madeira (Juizo *et al.*, 2018). O método consiste em submeter a madeira à altas temperaturas controladas, sendo elas entre 100 °C a 250 °C, em função do tempo de exposição, e causará modificações químicas ocasionadas pela decomposição das moléculas de celulose, lignina e hemicelulose, que por sua vez diminuirão o acesso às hidroxilas responsáveis pela higroscopicidade da madeira, fazendo com que o material se torne menos atrativo para os agentes xilófagos (Juizo *et al.*, 2018; Ferreira, *et al.*, 2019). Essa abordagem, além de apresentar os benefícios com a agregação da durabilidade da madeira em ambientes naturais, também aumenta a estabilidade dimensional e modifica a cor das peças de madeira, podendo torná-las mais atrativas ao mercado, e para além, não utiliza nenhum químico em seu processo (Lazarotto, *et al.*, 2016). Contudo, segundo os autores Juizo *et al.*, (2018) e Ferreira, *et al.*,

(2019), é importante ressaltar que para além dos benefícios para o aumento da durabilidade, o método apresenta desvantagem com a redução de propriedades mecânicas, em especial tratamentos que utilizam temperaturas maiores que 200 °C, dado que a partir desse valor, há uma alta taxa de degradação de polissacarídeos amorfos e hidrofílicos que fazem parte da constituição da parede celular.

Através do método de impregnação, temos também uma outra fonte potencial de preservação de madeira, que seria a técnica de furfurilação (Esteves e Pereira, 2009). O álcool furfurílico é um composto orgânico com diferentes elementos químicos que é comumente obtido a partir de açúcares C5 e C6, presente na biomassa de algumas culturas agrícolas, como por exemplo a cana-de-açúcar e tem por vantagem econômica poder ser extraído de produtos secundários da produção do bioetanol (Esteves e Pereira, 2009; Gallio *et al.*, 2019; Schulz *et al.*, 2019).

De acordo com o estudo realizado por Martha *et al.*, (2024) sobre palatabilidade e preferência alimentar, o álcool furfurílico não provocou mortalidade direta nos térmitas que entraram em contato com a madeira tratada mesmo quando forçados a se alimentar dela, sugerindo que o tratamento modifica as propriedades da madeira, tornando-as menos atrativa aos térmitas. Além disso, ainda no mesmo estudo, Martha *et al.*, (2024) por meio de testes de escolhas evidenciam que os térmitas evitam a madeira tratada, demonstrando um efeito repelente ao invés de tóxico, destacando o potencial do álcool furfurílico como um agente de proteção não biocida com promissoras implicações mais sustentáveis na preservação de madeira.

Para a preparação da solução de tratamento, é necessária uma parte composta pelo próprio álcool furfurílico, catalisadores, agentes tamponantes e água, em seguida a madeira é submetida ao processo de impregnação e por fim, passa também pela fase de polimerização, que consiste no aquecimento controlado em estufa, transformando a solução em uma matriz polimérica rígida, derivada da reação da solução com os químicos presentes na própria madeira (Mantanis, 2017). Esse procedimento de polimerização do álcool furfurílico proporciona para a madeira um preenchimento dos espaços vazios da estrutura celular, nos lúmens e paredes celulares, e, conseqüentemente, reduz a porosidade e aumenta sua densidade, tornando o

material mais duro, menos susceptível a deformações e ataque de organismos xilófagos, bem como à ação da umidade e variações climáticas (Mantanis, 2017).

Segundo os autores Schulz *et al.*, (2019), a madeira após o processo de furfurilação apresenta inúmeros benefícios, tais como a melhora nas propriedades físicas e mecânicas da madeira, o lixiviado da água não ser tóxico, a madeira tratada após a polimerização não ser tóxica e também o produto da queima da madeira tratada possuir compostos semelhantes aos da madeira *in natura*. Dessa maneira, como citado por diferentes autores, o tratamento com álcool furfurílico além de apresentar benefícios nas propriedades físicas e mecânicas, demonstra alta eficácia no que tange o objetivo de aumentar sua durabilidade contra organismos xilófagos, sendo bem avaliada também nas vias sustentáveis, visto que, sua produção parte de um subproduto da cultura agrícola, sanando um possível problema de aproveitamento de resíduos, como também apresentando uma alternativa sustentável para os tratamentos preservativos tradicionais, que utilizam de compostos químicos extremamente tóxicos (Esteves e Pereira, 2009; Mantanis, 2017; Schulz *et al.*, 2019; Hadi, *et al.*, 2020).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Preparação dos corpos-de-prova e aplicação dos tratamentos

Para o desenvolvimento do trabalho, a madeira de marupá foi adquirida comercialmente no município de Seropédica. Posteriormente, confeccionou-se corpos-de-prova em uma serra-fita conforme recomendações da norma AWPS E1-16. Ao total foram fabricados 40 corpos-de-prova de dimensão 2,5 x 2,5 x 0,6 cm.

