

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS DE CURITIBANOS  
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA, BIODIVERSIDADE E FLORESTAS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Gabriela Moraes da Silva

**Efeito do tempo de exposição à campo na resistência mecânica da madeira de *Pinus taeda* L. tratada com preservantes a base de tanino**

Curitibanos, SC

2023

Gabriela Moraes da Silva

**Efeito do tempo de exposição à campo na resistência mecânica da madeira de *Pinus taeda* L. tratada com preservantes a base de tanino**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Magno Alan Vivian

Coorientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Karina Soares Modes

Curitibanos, SC

2023

da Silva, Gabriela Moraes

Efeito do tempo de exposição à campo na resistência mecânica da madeira de Pinus taeda L. tratada com preservantes a base de tanino / Gabriela Moraes da Silva ; orientador, Magno Alan Vivian, coorientadora, Karina Soares Modes, 2023.

39 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal, Curitibanos, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Florestal. 2. Madeira tratada. 3. Campo de apodrecimento. 4. Tratamento preservante. 5. Resistência mecânica. I. Vivian, Magno Alan . II. Modes, Karina Soares. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título.

Gabriela Moraes da Silva

**Efeito do tempo de exposição à campo na resistência mecânica da madeira de *Pinus taeda* L. tratada com preservantes a base de tanino**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Florestal” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Florestal

Curitiba, 17 de Novembro de 2023.

---

Prof. Dr. Marcelo Bonazza  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Magno Alan Vivian  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karina Soares Modes  
Avaliadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Dr. Marcelo Bonazza  
Avaliador  
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho aos meus colegas de curso, que, assim como eu, concluem uma longa e desafiadora jornada acadêmica, mas extremamente recompensadora. Quero expressar minha profunda gratidão à minha mãe, minha fiel companheira, bem como àqueles que colaboraram diretamente comigo - meu orientador, Professor Doutor Magnos Alan Vivian, e minha coorientadora, Professora Doutora Karina Soares Modes. Sem a contribuição essencial deles, este projeto não teria sido concluído.

## AGRADECIMENTOS

Expresso, em primeiro lugar, a minha gratidão à Universidade Federal de Santa Catarina por fornecer um ensino gratuito e de qualidade.

Aos professores do curso de Engenharia Florestal, sou grata pelas correções, orientações construtivas, valiosos ensinamentos e, sobretudo, pelo acolhimento, pois todos esses elementos desempenharam um papel fundamental no meu processo de formação.

A minha querida mãe, Janete, merece meu eterno agradecimento por sua constante dedicação em me incentivar nos estudos, por me apoiar de todas as maneiras possíveis e por acreditar no meu progresso. Cada passo que dei ao longo deste caminho foi sempre tomado com o objetivo de orgulhar-lá.

As minhas amigas de confiança, com quem cultivei laços durante toda a graduação, Andressa e Thaina, expresso minha gratidão por acreditarem no meu potencial e por fornecerem apoio incondicional em todas as minhas conquistas desde o início da faculdade.

À minha querida amiga e companheira de vida, Scheila, que tem caminhado ao meu lado desde os tempos de ensino médio. Em todos os momentos, tanto nos desafios quanto nas alegrias, ela tem estado ao meu lado, tornando essa longa jornada mais leve e feliz. Sua presença constante tem sido fundamental para o meu crescimento pessoal.

Ao Guilherme e à sua família, que estiveram ao meu lado durante todo o período da graduação, acompanhando cada etapa, aliviando minhas preocupações, e fazendo esforços incansáveis por nós, me fazendo compreender o verdadeiro significado de companheirismo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Magnos Alan Vivian pelas orientações acadêmicas, possibilitando aprimorar meus conhecimentos, me auxiliando em momentos de turbulências e dificuldades dessa nova etapa da vida.

À minha coorientadora, a Profa. Dra. Karina Soares Modes, por todo o conhecimento acadêmico e experiências de vida que compartilhou comigo. Além disso, agradeço o cons: acolhimento e incentivo que me proporcionou, mostrando que devemos confiar e acreditar nós mesmos, independentemente das dificuldades.

À empresa WEG, sou grata pela oportunidade de estágio e por todas as valiosas lições e conhecimentos que adquiri durante esse período. Além disso, quero expressar minha apreciação aos colegas e amigos que fiz, que me ajudaram com paciência e bondade ao longo desse caminho.

## RESUMO

A madeira de *Pinus taeda* é uma das principais fontes de matéria-prima para o setor madeireiro do país, a qual destina-se a diversos segmentos industriais. Sabe-se que a mesma apresenta baixa durabilidade natural quando exposta a condições adversas, desta forma deve ser submetida a um tratamento preservante quando utilizada, em especial, com contato com o solo. Desta forma, o presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito do tempo de exposição a campo de apodrecimento na resistência mecânica da madeira de *Pinus taeda* L. tratada com preservantes à base de tanino. Para isto, utilizaram-se amostras de madeira que foram submetidas ao tratamento por imersão a frio, com Tanino, Tanino+Boro e Tanino+Cobre. As concentrações utilizadas foram de 5% de tanino e 1% de aditivos (boro ou cobre). Após o tratamento as amostras foram expostas a um campo de apodrecimento, por um período total de 315 dias, com coletas periódicas a cada 45 dias. A partir destas peças avaliaram-se a carga máxima e o módulo de ruptura, no ensaio mecânico de flexão estática. Com base nos resultados obtidos, observou-se que a carga máxima suportada pelas amostras da madeira de *Pinus taeda* apresentou uma redução significativa ao longo do tempo de exposição a campo, com algumas oscilações durante os períodos. Ao fim do período de avaliações, as peças submetidas ao tratamento com Tanino foram as que apresentam maior carga máxima média, seguido dos tratamentos Tanino+Boro, Tanino+Cobre e Testemunha, porém não houve diferença significativa entre os mesmos. O módulo de ruptura obtido nas mesmas amostras também demonstrou uma redução significativa ao longo do tempo de exposição a campo. Da mesma forma que se observou para a carga máxima, a média geral do módulo de ruptura das peças submetidas ao tratamento com Tanino foi a mais elevada, seguido dos tratamentos Tanino+Boro, Tanino+Cobre e Testemunha, entretanto, não houve diferença significativa entre os mesmos. De forma geral, os resultados indicam que a aplicação dos preservantes não apresentou efeito de proteção sobre a carga máxima e o módulo de ruptura, considerando todo o período de exposição a campo de apodrecimento. Acredita-se que isso possa ser atribuído à ausência de fixadores na formulação dos preservantes, desta forma sugere-se que em novos estudos com tanino, seja avaliada a inclusão de fixadores nas formulações, visando melhorar a eficácia deste composto na proteção da madeira ao longo do tempo.

**Palavras-chave:** Madeira tratada. Campo de apodrecimento. Tratamento preservante. Preservante natural.

## ABSTRACT

*Pinus taeda* wood is one of the main sources of raw material for the country's timber sector, which is destined for various industrial segments. It is known that it has low natural durability when exposed to adverse conditions, so it must be subjected to preservative treatment when used, especially in contact with the soil. Therefore, the present study aimed to evaluate the effect of exposure time to a rotting field on the mechanical resistance of *Pinus taeda* L. wood treated with tannin-based preservatives. For this, wood samples were used that were subjected to cold immersion treatment, with Tannin, Tannin+Boron and Tannin+Copper. The concentrations used were 5% tannin and 1% additives (boron or copper). After treatment, the samples were exposed to a rotting field, for a total period of 315 days, with periodic collections every 45 days. From these pieces, the maximum load and modulus of rupture were evaluated in the mechanical static bending test. Based on the results obtained, it was observed that the maximum load supported by the *Pinus taeda* wood samples showed a significant reduction over the time of field exposure, with some fluctuations during the periods. At the end of the evaluation period, the pieces subjected to treatment with Tannin were those with the highest average maximum load, followed by the Tannin+Boron, Tannin+Copper and Control treatments, but there was no significant difference between them. The modulus of rupture obtained on the same samples also demonstrated a significant reduction over time in the field. In the same way as was observed for the maximum load, the general average of the modulus of rupture of the pieces subjected to treatment with Tannin was the highest, followed by the Tannin+Boron, Tannin+Copper and Control treatments, however, there was no significant difference between the same. In general, the results indicate that the application of preservatives did not have a protective effect on the maximum load and modulus of rupture, considering the entire period of exposure to the rotting field. It is believed that this can be attributed to the absence of fixatives in the preservative formulation, thus it is suggested that in new studies with tannin, the inclusion of fixatives in the formulations be evaluated, aiming to improve the effectiveness of this compound in protecting wood throughout of time.

