

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

Milena Menegussi

Preservantes a base de tanino visando a proteção da madeira de *Pinus taeda* contra o apodrecimento

Curitibanos, SC

2021

Milena Menegussi

Preservantes a base de tanino visando a proteção da madeira de *Pinus taeda* contra o apodrecimento

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

Orientador: Prof. Dr. Magnos Alan Vivian

Coorientador: Prof. Dr. Cristian Soldi

Curitibanos, SC

2021

Menegussi, Milena

Preservantes a base de tanino visando a proteção da madeira de Pinus taeda contra o apodrecimento / Milena Menegussi ; orientador, Magnos Alan Vivian, coorientador, Cristian Soldi, 2021.

46 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal, Curitibanos, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia Florestal. 2. Preservantes de madeira. 3. Campo de apodrecimento . I. Vivian, Magnos Alan . II. Soldi, Cristian. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título.

Milena Menegussi

Preservantes a base de tanino visando a proteção da madeira de *Pinus taeda* contra o apodrecimento

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, 03 de Setembro de 2021.



Documento assinado digitalmente
Mario Dobner Junior
Data: 07/09/2021 07:46:30-0300
CPF: 034.250.659-55
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Mario Dobner Jr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
Magnos Alan Vivian
Data: 03/09/2021 13:28:27-0300
CPF: 007.088.210-06
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Magnos Alan Vivian
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
Cristian Soldi
Data: 03/09/2021 13:40:19-0300
CPF: 032.633.289-51
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Cristian Soldi
Avaliador

Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
Djalma Eugenio Schmitt
Data: 03/09/2021 13:48:13-0300
CPF: 050.180.539-76
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Djalma Eugênio Schmitt
Avaliador

Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado ao meu avô Antônio Menegussi (*in memoriam*) pelas histórias do mundo florestal e a minha tia Marlides Sangaletti (*in memoriam*) pelos momentos juntas. Gostaria de ter tido mais tempo. Saudades!

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida.

À Universidade Federal de Santa Catarina e aos docentes do curso de Engenharia Florestal por todo apoio e dedicação.

Ao Prof. Dr. Magnos Alan Vivian pela orientação, amizade, paciência e participação ativa no desenvolvimento deste estudo.

Ao Prof. Dr. Cristian Soldi pela disponibilidade e ajuda com a preparação dos preservantes.

Aos servidores e técnicos-administrativos da Universidade Federal de Santa Catarina pela prestação de serviços à comunidade acadêmica.

À Universidade de São Paulo e a empresa SR4 Soluções pelas oportunidades de estágio.

À minha família, em especial aos meus pais, Melânia e Claudio. Obrigada pela dedicação e amor, vocês me incentivam e me inspiram.

Aos amigos queridos que participaram ativamente da instalação do experimento e àqueles que contribuíram para execução deste trabalho de forma geral. Obrigada pelo apoio, com vocês tudo ficou mais leve.

A todos que participaram da minha vida acadêmica e se tornaram amigos e/ou colegas de profissão.

Muito obrigada!

RESUMO

Considerando a substituição acelerada de madeiras nobres por madeiras naturalmente menos duráveis, a avaliação de preservantes alternativos mostra-se importante. Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar a qualidade e a eficiência do tanino e de aditivos na preservação da madeira de *Pinus taeda* contra agentes biodeterioradores em ensaio de apodrecimento a campo. Para tal, foram confeccionados corpos de prova da madeira de *Pinus taeda* com dimensões de 20,0 x 20,0 x 300,0 mm (sendo a última dimensão no sentido longitudinal) que foram submetidos ao tratamento preservante por imersão a frio, com Tanino, Tanino+Boro e Tanino+Cobre, além da Testemunha, que não recebeu nenhum tratamento. Aplicaram-se as concentrações de 5% de tanino, e 1% de aditivos (boro ou cobre). Determinou-se a densidade da madeira, bem como os parâmetros de qualidade (penetração e retenção) e de eficiência (ensaio de apodrecimento a campo) dos tratamentos preservantes. Na avaliação da eficiência, a madeira foi exposta ao ensaio de campo, em ambiente aberto, em contato direto com o solo, com avaliações ao longo do tempo (a cada 45 dias, até o total de 315 dias de exposição). Após as coletas, determinaram-se os valores de perda de massa e índice de deterioração das amostras. Com base nos resultados obtidos, observaram-se os valores de 0,347 g/cm³ para densidade básica, 0,416 g/cm³ para densidade aparente (12% de umidade) e 1,008 g/cm³ para densidade verde. Nos ensaios a respeito da qualidade do tratamento preservante todos os tratamentos apresentaram penetração total na seção transversal externa, e parcial periférica na seção transversal interna. Quanto a retenção, os tratamentos Tanino e Tanino+Boro apresentaram médias de 7,47 kg/m³ e 7,42 kg/m³, respectivamente, enquanto que o tratamento Tanino+Cobre obteve um resultado de 10,99 kg/m³, diferindo estatisticamente dos demais. Em relação a eficiência dos tratamentos preservantes, a Testemunha teve a maior perda de massa geral (4,04%) ao final das avaliações, seguida das madeiras tratadas com Tanino (3,90%), Tanino+Boro (3,66%) e Tanino+Cobre (1,44%). Novamente, o tratamento com o aditivo cobre foi o único a diferir estatisticamente dos demais. Quanto ao índice de deterioração, o mesmo apresentou comportamento decrescente ao longo do tempo, em quase todas as avaliações e tratamentos. O tratamento Tanino+Cobre obteve os melhores resultados, alcançando média geral de 99, diferindo-se estatisticamente como melhor resultado. Os demais tratamentos foram considerados estatisticamente iguais e apresentaram média geral de 80, 84 e 83 para a Testemunha, Tanino e Tanino+Boro, respectivamente. Assim, o tratamento Tanino+Cobre apresentou os melhores resultados em todas as avaliações, indicando que o cobre é o aditivo mais recomendado para ser utilizado em conjunto com o tanino.

Palavras-chave: Madeira tratada. Campo de apodrecimento. Qualidade. Eficiência. Tratamento preservante.

ABSTRACT

Seeming the accelerated replacement of hardwoods by naturally fewer durable wood, the evaluation of alternative preservatives is important. Therefore, the objective of this study was to evaluate the quality and efficiency of tannin and additives in the preservation of *Pinus taeda* wood against biodeteriorating agents in a field decay test. Samples of *Pinus taeda* wood were made with dimensions of 20.0 x 20.0 x 300.0 mm (height, width and length) which were prepared for the preservative treatment by immersion, with Tannin, Tannin+Boron, Tannin+Copper and another one, named Attestant, with no treatment. Concentrations of 5% of tannin and 1% of additives (boron or copper) were applied. The wood density was determined, as well as the quality parameters (penetration and retention) and efficiency (rot test in the field) of the preservative treatments. For the evaluation of efficiency, the wood was exposed to field testing, in an open environment, in direct contact with the soil, with evaluations over time (every 45 days, up to a total of 315 days of exposure). After the collections, the values of mass loss and deterioration index of the samples were determined. Based on the obtained results, values of 0.347 g/cm³ for basic density, 0.416 g/cm³ for apparent density (12% moisture) and 1.008 g/cm³ for green density were observed. In the quality trials of the preservative treatment, all treatments showed total penetration in the outer cross section, and partial peripheral penetration in the inner cross section. About retention, the Tannin and Tannin+Boron treatments had averages of 7.47 kg/m³ and 4.42 kg/m³, respectively, the Tannin+Copper treatment obtained a result of 10.99 kg/m³, it's differing statistically from the others. Regarding the efficiency of the preservative treatments, the Attestant had the greatest mass loss (4.04%), followed by the wood treated with Tannin (3.90%), Tannin+Boron (3.66%) and Tannin+Copper (1.44%) at the end of the evaluations. Again, the treatment with the copper additive was the only one to differ statistically from the others. About deterioration index, it presented a decreasing behavior over time, in almost all evaluations and treatments. The Tannin+Copper treatment obtained the best results, reaching an average of 99 and differing statistically as the best result. The other treatments were considered statistically equal and had a final average of 80, 84 and 83 for the Attestant, Tannin and Tannin+Boron, respectively. Thus, the Tannin+Copper treatment showed the best results in all evaluations, indicating that copper is the most recommended additive to be used together with tannin.