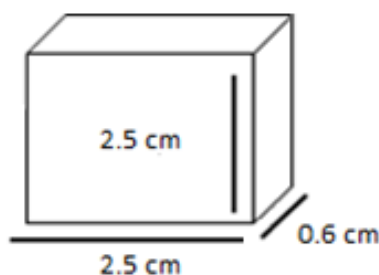


Figura 1: Dimensões dos corpos-de-prova

Com os corpos-de-prova preparados, iniciou-se o processo de tratamento preservativo da madeira. As amostras foram submetidas a quatro diferentes tratamentos, cujo a respectiva nomenclatura e descrição estão apresentados na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1. Nomenclatura e descrição das condições de tratamentos preservativos da madeira de *Simarouba amara* que serão submetidos à ação de *Coptotermes gestroi* em condição de campo.

Tratamento	Condição
T1	Madeira natural
T2	Madeira tratada com álcool furfurílico 50%
T3	Madeira tratada termicamente
T4	Madeira tratada com álcool furfurílico 50% + tratada termicamente

Posteriormente, como dois tratamentos utilizam a madeira tratada termicamente, o procedimento foi realizado primeiramente em vinte amostras. Para isso foram inseridas em estufa inicialmente em 100 °C por 1 hora, em seguida procedeu-se um aumento dessa temperatura, de forma gradual, até a temperatura de tratamento, sendo ela 200 °C. Após atingir essa temperatura, permaneceram por 2 horas nessa condição.

Para a preparação dos tratamentos com o álcool furfurílico, foi feita uma solução com 50% de álcool furfurílico, 40% de álcool etílico, 5% de ácido cítrico e 5% água destilada. A solução foi misturada de maneira manual até se tornar uma mistura homogênea e a partir disso, pronta para impregnação nas amostras. As amostras foram tratadas através do método chamado saturação completa, onde os corpos-de-prova ficam submersos na solução preparada por duas semanas. A saturação das amostras foi evidenciada quando o líquido preservativo não diminuía seu nível no frasco onde as amostras estavam imersas. Após a saturação, as amostras são levadas a estufa a 100 °C por 72 horas para o processo de polimerização. Após a polimerização, as amostras foram pesadas em balança analítica de precisão para posterior análise de perda de massa percentual.

Após a impregnação, todas as amostras foram submetidas à estufa a 70 °C até atingirem o peso estável. Nesse procedimento ocorre a polimerização da resina furfurílica na madeira, e

o registro da massa inicial, que será comparada com a massa da madeira provinda após a exposição aos térmitas no campo.

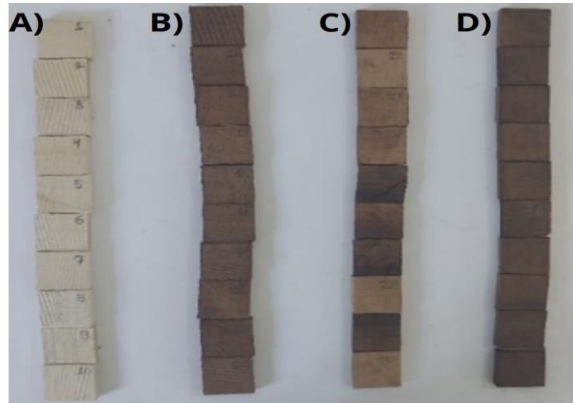


Figura 2: Corpos-de-prova após serem tratados e pesados, A) Madeira Natural; B) Tratamento com Álcool Furfurílico 50%; C) Tratamento térmico e D) Tratamento térmico + Álcool Furfurílico 50%.

3.2. Implementação do experimento em campo

Para a realização do experimento, utilizou-se a metodologia experimental de campo. Segundo Trevisan (2016), a metodologia demonstra mais confiabilidade no resultado, dado que a implantação em campo leva em consideração a ecologia e a biologia dos térmitas, não os retirando de sua ocorrência natural.