**Keywords:** Treated wood. Rotting field. Preservative treatment. Natural preservative.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tratamentos preservantes aplicados.....	25
Figura 2 – Croqui do campo de apodrecimento. ....	26
Figura 3 – Campo de apodrecimento instalado. ....	26
Figura 4 – Ensaio de flexão estática na Máquina Universal de Ensaaios Mecânicos. ....	27
Figura 5 – Equações ajustadas para estimativa da carga máxima em função do tempo de exposição a campo.....	31
Figura 6 – Equações ajustadas para estimativa do módulo de ruptura em função do tempo de exposição a campo.....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tratamentos preservantes aplicados a madeira. ....	24
Tabela 2 – Carga máxima (N) obtida para a madeira de <i>Pinus taeda</i> submetida aos diferentes tratamentos e exposição ao campo de apodrecimento. ....	29
Tabela 3 – Módulo de ruptura (N/mm <sup>2</sup> ) obtido para a madeira de <i>Pinus taeda</i> submetida aos diferentes tratamentos e exposição ao campo de apodrecimento. ....	32

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AEF – Área Experimental Florestal

ANOVA – Análise de Variância

CCA – Arsenato de Cobre Cromatado

CCB – Borato de Cobre Cromatado

COPANT – Comisión Panamericana de Normas Técnicas

DBC – Delineamento em Blocos Casualizados

IBÁ – Instituto Brasileiro de Árvores

MOR – Módulo de Ruptura

MDF – Painéis de Fibra de Média Densidade

NBR – Norma Brasileira

OSB – Painéis de Partículas Orientadas

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1	OBJETIVOS .....	15
1.1.1	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>15</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
2.1	A ESPÉCIE <i>Pinus taeda</i> L. ....	16
2.2	PRESERVANTES NATURAIS DA MADEIRA .....	17
2.3	ENSAIOS DE CAMPO E AGENTES BIODETERIORADORES DA MADEIRA	20
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>24</b>
3.1	MATERIAL UTILIZADO .....	24
3.2	TRATAMENTO PRESERVANTE.....	24
3.3	ENSAIO DE CAMPO DE APODRECIMENTO.....	25
3.4	ENSAIO MECÂNICO DE FLEXÃO ESTÁTICA .....	27
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	28
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>29</b>
4.1	CARGA MÁXIMA .....	29
4.2	MÓDULO DE RUPTURA .....	32
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>35</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>36</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No início do século XX, a principal fonte de matéria-prima disponível para sustentar a indústria moveleira e de construção civil no Brasil, era advinda de madeira nativa. Essa, reconhecida pela sua alta qualidade e resistência natural, custo de mercado competitivo e disponibilidade abundante, desempenhava um papel fundamental no mercado florestal. Porém, a intensa atividade antrópica nos ecossistemas que abrigavam árvores nativas provocou significativa degradação ambiental, impactando não só a biodiversidade e características florísticas dessas regiões, mas também nos serviços ecossistêmicos que essas regiões ofereciam (DOSSA; MONTOYA; LUDWIG, 2001).

A introdução de espécies exóticas, como *Pinus taeda* L., caracterizada pelo seu crescimento rápido surgiu como uma alternativa para atender a demanda, anteriormente atribuída às madeiras nativas, como a *Araucaria angustifolia* na região Sul. Com isto, ocorreu a redução da pressão sobre os recursos madeireiros provenientes de árvores nativas, as quais, em virtude da sua exploração excessiva, encontravam-se em processo de extinção (SELLE *et al.*, 1994).

A madeira proveniente do *Pinus taeda* L. desempenha um papel significativo em diversas indústrias, particularmente naquelas que envolvem produtos sólidos (VIDAL *et al.*, 2015). As propriedades físicas, químicas e mecânicas da madeira, combinadas com sua versatilidade, justificam a incorporação em projetos de arquitetura, engenharia e embalagens, conforme destacado por Moreschi (2013).

A madeira de *Pinus taeda* L. possui naturalmente baixa durabilidade (VIVIAN *et al.*, 2019), portanto a ausência de tratamento preservativo resulta em prejuízos tanto para os produtores, quanto para os consumidores, impactando de maneira direta na utilidade do material, aumentando os custos relacionados à substituição, como citado por Moreschi (2013). Diante disso, a aplicação de preservantes químicos de madeira proporciona o aumento da vida útil das peças expostas a ambientes externos, e conseqüentemente há preservação das propriedades mecânicas da madeira (VIVIAN *et al.*, 2019).

A avaliação da suscetibilidade da madeira à degradação pode ser conduzida por meio de ensaios de campo, nos quais as amostras são submetidas a condições climáticas imprevisíveis, em contato com o solo, estando assim, sujeita ao ataque de agentes xilófagos, resultando em uma degradação que abrange os aspectos químicos, físicos e mecânicos (CASTRO; GUIMARÃES, 2001).

Com relação ao uso de produtos preservantes tem-se comumente utilizado na imunização da madeira substâncias tóxicas, as quais podem gerar possíveis efeitos residuais dessas substâncias no solo (MORESCHI, 2013), tornando-se de extrema importância a busca por formulações de agentes preservantes que possuam baixa toxicidade ao ser humano e ao meio ambiente, ou que preferencialmente, sejam totalmente atóxicas (MENEGUSSI, 2021).

Nesse contexto, o tanino emerge como uma alternativa de destaque na indústria, em virtude de suas propriedades germicidas e fungicidas, e de seu caráter natural. Sua eficácia e qualidade no tratamento da madeira o posicionam como uma opção atraente, capaz de atenuar os efeitos danosos ao ambiente, e reduzir o uso de substâncias tóxicas nos processos de preservação (SILVEIRA, 2015). Ao mesmo tempo ainda é possível conciliar aditivos, como sais de boro e cobre, para permitir a potencialização da proteção das peças de madeira, por meio da fixação dos produtos ao material (MENEGUSSI, 2021).

Os danos decorrentes da ação dos agentes bióticos e abióticos implicam na alteração das propriedades mecânicas da madeira, tal qual a sua resistência que torna a madeira apta a suportar altas cargas de força. Muitos dos agentes bióticos que danificam a madeira provocam tensões estruturais devido a degradação da parede celular, resultando na formação de fissuras, com potencial de causar falhas na integridade da madeira (MAINA, 2017). Já os danos causados pelos agentes abióticos impactam significativamente no estado estrutural da madeira, que é prejudicial para peças e estruturas expostas em ambientes externos, caracterizado por condições climáticas e ambientais adversas (TEIXEIRA, 2012).

Nesse sentido, é importante a condução de estudos avaliando o efeito da exposição a campo na degradação e resistência mecânica da madeira de *Pinus taeda* L. tratada com preservantes naturais, como o tanino.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o efeito do tempo de exposição a campo de apodrecimento na resistência mecânica da madeira de *Pinus taeda* L. tratada com preservantes a base de tanino.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar a carga máxima suportada pela madeira no ensaio de flexão estática.
- Determinar o módulo de ruptura (resistência) da madeira no ensaio de flexão estática.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A ESPÉCIE *Pinus taeda* L.

“O *Pinus taeda* L. pertence à família botânica *Pinaceae*, é nativo da Costa Atlântica do Sudeste e do Golfo do México, nos Estados Unidos” (POTULSKI, 2010, p. 15). No Brasil, as regiões Sul e Sudeste destacam-se pelos cultivos em maiores extensões, em razão, da adaptabilidade da espécie a região, preferindo climas com temperaturas amenas, com inverno frio, requerendo ainda solos férteis e bem drenados para o seu ótimo desenvolvimento (EMBRAPA, 2011).

A introdução da espécie, conforme observado por Selle *et al.* (1994), teve origem com o propósito de substituir a utilização da madeira de *Araucaria angustifolia* que estava sujeita a uma exploração intensiva devido às suas características nobres e à elevada qualidade de sua madeira. Além disso, a introdução teve o intuito de apoiar o programa de desenvolvimento do setor de celulose e papel, visando a produção de polpas de fibras longas e essências necessárias para a fabricação de papéis de alta resistência, conforme discutido por Potulski (2010).

O *Pinus taeda* L. emergiu como uma espécie de grande relevância no setor florestal a partir da década de 1970, desempenhando um papel fundamental no impulsionamento do setor por meio do fornecimento de matéria-prima para a indústria, como destacado pela EMBRAPA (2011).

Embora as plantações de *Pinus* tivessem inicialmente a finalidade de abastecer a indústria de celulose e papel, na região sul do Brasil, houve o início de um processo de produção de madeira serrada e lâminas, conforme observado por Potulski (2010). A notável posição dessa espécie no setor decorre de seu ciclo de crescimento relativamente curto em comparação com outras espécies cultivadas no país, bem como de seu significativo incremento médio anual (BERNARDI, 2018).