Keywords: Treated wood. Rotting field. Quality. Efficiency. Preservative treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Desdobro da madeira e dimensionamento dos corpos de prova.	21
Figura 2 – Pesagem e medição dos corpos de prova.	22
Figura 3 – Preparo dos corpos de prova para determinação das densidades.	23
Figura 4 – Tratamentos preservantes.	25
Figura 5 – Secagem natural dos corpos de prova tratados.	26
Figura 6 – Análise da penetração do produto preservante.	27
Figura 7 – Croqui do campo de apodrecimento.	28
Figura 8 – Área destinada a instalação de Campos de Apodrecimento.	29
Figura 9 – Análise visual da penetração dos produtos preservantes.	34
Figura 10 – Comportamento da perda de massa ao longo do tempo de exposição.	37
Figura 11– Comportamento do índice de deterioração ao longo do tempo de exposição.	39
Figura 12 – Comparação do aspecto dos corpos de prova após as avaliações.	40
Figura 13 – Ataque de agentes biodegradadores na madeira exposta a campo.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tratamentos preservantes e concentrações dos compostos utilizados.....	24
Tabela 2 – Classificação do índice de deterioração da madeira	30
Tabela 3 – Densidade básica, aparente e verde da madeira de <i>Pinus taeda</i>	32
Tabela 4 – Resultados da análise da penetração dos produtos preservantes.	33
Tabela 5 – Resultados da análise da retenção dos produtos preservantes.	35
Tabela 6 – Perda de massa da madeira de <i>Pinus taeda</i> ao longo do período de exposição ao campo de apodrecimento.	36
Tabela 7 – Índice de deterioração da madeira de <i>Pinus taeda</i> ao longo do período de exposição ao campo de apodrecimento.	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AEF – Área Experimental Florestal

CCA – Arsenato de Cobre Cromatado

CCB – Borato de Cobre Cromatado

COPANT – Comisión Panamericana de Normas Técnicas

DBC – Delineamento em Blocos Casualizados

DIC – Delineamento Inteiramente Casualizados

IAWA – International Association of Wood Anatomists

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IN – Instrução Normativa

IPBC – 3-iodo-propinil-butil-carbamato

LRF – Laboratório de Recursos Florestais

NBR – Norma Brasileira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	OBJETIVO	14
1.1.1	Objetivo Geral.....	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE	15
2.2	PRESERVAÇÃO DA MADEIRA CONTRA AGENTES BIÓTICOS	15
2.2.1	Produtos preservantes tradicionais.....	17
2.2.2	Tanino e seus aditivos.....	18
2.3	ENSAIO DE APODRECIMENTO A CAMPO	19
3	MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1	OBTENÇÃO E PREPARO DOS CORPOS DE PROVA.....	21
3.2	DENSIDADE BÁSICA E APARENTE DA MADEIRA	22
3.3	PRESERVANTES E TRATAMENTO DOS CORPOS DE PROVA	24
3.4	QUALIDADE DO TRATAMENTO PRESERVANTE	26
3.4.1	Penetração	26
3.4.2	Retenção.....	27
3.5	EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO PRESERVANTE – ENSAIO DE CAMPO	27
3.5.1	Perda de massa.....	29
3.5.2	Índice de deterioração	30
3.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1	DENSIDADE BÁSICA E APARENTE DA MADEIRA	32
4.2	QUALIDADE DO TRATAMENTO PRESERVANTE	33
4.2.1	Penetração	33
4.2.2	Retenção.....	35
4.3	EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO PRESERVANTE.....	36
4.3.1	Perda de massa.....	36
4.3.2	Índice de deterioração	38
5	CONCLUSÃO.....	42
	REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, existe uma gama de produtos registrados no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) cuja finalidade é atuar na preservação da madeira como fungicida e/ou inseticida. No entanto, alguns destes compostos possuem restrições ao seu uso devido à presença de componentes tóxicos, que geram preocupações socioambientais. Ainda, alguns destes produtos podem tornar-se uma problemática do ponto de vista econômico, seja pelo custo de seus princípios ativos, ou pela sua aceitação no mercado consumidor.

Devido a crescente preocupação com o aumento da qualidade e eficiência dos produtos preservantes de madeira aliado à preocupação socioambiental, tem-se a necessidade de novas formulações que atendam a essas expectativas. Assim, requisitos básicos de qualidade, segurança, custo e durabilidade servem como base para o investimento em pesquisas voltadas à descoberta de substâncias preservantes de baixa toxidez, ou ainda, atóxicas. Com isso, espera-se apresentar ao mercado madeireiro alternativas eficientes em dosagens corretas para o auxílio do tratamento da madeira, principalmente quando a mesma se encontra em condições de vulnerabilidade.

Assim, alguns compostos naturais mostram-se promissores na preservação da madeira, como o tanino, óleo de nim e *tall oil* (VIVIAN *et al.*, 2020). Os mesmos autores citam ainda que uma alternativa para melhorar a eficácia dos produtos naturais como preservantes de madeira é o uso de aditivos, com o objetivo de aumentar a sua fixação na mesma. Entre os aditivos que podem potencializar a ação biocida do tanino, tem-se os sais de boro e cobre, que atuam contra agentes deteriorantes do material lenhoso (JORGE *et al.*, 2001; BOSSARDI, 2014).

Desta forma, espera-se obter novas formulações de produtos preservantes que apresentem eficiência contra xilófagos deterioradores da madeira e causem o menor impacto possível ao meio ambiente. Ainda, deve-se levar em consideração, como cita Rocha (2001), a situação de uso da madeira, visto a dificuldade de atender a todas as exigências de custo, toxidez, aquisição, permanência, inalteração das características físicas e mecânicas da madeira, não ser corrosivo, nem inflamável, em um só produto.

Em relação a avaliação da eficiência dos tratamentos, tem-se os ensaios de campo, que visam expor a madeira a situações reais de uso, considerando o ataque de xilófagos (microrganismos, como bactérias e fungos, além de insetos) e condições ambientais do lugar

de instalação do experimento. Assim, são pertinentes ao teste da durabilidade natural de espécies, bem como ao teste de preservantes naturais ou químicos que visam aumentar a durabilidade e vida útil de madeiras provindas de florestas plantadas.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade e a eficiência do tanino e de aditivos na preservação da madeira de *Pinus taeda* contra agentes biodeterioradores em ensaio de apodrecimento a campo, determinando o melhor tratamento preservante.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a madeira quanto a sua densidade básica, aparente e verde;
- Avaliar a qualidade do tratamento por meio da penetração e retenção dos preservantes;
- Avaliar a eficiência do tratamento com base na perda de massa e índice de deterioração;

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE

Os plantios comerciais com o gênero *Pinus* iniciaram no Brasil entre as 1966 e 1986, com a introdução das espécies *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* nas regiões Sul e Sudeste do país. Com o surgimento de pesquisas em melhoramento genético e redes experimentais instaladas a partir do século XX, o Brasil tornou-se referência em produção de madeira deste gênero para os mais diversos fins, como celulose, papel, embalagens e painéis (AGUIAR *et al.*, 2019).

No Brasil, a área plantada com gênero *Pinus* manteve-se estável em relação aos últimos anos, com uma concentração maior nos estados do Paraná (44%), Santa Catarina (26%), Rio Grande do Sul (17%) e São Paulo (9%), totalizando cerca de 1,64 milhão de hectares, com uma produtividade média de 31,3 m³/ha/ano (IBÁ, 2020).

No geral, a madeira de *Pinus* é suscetível ao ataque de xilófagos, resultando na perda do valor estético e físico-mecânico (AGUIAR; MAGALHÃES, 2011), daí a importância da aplicação de um preservante eficiente que contribuirá para o aumento de sua durabilidade. O gênero *Pinus* possui cerca de 100 espécies nativas de regiões temperadas e tropicais, que possuem, no geral, madeira branca, amarela e vermelha, quando classificadas macroscopicamente. Em especial, a madeira de *Pinus taeda* apresenta uma textura que varia entre macia e moderadamente dura, coloração amarelo-claro e boa capacidade de impregnação de preservantes (BERNI *et al.*, 1979; USDA FOREST SERVICE, 2004 apud RALL, 2006).

O *Pinus taeda* é a espécie do gênero *Pinus* de maior importância comercial nos Estados Unidos. No Brasil, a espécie é a mais plantada na região Sul do país, voltada principalmente a produção de celulose, papel, madeira serrada, chapas e painéis de madeira reconstituída (AGUIAR *et al.*, 2011).

2.2 PRESERVAÇÃO DA MADEIRA CONTRA AGENTES BIÓTICOS

Basicamente, a preservação de madeiras pode ser definida como um processo que confere um aumento da sua resistência biológica, a partir da adição, de forma proporcional, de substâncias tóxicas ou repelentes a xilófagos. Assim, os preservativos podem ser classificados de acordo com sua natureza física (oleosos, oleossolúveis e hidrossolúveis), espectro de

atuação (fungicidas, inseticidas ou ambos), finalidade (tratamento preservativo/preventivo, pré-tratamento, tratamento curativo) e forma de aplicação (com pressão, sem pressão, uso tópico) (LEPAGE *et al.*, 2017).

A princípio, o ato de submeter a madeira ao processo de tratamento preservante possui duas finalidades, a primeira relaciona-se com a precaução contra danos estéticos ao material, e a segunda diz respeito à proteção de suas características físicas e mecânicas. Assim, a aplicação de substâncias preservantes são indispensáveis quando as condições de uso da madeira são propícias ao desenvolvimento e ataque de agentes biodegradadores (ROCHA, 2001).

Vale ressaltar a dificuldade de um só produto atender a todas as exigências relacionadas a custo, toxidez, facilidade de aquisição, permanência, inalteração de características físicas e mecânicas da madeira, não ser corrosivo, nem inflamável. Diante disso, deve-se sempre considerar a madeira utilizada, bem como sua situação de uso para escolher a melhor opção de produto preservante (ROCHA, 2001).

