



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

NATHÁLIA AUGUSTO DOS SANTOS

**EFICÁCIA DA TÉCNICA TRADICIONAL DE PROTEÇÃO DE MADEIRAS
DENOMINADA SHOU SUGI BAN CONTRA A AÇÃO DE FUNGOS XILÓFAGOS
NA MADEIRA PINUS EM CONDIÇÃO DE LABORATÓRIO**

Prof. Dr. HENRIQUE TREVISAN
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
DEZEMBRO – 2023



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

NATHÁLIA AUGUSTO DOS SANTOS

**EFICÁCIA DA TÉCNICA TRADICIONAL DE PROTEÇÃO DE MADEIRAS
DENOMINADA SHOU SUGI BAN CONTRA A AÇÃO DE FUNGOS XILÓFAGOS
NA MADEIRA PINUS EM CONDIÇÃO DE LABORATÓRIO**

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 – 2023

**EFICÁCIA DA TÉCNICA TRADICIONAL DE PROTEÇÃO DE MADEIRAS
DENOMINADA SHOU SUGI BAN CONTRA A AÇÃO DE FUNGOS XILÓFAGOS
NA MADEIRA PINUS EM CONDIÇÃO DE LABORATÓRIO**

NATHÁLIA AUGUSTO DOS SANTOS

APROVADA EM: 07/12/2023

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. HENRIQUE TREVISAN – UFRRJ
Orientador

Prof. Dra. GILMARA DE MOURA PIRES PALERMO – UFRRJ
Membro

Dr. THIAGO SAMPAIO DE SOUZA – UFRRJ
Membro

Dedico à toda a minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado toda a força que precisei pra encerrar esse ciclo.

Agradeço a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro por todos os momentos vividos. Agradeço pela educação de qualidade e pelas experiências enriquecedoras que me ajudaram a crescer.

Agradeço aos meus pais, meus avós e meu irmão por todo o apoio incondicional e motivação que me permitiram viver esse sonho. Sua presença e encorajamento foram fundamentais, e sou profundamente grata por ter uma família tão incrível ao meu lado.

À querida tia, expresso minha profunda gratidão por todo o apoio e ajuda generosa que me proporcionou.

Agradeço ao meu avô e avó que infelizmente não puderam participar desse momento, mas me acompanharam durante toda a trajetória.

Agradeço ao professor Henrique pela oportunidade de realizar esse trabalho, pelo incentivo, dedicação e auxílio durante todo o processo de elaboração da pesquisa. Sua orientação foi fundamental para o sucesso deste projeto.

Agradeço a todos os amigos que fiz durante a graduação, que dividiram comigo risadas, trabalhos, viagens, festas e tantos momentos especiais. Agradeço principalmente à Gabi e a Yasmin, cuja companhia ao longo de toda a trajetória tornou tudo mais leve e significativo. Vou sentir saudades das nossas fofocas e da conexão única que construímos juntas. Obrigada por tornarem essa jornada inesquecível.

Agradeço aos membros da banca, Professora Gilmara e Thiago Sampaio, por terem aceitado ao convite para contribuir com esse trabalho.

Agradeço a todos os professores que de alguma forma contribuíram para o meu desenvolvimento profissional e pessoal.

RESUMO

A utilização de espécies madeireiras com baixa durabilidade tem motivado o desenvolvimento de novos métodos para a proteção da madeira contra a deterioração. Diante desse contexto, esse trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da agregação de resistência na madeira de Pinus submetida à ação dos fungos xilófagos *Trametes versicolor* e *Postia placenta*, em condição de laboratório, quando tratada pelo método japonês de tratamento térmico de madeiras denominado Shou sugi ban, associado à incorporação de dois óleos vegetais. O experimento foi montado seguindo as recomendações da norma ASTM D – 2017 que enquadra a madeira em classes de resistência, em função da perda de massa proporcionada pela ação dos fungos. Os tratamentos na madeira foram: Madeira natural; Madeira carbonizada; Madeira natural com óleo de linhaça; Madeira carbonizada com óleo de linhaça; Madeira natural com Crude Tall Oil (CTO); Madeira carbonizada com CTO. Observou-se que ocorreu agregação de resistência frente à ação dos fungos *T. versicolor* e *P. placenta*, na madeira de Pinus tratada com fogo e com os óleos vegetais, porém com eficiências distintas. A proteção contra ação de fungos xilófagos na madeira de Pinus tratada somente com fogo, é amplificada quando ocorre a incorporação tanto do óleo de linhaça quanto o CTO. Conclui-se que as madeiras que receberam esses óleos foram classificadas como resistentes ao fungo *T. versicolor* e moderadamente resistente ao fungo *P. placenta*.

Palavras-chave: Fungos apodrecedores; Deterioração da madeira; Preservação; Tratamento térmico.

ABSTRACT

The use of wood species with low durability has motivated the development of new methods to protect wood against deterioration. Given this context, this study aimed to evaluate the efficiency of resistance aggregation in Pinus wood subjected to the action of the xylophagous fungi *Trametes versicolor* and *Postia placenta* in laboratory conditions, when treated by the Japanese method of heat treatment of wood called Shou sugi ban, associated with the incorporation of two vegetable oils. Therefore, the experiment was set up following the recommendations of the ASTM D - 2017 standard, which fits the wood into resistance classes, depending on the mass loss provided by the action of fungi. The wood treatments were: Natural wood; carbonized wood; Natural wood with linseed oil; Wood charred with linseed oil; Natural wood with cellulose oil; Wood charred with cellulose oil. It was observed that there was aggregation of resistance against the action of the fungi *T. versicolor* and *P. placenta*, in pine wood treated with fire and with vegetable oils, but with different efficiencies. The protection against the action of xylophagous fungi, in pine wood treated only with fire, is amplified when both linseed oil and CTO are incorporated. It is concluded that the woods that received these oils were classified as resistant to the fungus *T. versicolor* and moderately resistant to the fungus *P. placenta*.