Segundo Potulski (2010), a madeira proveniente do *Pinus taeda* L. desempenha um papel integral em todos os setores industriais relacionados à madeira. Isso viabiliza a produção de uma ampla variedade de produtos destinados tanto ao mercado interno quanto ao mercado externo. A partir da madeira dessa espécie é possível fabricar lâminas e compensados, empregá-la na produção de aglomerados, utilizá-la na fabricação de móveis e na construção civil. Além disso, a madeira de *Pinus taeda* é valiosa para aplicações em que a resistência à intempérie é essencial, como em casas pré-fabricadas, portas, molduras e blocos



de madeira. Além dessas aplicações tradicionais, a espécie desempenha um papel crucial na fabricação de produtos tecnológicos inovadores, como os painéis de fibra de média densidade (MDF) e os painéis de partículas orientadas (OSB), de acordo com Klock (2000).

De acordo com o relatório anual da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2022) no ano de 2021, a área total de plantios do gênero *Pinus* atingiu 1,93 milhões de hectares, e uma produtividade média de 29,7 m<sup>3</sup>/ha/ano. Do total de área plantada com o gênero *Pinus*, a maior parte é com a espécie *Pinus taeda*, destinada à indústria de madeira serrada, movelaria, chapas e madeira reconstituída, e celulose e papel (EMBRAPA, 2011).

## 2.2 PRESERVANTES NATURAIS DA MADEIRA

Muitas espécies de madeiras nativas tradicionais e largamente empregada no mercado estão enfrentando um processo de ameaça de extinção, em decorrência do intensivo uso de forma exploratória que ocorreu nos últimos anos. Tal fato resulta num aumento significativo do valor comercial das peças de madeira provenientes dessas espécies, tornando-as assim inviáveis de utilização em muitos casos (TEIXEIRA, 2012).

É importante ressaltar que, no cenário atual, está em vigor o Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS), uma abordagem baseada em princípios técnicos que envolvem a extração de madeira de espécies autóctones para fins madeireiros, especialmente para a produção de itens sólidos. Esse plano estabelece diretrizes para a gestão, a colheita e o processamento da madeira, assegurando a obtenção sustentável do recurso madeireiro e promovendo a utilização criteriosa dos recursos florestais (EUCATEX, 2023).

Diante desse cenário, o tratamento da madeira *Pinus taeda*, emerge como uma alternativa extremamente viável para solucionar o problema da demanda da madeira de maior durabilidade (TEIXEIRA, 2012).

Com base na discussão de Vidal *et al.* (2015), a preservação da madeira constitui um conjunto de procedimentos e produtos com o propósito de alterar, avaliar ou analisar a longevidade da madeira. A durabilidade desse material está intimamente ligada à sua capacidade de resistir à deterioração, enfrentando com eficácia a ação de agentes prejudiciais que abrangem fatores biológicos, físicos, mecânicos e químicos. E o atendimento a durabilidade é de extrema relevância, uma vez que auxilia na recomendação do uso mais adequado da madeira, resultando na economia de recursos, ao evitando substituições desnecessárias, como discutido por Teixeira (2012).

A utilização das peças de madeira de *Pinus taeda* em forma natural sem anterior aplicação de substâncias preservantes, faz com que a madeira, em situações climáticas e ambientais adversas, possua uma alta suscetibilidade ao ataque e danos por agentes bióticos e abióticos. Em alguns casos, os danos podem ocorrer dentro de poucas semanas, isso porque a madeira da espécie é altamente suscetível ao ataque de xilófagos (BERNARDI, 2018).

Segundo Vivian *et al.* (2019) para aumentar a resistência e a vida útil de madeiras de rápido crescimento, faz-se necessário a aplicação de substâncias preservantes. Tal procedimento possui a finalidade de tornar a madeira tóxica a agentes biodeterioradores, e protegida contra as diferentes condições climáticas (CASTRO; GUIMARÃES, 2001). De acordo com Teixeira (2012) a aplicação de preservantes causa o envenenamento dos nutrientes celulares, prevenindo a deterioração ou evitando que ela se alastre, para os fatores bióticos.

A aplicação de agentes preservativos oferece à madeira uma defesa contra agentes físicos, tais como combustão, radiação solar (raios UV), forças do vento, precipitação e flutuações térmicas. No que tange aos agentes químicos, a preservação proporciona resguardos contra manchas decorrentes de extrativos, compostos ácidos, alcalinos e sais. Em relação aos agentes mecânicos, esse procedimento confere proteção contra fissuras, desgaste, deformações permanentes e abrasão (GONZAGA, 2006).

Os preservantes da madeira podem ser distintos em três grupos, preservantes oleosos, oleossolúveis e hidrossolúveis. Os preservantes oleossolúveis possuem em sua formulação aditivos fungicidas e inseticidas, de caráter organometálico. Já os preservantes oleosos, possuem sua origem nos derivados do alcatrão. E os hidrossolúveis possuem em sua formulação sais metálicos e não metálicos (TEIXEIRA, 2012).

O preservante necessita enquadrar-se em alguns requisitos para ser considerado bom e eficiente, dentre eles: tóxico à muitos agentes biodeteriorantes; pouco tóxico ou atóxico à agentes não alvos (humanos e animais); boa fixação; ação à longo prazo; não possuir a capacidade de alterar propriedades físico-químicas, mecânicas e estéticas da madeira; não possuir a capacidade de interação com outros materiais; não ser inflamável; ser econômico e de fácil aquisição (CASTRO; GUIMARÃES, 2001).

Os preservantes mais empregados são os hidrossolúveis, principalmente o Arseniato de Cobre Cromatado (CCA) e o Borato de Cobre Cromatado (CCB), em função da sua ação abranger um conjunto de agentes biodeteriorantes. Entretanto, esses dois preservantes possuem potencial de contaminação ambiental e danos à saúde humana, pela sua toxicidade. Seu uso de forma indiscriminada pode acarretar desequilíbrio nos ecossistemas contaminados,

em razão de conter íons metálicos em sua formulação, e no decorrer do processo de produção empregar substâncias químicas (SILVEIRA, 2015).

Uma possibilidade promissora é a utilização de compostos naturais, que são desde extratos de plantas, até compostos secundários de origem fenólica, como é a substância tanino. O tanino possui sua síntese realizada no período de transformação do alburno em cerne, podendo assim ser encontrado na casca e na madeira, como também em outras partes das plantas, como frutos e sementes, sendo assim, se tornou uma ótima opção por ser tóxico à muitos agentes xilófagos, especialmente fungos (MENEGUSSI, 2021).

Silveira (2015) define os taninos como “compostos de baixo peso molecular, formados por estruturas múltiplas com grupos fenólicos livres, e com a propriedade de se ligar a proteínas formando outros complexos”.

Inicialmente, o termo “tanino” era utilizado para descrever compostos de origem vegetal que desempenhavam papel crucial na transformação de pele fresca de animais em couro. Atualmente essas substâncias são empregadas em diversas indústrias, incluindo a cosmética, farmacêutica, perfuração de poços, produção de azulejos, tratamento de água e esgoto, além de serem utilizados na fabricação de tintas e adesivos (SILVEIRA, 2015).

O tanino tem a possibilidade de ser aplicado de forma isolada ou em conjunto com aditivos (GONZAGA, 2006), em razão da sua facilidade em formar complexos com metais, e favorecer as propriedades quelantes (BRAND; ANZALDO; MORESCHI, 2006). A aplicação do aditivo sal de boro ao seu baixo teor de toxidez, aliado a vantagem de não possuir coloração, odor, potencial de inflamabilidade, e verifica-se que em conjunto com o tanino, a lixiviação do composto boro no solo é reduzida (TONDI *et al.*, 2012).

Em situações de elevada umidade e na ausência de combinação com outros compostos, a lixiviação do composto de boro é amplificada. A utilização desse composto destaca-se pela sua eficácia letal contra organismos xilófagos. Além disso, devido à sua não volatilidade, apresenta baixa mobilidade no solo, o que reduz significativamente o risco de contaminação ambiental (MENEGUSSI, 2021).

O aditivo sal de cobre também apresentou bons resultados na aplicação com tanino, em razão ser um íon metálico, possuindo assim eficiência contra a maioria dos agentes xilófagos, mas especialmente para peças que entrarão em contato com o solo, sendo assim, mais suscetíveis a fungos apodrecedores (LOPES, 2011). Este destaca-se por não ser danoso à saúde humana, porém, em altas quantidades no solo pode desencadear processos de contaminação (ZORTÉA *et al.*, 2016), afetando o desenvolvimento de plantas e a microbiota aquática e do solo (SAMPAIO; BOIJINK; RANTIN, 2013).