Ainda, a substituição acelerada de madeiras nobres (naturalmente mais duráveis) por madeiras menos nobres (naturalmente menos duráveis) para usos em grande escala, destaca a importância do mercado voltado a preservação de madeiras, uma vez que as mesmas apresentam suscetibilidade ao ataque de xilófagos. Isso ocorre devido à presença de grandes porções de alburno, ocasionadas pelo crescimento acelerado e que exigem, portanto, tratamento preservante (LEPAGE *et al.*, 2017).

Assim, devido a grande demanda de produtos madeireiros provindos de florestas plantadas, é essencial que a preservação destes materiais possua um foco direto na qualidade da madeira tratada, considerando aspectos de penetração e retenção de novas formulações. Além disso, deve-se observar as características da espécie, seu uso e o método de tratamento (LOPES, 2011).

A preservação deve ser vista, por tanto, como um investimento, e não como um simples custo adicional. Isso porque o tratamento preservante proporciona à madeira uma durabilidade competitiva aos demais materiais, o que pode incentivar seu uso em diversos setores, além de gerar uma maior economia dos recursos florestais (MENDES *et al.*, 2014).

2.2.1 Produtos preservantes tradicionais

Existem diversos produtos atualmente cadastrados no IBAMA, e que possuem eficiência na preservação da madeira contra fungos e insetos. Dentre os preservantes oleosos, destacam-se o Creosoto, produto destilado do alcatrão e o Quinolinolato de Cobre 8 (Cobre-8-quinolato), fungicida atóxico a mamíferos e potencialmente utilizado para tratamento de madeiras que possuem contato direto com gêneros alimentícios (MORESCHI, 2013).

Entre os químicos oleossolúveis, destaca-se o Tribromofenol, amplamente utilizado em países asiáticos no controle de fungos manchadores e insetos do gênero *Lyctus* sp. No Brasil, o Tribromofenol aparece como alternativa ao uso do pentaclorofenol (proibido no Brasil em 2006 pelo IBAMA na IN nº 132), mostrando-se inferior a esse composto devido a sua rápida deterioração na madeira, que pode ser justificada pelos fatores climáticos do país (MORESCHI, 2013), onde seu principal uso refere-se ao tratamento temporário contra fungos emboloradores e manchadores em serrarias. Outros oleossolúveis que são comercializados, com autorização do IBAMA, são à base de Deltametrina, Cipermetrina e IPBC (3-iodo-propinil-butil-carbamato).

Quando se trata de compostos preservantes hidrossolúveis, acentua-se o uso do Arseniato de Cobre Cromatado (CCA), amplamente utilizado na imunização de madeiras, mas que gerou preocupação devido à suspeita de volatilização do arsênio, componente altamente tóxico; Borato de Cobre Cromatado (CCB), utilizado como alternativa ao CCA no combate a fungos, insetos e brocas marinhas, mostrando-se menos resistente a lixiviação; e o Tribromofenato de sódio, utilizado como fungicida para madeira verde (MORESCHI, 2013).

Diante disso, destaca-se que madeiras tratadas com preservantes químicos, possuem baixo potencial de serem reutilizadas, devido à toxidez de seus resíduos, além de restrições de uso devido a seus componentes, por isso, a busca por produtos alternativos vêm ganhando espaço no mercado de madeiras tratadas. Desta forma, reforça-se a importância das questões ambientais e sociais envolvidas na produção, processamento e utilização desse tipo de material (VIDAL, 2015).

Produtos já consolidados no mercado madeireiro, como o CCA, tem seu uso restringido em alguns países como Estados Unidos, Japão e Austrália, por exemplo, devido à especulação de sua toxidez a humanos expostos por longos períodos. Com isso, mesmo existindo espécies florestais com madeira de alta durabilidade natural, algumas questões como a valorização econômica, disponibilidade e taxa de crescimento tornam as mesmas inviáveis

para produção em massa, acrescentando relevância ao uso de compostos preservantes menos tóxicos em madeiras mais acessíveis (LEPAGE *et al.*, 2017).

2.2.2 Tanino e seus aditivos

A resistência natural de algumas espécies florestais muitas vezes é atribuída à formação de compostos secundários, de origem fenólica, durante a transformação de alburno em cerne. Tais compostos conferem a madeira toxidade a organismos xilófagos, e por isso vêm sendo utilizados como princípio ativo para novos preservantes madeireiros, tornando-se uma alternativa menos tóxica ou atóxica ao meio ambiente e aos animais (BOSSARDI, 2014).

Nesse contexto surgem os taninos, que são compostos fenólicos que podem ser encontrados em diversas partes das plantas, principalmente madeira e casca, variando sua quantidade a depender da espécie utilizada para extração. Por suas propriedades antioxidantes e microbianas tornam-se eficientes contra fungos e insetos, o que sugere seu uso em combinação ou não com outros compostos, na imunização da madeira contra xilófagos, servindo como um meio alternativo com toxidade reduzida em relação aos preservantes disponíveis no mercado atual (BOSSARDI, 2014).

Como tentativa de aumentar a eficiência de compostos à base de tanino na preservação da madeira, a adição de sais metálicos às formulações pode apresentar um potencial interessante. Os sais de boro caracterizam-se por sua baixa toxidez a mamíferos e alta eficácia contra insetos que atacam as madeiras, podendo aumentar seu grau de fixação na presença de taninos. (JORGE *et al.*, 2001; BOSSARDI, 2014). Ainda, o boro possui boa solubilidade em água, o que permite sua aplicação na madeira através de tratamentos convencionais como imersão-difusão e pressão de vácuo, além de não apresentar odor, coloração e inflamabilidade (TONDI *et al.*; 2012a).

Quando utilizados em conjunto com flavonoides, como é o caso do tanino, recomenda-se um valor mínimo de 2,5 kg/m³ de boro para garantia de sua eficiência (TONDI *et al.*; 2012a). De acordo com Drysdale 1994; Lesar e Humar 2009 apud Tondi *et al.* (2012b), a ação biocida do boro não é influenciada negativamente frente a sua interação com o tanino, ou seja, sua letalidade a xilófagos ainda é eficiente, mesmo em baixas concentrações. De forma geral, o boro não representa grandes riscos a saúde humana, exceto pela ingestão a níveis de 5-20 gramas, e nem oferece preocupações ambientais. Porém, quando exposto a umidade possui altas taxas de lixiviação, quando não combinado com outros compostos. Vale

destacar, que o boro não é volátil, não alterando a qualidade do ar e é pouco móvel no solo, o que reduz as chances de contaminação, porém pode inibir o crescimento de plantas e tornar-se tóxico quando em grandes quantidades (RAMOS, 2003).

O íon metálico cobre também é promissor, pois além da sua compatibilidade química com o tanino, apresenta toxicidade a quase todos os agentes deteriorantes do material lenhocelulósico, especialmente fungos (JORGE *et al.*, 2001; BOSSARDI, 2014). A interação do tanino com o cobre resulta na formação de quelatos, que podem auxiliar na estabilidade química do composto (ISENMAMM, 2012 apud MARCHINI, 2015).

Ainda, de acordo com Lopes (2011), o uso desse elemento em contato com o solo é recomendado devido a sua eficiência contra fungos apodrecedores, que nessas condições apresentam maior probabilidade de ataque à madeira. No entanto, vale destacar que quando em quantidades elevadas no solo, o cobre pode desencadear efeitos negativos no desenvolvimento das plantas e organismos da fauna edáfica, causando um desequilíbrio do ecossistema (AMORIM *et al.*, 2008 apud ZORTÉA *et al.*, 2016). Além disso, mesmo em pequenas concentrações, pode apresentar grau de toxidez para a biota aquática (NRIAGU, 1990 apud SAMPAIO *et al.*, 2013).

2.3 ENSAIO DE APODRECIMENTO A CAMPO

A madeira é um material de origem orgânica, logo, está sujeita a ação de biodeterioradores como microrganismos, insetos e brocas marinhas, além de reações químicas, a depender do ambiente ao qual ela está submetida. Algumas espécies possuem alta resistência natural a tais condições, no entanto elas advêm de florestas nativas, sendo então a preservação de espécies de florestas plantadas uma alternativa promissora a resolução de tais problemas (VIVIAN, 2011).

Em ensaios de apodrecimento a campo, a madeira é submetida a situações reais de uso, sendo exposta de forma imprevisível e incontrolável a períodos de lixiviação, luz solar, agentes xilófagos, secagem, entre outros. Assim, esse tipo de ensaio pode ser utilizado para avaliar a resistência da madeira e/ou a eficiência de produtos preservantes, através de inspeções periódicas que visam acompanhar a sanidade do material (COSTA *et al.*, 2005).