O experimento foi separado em 4 blocos com 10 corpos-de-prova, com os 4 respectivos tratamentos descritos anteriormente na Tabela 1 e demonstrados na Figura 2. Os blocos foram organizados em separadores feitas com papelão corrugado e foram dispostos em contato com os túneis confeccionados por eles (Figura 3 e 4).

O experimento foi implementado no dia 30 de setembro de 2024 em uma colônia, de ocorrência natural, de *C. gestroi*, localizada nas proximidades do Laboratório de Quimioterapia Experimental de Parasitologia Veterinária, onde está situado no Departamento de Parasitologia Animal no *campus* de Seropédica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).



Figura 4: Amostras separadas por papel corrugado.



Figura 5: Implementação das amostras no local.

3.3. Desmontagem do experimento e avaliação dos corpos-de-prova

O experimento ficou em campo até o dia 2 de dezembro de 2024, totalizando 62 dias de exposição aos térmitas. Os corpos-de-prova foram retirados cuidadosamente, visando não perder nenhuma amostra e nem prejudicar a ecologia do cupinzeiro no local.

Após a retirada dos corpos-de-prova, as mesmas foram levadas ao laboratório de biodeterioração da madeira e o excesso de material que estava aderido às amostras foi retirado manualmente, com o objetivo de não superestimar o peso das amostras. Em seguida, após limpas, as amostras foram colocadas em estufa, a 70 °C até atingirem peso estável.

Para a avaliação dos resultados, após os pesos estabilizados, todas as amostras foram pesadas. Com os pesos aferidos e tabelados, calculou-se perda média percentual de massa das amostras, em comparação com massa obtida antes da exposição aos térmitas. Em seguida, empregou-se os critérios da norma E1-16 da American Wood Protection Association (AWPA E1-2016) para realizar a avaliação visual do desgaste a partir da ação dos térmitas em cada amostra, essa avaliação consistiu em atribuir-se notas, em função do estado sanitário da madeira (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros para a avaliação visual do desgaste provocado pelos térmitas nos corpos-de-prova (AWPA E1-2016).

Notas	Condição
10	Sadio
9.5	Rastros e pequenas mordidas permitidas
9	Ação leve – Até 3 % de área da seção transversal afetada
8	Ação moderada – 3 – 10 % de área da seção transversal afetada
7	Moderado/severo – penetração, 10 – 30 % de área da seção transversal afetada
6	Ação severa – 30 – 50 % de área da seção transversal afetada
4	Ação muito severa – 50 – 75 % de área da seção transversal afetada
0	Falha total

4. RESULTADOS

Em relação a avaliação visual do desgaste provocado pela ação dos térmitas xilófagos na madeira de Marupá, a madeira natural (T1) apresentou nota média 9,25, a madeira que recebeu tratamento apenas com álcool furfurílico (T2) apresentou nota média 10, já as tratadas termicamente (T3) apresentaram a menor nota média, sendo ela 8,65, e por fim, as amostras tratadas com álcool furfurílico 50 + tratamento térmico (T4), apresentaram nota média 9,75 (Tabela 3).

Tabela 3. Notas médias dos corpos-de-prova obtidas através da avaliação dos parâmetros da AWPA E1-2016 sob a ação dos térmitas_xilófagos nas madeiras tratadas de Marupá.

Tratamento	Nota média	Nota	
		Máxima	Mínima
Madeira natural	9,25	10	9
Álcool Furfurílico 50 %	10	10	10
Tratamento térmico	8,65	10	6
Álcool Furf. 50 % + Trat. Térmico.	9,75	10	9

Pode-se observar as diferenças visuais da ação dos *C. gestroi* nos tratamentos, onde apesar de forragear todas as amostras, os térmitas apresentaram preferência alimentar pelos corpos-de-prova que receberam apenas o tratamento térmico e pela madeira natural (Figura 6).