A inclusão de aditivos na formulação de substâncias preservantes da madeira é direcionada para aprimorar a eficácia do agente preservativo, amplificando sua ação contra agentes de deterioração. Essa estratégia busca estender a durabilidade da madeira, prolongando sua vida útil e mitigando os efeitos da degradação ambiental. Além disso, os aditivos são inseridos com o intuito de conferir uma camada adicional de proteção contra condições adversas. A justificativa para essa adição também se fundamenta na otimização das propriedades mecânicas da madeira, visando melhorar sua resistência à tração, flexão e compressão (MORESCHI, 2013).

Para melhorar a durabilidade das peças de madeira usadas em ambientes externos, além da inclusão de componentes aditivos nas formulações de preservativos, a utilização de fixadores é essencial. Esses fixadores são adicionados com o propósito de promover a aderência e a penetração eficaz do preservativo na estrutura da madeira. Além disso, desempenham um papel crucial na estabilização dos componentes ativos do preservativo (SOUZA; DEMENIGHI, 2017).

Os componentes fixadores desempenham um papel crucial na redução da lixiviação dos compostos ativos, impedindo sua fácil remoção ou dissolução da superfície da madeira após o tratamento. Além disso, contribuem significativamente para aprimorar a eficiência e prolongar a durabilidade do tratamento preservativo. Essa ação resulta na manutenção da atividade dos compostos preservantes na madeira ao longo do tempo, aumentando sua eficácia contra organismos deteriorantes (SOUZA; DEMENIGHI, 2017).

### 2.3 ENSAIOS DE CAMPO E AGENTES BIODETERIORADORES DA MADEIRA

Segundo Costa *et al.* (2005) os ensaios à campo possuem a finalidade de avaliar a suscetibilidade da madeira à degradação e a efetividade das substâncias preservantes, assim como os diferentes processos de impregnação. As amostras de madeira são submetidas à soterramento parcial, e subsequente exposição solar contínua, secagem, períodos irregulares de lixiviação, as diferentes propriedades químicas e físicas do solo, além, da presença de microrganismos xilófagos que colonizam e degradam a madeira. Periodicamente a sanidade das amostras deve ser avaliada, para posteriormente verificar a vida útil das peças.

“A madeira por ser um material orgânico, é altamente suscetível a uma gama de agentes biodeterioradores, como fungos, bactérias, insetos e brocas marinhas, que atacam a celulose, hemicelulose e lignina” (VIVIAN *et al.*, 2019, p. 36). Estando sujeita a biodeterioração desde o estágio de árvore viva, até quando está em condições de serviço,

como destacado por Teixeira (2012). De acordo Castro & Guimarães (2001), o ataque de agentes xilófagos pode comprometer as propriedades estruturais da madeira, acarretando diversos problemas de acordo com o uso.

Conforme observado por Teixeira (2012), a madeira pode ser suscetível a ação de diversos agentes biológicos, bem como a fatores abióticos, tais como vento, radiação, temperatura e umidade. E a interação desses fatores, bióticos e abióticos, contribui para o ciclo de degradação da madeira, de acordo com Carballeira (1986).

Os agentes bióticos, conhecidos como organismos xilófagos, podem ser categorizados em quatro grupos distintos: fungos, bactérias, insetos e perfuradores marinhos. No entanto, a deterioração da madeira é mais significativa quando provocada pelo ataque de fungos. Isso ocorre devido à capacidade desses fungos de alterar as propriedades físicas e químicas da madeira, bem como a sua estrutura anatômica. Como resultado, a madeira torna-se menos resistente a esforços mecânicos, comprometendo sua utilidade e durabilidade (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Conforme destacado por Moreschi (2013), os fungos constituem o grupo responsável pela maior perda de massa em diversos produtos derivados da madeira. A ação dos fungos ocorre por meio da penetração das hifas no lúmen das células, e durante sua colonização, eles produzem uma variedade de metabólitos extracelulares que desempenham um papel crucial na deterioração dos componentes presentes na parede celular da madeira.

De acordo com Oliveira *et al.* (2017), o processo de deterioração da madeira pelos fungos ocorre em três estágios distintos. No primeiro estágio, inicia-se com a liberação de enzimas durante a colonização, sem apresentar sinais de infecção na superfície da madeira. À medida que o desenvolvimento dos fungos progride, começam a surgir os sinais visíveis de infecção. Na etapa intermediária, ocorrem mudanças na coloração e textura da madeira, mas sua estrutura básica permanece inalterada. No último estágio, a madeira sofre uma desestruturação completa.

Segundo Oliveira *et al.* (2017) a classe dos Basidiomicetos desempenha um papel significativo no processo de decomposição da madeira, sendo subdividida em fungos causadores de diferentes tipos de podridão, incluindo a podridão parda, branca e mole e fungos manchadores. Cada um desses grupos de fungos possui características enzimáticas específicas relacionadas à decomposição dos componentes primários da madeira. A degradação da madeira ocorre em estágios graduais e contínuos, sendo influenciada pelo tipo de fungo que está se desenvolvendo na madeira.

Os fungos causadores da podridão branca, que constituem cerca de 94% dos Basidiomicetos, pertencem a um seleto grupo de organismos com a capacidade única de despolimerizar, degradar e mineralizar todos os componentes da parede celular da madeira, incluindo celulose, hemicelulose e lignina. Em geral, esses fungos são responsáveis por provocar um elevado grau de deterioração em madeiras provenientes de árvores de folhosas, como mencionado por Schwarze *et al.* (2000).

A madeira afetada pelos fungos da podridão branca tende a perder seu brilho natural e a coloração característica, adquirindo um aspecto esbranquiçado. Isso ocorre devido à destruição dos pigmentos presentes na madeira e é acompanhado por uma mudança na textura, tornando-a esponjosa, além do surgimento de linhas escuras que delimitam a área afetada, como observado por Santini (1988). Além das mudanças visuais, Moreschi (2013) destaca que a madeira afetada sofre uma considerável perda de peso e de resistência, devido ao consumo contínuo de celulose, hemiceluloses e lignina pelos fungos.

Os fungos responsáveis pela podridão parda atacam a madeira por meio da mineralização dos polissacarídeos, e ao contrário dos fungos da podridão branca, não consomem lignina, conforme mencionado por Aguiar e Ferraz (2010). A madeira afetada exibe um aspecto visual caracterizado por leves descolorações, apresentando uma coloração parda (MORESCHI, 2013). Quando a madeira atingida está seca, devido à preservação da lignina, pode sofrer facilmente colapsos, manifestando-se através da separação em blocos, ocasionada pelo desenvolvimento de fissuras paralelas que seguem a direção da grã da madeira. Isso resulta em uma crescente perda de peso e resistência na peça afetada, conforme observado por Moreschi (2013).

Os fungos da podridão mole englobam microrganismos que possuem uma capacidade de degradação reduzida, por se desenvolverem sob a superfície da madeira. Quando úmida, a madeira apresenta aspecto visível de estar amolecida, porém, quando ocorre sua secagem, a superfície se encontra com coloração escurecida, áspera, e apresenta fissuras no sentido das fibras (MORESCHI, 2013).

A madeira afetada por fungos manchadores tende a adquirir colorações que podem depreciar seu valor comercial, dependendo de sua finalidade. No entanto, é importante destacar que esse grupo de fungos não causa perda significativa de peso e não promove alterações expressivas nas propriedades mecânicas da madeira, como explicado por (MORESCHI, 2013). A descoloração da madeira resulta da pigmentação dos materiais nas cavidades celulares causada pelas obstruções das hifas nas pontuações. Esse efeito é

considerado negativo, especialmente em relação à capacidade de impregnar soluções químicas na madeira (EATON; HALE, 1993).