Keywords: Decay fungi, wood deterioration, preservation, heat treatment.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. Deterioração fúngica e problemas associados.....	2
2.2. Técnica tradicional japonesa “Shou sugi ban”	4
2.3. Utilização de óleos vegetais.....	6
3. MATERIAL E MÉTODOS	7
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
5. CONCLUSÃO	16
6. REPERERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17

1. INTRODUÇÃO

A utilização de espécies madeireiras nativas e a aplicação de uma legislação cada vez mais severa no que se refere à utilização de produtos químicos, tem motivado o desenvolvimento de novos métodos para a proteção da madeira contra a deterioração. Nesse sentido, a modificação térmica da madeira vem sendo considerada uma alternativa para agregar resistência biológica a esse material. Esse processo quando aplicado à madeira incorpora características desejáveis, tais como: diminuição da umidade de equilíbrio, melhoria na estabilidade dimensional e na durabilidade biológica, sem que seja necessária a utilização de produtos químicos. Sendo assim, a modificação térmica é um processo onde o calor é aplicado à madeira em temperaturas inferiores às que provocam o início da degradação de seus componentes químicos fundamentais, sobretudo as hemiceluloses que são, dentre eles, os mais sensíveis à ação do calor (BRITO et al., 2006).

Por outro lado, a utilização de temperaturas elevadas pode ocasionar efeitos negativos na madeira, como por exemplo a degradação da estrutura interna, o que, por consequência, promoveria perdas na resistência mecânica, o que seria indesejado (BRITO et al., 2006). Sendo assim, apesar de não estudada adequadamente, sobretudo na realidade brasileira, a técnica tradicional japonesa denominada Shou sugi ban, de preservação de madeiras, que consiste na carbonização externa de madeiras associada a incorporação de um óleo vegetal, tem o objetivo de aumentar a vida útil desse material, frente aos processos de deterioração.

O processo envolve carbonizar externamente a madeira para fornecer um material bonito e duradouro. A vantagem da técnica japonesa consiste na aplicação do calor de forma pontual, em alta temperatura, porém somente na parte externa da madeira, adotando-se um emissor de chamas. Essa ação resultaria na carbonização dessa região da madeira, com suposta agregação de resistência biológica a esse material, uma vez que a aplicação desse processo pode ser entendida como a formação de uma “capa protetora” na madeira, contra os organismos xilófagos, que não a reconheceriam como fonte de alimento, evitando-a, desta forma (EBNER; STELZER; BARBU, 2019).

Após a madeira receber esse tratamento, a técnica japonesa preconiza também a aplicação superficial, via pincelamento, de um óleo vegetal, com objetivo de aumentar ainda mais o aporte de resistência biológica. Habitualmente o óleo de linhaça é adotado neste caso, mas, podendo ser substituído por outro. Nesse sentido, essa substituição também é fonte de incertezas quanto à eficiência de agregação de resistência biológica às madeiras, sendo, portanto, alvo de investigações (SPILAK, 2018).

Diante disso, a indústria de celulose Kraft, tem, entre seus subprodutos, fruto do processamento de polpa de coníferas resinosas, um óleo residual denominado Crude Tal Oil (CTO). Por se tratar de um produto industrial residual, o estímulo à utilização deve ser incentivado e pesquisado, garantindo assim a geração de novos produtos bem como a agregação de sustentabilidade à produção de celulose Kraft. Portanto, sabe-se que esse óleo tem potencial para ser usado na proteção de madeiras contra a deterioração (BOSSARDI; MARQUES, 2017).

Desse modo, o presente estudo tem como objetivo avaliar a eficiência de agregação de resistência na madeira *Pinus caribaea* submetida à ação dos fungos xilófagos *Postia placenta* e *Trametes versicolor* em condições de laboratório, quando tratada pelo método japonês de tratamento térmico de madeiras denominado Shou sugi ban, associado à incorporação de óleos residuais da indústria de celulose. Através dessa análise objetiva-se viabilizar um destino útil aos resíduos do processamento de polpa de coníferas resinosas e propor a utilização da modificação térmica superficial da madeira, como forma de agregar resistência biológica às madeiras de baixa durabilidade, com impactos menos acentuados às propriedades mecânicas em comparação com os tratamentos térmicos tradicionais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Deterioração Fúngica e Problemas Associados

Os fungos desempenham um papel significativo na degradação da madeira, tornando-se um desafio para diversos setores que dependem desse material, visto que eles podem afetar tanto as propriedades mecânicas quanto a aparência estética, encurtando a sua vida útil (MARIANO et al., 2020). Esse fato tem significado ecológico e econômico, uma vez que a necessidade de substituir peças de madeira defeituosas torna-a menos competitiva em comparação com outros materiais de construção (JÄRVINEN; ILGIN; KARJALAINEN, 2022).

A Norma ABNT NBR 16143 de 2013 (Preservação de Madeiras – Sistemas de Categorias de Uso), que estabelece classes de uso para a madeira, é uma ferramenta importante para orientar a seleção adequada do tipo de madeira a ser utilizada em diferentes aplicações, uma vez que há condições de exposição onde a ação dos fungos são intensificadas. O Sistema de Classes de Risco auxilia na escolha do tratamento preservativo necessário, garantindo a qualidade das construções e a sustentabilidade (BRAZOLIN et al., 2004). A Norma elenca 6 categorias de uso, dispostas de forma crescente quanto ao risco biológico. A tabela 1 representa as classes de risco propostas.

Tabela 1. Classes de uso para a madeira em diferentes aplicações.