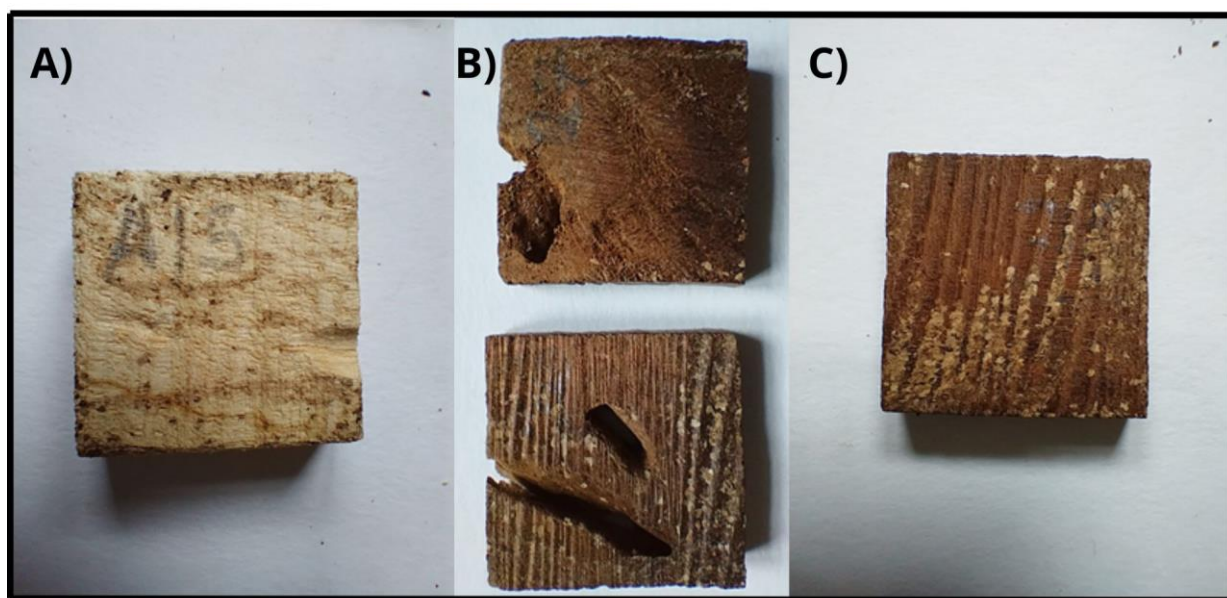


Figura 6. A) Madeira natural de Marupá forrageada e com leve consumo. B) Amostras do tratamento térmico forrageadas, com alto consumo e presença de galerias. C) Corpo-de-prova tratado apenas com álcool furfurílico 50 % forrageada, porém não consumida pelos térmitas.

Na análise de perda de massa percentual, foi possível observar que, corroborando com os registros da análise visual, a madeira do tratamento térmico (T3) apresentou a maior perda de massa média, com 2,68 %, enquanto o tratamento com álcool furfurílico 50 % (T2), demonstrou a menor perda, com o valor médio de 1,09 % (Figura 7).