No que diz respeito à deterioração da madeira causada por insetos, três ordens são particularmente significativas, sendo elas: *Isoptera*, *Coleoptera* e *Himenoptera*. Entre essas ordens, os cupins, também conhecidos como térmitas, são os principais agentes causadores de danos. Entre os grupos mais relevantes em relação à degradação da madeira, destacam-se os cupins devido à sua natureza social, vivendo em colônias compostas por milhares de indivíduos que utilizam a madeira como fonte de abrigo e alimento. Esses insetos se alimentam especialmente de celulose, um componente crucial para a manutenção da estrutura anatômica da madeira (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Os *Coleopteras* desempenham um papel significativo na deterioração da madeira, causando prejuízos consideráveis em espécies florestais. Esses insetos são responsáveis por atacar a madeira desde o estágio de árvore viva até peças de madeira que estão em uso, causando danos consideráveis ao longo desse processo (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Os agentes xilófagos que provocam danos à madeira no ambiente marinho são conhecidos como "brocas marinhas". O ataque desses indivíduos ocorre principalmente em regiões onde a temperatura da água é mais elevada, conforme indicado por Moreschi (2013). Esses ataques podem ocorrer tanto no fundo do mar quanto na superfície da água e têm uma duração que se estende ao longo de todo o ano. Os principais responsáveis por esses danos são crustáceos e moluscos (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Conforme Oliveira *et al.* (2017), os crustáceos fixam-se à superfície de um substrato durante os estágios iniciais de seu desenvolvimento e completam seu ciclo de vida. De acordo com os autores, o constante ataque desses organismos torna a madeira mais friável, o que facilita a penetração dos organismos no material. Por outro lado, os moluscos atacam a madeira durante seu estágio larval, penetrando na mesma através de pequenos espaços. À medida que se desenvolvem, aumentam a profundidade da penetração. Dessa forma, o ataque dos moluscos resulta na destruição da peça de madeira, embora não causem danos visíveis à sua superfície (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAL UTILIZADO

O experimento foi conduzido com corpos de prova da madeira de *Pinus taeda*, com as dimensões nominais de 20,0 x 20,0 x 300,0 mm (maior dimensão no sentido longitudinal), confeccionados com base na norma 30:1-006 da Comissão Panamericana de Normas Técnicas (COPANT, 1972). Estes foram tratados com preservantes a base de tanino e aditivos, e submetidos ao ensaio de campo de apodrecimento, em estudo conduzido por Menegussi (2021), cujo objetivo foi avaliar a qualidade e a eficiência do tanino e aditivos na preservação de *Pinus taeda* contra agentes biodeteriorantes.

Desta forma, as etapas de preparo das amostras, tratamento preservante e ensaio de campo, foram realizados por Menegussi (2021), as quais serão descritas a seguir. A partir dos corpos de prova resultantes da pesquisa realizada pela autora, realizou-se a avaliação do efeito do tratamento e tempo de exposição a campo na resistência mecânica da madeira pelo teste de flexão estática.

#### 3.2 TRATAMENTO PRESERVANTE

Os corpos de prova foram submetidos a 4 tratamentos, incluindo a testemunha, os quais estão descritos na tabela 1. O tanino foi aplicado a uma concentração de 5%, na forma pura e misturado ao ácido bórico e sulfato de cobre à concentração de 1%.

Tabela 1 – Tratamentos preservantes aplicados a madeira.

<b>Tratamento</b>	<b>Preservante</b>	<b>Concentração Tanino + Aditivo (%)</b>
<b>T0</b>	Água destilada (testemunha)	-
<b>T1</b>	Tanino	5%
<b>T2</b>	Tanino+Boro	5% + 1%
<b>T3</b>	Tanino+Cobre	5% + 1%

Fonte: O autor (2023).

O método aplicado aos tratamentos foi por imersão à frio (temperatura ambiente), pelo período de 72 horas (3 dias). Para cada tratamento os corpos de prova foram dispostos em caixas plásticas contendo os tratamentos, como pode ser observado na Figura 1.



Figura 1 – Tratamentos preservantes aplicados.



T0: Testemunha; T1: Tanino; T2: Tanino+Boro; T3: Tanino+Cobre.  
 Fonte: Menegussi (2021).

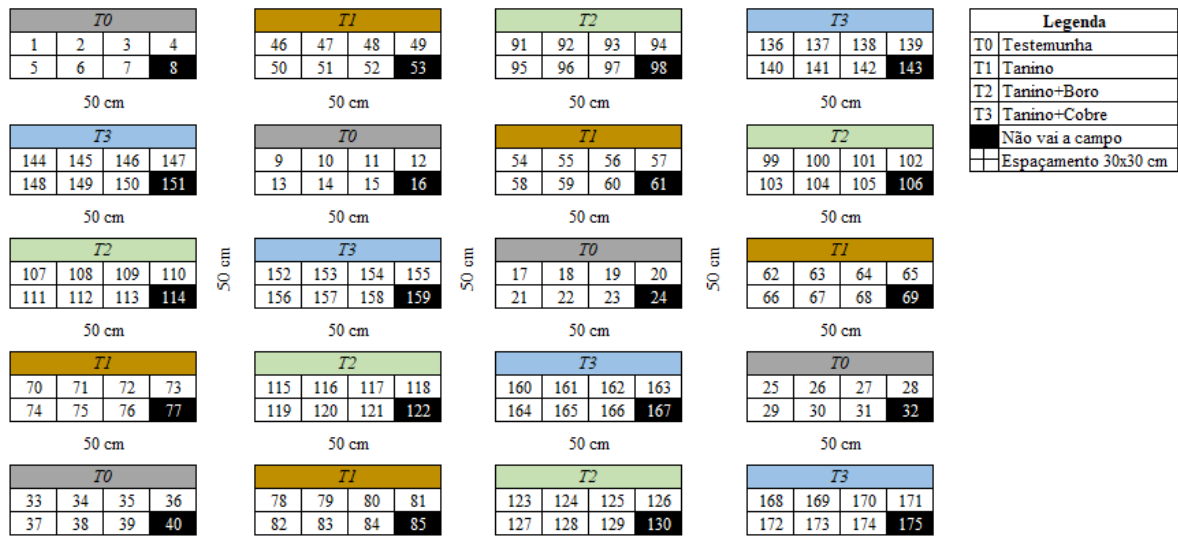
Após o período do tratamento, os corpos de prova foram retirados da respectiva solução preservante, e novamente dispostos em recipientes plásticos, para a secagem natural, por um período de 72 horas. Na sequência foram submetidos a secagem em estufa a  $60 \pm 2^\circ\text{C}$ , com a finalidade estabilização da massa.

### 3.3 ENSAIO DE CAMPO DE APODRECIMENTO

O delineamento experimental utilizado para a instalação do campo de apodrecimento foi o Delineamento em Blocos Casualizados (DBC). Foram instalados 5 blocos, contendo 4 tratamentos (T0, T1, T2 e T3) na forma de 5 sub-blocos. A distribuição dos sub-blocos ocorreu de forma sistemática, com o objetivo de submeter os corpos de prova em diferentes posições na área disponível do campo de apodrecimento.

Cada sub-bloco era composto por 8 amostras, mas somente 7 amostras foram efetivamente instaladas à campo, logo, as amostras que não foram à campo serviram para a avaliação no tempo inicial, ou seja, zero dias (Figura 2).

Figura 2 – Croqui do campo de apodrecimento.



Fonte: Menegussi (2021).

A instalação do campo de apodrecimento ocorreu durante o mês de agosto de 2020, e teve duração até julho de 2021, na Área Experimental Florestal (AEF), pertencente a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), no município de Curitibanos/SC (Figura 3).

Figura 3 – Campo de apodrecimento instalado.



Fonte: Menegussi (2021).

A cada 45 dias foram coletados 5 corpos de prova por tratamento, ou seja, nos períodos de 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 e 315 dias, os quais foram avaliados quanto a perda de massa e índice de deterioração por Menegussi (2021). Estes mesmo corpos de prova foram

utilizados para avaliação no presente estudo dos efeitos do tratamento e do tempo de exposição a campo na sua resistência mecânica frente ao ensaio de flexão estática.

### 3.4 ENSAIO MECÂNICO DE FLEXÃO ESTÁTICA

Os corpos de prova coletados a campo nos 8 intervalos de amostragem foram submetidos ao ensaio de flexão estática, visando determinação da carga máxima e do módulo de ruptura (MOR ou resistência), em Máquina Universal de Ensaio Mecânicos, conforme recomendações da norma COPANT 30:1-006 (1972).

Inicialmente os corpos de prova foram acondicionados em câmara climática com controle da umidade relativa do ar (65%) e temperatura (20°C), visando equilíbrio higroscópico à umidade de equilíbrio de 12%, conforme recomendações da norma, para na sequência serem submetidos ao teste (Figura 4).

Figura 4 – Ensaio de flexão estática na Máquina Universal de Ensaio Mecânicos.



Fonte: O autor (2023).

Foram submetidos à avaliação um total de 160 corpos de prova, considerando 8 períodos de exposição (0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 e 315 dias), com 4 tratamento e 5 corpos de prova por tratamento e período. Após a estabilização de massa em câmara climática, os corpos de prova foram mensurados quanto as suas dimensões e massa, e submetidos ao ensaio de flexão estática, com velocidade de 1,0 mm/min, aplicando a carga na face tangencial, no meio de seu comprimento.