Classes de Risco	Condição de Uso	Organismo Xilófago
1	Interior de construções, fora de contato com o solo, fundações ou alvenaria, protegidos das intempéries, das fontes internas de umidade. Locais livres do acesso de cupins-subterrâneos ou arborícolas.	Cupins-de-madeira-seca Brocas-de-madeira
2	Interior de construções, em contato com a alvenaria, sem contato com o solo ou fundações, protegidos das intempéries e das fontes internas de umidade.	Cupins-de-madeira-seca Brocas-de-madeira Cupins-subterrâneos Cupins-arborícolas
3	Interior de construções, fora de contato com o solo e continuamente protegidos das intempéries, que podem, ocasionalmente, ser expostos a fontes de umidade.	Cupins-de-madeira-seca Brocas-de-madeira Cupins-subterrâneos Cupins-arborícolas Fungos emboladores/manchadores Fungos apodrecedores
4	Uso exterior, fora de contato com o solo e sujeitos a intempéries.	Cupins-de-madeira-seca Brocas-de-madeira Cupins-subterrâneos Cupins-arborícolas Fungos emboladores/manchadores Fungos apodrecedores
5	Contato com o solo, água doce e outras situações favoráveis à deterioração, como engaste em concreto de alvenaria.	Cupins-de-madeira-seca Brocas-de-madeira Cupins-subterrâneos Cupins-arborícolas Fungos emboladores/manchadores Fungos apodrecedores
6	Exposição à água salgada ou salobra.	Perfuradores marinhos Fungos emboladores/manchadores Fungos apodrecedores

Fonte: Norma ABNT NBR 16143, 2013

A proteção da madeira desempenha um papel crítico à medida que seu uso na construção aumenta, em resposta à necessidade de materiais mais sustentáveis para combater as mudanças climáticas (BLANCHET; PEPIN, 2021). A escolha de espécies resistentes e boas práticas de construção reduzem a deterioração da madeira, porém, caso haja maior risco e contato com meios de decomposição da madeira, deverá ser utilizada madeira com alta resistência natural (MARCELO VIDAL et al., 2015). Entretanto, o custo e a disponibilidade de espécies resistentes, bem como a importância crescente da madeira de crescimento rápido e de baixa qualidade, impulsiona a busca por outras alternativas (WANG et al.,

2017). Isso pode incluir modificações térmicas e químicas, impregnação a vácuo/pressão e revestimentos para tornar a madeira resistente à deterioração. No entanto, preocupações ambientais impulsionam a busca por alternativas aos produtos químicos. Utilizar resíduos naturais para tornar a madeira mais durável é uma alternativa aos produtos químicos atualmente utilizados para esse fim (TEIXEIRA et al., 2015).

Além do mais, o conhecimento em proteção e deterioração da madeira é crucial para estimular melhorias no setor. Para isso, além dos conhecimentos técnicos, é essencial incorporar reflexões sobre mercado, questões ambientais e gestão, capacitando futuros profissionais a enfrentar os desafios da indústria de proteção de madeira e contribuir para sua sustentabilidade e sucesso econômico (TREVISAN et al., 2020).

2.2. Técnica Tradicional Japonesa “Shou Sugi Ban”

A tradicional técnica japonesa de carbonização da madeira, conhecida como Shou Sugi Ban ou Yakisugi, tem como objetivo aprimorar a durabilidade e proteção da madeira contra fogo, insetos e deterioração (EBNER; STELZER; BARBU, 2019). Originada por volta do ano 1700, essa prática era notável nas fachadas de casas rurais japonesas, utilizadas para resguardar objetos de valor (ECO FRONT, 2018). Recentemente, os produtos de madeira carbonizada ganharam destaque no mercado devido às suas propriedades esteticamente agradáveis, despertando maior interesse por parte dos pesquisadores na compreensão das características desse material (SOYTÜRK et al., 2023).

O propósito fundamental desse método consiste em prolongar a durabilidade da madeira para seu uso tanto em ambientes internos quanto externos (Figura 1) em construções, por meio da carbonização da superfície (EBNER; STELZER; BARBU, 2019).



Figura 1. Utilização da técnica shou sugi ban em ambientes externos (Fonte: Grupo Gubia, 2014).

Esse processo envolve a queima controlada da madeira, seguida por escovação e lixamento. A aparência final varia de acordo com o tempo de exposição à chama e a técnica de escovação aplicada (Figura 2).



Figura 2. Diferentes formas de aplicação da técnica shou sugi ban (Fonte: Maderea, 2017).

A camada de carbono resultante oferece benefícios como proteção contra umidade, prevenção da entrada de ar nas seções internas da madeira e melhoria da resistência à inflamabilidade (SPILAK, 2018), além disso, essa camada reduz a suscetibilidade da madeira a fungos decompositores e protege contra a umidade. O método é aplicável a diversas espécies de madeira, sendo comum o uso de óleos naturais ou vernizes para tratar a camada de carbono.

É crucial estabelecer a distinção entre a madeira carbonizada (Shou Sugi Ban) e a madeira termicamente modificada. A última refere-se à alteração das propriedades da madeira por meio da exposição a altas temperaturas (160–220 °C), geralmente em um ambiente inerte (HILL, 2007). Em contraste, o Shou Sugi Ban envolve a exposição da madeira à combustão, resultando na formação de uma camada de carvão na superfície (Figura 3).