Visando caracterizar a resistência da madeira preservada ou não, torna-se relevante considerar avaliações com peças de pequenas dimensões, para que estas informações possam

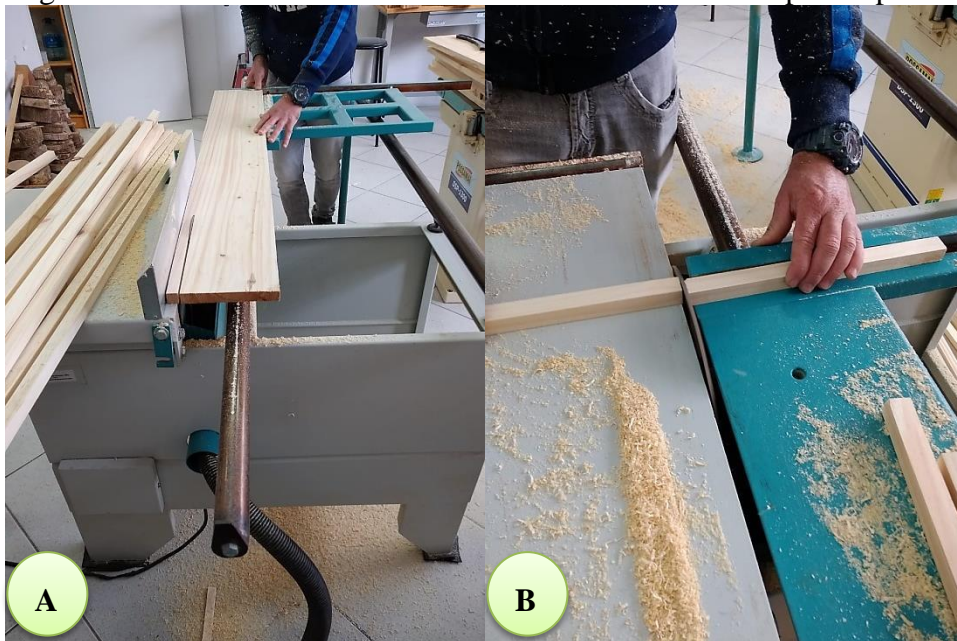
ser apuradas em um menor espaço de tempo, quando comparadas a experimentos utilizando porções maiores da árvore (MARCONDES *et al.*, 2013).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 OBTENÇÃO E PREPARO DOS CORPOS DE PROVA

A madeira de *Pinus taeda* foi adquirida em uma serraria localizada no município de Curitibaanos, Santa Catarina, na forma de tábuas de 1,5 m de comprimento, 20,0 cm de largura e 2,0 cm de espessura, já aplainadas e secas. Esse material foi desdobrado no Laboratório de Recursos Florestais (LRF), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), com o auxílio de uma serra esquadrejadeira (Trifásico 3CV 1.700 MM SEC-1 Baldan, Figura 1), visando a obtenção de corpos de prova com dimensões de 20,0 x 20,0 x 300,0 mm (sendo a última dimensão no sentido longitudinal), conforme a norma COPANT 30:1 – 006 (1972).

Figura 1 – Desdobro da madeira e dimensionamento dos corpos de prova.



Fonte: Autor (2020).

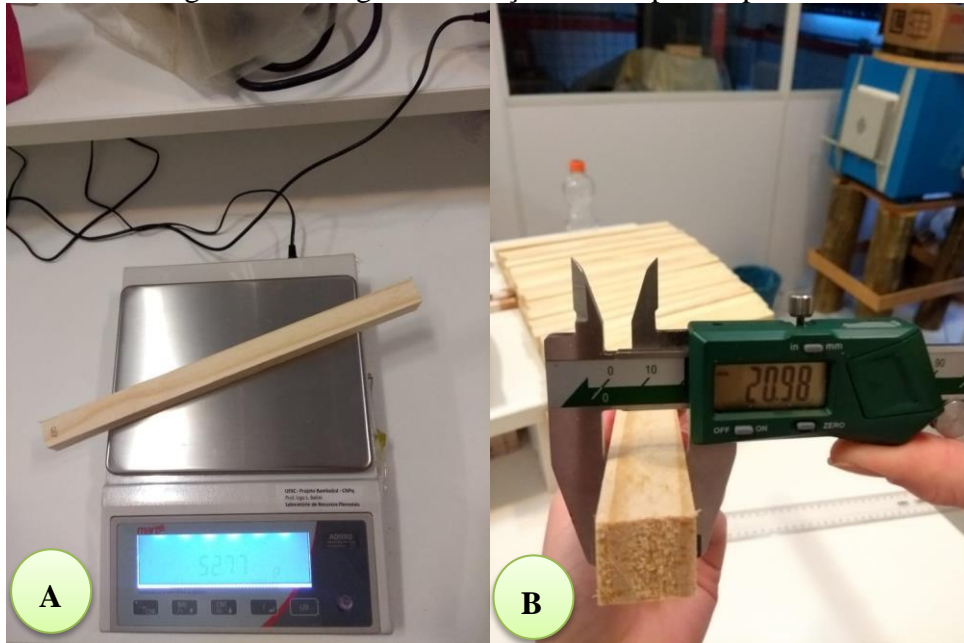
A: corte longitudinal; B: ajuste do comprimento.

Após o desdobro, foram selecionadas visualmente as melhores amostras, excluindo peças lascadas, com a presença de resina, nós, ou que não atendiam as dimensões propostas. Assim, 180 amostras foram dispostas em uma estufa de secagem a uma temperatura de 60°C por aproximadamente uma semana, para que a umidade das peças fosse estabilizada.

Logo, quando retirados da estufa, cada corpo de prova foi pesado com o auxílio de uma balança digital semi-analítica com precisão de 0,01g para determinação de sua massa

(que foi utilizada no cálculo de retenção, considerada antes do tratamento preservante) e teve suas dimensões medidas no sentido radial e tangencial, nas duas extremidades da peça com o auxílio de um paquímetro digital (Figura 2), e seu comprimento com o auxílio de uma régua graduada.

Figura 2 – Pesagem e medição dos corpos de prova.



Fonte: Autor (2020).

A: pesagem dos corpos de prova; B: medição das dimensões.

3.2 DENSIDADE BÁSICA E APARENTE DA MADEIRA

Visando realizar ensaios para determinar a densidade básica e aparente do material, foram confeccionados 12 corpos de prova com dimensões de 2,0 x 2,0 x 5,0 cm (largura, espessura e comprimento), medidas essas muito próximas a recomendação da norma brasileira NBR 7.190 (1997), que é de 3,0 x 2,0 x 5,0 cm. Logo, de acordo com Rezende *et al.* (1988), a densidade aparente relaciona a massa e o volume da madeira em mesmas condições de umidade, enquanto que a densidade básica define-se como a relação entre a massa seca e o volume saturado da madeira.

Para determinação das densidades, metade das amostras foram dispostas em câmara climática, com umidade e temperatura controladas a 65% de umidade relativa do ar e 20°C, o que indica a estabilização das mesmas a 12% de umidade conforme a norma NBR 7.190 (1997). Os demais corpos de prova foram deixados submersos em água para saturação total das fibras da madeira, conforme Figura 3.

Figura 3 – Preparo dos corpos de prova para determinação das densidades.



Fonte: Autor (2020).

A: corpos de prova em câmara climática; B: corpos de prova submersos em água.

Desta forma, os valores de massa e volume dos corpos de prova climatizados a 12% de umidade foram utilizados para a obtenção da densidade aparente (Equação 1), enquanto que os cálculos relativos a densidade básica utilizaram o volume da madeira saturada e a massa anidra, obtida após secagem em estufa com circulação forçada de ar a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ (Equação 2). A partir das mesmas amostras que foram saturadas em água, determinou-se a densidade saturada, com os valores de massa e volume saturados (Equação 3).

$$D_a = \frac{M_a}{V_a} \quad (1)$$

$$D_b = \frac{M_s}{V_s} \quad (2)$$

$$D_v = \frac{M_u}{V_s} \quad (3)$$

Em que: D_a = densidade aparente a 12%, em g/cm^3 ; D_b = densidade básica, em g/cm^3 ; D_v = densidade verde, em g/cm^3 ; M_a = massa aparente a 12%, em g; M_s = massa seca, em g; M_u = massa úmida, em g; V_a = volume aparente a 12%, em cm^3 ; V_s = volume saturado, em cm^3 .

3.3 PRESERVANTES E TRATAMENTO DOS CORPOS DE PROVA

Para realizar os tratamentos preservantes, utilizou-se o tanino, ácido bórico e sulfato de cobre, todos adquiridos junto a empresas responsáveis pela sua comercialização e que estavam disponíveis no Laboratório de Química, da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Curitibanos.

Os testes de solubilidade do tanino em água foram feitos em concentrações de 10% com e sem aquecimento, o que gerou um grande precipitado após repouso, ou seja, não houve boa diluição. Assim, optou-se por utilizar uma concentração de 5% de tanino como base para todos os preservantes e concentrações de 1% para boro, pois, de acordo com Sen *et al.*, (2009) essa é a concentração indicada para que a retenção apresente um resultado positivo, logo, adotou-se a mesma concentração para o cobre (Tabela 1).

Tabela 1 – Tratamentos preservantes e concentrações dos compostos utilizados.