Ao final do ensaio determinaram-se os valores de carga máxima para ruptura de cada amostra. A carga máxima foi fornecida automaticamente pelo software da Máquina de Ensaio, já o MOR foi calculado a partir desta carga máxima, bem como do vão de apoio e das dimensões correspondente a base e altura da região central do corpo de prova, conforme a equação 1.

$$MOR = \frac{3}{2} * \frac{(C_{m\acute{a}x}) * V\grave{a}o}{b * h^2} \quad (1)$$

Em que:

MOR: M3dulo de ruptura (N/mm<sup>2</sup>);

C<sub>máx</sub>: Carga máxíma (N);

Vão = 280 mm;

b: Base (mm);

h: Altura (mm).

### 3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados referentes ao ensaio mecânico de flexão estática foram avaliados utilizando-se o Delineamento em Blocos Casualizados (DBC), verificando inicialmente a normalidade dos dados e a homogeneidade das variâncias, e cumprindo tais requisitos aplicou-se a Análise de Variância (ANOVA), e o teste de médias de Tukey a 95% de significância, para comparação dos tratamentos e tempos de exposição a campo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 CARGA MÁXIMA

Os valores médios obtidos para a carga máxima (N), no ensaio de flexão estática, para os diferentes tratamentos aplicados à madeira de *Pinus taeda*, e o efeito do tempo de exposição ao campo de apodrecimento, podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2 – Carga máxima (N) obtida para a madeira de *Pinus taeda* submetida aos diferentes tratamentos e tempo de exposição ao campo de apodrecimento.

Tempo (dias)	Tratamentos			
	Testemunha	Tanino	Tanino+Boro	Tanino+Cobre
0	665,8 <sup>Bab</sup>	879,4 <sup>Aa</sup>	753,4 <sup>ABab</sup>	567,5 <sup>Bbc</sup>
45	665,8 <sup>Aab</sup>	688,1 <sup>Aab</sup>	812,7 <sup>Aab</sup>	715,7 <sup>Abc</sup>
90	638,1 <sup>Bb</sup>	811,2 <sup>ABa</sup>	846,3 <sup>ABa</sup>	1002,1 <sup>Aa</sup>
135	882,6 <sup>Aa</sup>	827,9 <sup>Aa</sup>	841,7 <sup>Aa</sup>	773,7 <sup>Aab</sup>
180	613,1 <sup>Ab</sup>	543,6 <sup>Ab</sup>	509,2 <sup>Ac</sup>	691,2 <sup>Abc</sup>
225	435,6 <sup>Ab</sup>	543,2 <sup>Ab</sup>	574,3 <sup>Abc</sup>	480,8 <sup>Ac</sup>
270	597,4 <sup>Ab</sup>	754,9 <sup>Aab</sup>	667,7 <sup>Aabc</sup>	609,8 <sup>Abc</sup>
315	581,4 <sup>Ab</sup>	558,1 <sup>Ab</sup>	578,8 <sup>Abc</sup>	497,9 <sup>Ac</sup>
<b>Média geral</b>	<b>634,9<sup>A</sup></b>	<b>700,8<sup>A</sup></b>	<b>698,0<sup>A</sup></b>	<b>667,3<sup>A</sup></b>

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não apresentam variação estatística significativa pelo teste de teste de média (Tukey,  $p > 0,05$ ).

Fonte: O autor (2023).

No presente estudo, os fatores tratamento e tempo possuíram interação significativa, a 5% de significância. Percebe-se, através do teste de médias, que a carga máxima necessária para causar ruptura na madeira apresentou tendência de redução com o passar do tempo de exposição a campo, entretanto, com algumas oscilações durante o período.

De acordo com Aprile *et al.* (1999) e Vivian (2011), esta variação pode ser explicada pela oscilação do processo de decomposição da madeira em decorrência da limitação ou até mesmo bloqueio de processos físicos, químicos ou biológicos que podem ocorrer no processo, logo, é normal que ocorram intervalos de inibição ao longo do mesmo. Além disso, os tratamentos são compostos por produtos químicos de diferentes propriedades, fazendo com que, conseqüentemente, a forma de ação dos mesmos contra os agentes biodeterioradores também ocorra de maneira distinta. Por fim, a madeira é um material heterogêneo, e por isso pode apresentar variações de densidade e composição de lenhos, levando a oscilações durante os períodos de tempo e tratamentos avaliados.

Observa-se que o tratamento Testemunha apresentou diversas oscilações de resistência à carga durante o período analisado, porém, se mostrou inferior quanto a resistência à ruptura aos demais tratamentos analisados, tanto nos primeiros períodos em que as amostras foram submetidas a campo, quanto nos períodos finais, apresentando redução nítida da carga suportada com o decorrer do tempo.

O tratamento Tanino apresentou boa resistência a carga nas amostras retiradas nos primeiros 180 dias, após este período a carga máxima suportada reduziu significativamente, porém com uma oscilação aos 270 dias, que pode ser justificada por alguns aspectos, conforme mencionado anteriormente.

Quanto ao tratamento Tanino+Boro, o mesmo apresentou considerável resistência a carga nas amostras retiradas nos primeiros 135 dias, já após este período a resistência a carga do tratamento regrediu significativamente, mas também apresentou algumas oscilações durante os períodos analisados.

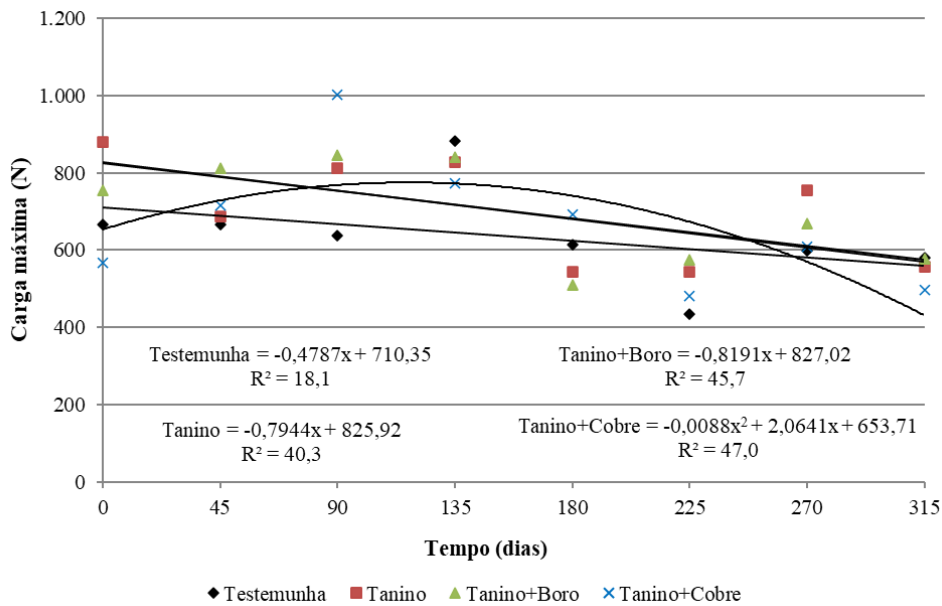
Já o tratamento Tanino+Cobre foi o que apresentou o valor de resistência a carga mais alto, com amostras suportando carga máxima de até 1.002,1 N a 90 dias. Isto pode estar relacionado a heterogeneidade da madeira, que em alguns casos pode apresentar amostras mais densas que outras. Porém, após este período o tratamento apresentou a mesma tendência já observada nos demais tratamentos, com redução significativa da resistência a carga após 180 dias de exposição a campo.

De forma geral, as peças submetidas ao tratamento Tanino foram as que apresentam maior resistência média considerando todos os períodos de avaliação, suportando uma carga de 700,8 N, seguido dos tratamentos Tanino+Boro, Tanino+Cobre e Testemunha, os quais obtiveram valores médios de 698,0, 667,3 e 634,9 N, respectivamente. Porém, não houve diferença significativa entre os mesmos, indicando que a aplicação dos preservantes não apresentou efeito de proteção sobre a carga máxima, considerando todo o período de exposição a campo de apodrecimento.

Uma possível explicação para o pouco efeito de proteção dos tratamentos aplicados a madeira durante o período de exposição a campo é que nenhum deles contava com a presença de um fixador na formulação. Nenhum dos compostos utilizados, seja o tanino, cobre ou boro, são fixadores, o que pode levar a lixiviação destes durante a exposição e contato direto com o solo, perdendo o efeito protetivo sobre a madeira.

A figura 5 representa o comportamento da variável carga máxima ao longo do tempo de avaliação, assim como as equações ajustadas para estimativa da mesma em função do tempo de exposição a campo para cada tratamento avaliado.