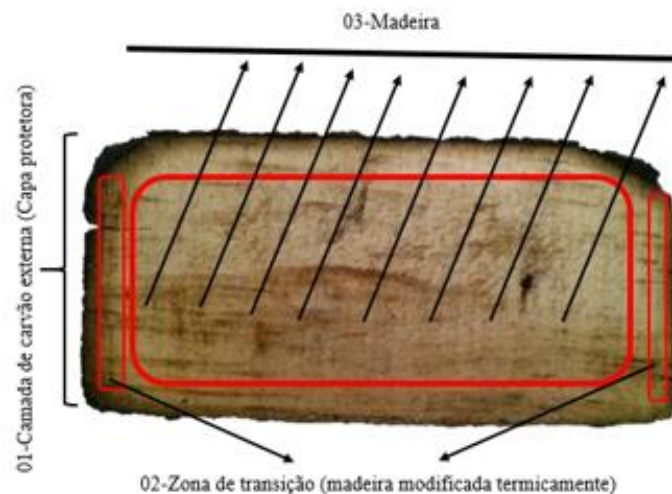


Figura 3. Corte transversal do corpo de prova de madeira de pinus, evidenciando zonas bem definidas quanto à influência do tratamento à fogo.

A carbonização é um processo termoquímico de combustão incompleta, resultando na formação de carvão quando a madeira é exposta a calor intenso, removendo vapor d'água e constituintes orgânicos (WHITE; NORDHEIM, 1992). Apesar de ser resistente a fungos decompositores e menos inflamável, o processo Yakisugi não modifica toda a peça de madeira, afetando apenas 2–3 mm da superfície (ČERMÁK et al., 2019).

Estudos adicionais são essenciais para determinar métodos ideais na produção de madeira carbonizada, uma vez que variações nos parâmetros, como práticas, espécies de madeira, temperaturas, durações e teor de umidade, dificultam a definição de diretrizes precisas. A durabilidade natural do material de madeira também influencia os resultados conflitantes na literatura sobre a resistência biológica da madeira carbonizada (ZELINKA et al., 2022).

2.3. Utilização de Óleos Vegetais

A crescente demanda por madeira e produtos derivados enfrenta um desafio considerável devido à escassez de espécies naturalmente resistentes à degradação biológica. Para atender a essa lacuna, espécies de crescimento rápido, como Eucalipto e Pinus, provenientes de reflorestamentos, são amplamente empregadas, apesar de sua menor durabilidade e da necessidade de preservativos (BENIGNO PAES; MORESCHI; LELLES, 2005). No entanto, os métodos tradicionais de preservação, que envolvem o uso de biocidas altamente tóxicos contra fungos, insetos e outros organismos xilófagos, enfrentam

restrições devido a preocupações ambientais e às políticas de consumo (DIAS; BARREIROS, 2017).

O potencial do Tall Oil como agente protetor na madeira é promissor, uma vez que seus precursores são extrativos encontrados especialmente em árvores coníferas (KOSKI, 2008). O Tall Oil, também conhecido como CTO (Crude Tall Oil) ou Talol, é derivado do licor residual, viscoso e negro, proveniente do processo de cozimento Kraft, conhecido como "black liquor" (VÄHÄOJA et al., 2005). Os principais compostos orgânicos no Tall Oil incluem lignina, polissacarídeos, ácidos carboxílicos e extratos, enquanto as principais substâncias inorgânicas são hidróxido de sódio e sulfeto de sódio (TAYLOR; KING, 2001). A quantidade desses componentes varia com a idade e as espécies de madeira, com a localização geográfica e com todas as operações antes e durante o processo de polpação (BOSSARDI; MARQUES BARREIROS, 2011). Uma característica proeminente desse produto é seu alto índice de acidez, geralmente entre 145 e 180mg.KOH/g (ARESB, 2007).

O tratamento natural oferece os melhores resultados para a preservação da madeira. O uso de óleo de linhaça, reconhecido por suas propriedades secativas, não só proporciona uma eficaz impermeabilização da madeira, mas também realça suas cores, conferindo-lhe um aspecto mais vibrante e oferecendo excelente proteção. Embora seja necessário renovar o tratamento pelo menos anualmente, a vantagem é que não exige raspagem ou lixamento das aplicações anteriores, a menos que haja uma acumulação significativa de carunchos e poeira (GONZAGA, 2006). O óleo de linhaça é amplamente reconhecido como um preservativo eficaz para a madeira, especialmente quando combinado com outros biocidas orgânicos (SINGH; SINGH, 2012).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Inicialmente, a madeira de Pinus foi adquirida de forma comercial, no formato de tábuas.

Para a confecção das amostras foi utilizada a madeira provinda dessas tábuas, que foram desdobradas em serra circular e posteriormente em serra de fita. Os corpos-de-prova foram fabricados com dimensões de 3 cm x 2,5 cm x 1 cm (ASTM D2017). Neste processo foram produzidos 240 corpos de prova para ensaios laboratoriais com duas espécies de fungos xilófagos.

O experimento foi desenvolvido com seis tratamentos distintos para cada tipo de fungo (*P. placenta* e *T. versicolor*). Para cada um dos tratamentos foram utilizados dez frascos com dois corpos de prova em cada, totalizando 20 repetições por tratamento. Os corpos de prova foram tratados termicamente em todas suas faces, de acordo com o método japonês denominado Shou sugi ban, e posteriormente tratados com os óleos de linhaça e CTO (Figura 4).



Figura 4. Corpos de prova sendo tratados termicamente com uma vassoura de fogo.

A nomenclatura e descrição, respectivamente, das condições de tratamento preservativo das amostras de madeira de Pinus (Figura 5), que foram submetidas à ação dos fungos em condição de laboratório são: T1 = Madeira natural; T2 = Madeira carbonizada; T3 = Madeira natural com óleo de linhaça; T4 = Madeira natural com CTO; T5 = Madeira carbonizada com óleo de linhaça; T6 = Madeira carbonizada com CTO (Tabela 2).

Tabela 2. Tratamentos desenvolvidos no experimento.