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

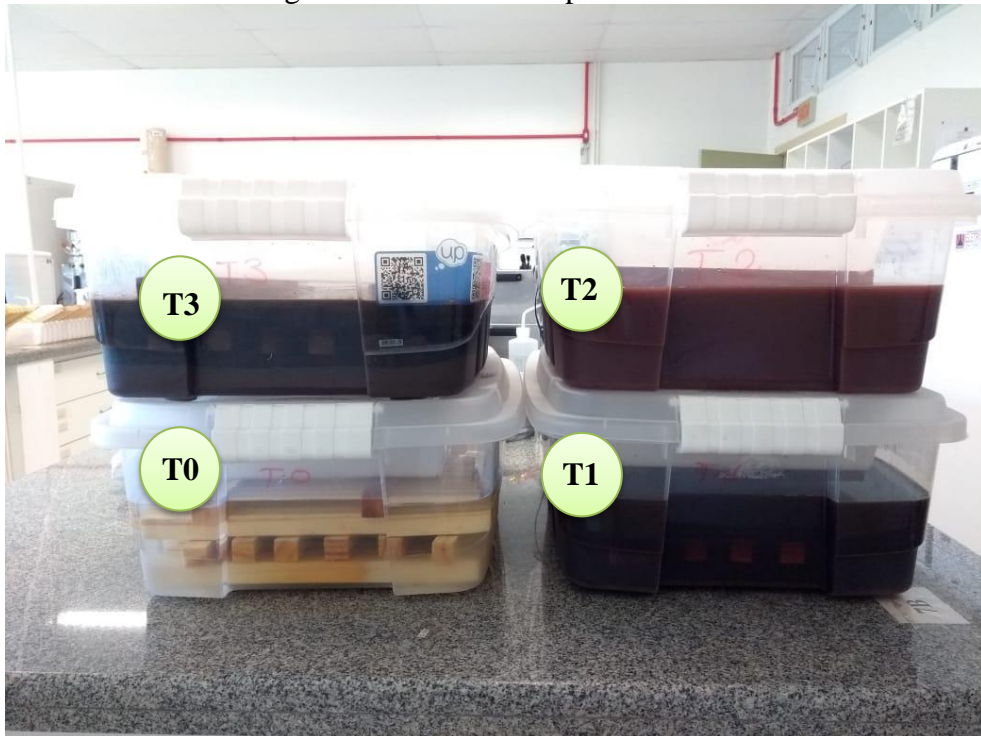
Fonte: Autor (2020).

T0: Testemunha; T1: Tanino; T2: Tanino+Boro; T3: Tanino+Cobre.

Na Figura 4 pode-se observar que o tratamento dos corpos de prova se deu por imersão a frio (temperatura ambiente), o que segundo Rocha (2001) “consiste na imersão da madeira na solução preservante”, neste caso, por 72 horas (3 dias). Para realizar os tratamentos preservantes, os corpos de prova foram dispostos em 4 caixas plásticas, em grupos de 45 amostras por tratamento, tomando o cuidado para que todas as amostras ficassem submersas nas soluções.

A caixa identificada como T0 refere-se a testemunha, por tanto, acresceu-se às madeiras apenas água destilada. Já a caixa marcada como T1 trata-se do tratamento preservante com um único composto ativo, o tanino, diluído em água destilada a uma concentração de 5%. Os demais recipientes, marcados como T2 e T3 fazem referência aos tratamentos com tanino a 5%, aditivado com boro (1%) e cobre (1%), respectivamente, também diluídos em água destilada.

Figura 4 – Tratamentos preservantes.



Fonte: Autor (2020).

T0: Testemunha; T1: Tanino; T2: Tanino+Boro; T3: Tanino+Cobre.

Vale destacar que no tratamento 3 (T3), composto pela mistura de tanino e cobre, observou-se uma precipitação acentuada do composto, o que pode ser explicado pela conhecida característica dos taninos em precipitar metais, o que inclusive, serve como ensaio de quantificação de taninos vegetais. Ainda, a fácil oxidação do tanino sob influência de metais resulta num escurecimento das soluções (MONTEIRO, *et al.*, 2005).

Após o período de tratamento por imersão a frio, os corpos de prova foram retirados da solução preservante e dispostos em recipientes plásticos para secagem natural por 72 horas (3 dias) (Figura 5). Seguida da secagem natural, os corpos de prova foram novamente alocados em estufa a 60°C até estabilização da massa, para a finalização da secagem da madeira. Após este procedimento, prosseguiu-se com a pesagem dos corpos de prova em balança semi-analítica para obtenção da massa, que foi utilizada nos cálculos de retenção (considerada como massa após o tratamento preservante) e de perda de massa após exposição a campo, conforme descrito nos próximos itens.

Figura 5 – Secagem natural dos corpos de prova tratados.



Fonte: Autor (2020).

T0: Testemunha; T1: Tanino; T2: Tanino+Boro; T3: Tanino+Cobre.

3.4 QUALIDADE DO TRATAMENTO PRESERVANTE

3.4.1 Penetração

A penetração pode ser avaliada considerando a distribuição e profundidade atingidas pelo produto preservante na peça de madeira (SANTINI, 1988 apud AMARAL, 2012).

Assim, foram selecionadas aleatoriamente três amostras de madeira de cada tratamento, as quais foram cortadas ao meio (face transversal) e lixadas, possibilitando uma análise visual.

Para realização da análise de penetração dos preservantes na madeira, foram utilizados os padrões propostos por Sales-Campos *et al.* (2003), que classificaram a penetração como: nula, vascular, parcial irregular, parcial periférica e total, conforme Figura 6.



Fonte: Adaptado de Sales-Campos *et al.* (2003).

3.4.2 Retenção

A retenção indica a quantidade de produto preservante contido em dado volume de madeira, sendo expressa em kg/m³ (AMARAL, 2012). A retenção para cada um dos preservantes utilizados foi obtida com base na diferença de massa (antes e após os tratamentos, massa constante a 60°C) e volume das amostras, conforme a Equação a seguir.

$$R = \frac{(M_f - M_i)}{V} \quad (4)$$

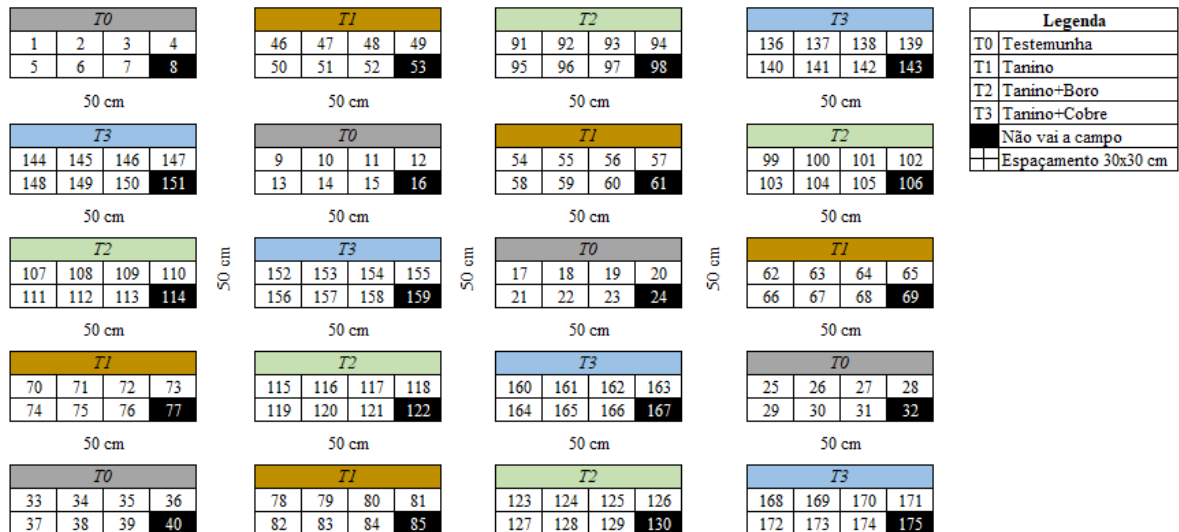
Em que: R = retenção, em kg/m³; M_f = massa final após tratamento e secagem em estufa a 60°C, em kg; M_i = massa inicial (antes do tratamento) após a secagem em estufa a 60°C, em kg; V = volume, em m³.

3.5 EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO PRESERVANTE – ENSAIO DE CAMPO

Para avaliar a eficiência dos produtos preservantes utilizados foi conduzido o ensaio em campo de apodrecimento, que consiste em submeter a madeira em contato direto como o solo, em condições reais, visando avaliar seu comportamento. O ensaio de campo foi conduzido em delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), sendo representado por 5 blocos, cada um contendo os 4 tratamentos (T0, T1, T2 e T3) como sub-blocos,

distribuídos de forma sistemática, visando acomodar os corpos de prova em diferentes posições ao longo do campo de apodrecimento. Cada sub-bloco era composto por 8 amostras, das quais apenas 7 foram efetivamente levadas a campo. As amostras que não foram a campo serviram para avaliação no tempo inicial, ou seja, zero dias de exposição (Figura 7).

Figura 7 – Croqui do campo de apodrecimento.



Fonte: Autor (2020).

Como observado na Figura 7, as distâncias entre os corpos de prova do mesmo bloco eram de 30 x 30 cm (linha e entrelinha) e de 50 cm entre blocos e sub-blocos, totalizando uma área aproximada de 17,8 m² (3,5 x 5,1 m).