Figura 5 – Equações ajustadas para estimativa da carga máxima em função do tempo de exposição a campo.



Fonte: O autor (2023).

As equações que melhor ajustaram-se ao comportamento dos dados foram do tipo linear para os tratamentos Testemunha, Tanino e Tanino+Boro, com um R<sup>2</sup> de 18,1, 40,3 e 45,7%, enquanto que para o tratamento Tanino+Cobre a equação que melhor se ajustou foi do tipo polinomial de 2<sup>a</sup> grau, sendo o comportamento dos dados explicados 47,0% pela mesma.

Vale destacar novamente que na realização de novos estudos sugere-se que sejam adicionados e testados compostos fixadores na formulação, como destacam Thevenon *et al.* (2009), que adicionaram hexametiledotetramina (hexamina) em formulações envolvendo tanino e boro, evitando que o componente boro sofresse lixiviação no solo, e consequente perda de efetividade na preservação da madeira.

A não aplicação de fixadores, como o exemplo do composto hexamina na preparação dos corpos de prova, pode explicar a semelhança do comportamento apresentado pelos tratamentos, que no final das avaliações não apresentaram diferença significativa e efeito sobre a resistência mecânica da madeira.

## 4.2 MÓDULO DE RUPTURA

A tabela 3 demonstra os valores médios obtidos para o módulo de ruptura (N/mm<sup>2</sup>), no ensaio de flexão estática, para os diferentes tratamentos aplicados à madeira de *Pinus taeda*, bem como o efeito do tempo de exposição dos mesmos ao campo de apodrecimento.

Tabela 3 – Módulo de ruptura (N/mm<sup>2</sup>) obtido para a madeira de *Pinus taeda* submetida aos diferentes tratamentos e tempo de exposição ao campo de apodrecimento.

Tempo (dias)	Tratamentos			
	Testemunha	Tanino	Tanino+Boro	Tanino+Cobre
0	33,9 <sup>ABabc</sup>	44,1 <sup>Aa</sup>	37,1 <sup>ABab</sup>	27,5 <sup>Bb</sup>
45	33,4 <sup>Aabc</sup>	35,2 <sup>Aab</sup>	42,0 <sup>Aa</sup>	44,0 <sup>Aa</sup>
90	36,2 <sup>Aab</sup>	39,6 <sup>Aab</sup>	42,3 <sup>Aa</sup>	47,3 <sup>Aa</sup>
135	44,2 <sup>Aa</sup>	46,4 <sup>Aa</sup>	41,2 <sup>Aa</sup>	37,3 <sup>Aab</sup>
180	29,7 <sup>Abc</sup>	27,3 <sup>Ab</sup>	25,8 <sup>Ab</sup>	34,5 <sup>Aab</sup>
225	22,4 <sup>Ac</sup>	28,3 <sup>Ab</sup>	32,3 <sup>Aab</sup>	24,7 <sup>Ab</sup>
270	30,9 <sup>Abc</sup>	35,1 <sup>Aab</sup>	33,5 <sup>Aab</sup>	30,5 <sup>Ab</sup>
315	29,3 <sup>Abc</sup>	30,0 <sup>Ab</sup>	30,2 <sup>Aab</sup>	24,2 <sup>Ab</sup>
<b>Média geral</b>	<b>32,5<sup>A</sup></b>	<b>35,7<sup>A</sup></b>	<b>35,5<sup>A</sup></b>	<b>33,7<sup>A</sup></b>

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não apresentam variação estatística significativa pelo teste de teste de média (Tukey,  $p > 0,05$ ).

Fonte: O autor (2023).

Os fatores tratamento e tempo apresentaram interação significativa, a 5% de significância. Observa-se, por meio do teste de médias, que o módulo de ruptura de todos os tratamentos apresentou tendência de diminuição com o passar do tempo de exposição a campo, com algumas oscilações durante o período avaliado. As justificativas destas oscilações são as mesmas já explanadas para a carga máxima.

Observa-se que todos os tratamentos apresentaram uma queda mais acentuada no módulo de ruptura a partir dos 180 dias de exposição ao campo de apodrecimento, se mantendo praticamente estável até o final das avaliações (315 dias).

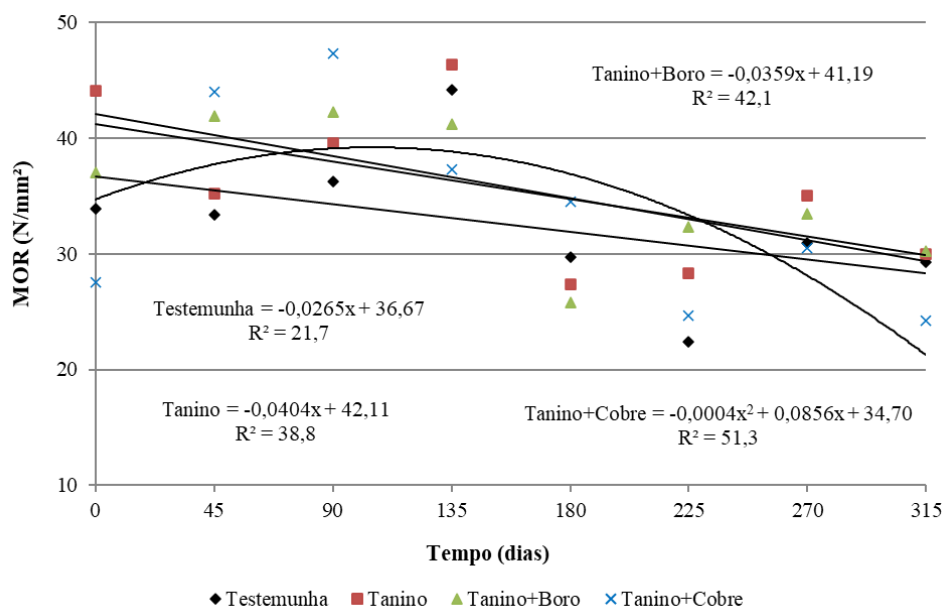
Assim como observou-se para a carga máxima, a média geral do módulo de ruptura das peças submetidas ao tratamento Tanino foi a mais elevada (35,7 N/mm<sup>2</sup>), seguido dos tratamentos Tanino+Boro (35,5 N/mm<sup>2</sup>), Tanino+Cobre (33,7 N/mm<sup>2</sup>) e Testemunha (32,5 N/mm<sup>2</sup>). Entretanto, vale destacar que não houve diferença significativa entre os mesmos, indicando que a aplicação dos preservantes não apresentou efeito de proteção sobre o módulo de ruptura, considerando todo o período de exposição a campo de apodrecimento.



De forma geral, percebe-se que o comportamento dos dados do módulo de ruptura foi similar ao comportamento obtido para a variável carga máxima, onde apesar das oscilações, também apresentaram tendência de diminuição ao longo do tempo de avaliação.

O comportamento do módulo de ruptura ao longo de tempo de avaliação, bem como as equações ajustadas para estimativa do mesmo em função do tempo de exposição a campo para cada tratamento, podem ser observados na figura 6.

Figura 6 – Equações ajustadas para estimativa do módulo de ruptura em função do tempo de exposição a campo.



Observa-se que as equações que melhor ajustaram-se ao comportamento dos dados foram do tipo linear para os tratamentos Testemunha, Tanino e Tanino+Boro, sendo os dados destas representadas 21,7, 38,8 e 42,1%, enquanto que para o tratamento Tanino+Cobre a equação que melhor se ajustou foi do tipo polinomial de 2ª grau, com um R² de 51,3%.

Niles (2020), avaliando o efeito da exposição a campo de apodrecimento na resistência mecânica da madeira de *Pinus taeda* com 15 anos de idade, encontrou valores de MOR iguais a 78 N/mm² na madeira testemunha (sem exposição a campo), já com 6 e 12 meses de exposição, os valores reduziram significativamente para 52 e 40 N/mm².

Trevisan *et al.* (2008), avaliando a resistência mecânica da madeira de 5 diferentes espécies expostas a intempéries climáticas e outras condições de campo, ao longo de 12 meses, em dois ambientes, obtiveram valores de 607 kgf/cm² ou 59,52 N/mm² de MOR para o *Pinus elliottii*. Já Modes *et al.* (2021) encontraram valores de 51,85 N/mm² de MOR para o

*Pinus patula* aos 14 anos de idade, enquanto que Klock (2000) obteve valores médios de 66,07 e 60,59 N/mm<sup>2</sup> para o *Pinus maximinoi* e *Pinus taeda* aos 11 anos de idade, respectivamente.