Nomenclatura	Tratamento
T1	Madeira Natural
T2	Madeira Carbonizada
T3	Madeira Natural com Óleo de Linhaça
T4	Madeira Natural com Crude Tall Oil
T5	Madeira Queimada com Óleo de Linhaça
T6	Madeira Queimada com Crude Tall Oil

Durante um período de 21 dias, os corpos de prova tratados (Figura 5) permaneceram em condições climáticas ajustadas até que os pesos fossem constantes, durante mensurações consecutivas. Após atingir a umidade de equilíbrio com o ambiente. Isso indica que a madeira atingiu a umidade de equilíbrio com o ambiente, apresentando teor de umidade em torno de 13%, condição a qual todas as amostras tiveram seu peso registrado.



Figura 5. Corpos de prova após o tratamento térmico, associado à incorporação de óleos residuais da indústria de celulose.

O experimento com os fungos foi montado utilizando frascos de 600 mL de capacidade contendo 118 g de solo com pH 6,2 e capacidade de retenção de água de 27%. Nesses frascos foram adicionados 51 mL de água destilada e duas lâminas de pinus medindo 3 cm x 3,5 cm, que serviram de substrato para os fungos serem cultivados em cada frasco (feeder strips). Após esse processo, esses frascos foram esterilizados em autoclave à temperatura de $120 \pm 1^\circ\text{C}$, por 30 minutos, ficando aptos a receberem culturas puras dos fungos *P. Placenta* e *T. versicolor*.

Para averiguar a resistência dos corpos-de-prova, frente à ação dos fungos, foi observado a fase em que os alimentadores estavam completamente colonizados pelos mesmos (Figura 6).

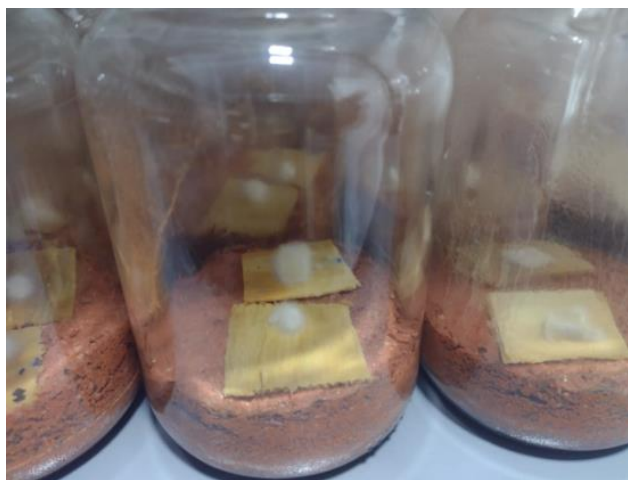


Figura 6. Alimentadores de pinus sendo colonizados pelos fungos.

Em seguida, os corpos-de-prova esterilizados foram acomodados nos frascos, no total de 20 para cada espécie de fungo/condição de tratamento. O experimento foi mantido em condição climatizada (28 ± 2 °C e 75 ± 5 % de umidade relativa) durante um período de 4 meses.



Figura 7. Montagem do experimento.

Decorrido esse período, as amostras passaram por um processo de limpeza utilizando uma escova com cerdas de aço, através do qual retirou-se todo o fungo de cada uma delas. Com os corpos-de-prova devidamente limpos e organizados de acordo com a espécie de fungo e o tipo de tratamento, procedeu-se a aclimação dos corpos-de-prova, com as mesmas condições de umidade e temperatura da primeira aclimação, onde permaneceram até que o peso registrado fosse constante. Em seguida, a massa foi novamente registrada a fim de se calcular a diferença com o valor obtido antes da ação dos fungos xilófagos.

Por fim, para a avaliação da eficiência dos tratamentos preservativos sobre o desenvolvimento dos fungos de podridão parda e branca, classificou-se a perda de massa das amostras com a aplicação dos parâmetros descritos na norma ASTM D – 2017 (1994), sendo: muito resistente, para as amostras que apresentaram perda de massa percentual entre 0-10; resistente, entre 11-24; resistência moderada ficando entre 25-44 e não resistente, perda de massa acima de 45% de perda de massa.

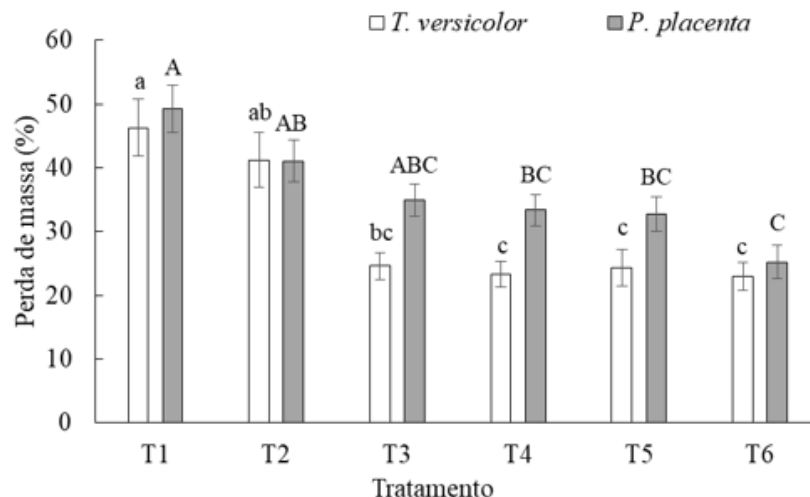
Tabela 3. Parâmetros para avaliação da eficiência dos tratamentos preservativos.