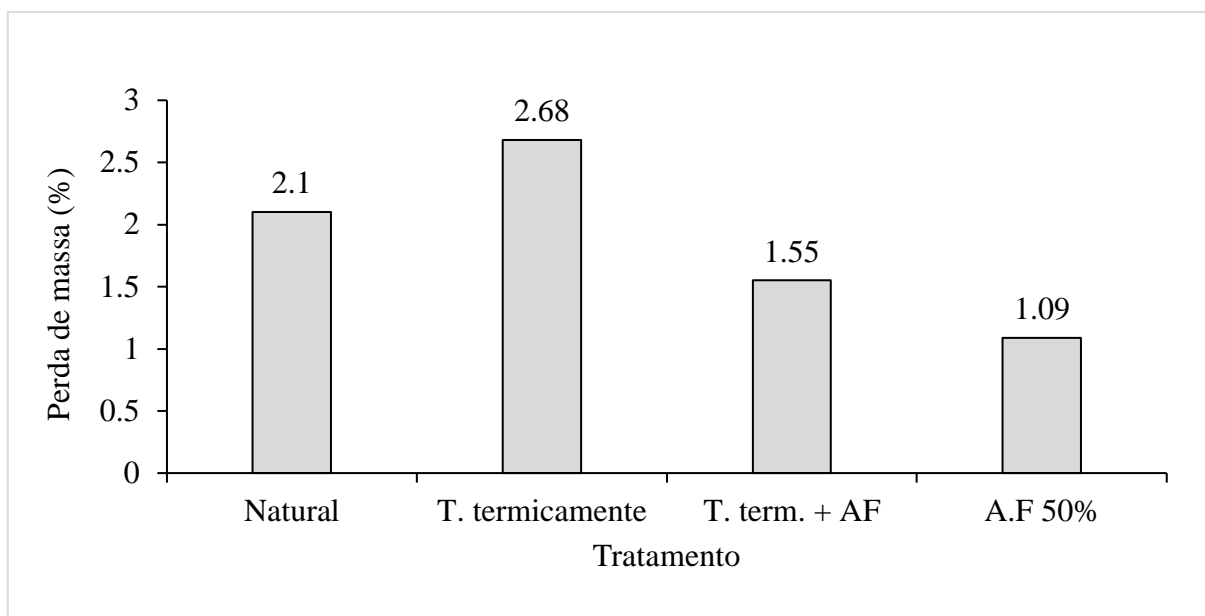


Figura 7. Gráfico com a perda de massa média percentual dos tratamentos frente à ação do térmita xilófago *C. gestroi*.

5. DISCUSSÃO

A partir dos resultados obtidos na avaliação visual, pelos parâmetros fornecidos pela norma AWPA E1-2016 e pela avaliação de perda de massa percentual das amostras, pôde-se inferir que o tratamento com álcool furfurílico 50 % foi capaz em agregar resistência à madeira de *S. amara* ao térmita subterrâneo *C. gestroi*, apresentando a maior nota na avaliação visual e a menor perda de massa percentual entre os tratamentos avaliados. Por outro lado, o tratamento térmico demonstrou agregar susceptibilidade às amostras de *S. amara*, apresentando a menor nota de avaliação visual e a maior perda de massa percentual.

Como citado pelo autor Mantanis (2017), o tratamento com a solução líquida de álcool furfurílico preenche as regiões porosas da madeira, fazendo com que quando aquecida reaja quimicamente, através do processo de polimerização, e ocorra o fenômeno de “vitrificação”

dentro dessas áreas que anteriormente não estavam preenchidas, formadas por cadeias poliméricas estruturais sólidas e insolúveis. Esse processo confere aos corpos-de-prova características diferenciadas dos demais tratamentos, como aumento da estabilidade dimensional pela redução da capacidade higroscópica da madeira, aumento da resistência mecânica e aumento de sua dureza.

Por outro lado, apesar do tratamento térmico ser amplamente reconhecido por melhorar propriedades da madeira, no estudo em questão, o mesmo deixou as amostras de marupá mais suscetíveis aos organismos xilófagos do que aos outros tratamentos. Com a aplicação do tratamento térmico, algumas espécies de madeiras sofrem a perda mais acentuada de extrativos e de compostos que estão impregnados nas paredes celulares, e pode acarretar uma diminuição da resistência, como relatado pelos autores De Melo *et al.*, (2019).

Estudos anteriores apresentaram resultados semelhantes aos obtidos neste trabalho. Brito (2015) e De Melo *et al.* (2019), relataram que madeiras das espécies *Qualea paraenses*, *Pinus taeda* e *Corymbia citriodora*, submetidas ao tratamento térmico, demonstraram maior suscetibilidade aos térmitas da espécie *Nasutitermes corniger*, conhecidos por serem térmitas de madeira úmida e terem características semelhantes ao comportamento do *C. gestroi*. No entanto, Brito (2015) constatou que o tratamento térmico foi satisfatório para aumentar a resistência da madeira contra térmitas de madeira seca, como *Cryptotermes brevis*.

A diferença nos resultados entre os dois tratamentos sugere que as características intrínsecas da madeira de *S. amara*, como composição química e estrutura anatômica, desempenham um papel fundamental na interação com os tratamentos aplicados. De acordo com Mantanis (2017), o álcool furfurílico parece complementar-se com os componentes químicos presentes nas paredes celulares e melhoraram as propriedades da madeira, já o tratamento térmico, aparenta ser prejudicial, pois segundo De Melo *et al.*, (2019) altas temperaturas tendem a aumentar a suscetibilidade ao ataque de térmitas de madeira úmida, especialmente em espécies menos densas ou com composição química mais suscetível ao calor.

Embora os resultados com tratamento térmico em *S. amara* não tenham sido positivos, no que tange a agregação de resistência aos térmitas, seria interessante investigar como outras espécies reagem ao procedimento de tratamento térmico dado que, segundo os autores De Melo *et al.*, (2019) e Santos (2024) constataram que espécies reagiram de maneira singular, devido

aos seus componentes específicos como químicos e composição física, e podem gerar diferentes resultados quanto aos tratamentos.