## 5 CONCLUSÃO

A carga máxima das amostras de madeira de *Pinus taeda* reduziu significativamente ao longo do tempo no campo, com oscilações. No final do período, as peças tratadas com Tanino mostraram a maior carga máxima, seguidas por Tanino+Boro, Tanino+Cobre e Testemunha. Contudo, não houve diferença significativa entre eles, indicando que os preservantes não protegeram a carga máxima durante toda a exposição ao apodrecimento no campo.

O módulo de ruptura das amostras também diminuiu significativamente ao longo do tempo no campo, com variações. Similar à carga máxima, as peças tratadas com Tanino tiveram o maior módulo de ruptura, seguidas por Tanino+Boro, Tanino+Cobre e Testemunha. No entanto, não houve diferença significativa entre eles, sugerindo que os preservantes não protegeram o módulo de ruptura durante o período de exposição ao campo.

Em resumo, tanto para a carga máxima quanto para o módulo de ruptura, os tratamentos preservativos não conseguiram oferecer a proteção desejada às amostras de madeira. Isso pode ser atribuído à falta de agentes fixadores na formulação dos preservantes, assim recomenda-se que em estudos futuros com tanino, seja considerada a inclusão de fixadores para aprimorar a eficácia desse composto na proteção de longo prazo da madeira, garantindo sua durabilidade e resistência contra agentes degradadores.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A.; FERRAZ, A. Mecanismos envolvidos na biodegradação de materiais lignocelulósicos e aplicações tecnológicas correlatas. **Química Nova**, v. 34, n. 10, p. 1729-1738, 2010.
- APRILE, F. M.; DELITTI, W. B. C.; BIANCHINI JR., L. Aspectos cinéticos da degradação de laminados de madeira em ambientes aquático e terrestre. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 59, n. 3, p. 485-492, 1999.
- BERNARDI, L. P. **Pinus preservado (tratado em autoclave)**. 2018. Disponível em: <https://polomadeireiro.com.br/pinus-preservedo-tratado-em-autoclave/>. Acesso em: 15 jun. 2023.
- BRAND, M. A.; ANZALDO, J.; MORESCHI, J. C. Novos produtos para o tratamento preservante da madeira: perspectivas da pesquisa e utilização. **Revista Floresta**, v. 36, n. 1, p. 129-138, 2006.
- CARBALLEIRA, G. A. L.; MILANO, S. Avaliação da durabilidade da madeira e de produtos usados na sua proteção. In: LEPAGE, E.S., (Coord.) **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, v. 2, p. 473-521, 1986.
- CASTRO, V. C.; GUIMARÃES, P. P. **Deterioração e preservação da madeira**. Mossoró: EDUFERSA, 2001. Disponível em: <https://livraria.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/165/2019/02/deterioracao-e-preservacao-da-madeira002.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2023.
- COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS – COPANT. **COPANT 30: 1-006**: maderas: método de determinación de flexión estática. La Paz: COPANT, 1972.
- COSTA, A. F. C.; VALE, A. T.; GONZALEZ, J. C.; SOUZA, F. D. M. Durabilidade de madeiras tratadas e não tratadas em campo de apodrecimento. **Floresta e Ambiente**, v. 12, n. 1, p. 07-14, 2005.
- DOSSA, D.; MONTOYA, L. J.; LUDWIG, M. **Um estudo de caso**: Produção e mercado do Pinus. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/303960/1/comtec53.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2023.
- EATON, R. A.; HALE, M. D. C. **Wood**: decay, pests and protection. Londres: Chapman & Hall, 1993. Disponível em: <https://www.worldcat.org/pt/title/wood-decay-pests-and-protection/oclc/027173509>. Acesso em: 09 set. 2023.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Cultivo do Pinus. Colombo: **Embrapa Florestas**, 2011.
- EUCATEX FLORESTAL. Plano de Manejo Florestal: Sumário Público. 2023. Disponível em: [https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/static.eucatex.aatb.com.br/Uploads/Arquivos/Institucional/Sumario\\_Publico\\_do\\_Manejo\\_Florestal.pdf](https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/static.eucatex.aatb.com.br/Uploads/Arquivos/Institucional/Sumario_Publico_do_Manejo_Florestal.pdf). Acesso em: 20 nov. 2023.

GONZAGA, A. L. **Madeira: Uso e Conservação**. Brasília: IPHAN/MONUMENTA, 2006. Disponível em: [http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/CadTec6\\_MadeiraUsoEConservacao.pdf](http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/CadTec6_MadeiraUsoEConservacao.pdf). Acesso em: 15 jun. 2023.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório Anual**. 2022. Disponível em: [relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf](#). Acesso em: 17 out. 2022.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E Moore**. 2000. Dissertação (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

LOPES, D. J. V. **Influência da concentração na ascensão de soluções preservativas preparadas com CCB em moirões de *Eucalyptus***. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011.

MAINA, A. **Avaliação da resistência mecânica e influência na cor da madeira de *Pinus sp.* Sob a ação das intempéries**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2017.

MENEGUSSI, M. **Preservantes a base de tanino visando a proteção da madeira de *Pinus taeda* contra o apodrecimento**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba, 2021.

MODES, K. S. *et al.* Caracterização mecânica e biológica da madeira de *Pinus patula* Schltdl & Cham para indicações de uso. In: VANGELISTA, W. V. Madeiras nativas e plantadas no Brasil: Qualidade, pesquisas e atualidade. **Editora Científica Digital**, p. 192-204, 2021.

MORESCHI, J. C. **Biodegradação e preservação da madeira**. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR, 2013. E-book. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/BIODETERIORACAO.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2023.

NILES, J. E. **Efeito do tempo de exposição a campo na durabilidade natural das madeiras de *Cryptomeria japonica*, *Cupressus lusitanica* e *Pinus taeda***. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba, 2020.

OLIVEIRA, W. C. *et al.* Agentes biodeterioradores da madeira. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira, 3, 2017, Florianópolis. **Anais III CBCTEM**, Florianópolis: UFMG, 2017. p. 1-10. Disponível em: [galoa-proceedings--cbctem--61444.pdf](#). Acesso em: 29 set. 2023.

POTULSKI, D. C. **Densidade e retratibilidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore e *Pinus taeda* L.** 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

SAMPAIO, F. G.; BOIJINK, C. L.; RANTIN, F. T. **O uso de sulfato de cobre em ecossistemas aquáticos: fatores que afetam sua toxicidade em peixes de água doce.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2013.

SANTINI, E. J. **Biodeterioração e preservação da madeira.** Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1988.

SCHWARZE, F.; ENGELS, J.; MATTHECK, C. **Fungal strategies of decay in trees.** Berlin: Springer, 2000.

SELLE, G. L.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Classificação de sítio para *Pinus taeda* L., através da altura dominante, para a região de Cambará do Sul, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 4, n. 1, p. 77-94, 1994.

SILVEIRA, A. G. **Utilização do tanino como preservante natural da madeira de *Acacia mearnsii* e sua toxidez ao fungo apodrecedor *Pycnoporus sanguineus*.** 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

SOUZA, R. V.; DEMENICHI, A. L. Tratamentos preservantes naturais de madeiras de floresta plantada para construção civil. **Mix Sustentável**, v. 3, n. 5, p. 84-92, 2017.

TEIXEIRA, J. G. **Efeito preservativo de produtos químicos naturais e do tratamento térmico na biodeterioração da madeira de *Pinus caribaea* Morelet.** 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.

THEVENON, M. F.; TONDI, G.; PIZZI, A. High performance tannin resin- boron wood preservatives for outdoor end-uses. **European Journal of Wood Products**, Heidelberg, v. 67, n. 1, p. 89-93, 2009.

TONDI, G. *et al.* Durability of tannin-boron-treated timber. **BioResources**, v. 7, n. 4, p. 138-51, 2012.

TREVISAN, H.; MARQUES, F. M. T.; CARVALHO, A. G. degradação natural de toras de cinco espécies florestais em dois ambientes. **Floresta**, v. 38, n. 1, p. 33-41, 2008.

VIDAL, J. M. *et al.* Preservação de madeiras no Brasil: histórico, cenário atual e tendências. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 257-271. 2015.

VIVIAN, M. A. *et al.* Qualidade e eficiência de produtos naturais no tratamento preservativo das madeiras de *Araucaria angustifolia*, *Eucalyptus viminalis* e *Pinus taeda*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 19, n. 1, p. 35-47, 2019.

VIVIAN, M. A. **Resistência biológica da madeira tratada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloezina* em ensaios de laboratório e campo.** 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

ZORTÉA, T. *et al.* Toxicidade do cobre em função da correção do pH em dois solos naturais – Uma abordagem com plantas e organismos edáfico. **Revista Scientia Agraria**, v. 17, n. 1, p. 1-9. 2016.