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

Fonte: ASTM D- 2017

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação à perda de massa sofrida pela madeira de *P. caribaea* tratada termicamente e com os óleos naturais, observou-se que houve agregação de resistência frente à ação dos fungos *T. versicolor* e *P. placenta*, em comparação com à madeira natural, porém com eficiências distintas (Figura 8). Nesse sentido, sobre à deterioração proporcionada pelo fungo *T. versicolor*, constatou-se que somente o tratamento com fogo tornou a madeira moderadamente resistente (Tabela 4), porém não houve diferença estatística, na perda de massa, quando comparada com a madeira natural (Figura 8). Já os demais tratamentos, onde agregou-se o óleo de linhaça e o CTO, tanto na madeira natural, quanto na tratada com fogo, registrou-se agregação de resistência significativa, à ação desse fungo, quando comparada à madeira natural (Figura 8). Ainda, convém ressaltar que as amostras que receberam estes tratamentos foram classificadas como resistentes à ação do fungo *T. versicolor* (Tabela 4).



Letras distintas, entre barras, expressam diferenças estatísticas (Dunn 5% significância), sendo minúscula para o Fungo *T. versicolor* e maiúscula para *P. placenta*.

Figura 8. Perda de massa percentual média da madeira de pinus natural (T1), tratada somente com fogo externamente (T2), somente com óleo de linhaça (T3), somente com CTO (T4), com fogo/óleo de linhaça (T5) e com fogo/CTO (T6), submetida à ação dos fungos *T. versicolor* e *P. placenta*, por quatro meses em condições de laboratório.

Tabela 4. Classes de resistência da madeira de pinus natural (T1), tratada somente com fogo externamente (T2), somente com óleo de linhaça (T3), somente com CTO (T4), com fogo/óleo de linhaça (T5) e com fogo/CTO (T6), submetida à ação do fungo *T. versicolor*, por quatro meses em condições de laboratório.

Tratamento	Perda de Massa (%)	Classes de Resistência*
T1	46,28	Não Resistente ou Perecível
T2	41,25	Moderadamente resistente
T3	24,56	Resistente
T4	23,29	Resistente
T5	24,3	Resistente
T6	22,94	Resistente

Várias pesquisas anteriores corroboram essas descobertas, destacando a importância dessas técnicas na preservação da madeira. No entanto, o uso de CTO como um agente de

preservação de madeira ainda é relativamente menos estudado em comparação com óleos mais tradicionais. Dias e Barreiros (2017) também verificaram que o CTO apresenta potencialidade para proteger a madeira contra o ataque de fungo de podridão branca. A madeira de Pinus sem tratamento obteve 45,35% de perda de massa, sendo assim classificada como não-resistente. Já os corpos de prova com agregação de CTO, obtiveram perda de massa de 42,78%, classificados como moderadamente resistentes. Dessa forma, esse estudo valida a eficiência da aplicação de óleos frente à ação de fungos xilófagos.

Vivian et al. (2019) verificaram que para o fungo *T. versicolor*, a madeira de Pinus taeda tratada com CTO obteve a mesma classificação de resistência quando comparada à testemunha, porém, os valores de perda de massa foram superiores aos da testemunha, sendo 24,69% e 24,39% respectivamente. Ambas classificadas como moderadamente resistente. Para o fungo de podridão parda *G. trabeum*, o tratamento com CTO foi considerado eficiente. A adição de CTO, como evidenciado neste estudo, pode contribuir para a resistência da madeira de *P. caribaea* à ação do *T. versicolor*, abrindo caminho para pesquisas adicionais sobre o potencial desse composto como agente preservativo.

Por outro lado, a adição de óleos naturais à madeira tem sido amplamente estudada como um meio de melhorar sua durabilidade. Estudos como o de Hassan et al. (2021) demonstraram que o óleo de linhaça, combinado com extrativos da madeira, agregaram proteção contra à ação de cupins e fungos apodrecedores às espécies de madeira não duráveis em testes de exposição em campo, em comparação com a madeira não tratada ou tratada apenas com os extrativos. Além disso, segundo Gonzaga (2006), o óleo de linhaça é reconhecido como um tratamento natural altamente eficaz devido às suas propriedades secantes, oferecendo excelente impermeabilidade e proteção.

Em estudo realizado por Hasburgh et al. (2021) foi testado o tratamento da madeira com a técnica Shou Sugi Ban, para analisar se esse processo torna a madeira mais resistente à deterioração. A técnica foi testada em 28 diferentes espécies frente à ação dos fungos *T. versicolor* e *G. trabeum*. Em todos os testes, o processo Sugi Ban não causou grandes alterações nas perdas de massa das amostras, apenas um grupo apresentou alguma eficiência, porém, a porcentagem de perda de massa continuou sendo significativa, com uma média de 34%. Dessa forma, concluiu-se que a madeira tratada com Sugi Ban deve ser pensada principalmente para aumentar a estética da madeira, em vez de melhorar a durabilidade ou inflamabilidade. É importante comparar potenciais melhorias causadas pela carbonização com outros métodos de proteção da madeira.

Soytürk *et al.* (2023) avaliaram a eficiência do processo de carbonização superficial, com posterior aplicação de óleo de linhaça na proteção das espécies de *Pinus taeda* e *Eucalyptus bosistoana*, frente à ação dos fungos *T. versicolor*, *C. puteana*, *T. palustres* e *I. lacteus*. Em todos os testes, melhorias significativas foram alcançadas na resistência à deterioração fúngica. Os resultados mostraram diferenças estatisticamente significativas nas perdas de peso de espécimes carbonizados de *Pinus taeda* e *Eucalyptus bosistoana* em comparação com as testemunhas correspondentes para todos os fungos, exceto para o *E. bosistoana* exposta a *I. lacteus*. Além disso, verificaram que o *P. taeda* carbonizado foi classificado como "durável" contra a ação do *T. versicolor*, mesmo resultado obtido neste estudo, onde o tratamento realizado com o fogo e óleo de linhaça obteve a classificação "resistente" frente à ação do fungo *T.versicolor*. Ambos os estudos concluem que esses tratamentos específicos proporcionam resistência à deterioração fúngica, indicando caminhos promissores para aumentar a durabilidade da madeira contra agentes de deterioração

No que diz respeito à deterioração proporcionada pelo fungo *P. placenta*, verificou-se que todos os tratamentos realizados tornaram a madeira moderadamente resistente (Tabela 5). Entretanto, os tratamentos onde agregou-se apenas o tratamento com o fogo e com o óleo de linhaça (Tratamento 1 e 2, respectivamente), não apresentaram diferenças estatísticas, na perda de massa, quando comparados à madeira natural (Figura 8). É possível analisar também, que apenas o tratamento com fogo/CTO apresentou diferença estatística, na perda de massa, em relação ao tratamento realizado somente com o fogo (Figura 8).