O campo de apodrecimento foi instalado em campo aberto, na Área Experimental Florestal (AEF), pertencente a Universidade Federal de Santa Catarina, na cidade de Curitiba, em agosto de 2020, estando localizado sob as coordenadas geográficas 27°18'52.4"S e 50°42'36.2"W. Para realizar a disposição das amostras tratadas, escolheu-se uma área destinada a experimentos dessa natureza, onde foi necessário apenas o arranque manual de algumas plantas para a limpeza da área, além da mesma já possuir uma cerca impedindo a aproximação de animais de maior porte (Figura 8).

Figura 8 – Área destinada a instalação de Campos de Apodrecimento.



Fonte: Autor (2020).

As medidas propostas no croqui foram demarcadas com o auxílio de uma fita métrica, para que as amostras pudessem ser colocadas nos locais adequados e, a marcação da numeração das mesmas foi realizada com o auxílio de um lápis de carpinteiro. Para a abertura das covas, que possuíam 15 cm de profundidade (metade do comprimento dos corpos de prova), utilizou-se uma ferramenta de metal em formato de prego, uma marreta e uma estaca de madeira. Assim, cada um dos corpos de prova foram posicionados conforme sua numeração e tratamento (croqui), sendo ajustados nas covas.

As amostras foram coletadas sistematicamente a cada 45 dias, sendo retiradas cuidadosamente do solo a fim de evitar a ruptura da madeira. No total, cada coleta representava a retirada de 20 amostras, sendo realizadas 7 coletas (45, 90, 135, 180, 225, 270 e 315 dias) as quais foram avaliadas quanto a sua perda de massa e índice de deterioração, conforme descrito a seguir.

3.5.1 Perda de massa

As amostras coletadas em cada período foram submetidas a uma rápida limpeza com o auxílio de uma escova, visando a retirada de frações do solo e impurezas que poderiam superestimar a massa das mesmas. Durante uma semana, o material permaneceu secando ao ar

para uma redução prévia da umidade da madeira, visando diminuir as chances de retração/rachaduras durante o processo de secagem em estufa.

Após esse período as amostras coletadas foram dispostas em uma estufa com circulação forçada de ar a 60°C até estabilização de suas massas, que foram posteriormente registradas. Com base na massa das amostras antes da exposição a campo (estabilizadas após o tratamento preservante) e após a exposição, calcularam-se as perdas de massa, conforme a Equação a seguir.

$$PM (\%) = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad (5)$$

Em que: PM = perda de massa (%); Mi= massa inicial (g); Mf= massa final (g).

3.5.2 Índice de deterioração

O índice de deterioração consistiu em uma análise visual dos corpos de prova selecionados a cada coleta, considerando a classificação proposta por Lepage (1970), indicada na Tabela 2.

As análises foram realizadas por dois avaliadores, que atribuíram notas aos corpos de prova de cada tratamento que foram previamente separados por tempo de coleta (45, 90, 135, 180, 225, 270, 315 dias). Assim, o índice de deterioração foi baseado nos valores médios dos resultados para cada tratamento e período de coleta.

Tabela 2 – Classificação do índice de deterioração da madeira .

Estado de sanidade	Nota	Índice de deterioração
Sadio, nenhum ataque	0	100
Ataque leve ou superficial de fungos e térmitas	1	90
Ataque evidente, mas moderado de fungos e térmitas	2	70
Apodrecimento intenso ou ataque intenso de térmitas	3	40
Quebra, perda quase total de resistência	4	0

Fonte: Lepage (1970).

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram processados através do software estatístico R (R CORE TEAM, 2018), utilizando o pacote ExpDes.pt (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2013). As análises referentes ao índice de deterioração e perda de massa foram avaliadas utilizando-se o Delineamento em Blocos Casualizados (DBC). Realizou-se a Análise de Variância (ANAVA) e o teste de médias de Tukey a 95% de significância foi utilizado para comparação dos tratamentos.

Já em relação ao índice de retenção, o mesmo foi avaliado utilizando o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), levando em consideração as condições uniformes encontradas em laboratório. Da mesma forma que as demais avaliações estatísticas, os dados foram submetidos a Análise de Variância (ANAVA) e ao teste de médias de Tukey a 95% de significância. A densidade (básica, aparente e verde) foi submetida a uma análise descritiva.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DENSIDADE BÁSICA E APARENTE DA MADEIRA

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados referentes à densidade básica, aparente (12% de umidade) e verde, obtidos para madeira de *Pinus taeda*.

Tabela 3 – Densidade básica, aparente e verde da madeira de *Pinus taeda*.

Densidade	Média (g/cm ³)	DP (g/cm ³)	CV (%)
Básica	0,347	0,04	10,3
Aparente (12% de umidade)	0,416	0,06	14,5
Verde	1,008	0,09	8,9

Fonte: Autor (2021).

DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação.

A densidade básica observada para a madeira de *Pinus taeda* no presente estudo (0,347 g/cm³) permitiu classificá-la como leve ou baixa, com base na classificação proposta pela IAWA (1989), estando situada abaixo de 0,40 g/cm³. Maciel *et al.* (2020) encontraram para a madeira juvenil de *Pinus taeda* o valor de 0,320 g/cm³, já para madeira adulta 0,348 g/cm³, sendo este último similar ao observado no presente estudo. Os mesmos autores ainda citam que para a madeira jovem e adulta de *Pinus elliottii* encontraram valores de 0,346 e 0,412 g/cm³, respectivamente.

Em relação à densidade aparente, verificou-se um valor médio de 0,416 g/cm³, semelhante aos encontrados por Maciel *et al.* (2020) para madeira adulta de *Pinus taeda* com média de 0,414 g/cm³, e madeira jovem de *Pinus elliotti* com 0,411 g/cm³. Ainda, Ladeira *et al.* (2018) citam o valor médio de 0,520 g/cm³ para densidade aparente da madeira de *Pinus sp*, sem citar a espécie, mostrando-se superior ao obtido para o *Pinus taeda*.

Por fim, para a densidade verde, observou-se um valor médio de 1,008 g/cm³, similar ao citado por Juttel (2018) em estudo envolvendo as propriedades tecnológicas da madeira de *Pinus taeda*, a qual cita valores entre 1,024 e 1,055 g/cm³ para densidade verde. Vale a pena destacar que a densidade verde vem ganhando importância nos últimos anos, pois a mesma pode ser utilizada como fator de conversão entre as unidades de comercialização da madeira (conversão entre unidades de volume sólido e massa de madeira).

De modo geral, a madeira avaliada neste estudo apresenta valores condizentes com os citados na literatura para o *Pinus taeda*. Desta forma, mesmo não tendo a informação da idade exata do material utilizado (já que a madeira foi adquirida em uma serraria da região), o mesmo é representativo da madeira de *Pinus* utilizada comercialmente.

4.2 QUALIDADE DO TRATAMENTO PRESERVANTE

4.2.1 Penetração

Os resultados da penetração obtida para a madeira de *Pinus taeda* submetida aos diferentes tratamentos com tanino e seus aditivos podem ser observados na Tabela 4. Com base na classificação proposta por Sales-Campos *et al.* (2003), nota-se que, independente do preservante, as seções transversais externas apresentaram penetração total, já as seções internas (após as amostras serem cortadas ao meio e lixadas) apresentaram penetração parcial periférica.

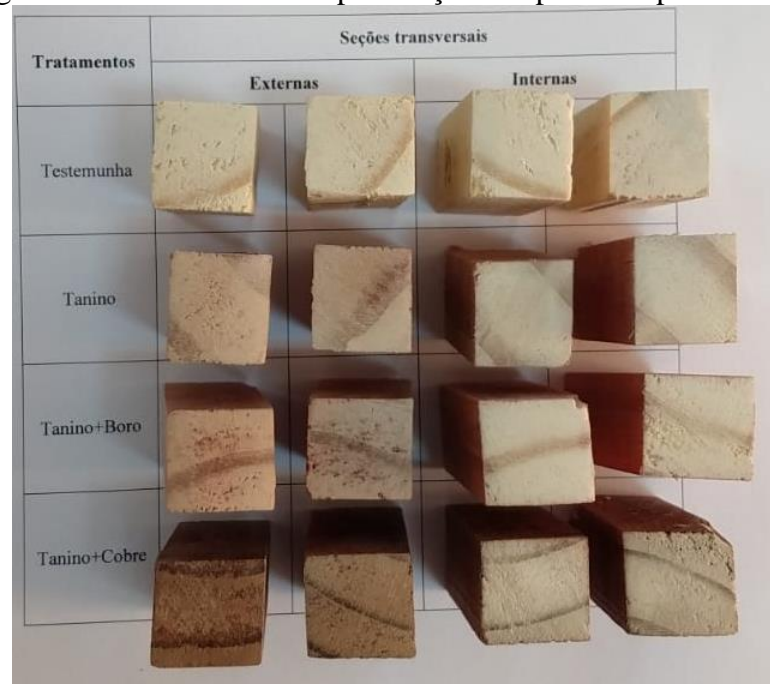
Tabela 4 – Resultados da análise da penetração dos produtos preservantes.

Tratamentos	Penetração nas seções transversais	
	Externa	Interna
Testemunha	-	-
Tanino	Total	Parcial periférica
Tanino+Boro	Total	Parcial periférica
Tanino+Cobre	Total	Parcial periférica

Fonte: Autor (2021).