Outro ponto a ser observado é que, ambos os tratamentos se apresentam de formas sustentáveis e ecológicas, quando comparadas aos meios tradicionais e industriais de preservação da madeira, dado que o álcool furfurílico é gerado a partir de um subproduto da cultura de cana e o tratamento térmico não utiliza de químicos em seu processo. Segundo Vidal *et al.*, (2015) as características ideais para um preservante, são: ser resistente ao maior número de organismos xilófagos possível, não ser tóxico ao homem, não ser corrosivo em contato com outros materiais, apresentar custo acessível e disponibilidade de mercado, entre outros.

A pesquisa de Hadi *et al.* (2020) reforça os resultados obtidos neste trabalho ao apresentar dados positivos sobre madeiras de quatro espécies da Indonésia (*Falcataria moluccana*, *Anthocephalus cadamba*, *Acacia mangium* e *Pinus merkusii*) tratadas com álcool furfurílico, que demonstraram maior resistência ao ataque do térmita subterrâneo *Macrotermes gilvus* Hagen, reforçando a eficácia do tratamento preservativo no aumento da durabilidade da madeira frente a organismos xilófagos.

Dessa maneira, é pertinente apontar que o processo de furfurilação em madeira como método preservativo apresenta um viés promissor para aderir ao mercado brasileiro como substituto dos tratamentos convencionais, visto que, estudos relatam sucesso na agregação de resistência contra fungos xilófagos e térmitas (Skrede *et al.*, 2019; Hadi *et al.*, 2020; Sabrina, 2021). Desde o início dos anos 2000, como citado por Lande (2008), produtos à base de álcool furfurílico vêm sendo comercializados na Europa, o que tem impulsionado a discussão sobre a aplicação desses preservantes no Brasil. Esse cenário é justificado pelos diversos benefícios que o álcool furfurílico oferece à madeira, como o aumento de sua durabilidade, resistência, fazendo com que diversos países estudem e pesquisem sobre sua utilização (Acosta *et al.*, 2020; Sabrina, 2021).

Além disso, apesar do químico *in natura* ser tóxico ao homem, o que exige um cuidado em seu manuseio, após polimerizado a madeira se torna inerte, ademais, os autores Lande, Westin e Schneider (2004) relatam que as madeiras tratadas com álcool furfurílico não apresentaram um aumento significativo na água de lixiviação e a combustão do material não libera compostos acima dos níveis normais para a combustão de madeira.

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados encontrados podemos concluir que:

- O tratamento na madeira *Simarouba amara* (Aubl.), realizado com solução de álcool furfurílico 50 % demonstra proporcionar menor perda massa e menor desgaste, quando submetida a ação do térmita *Coptotermes gestroi* (Wasmann) em condições de campo;
- O tratamento térmico na madeira de *S. amara* demonstra agregar susceptibilidade frente à ação do térmita *C. gestroi*;
- O tratamento térmico na madeira de *S. amara* associado a incorporação de álcool furfurílico 50 %, afeta negativamente a agregação de resistência ao térmita *C. gestroi*, sendo, portanto, recomendado que esse químico seja aplicado na madeira natural;
- O tratamento à base de soluções com álcool furfurílico, concentrado à 50 %, apresenta potencial para agregar resistência a madeira de *S. amara* a ação de *C. gestroi*;
- Sugere-se mais estudos e pesquisas com o álcool furfurílico, visando a viabilidade do tratamento na indústria brasileira;
- Segure-se também que o tempo de exposição aos térmitas em futuros trabalhos sejam maiores que o utilizado no presente estudo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, A. P. et al. Termite resistance of a fast-growing pine wood treated by in situ polymerization of three different precursors. **Forests**, v. 11, n. 8, p. 865, 2020.

ALVES, R. C.; OLIVEIRA, A. L. C.; CARRASCO, E. V. M. Propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

AMERICAN WOOD PROTECTION ASSOCIATION STANDARD. AWP A E1-16. Laboratory methods for evaluating the termite resistance of wood-based materials: choice and no-choice tests. EUA: **AWPA**, 2016.