Tabela 5. Classes de resistência da madeira de pinus natural (T1), tratada somente com fogo externamente (T2), somente com óleo de linhaça (T3), somente com CTO (T4), com fogo/óleo de linhaça (T5) e com fogo/CTO (T6), submetida à ação do fungo *P. placenta*, por quatro meses em condições de laboratório.

Tratamento	Perda de Massa (%)	Classes de Resistência*
T1	49,26	Não Resistente ou Perecível
T2	41,06	Moderadamente resistente
T3	34,99	Moderadamente resistente
T4	33,33	Moderadamente resistente
T5	32,72	Moderadamente resistente
T6	25,22	Moderadamente resistente

Sobre essa classificação, convém ressaltar que nas madeiras onde empregou-se somente o fogo e somente óleo de linhaça, não foi observada diferença estatística, na perda de massa, quando os valores foram comparados aos registros provindos do tratamento onde só havia madeira natural. Por outro lado, ressalta-se que o tratamento com fogo/CTO foi o único que apresentou perda de massa menor estatisticamente, quando comparada aos valores observados nas amostras mais deterioradas, madeira natural e queimada, sinalizando, portanto, se tratar do método de proteção da madeira mais eficiente, entre os avaliados nesse experimento, no que tange a ação do fungo *P. placenta*.

Sobre esse assunto, Humar e Lesar (2013) testaram a eficiência do óleo de linhaça contra a ação de fungos de podridão branca e parda em condições de laboratório. O óleo testado não só se mostrou eficaz contra a ação dos fungos, como também evidenciou que a madeira tratada com o óleo de linhaça absorve menos água durante os testes, o que tem efeito direto na ação dos fungos xilófagos. Sendo assim, Humar e Lesar (2013) informaram que a madeira de *Fagus Sylvatica L*, quando tratada com óleo de linhaça, perdeu 24,8% da sua massa e a testemunha 49.2%, sinalizando o potencial deste óleo em inibir a ação deste fungo. Neste trabalho, esses resultados são corroborados, sendo que madeira tratada somente com óleo de linhaça apresentou uma perda de massa média de 34,99% e a madeira natural 49,26%.

Temiz et al. (2008) avaliaram a resistência à decomposição da madeira de pinus tratada com ácido bórico e derivados do crude tall oil, separadamente ou em combinação, contra os fungos *Postia placenta* e *Coniophora puteana*. Verificaram que os derivados do CTO mostraram uma eficácia superior contra a ação dos fungos apodrecedores em comparação com a testemunha, porém, foram ligeiramente mais eficazes contra o fungo *C. puteana* do que contra o *P. placenta*, refletindo uma melhor tolerância aos óleos por parte deste fungo. Sendo assim, Temiz et al. (2008) corroboram que os derivados do crude tall oil são adequados como preservativos de madeira ecologicamente corretos, pois combinam efeitos fungicidas e repelentes à água. No entanto, assim como observado neste trabalho, esses produtos podem ser fortificados quando combinados com outros tratamentos, uma vez que a madeira tratada apenas com o CTO apresentou 33,33% de perda de massa e a madeira tratada termicamente combinada o óleo apresentou 25,22%.

Em resumo, os resultados obtidos neste estudo estão em linha com pesquisas anteriores que destacam a eficácia de tratamentos térmicos e o uso de óleos naturais, como o óleo de linhaça e CTO, na melhoria da resistência da madeira à deterioração causada por fungos. Esses achados contribuem para um corpo crescente de conhecimento sobre a preservação da madeira e podem ter implicações importantes para a indústria de construção e de móveis, promovendo o uso sustentável de recursos florestais. No entanto, é fundamental realizar mais pesquisas para entender os mecanismos subjacentes a esses efeitos e otimizar ainda mais os tratamentos para diversas condições ambientais e tipos de madeira.

5. CONCLUSÃO

O tratamento térmico realizado e os óleos naturais aplicados demonstraram-se eficientes na proteção da madeira de *Pinus Caribaea* à ação de fungos xilófagos de podridão branca e parda em condições de laboratório.

A ação dos fungos *Postia Placenta* e *Trametes versicolor* proporcionaram uma superior perda de massa na madeira natural. O uso de produtos (Óleo de linhaça e CTO) e tratamento térmico, bem como a combinação destes, preserva a madeira de *P. caribaea* tornando-a resistente quando submetida à ação do fungo *T. versicolor* e, moderadamente resistente quando submetida à ação do fungo *P. placenta*.

6. REPEFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENIGNO PAES, J.; MORESCHI, J. C.; LELLES, J. G. Avaliação do tratamento preservativo de moirões de *Eucalyptus viminalis* Lab. e de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) pelo método de substituição da seiva. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, p. 75–86, 2005.

BLANCHET, P.; PEPIN, S. Trends in Chemical Wood Surface Improvements and Modifications: A Review of the Last Five Years. **Coatings**, v. 11, n. 12, 1 dez. 2021.

BOSSARDI, K.; MARQUES BARREIROS, R. Produtos naturais como preservantes para madeiras de rápido crescimento - uma revisão. **Ciência da Madeira** (Braz. J. Wood Sci.), Pelotas, v. 02, p. 109–118, 2011a.