Na Figura 9 observam-se as faces transversais das amostras submetidas aos tratamentos preservantes, com intuito de ilustrar a penetração na madeira. Mesmo que todos tenham sido classificados de forma igual, aparentemente o tratamento Tanino+Cobre teve uma penetração mais efetiva em relação aos demais, pois apresentou uma coloração mais escura interna e externamente.

Figura 9 – Análise visual da penetração dos produtos preservantes.



Fonte: Autor (2021).

De acordo com Vivian *et al.* (2020), uma das dificuldades encontradas para análise da penetração em preservantes naturais, como o tanino, é que não existem produtos que possam ser aplicados para reagir com estes. Os mesmos autores ainda destacam que para preservantes hidrossolúveis, como o arsenato de cobre Cromatado (CCA) e borato de cobre cromatado (CCB), pode ser aplicada uma solução chamada de cromoazurol-S, que reage com o cobre das formulações, destacando em cor azulada onde o mesmo penetrou e se distribuiu. No tratamento Tanino+Cobre até poderia ser aplicado o cromoazurol-S para tentar avaliar a penetração, mas não seria possível ter um padrão para os demais tratamentos, assim não foi realizado.

De forma geral, por meio da análise visual da penetração, mesmo que seja difícil afirmar com exatidão (em função de não ter um corante específico para destacar a penetração), constata-se que a mesma foi baixa, sendo muito superficial, o que pode proporcionar uma baixa proteção a madeira. Assim, deve-se ter cuidado no uso das peças tratadas, especialmente se as mesmas forem cortadas, ou se forem feitos entalhes após o tratamento, o que irá expor partes que não foram efetivamente tratadas.

4.2.2 Retenção

Na Tabela 5 podem ser observados os valores médios de retenção obtidos para a madeira de *Pinus taeda* submetida aos diferentes tratamentos com tanino e seus aditivos. A análise estatística dos resultados demonstrou que o tratamento Tanino+Cobre apresentou a maior retenção.

Tabela 5 – Resultados da análise da retenção dos produtos preservantes.

Tratamentos	Retenção (kg/m ³)	DP (kg/m ³)	CV (%)
Testemunha	-	-	-
Tanino	7,47 ^b	1,61	21,6
Tanino+Boro	7,42 ^b	2,03	27,4
Tanino+Cobre	10,93 ^a	2,46	22,5

Fonte: Autor (2021).

DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação. Médias seguidas da mesma letra não apresentam variação estatística significativa pelo teste de médias (Tukey, $p > 0,05$).

Thevenon *et al.* (2009) compararam formulações envolvendo tanino e boro, com e sem adição de hexametileno tetramina (hexamina), e concluíram que a adição deste composto contribuiu para resultados mais satisfatórios, mesmo após processo de lixiviação. Isso ocorre, segundo os autores, por que tal combinação tende a diminuir a lixiviação pronunciada do boro. Esse comportamento pode justificar a semelhança entre os resultados dos tratamentos Tanino e Tanino+Boro.

Laredo (1996) obteve bons resultados com uma solução preservante a base de tanino e sal de cobre em solução de amônia, observando que após a evaporação do solvente, houve a formação de um complexo tanino metálico. Assim, a formação deste complexo metálico pode ter contribuído para o maior sucesso do tratamento Tanino+Cobre, que refletiu em maior retenção na madeira, como observado neste estudo.

São desejados valores mais elevados de retenção, pois o mesmo reflete na quantidade de preservante por volume de madeira, o que poderá proporcionar maior proteção e vida útil à mesma. Ainda não existem normas que indiquem o valor mínimo de retenção para produtos naturais, como o tanino, sendo necessário avançar mais nisto. Mas de forma generalista, com base nas normas disponíveis da ABNT (especialmente a NBR 16.143 - Preservação de Madeiras - Sistema de Categorias de Uso), indicam-se valores variando entre 4,0 a 6,5 kg/m³

para os preservantes hidrossolúveis CCA e CCB, em tratamentos industriais sob pressão, para as madeiras serradas e roliças.

Assim, todos os preservantes aplicados no presente estudo estão acima do mínimo recomendado na norma citada anteriormente, porém deve-se ter atenção, que o método utilizado no estudo foi de imersão a frio, que se enquadra em caseiro ou sem pressão (que não é abordado nas normas técnicas). Além disso, a formulação não continha um fixador, que geralmente é o cromo (dicromato de potássio), o que pode fazer com que o preservante lixivie de forma mais acentuada em contato com o solo.

4.3 EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO PRESERVANTE

4.3.1 Perda de massa

A Tabela 6 apresenta os valores médios de perda de massa dos corpos de prova ao longo do tempo.

Tabela 6 – Perda de massa da madeira de *Pinus taeda* ao longo do período de exposição ao campo de apodrecimento.

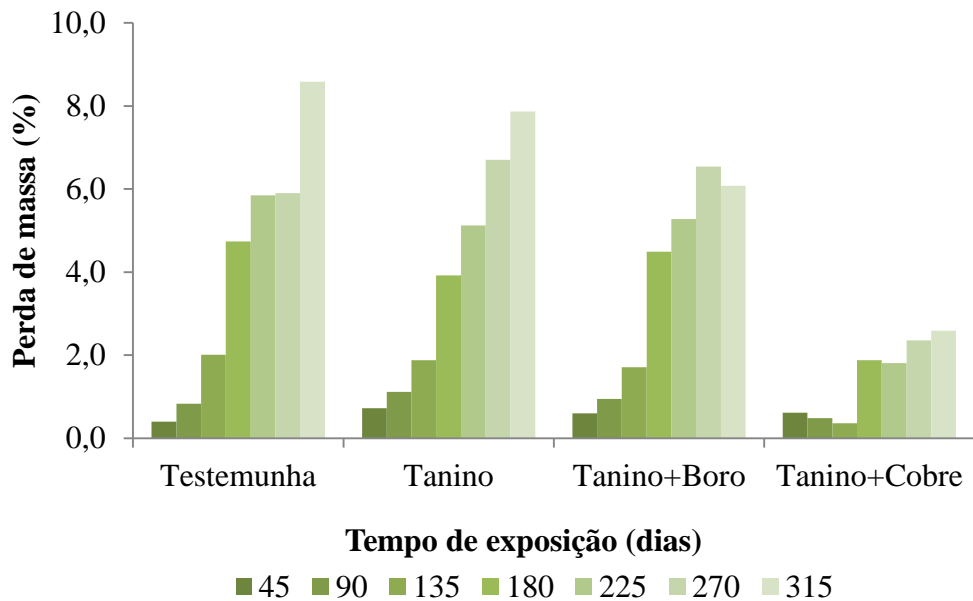
Dias	Perda de massa (%)			
	Testemunha	Tanino	Tanino+Boro	Tanino+Cobre
45	0,40 ^{aC}	0,72 ^{aD}	0,60 ^{aB}	0,61 ^{aB}
90	0,83 ^{aC}	1,12 ^{aCD}	0,94 ^{aB}	0,48 ^{aB}
135	2,01 ^{aC}	1,88 ^{aCD}	1,71 ^{aB}	0,36 ^{bB}
180	4,73 ^{aB}	3,92 ^{abBC}	4,49 ^{aA}	1,88 ^{bA}
225	5,85 ^{aB}	5,12 ^{aAB}	5,27 ^{aA}	1,81 ^{bA}
270	5,90 ^{aB}	6,70 ^{aAB}	6,54 ^{aA}	2,36 ^{bA}
315	8,58 ^{aA}	7,86 ^{aA}	6,08 ^{aA}	2,59 ^{bA}
Média geral	4,04^a	3,90^a	3,66^a	1,44^b

Fonte: Autor (2021).

Letras minúsculas são referentes ao teste de médias entre os tratamentos, na linha. Letras maiúsculas representam o teste de médias de cada tratamento ao longo do tempo, na coluna. Letras iguais não diferem estatisticamente entre si.

Já na Figura 10 é possível analisar de forma mais clara o comportamento da perda de massa de cada tratamento ao longo do período de exposição.

Figura 10 – Comportamento da perda de massa ao longo do tempo de exposição.



Fonte: Autor (2021).

É notável a interação entre os fatores tratamento e tempo, onde verifica-se uma tendência crescente de perda de massa da madeira com o passar das avaliações, independente do tratamento. Quando comparados entre si, apenas o tratamento Tanino+Cobre apresentou diferença significativa entre os tratamentos, a partir da terceira avaliação.

De modo geral, a madeira tratada com Tanino+Cobre apresentou perda de massa inferior a 3% em todas as avaliações, sendo o tratamento mais eficaz. Logo, de acordo com Laks *et al.* (1988), esse comportamento pode estar associado a capacidade dos taninos em complexarem íons metálicos, resultando em uma estrutura quelada que quando encontra-se no interior da madeira não é propensa a lixiviação. Ainda, estes mesmos autores observaram que formulações de preservantes contendo cobre apresentaram eficiência contra agentes degradadores, visto a toxicidade do metal contra a maioria dos organismos destruidores da lignocelulose.