AMORIM, E. P.; PAES, J. B.; NICÁCIO, M. A. Anisotropia da contração e inchamento da madeira: uma abordagem tecnológica. EVANGELISTA, WV Madeiras nativas e plantadas do Brasil: qualidade, pesquisas e atualidades. Guarujá: **Científica Digital**, p. 81-100, 2021

- ARAUJO, H. J. B. de. Caracterização do material madeira. In: SEABRA, G. (org.). Educação ambiental: o desenvolvimento sustentável na economia globalizada. Ituiutaba, MG: **Barlavento**, p. 31-44, 2020.
- AZEVEDO, I. M. G. *et al.* Estudo do crescimento e qualidade de mudas de marupá (Simarouba amara Aubl.) em viveiro. **Acta Amazonica**, v. 40, p. 157-164, 2010.
- CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: **Embrapa Florestas**, p. 367-374, 2008.
- DE MELO, R. R. *et al.* Efeito do tratamento térmico sobre a resistência da madeira de cambará a cupins subterrâneos. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, p. 786-791, 2019
- DE MENEZES, D. O.; DAMINELI, B. L. Tratamentos para preservação de madeira para construção civil: panorama atual e inovações. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 16, n. 1, p. 966-991, 2024
- FERNANDES, N. C. de L. *et al.* ÓLEOS NATURAIS NO TRATAMENTO PRESERVATIVO DE CINCO ESPÉCIES DE MADEIRAS AMAZÔNICAS. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 36, p. 1–12, 2024. DOI: 10.24278/rif.2024.36e936
- FERNANDES, Vinicius José. **Preferência alimentar de Coptotermes gestroi (Wasmann, 1896) (Blattodea: Rhinotermitidae) por diferentes tipos de madeira em áreas urbanas**. 53 f. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade e Biotecnologia Aplicada) - Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ, 2017.
- FERREIRA, Mayra Daniela *et al.* Propriedades físicas e mecânicas da madeira de angelim-pedra submetida a tratamento térmico. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v. 16, n. 1, p. 3-7, 2019
- FREITAS, A. S.; GONÇALEZ, J. C.; DEL MENEZZI, C. H. Tratamento termomecânico e seus efeitos nas propriedades da Simarouba amara (Aubl.). **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 4, p. 565-572, 2016.
- GALLIO, E. *et al.* CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE QUATRO FOLHOSAS DETERIORADAS POR TÉRMITAS DO GÊNERO Nasutitermes. **Nativa**, [S. l.], v. 6, p. 763–766, 2018.
- GALLIO, Ezequiel *et al.* Influência dos tratamentos de termorreificação e furfurilação em propriedades tecnológicas de uma conífera. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 24, p. e12424, 2019.
- GONÇALVES, F. G. *et al.* Durabilidade natural de espécies florestais madeireiras ao ataque de cupim de madeira seca. **Floresta e Ambiente**, v. 20, p. 110-116, 2013.
- HADI, Y. S. *et al.* Termite resistance of furfuryl alcohol and imidacloprid treated fast-growing tropical wood species as function of field test. **Applied Sciences**, v. 10, n. 17, p. 6101, 2020.
- HELLEMANS, Simon *et al.* Genomic data provide insights into the classification of extant termites. **Nature Communications**, v. 15, n. 1, p. 6724, 2024.
- JUIZO, C. G. F. *et al.* Propriedades tecnológicas da madeira de eucalipto submetida ao tratamento térmico. **Nativa**, v. 6, n. 5, p. 537-542, 2018.