BOSSARDI, K.; MARQUES BARREIROS, R. Produtos naturais como preservantes para madeiras de rápido crescimento - uma revisão. **Braz. J. Wood Sci.**, p. 109–118, 2011b.

BOSSARDI, K.; MARQUES, R. Resistência à biodeterioração das madeiras de rápido crescimento tratadas com tall oil e derivados. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 02, p. 22–36, 2017.

BRAZOLIN, S. LANA, E. L.; MONTEIRO, M. B. B.; LOPEZ, G. A. C.; PLETZ, E. Preservação de madeiras - sistema de classes de risco. **Madeira: Arquitetura e Engenharia**, v. 5, n. 13, 2004.

BRITO, J. O.; GARCIA, J. N.; JÚNIOR, G. B.; PESSOA, A. M. C.; SILVA, P. H. M. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, submetida a diferentes temperaturas de termorreificação. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 182-188, 2006.

CERMÁK, P.; DEJMAL, A.; PASCHOVÁ, Z.; KYMÄLÄINEN, M.; DÖMÉNY, J.; BRABEC, M.; HESS, D.; RAUTKARI, L. One-sided surface charring of beech wood. *J. Mater. Sci.* 2019.

DIAS, K. B.; BARREIROS, R. M. Potentiality of tall oil as preservative for wood. **Chemical and Biomolecular Engineering**, v. 2, n. 4, p. 180–183, 2017.

EBNER, D.; STELZER, R.; BARBU, M. C. Study of wooden surface carbonization using the traditional Japanese yakisugi technique. v. 15, p. 278–283, 2019.

GONZAGA, A. L. Madeira: uso e conservação. Brasília, DF: IPHAN / MONUMENTA. 246 p., 2006.

HASSAN, B.; MANKOWSKI, M. E.; KIRKER, G. T. Evaluation of heartwood extracts combined with linseed oil as wood preservatives in field tests in southern Mississippi, USA. **Insects**, v. 12, n. 9, 1 set. 2021.

HILL, C. A. S. Wood modification: chemical, thermal and other processes. 1. ed. West Sussex: John Wiley & Sons, 2006.

IRBE, I.; ZOMMERE, Z.; KURNOSOVA, N. Alternative wood preservation method: double treatment and its effectiveness against wood decay fungi. *European Journal of Wood and Wood Products*, v. 78, n. 6, p. 1233–1247, 1 nov. 2020.

JÄRVINEN, J.; ILGIN, H. E.; KARJALAINEN, M. Wood Preservation Practices and Future Outlook: Perspectives of Experts from Finland. *Forests*, v. 13, n. 7, 1 jul. 2022.

KOSKI, A. Applicability of crude tall oil for wood protection. Departamento de Processos e de Engenharia Ambiental – Faculdade de Tecnologia – Universidade de Oulu, Finlândia, 2008. 104 p. **Dissertação de Mestrado**.

MARIANO, L. G. et al. Identification and control of wood-deteriorating fungi. *Arquivos do Instituto Biológico*, v. 87, 2020.

PAES, J. B.; MELO, R. R.; LIMA, C. R. Resistência natural de sete madeiras a fungos e cupins xilófagos em condições de laboratório. *Cerne*, n. 2, p. 160–169, 2007.

SINGH, T.; SINGH, A. P. A review on natural products as wood protectant. **Wood Science and Technology**, v. 46, n. 5, p. 851–870, set. 2012.

SOYTÜRK, E. E.; KARTAL, S. N.; ARANGO, R. A.; OHNO, K. M.; SOLHAN, E.; ÇAĞLAYAN, I.; IBANEZ, C. M. Surface carbonization of wood: comparison of the biological performance of *Pinus taeda* and *Eucalyptus bosistoana* woods modified by contact charring method. **Wood Material Science and Engineering**, 2023.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D-2017. Standard method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of wood. **Annual Book of ASTM Standards**, v. 0410, 2005b. 324-328 p.

TAYLOR, S. L.; KING, J. W. Fatty and resin acid analysis in tall oil products via supercritical fluid extraction–supercritical fluid reaction using enzymatic catalysis. **Journal of Chromatographic Science**, v. 39, 2001.

TEIXEIRA, J. G.; LATORRACA, J. V. F.; TREVISAN, H.; PAES, J. B. Eficiência do óleo de neem e dos resíduos de candeia sobre a inibição do desenvolvimento de fungos xilófagos. **Scientia Forestalis**, 2015.

TEMIZ, A.; ALFREDSSEN, G.; EIKENES, M.; TERZIEV, N. Decay resistance of wood treated with boric acid and tall oil derivatives. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 7, p. 2102–2106, maio 2008.

TREVISAN, H.; MARQUES, F. M. T.; CARVALHO, A.G. Degradação natural de toras de cinco espécies florestais em dois ambientes. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 1, 2008.

TREVISAN, H.; SOUZA, T. S.; ROCHA, N. F.; CARVALHO, A.G. Reflexões sobre o ensino em proteção e deterioração de madeiras nos cursos de Engenharia Florestal do Brasil. Em: Engenharia Florestal: Desafios, Limites e Potencialidade. [s.l.] **Editora Científica Digital**, 2020. p. 731–758.

VÄHÄOJA, P.; PILTONEN, P.; HYVÖNEN, A.; NIINIMÄKI, J.; JALONEN, J.; KUOKKANEN, T. Biodegradability studies of certain wood preservatives in groundwater as determined by the respirometric BOD OxiTop method. **Water, Air, and Soil Pollution**, 2005.

ZELINKA, S. L., ALTGEN, M., EMMERICH, L., GUIGO, N., KEPLINGER, T., KYMÄLÄINEN, M., THYBRING, E. E. AND THYGESEN, L. G. Review of wood modification and wood functionalization technologies. **Forests**, 13, 2022.