- JÚNIOR, C. R. C.; SILVA, W. C. R.; SOARES, P. T. M. L. Uso da madeira na construção civil. **Projectus**, v. 2, n. 4, p. 79-93, 2017.
- LANDE, S.; WESTIN, M.; SCHNEIDER, M. H. Eco-efficient wood protection: Furfurylated wood as alternative to traditional wood preservation. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 15, n. 5, p. 529-540, 2004.
- LANDE, S. **Furfurylation of wood-wood modification by the use of furfuryl alcohol**. 2008.
- LAZAROTTO, M. *et al.* Resistência biológica e colorimetria da madeira termorretrificada de duas espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 40, p. 135-145, 2016
- MANTANIS, G. I. Chemical modification of wood by acetylation or furfurylation: A review of the present scaled-up technologies. **BioResources**, v. 12, n. 2, p. 4478-4489, 2017.
- MARQUES, M. H. B. *et al.* Efeito da secagem nas propriedades acústicas da madeira de marupá (Simarouba amara Aubl.). **Floresta e ambiente**, v. 12, p. 57-64, 2023.
- MARTHA, Resa *et al.* Non biocide treatments for the protection of short rotation teak wood against subterranean termites. **Construction and Building Materials**, v. 450, p. 138638, 2024
- MELO, R. R. *et al.* Durabilidade natural da madeira de três espécies florestais em ensaios de campo. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 2, p. 357-365, 2010.
- MORAES, M. H. M. de. **Análise comparativa do desempenho mecânico de tipologias de treliças planas de madeira para classes de resistência distintas via algoritmo de otimização**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2023.
- NETO, P. N. M. *et al.* Resistência biológica e agentes deterioradores da madeira. **Editora Licuri**, p. 73-89, 2024.
- OLIVEIRA, L. S.; MÜLLER, M. T. **Agentes de biodeterioração da madeira**. Pelotas: Ed. da UFPel, p. 70, 2024.
- PAES, J. B. *et al.* Efeitos dos extrativos e da densidade na resistência natural de madeiras ao térmita *Nasutitermes corniger*. **Cerne**, v. 21, n. 4, p. 569-578, 2015.
- SABRINA, P. A. *et al.* Color Changes and Resistance Against Subterranean Termites Attack of Furfuryl Alcohol Impregnated Pine and Sengon Woods Through Graveyard Test. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2021. p. 012014
- SANTOS, Júlio César do Espírito Santo. **Tratamento térmico aplicado a madeiras amazônicas comercializadas na região tocantina do Maranhão**. – 36 f.; il. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Florestal) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Imperatriz, MA, 2024.
- SCHULZ, H. R. *et al.* Efeito da furfurilação em propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Pinus elliottii*. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 24, p. e12442, 2019
- SILVA, Mariana Mattos da. **Efeito da incorporação de nanopartículas de Ag na proteção da madeira de Hevea brasiliensis (Willd. ex Adr. de Juss.) contra a ação de organismos xilófagos em condições de campo**. 2020. 30 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia

Florestal) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2020.

SKREDE, I. *et al.* Wood modification by furfuryl alcohol resulted in a delayed decomposition response in Rhodonia (Postia) placenta. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 85, n. 14, p. e00338-19, 2019.

SOUSA, Jeremias Rosário de. Estudo da Deterioração da Madeira de Simarouba amara (Marupá) em Campo de Apodrecimento. In: **Anais do V Congresso de Iniciação do INPA-CONIC**. 2016. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/37298/1/SOUSA%20Jeremias%20Ros%C3%A1rio%20de.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2024.

SOUZA, José Hildefonso de. **Susceptibilidade de cinco essências florestais (quatro nativas e uma exótica) à ação do cupim subterrâneo asiático, Coptotermes gestroi (Wasmann, 1896) (Isoptera: Rhinotermitidae)**. 2008. 32 f. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade e Biotecnologia Aplicada) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ, 2008.

STALLBAUN, P. H. *et al.* Resistência natural da madeira de Sclerolobium paniculatum Vogel a cupins em condições de laboratório. **Floresta e Ambiente**, 24(1), 2017.

TOWNSEND, T. *et al.* Preservative leaching from weathered CCA-treated wood. **Journal of Environmental Management**, v. 75, n. 2, p. 105-113, 2005.

TREVISAN, H. *et al.* Reflexões sobre o ensino em proteção e deterioração de madeiras nos cursos de Engenharia Florestal do Brasil. In: **ENGENHARIA FLORESTAL: DESAFIOS, LIMITES E POTENCIALIDADE**. Editora Científica Digital, 2020. p. 731-758

TREVISAN, H. **Análise da deterioração da madeira de cinco espécies florestais: Ocorrência de xilófagos em ambiente natural, propriedades física/mecânicas e resistência a térmita**. São Paulo, Novas edições acadêmicas, 2016, cap. III.

VIDAL, J. M. *et al.* Wood preservation in Brasil: historical, current scenario and trends. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 257-271, 2015.

VIEIRA, Lissyanne Fleury Santos. **Influência da composição química de quatro espécies amazônicas na resistência natural ao ataque de fungos apodrecedores**. 2019. 85 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

Wesley C. O. *et al.* Agentes Biodeterioradores da Madeira. In: ANAIS CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 2017, **Anais eletrônicos**. Campinas, Galoá, 2017. Disponível em: <https://proceedings.science/cbctem/trabalhos/agentes-biodeterioradores-da-madeira?lang=pt-br>. Acesso em: 21 out. 2024.