Outro aspecto que contribuiu para a menor perda de massa do tratamento Tanino+Cobre ao longo do tempo foi que este apresentou a maior retenção (10,93 kg/m³), além de ter apresentado a melhor penetração do preservante, como relatado no item “Qualidade do tratamento preservante”.

Já os tratamentos Tanino e Tanino+Boro apresentaram comportamentos similares em relação à qualidade do tratamento (penetração e retenção) e perda de massa, não diferindo

estatisticamente em nenhum aspecto. Além disso, a perda de massa destes tratamentos foi similar a Testemunha, que mesmo sendo maior, não diferiu significativamente dos mesmos, indicando que não foram efetivos na proteção da madeira exposta, mesmo que tenham apresentado valores interessantes de retenção. O que pode ter acontecido é uma alta taxa de lixiviação do tanino e do boro quando expostos ao contato com o solo, por não formarem um complexo metálico que o cobre forma com o tanino, como relatado por Laredo (1996).

Em estudo sobre a durabilidade natural de espécies florestais, Niles (2020) encontrou valores de perda de massa de 4,9% e 9,0% para a madeira de *Pinus taeda* com 15 e 43 anos de idade, respectivamente, após 12º mês de exposição à campo de apodrecimento. O valor observado no presente estudo para os corpos de prova sem aplicação de produto preservante (Testemunha) foi de 8,58% após 315 dias de exposição a campo, estando dentro da faixa relatada pelo pesquisador.

Levando em consideração apenas as médias gerais de perda de massa dos tratamentos utilizados, o tratamento Tanino+Cobre reduziu a perda de massa em 64,4% em relação a Testemunha, sendo o único que realmente aumentou significativamente a durabilidade da madeira, como é comprovado pela análise estatística.

4.3.2 Índice de deterioração

Na Tabela 7 são apresentados os resultados médios para o índice de deterioração dos corpos de prova ao longo do período de exposição ao campo de apodrecimento.

Considerando que quanto menor o valor do índice de deterioração, maior é a intensidade dos danos causados a madeira, todos os tratamentos apresentaram maiores tendências a degradação dos corpos de prova a partir da avaliação realizada no 135º dia. As variações nas notas atribuídas a cada corpo de prova podem sofrer alterações em função de fatores como posicionamento dentro do campo de apodrecimento, intensidade do ataque de fungos e térmitas, condições climáticas, além da eficácia do preservante aplicado.

Nota-se que o tratamento Tanino apresentou uma ligeira superioridade quando comparado a madeira sem tratamento (Testemunha) e a madeira tratada com Tanino+Boro em praticamente todas as avaliações. No entanto, a partir da análise estatística dos dados, o tratamento Tanino+Cobre foi o que apresentou os melhores resultados quanto ao índice de deterioração, visto que foi o único tratamento a diferir-se estatisticamente dos demais, demonstrando maior eficácia contra agentes deteriorantes da madeira.

Tabela 7 – Índice de deterioração da madeira de *Pinus taeda* ao longo do período de exposição ao campo de apodrecimento.

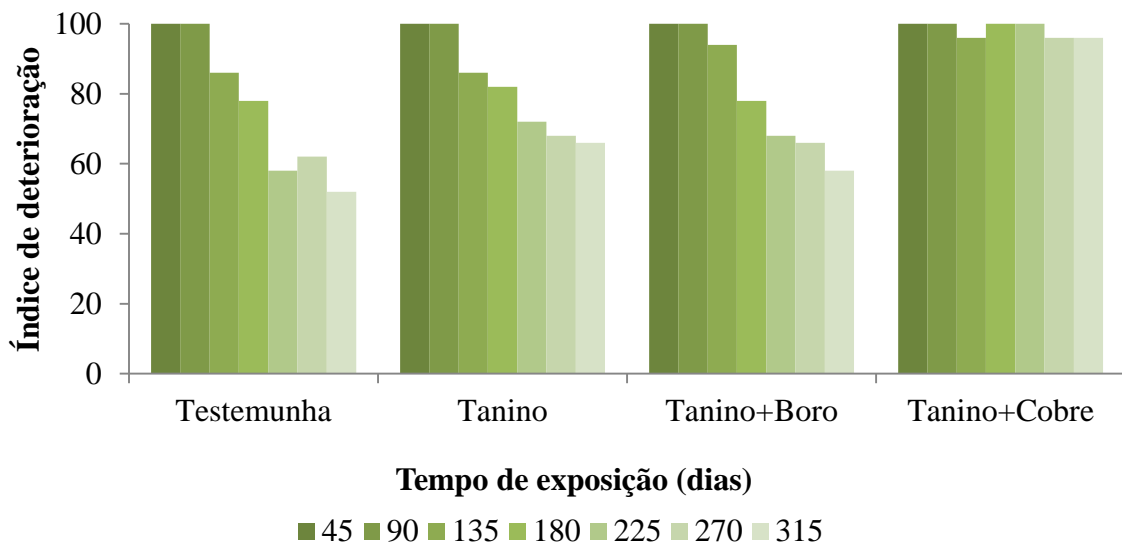
Dias	Índice de deterioração			
	Testemunha	Tanino	Tanino+Boro	Tanino+Cobre
45	100 ^{aA}	100 ^{aA}	100 ^{aA}	100 ^{aA}
90	100 ^{aA}	100 ^{aA}	100 ^{aA}	100 ^{aA}
135	86 ^{aAB}	86 ^{aAB}	94 ^{aAB}	96 ^{aA}
180	78 ^{bABC}	82 ^{bAB}	78 ^{bABC}	100 ^{aA}
225	58 ^{bCD}	72 ^{abB}	68 ^{bBC}	100 ^{aA}
270	62 ^{aBCD}	68 ^{ab}	66 ^{aC}	96 ^{aA}
315	52 ^{bD}	62 ^{bB}	58 ^{bC}	96 ^{aA}
Média geral	80^b	84^b	83^b	99^a

Fonte: Autor (2021).

Letras minúsculas são referentes ao teste de médias entre os tratamentos, na linha. Letras maiúsculas representam o teste de médias de cada tratamento ao longo do tempo, na coluna. Letras iguais não diferem estatisticamente entre si.

Já na Figura 11 é possível analisar de forma mais clara o comportamento do índice de deterioração de cada tratamento ao longo do período de exposição a campo.

Figura 11 – Comportamento do índice de deterioração ao longo do tempo de exposição.



Fonte: Autor (2021).

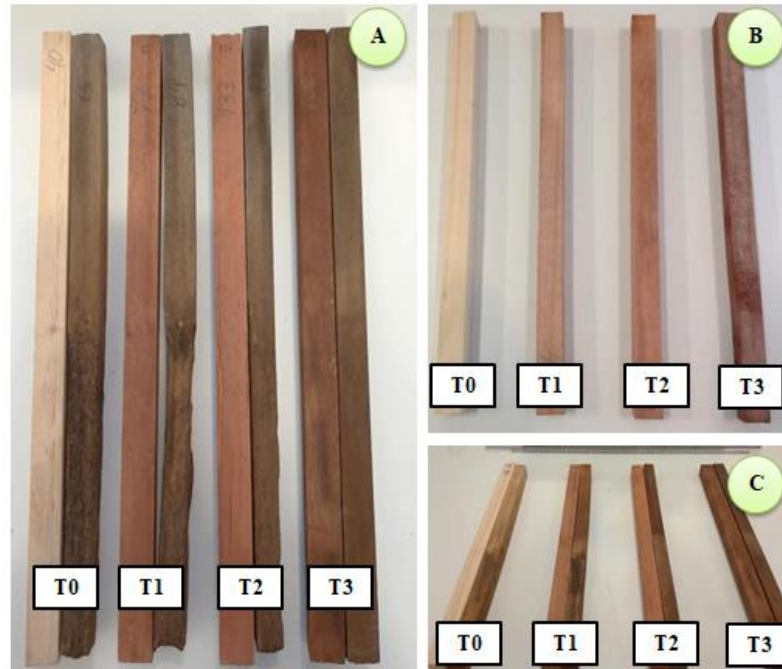
Comparando a durabilidade natural de diferentes espécies madeireiras, Niles (2020) obteve média de 82 para o índice de deterioração da madeira de *Pinus taeda* após 12 meses de

exposição, sendo superior ao observado no presente estudo para a madeira Testemunha, que foi de 52.

Considerando-se apenas as médias gerais do índice de deterioração dos tratamentos aplicados, o tratamento Tanino+Cobre aumentou a resistência da madeira (maior valor do índice de deterioração significa menos danos, com amostras menos atacadas) em 23,8% em relação a Testemunha. Desta forma, semelhante ao que já havia sido observado para a perda de massa, a adição do cobre foi o único que aumentou significativamente a durabilidade da madeira.

A Figura 12 demonstra o aspecto dos corpos de prova que não foram a campo, bem como as amostras coletadas aos 45 dias (primeira coleta) e 315 dias de experimento (última coleta). A partir das imagens é possível comparar os danos aparentes causados pela degradação física e química da madeira, que podem ocasionar mudanças na coloração, aspereza, rachaduras e fissuras e são causadas, de modo geral, pela ação da luz, umidade e calor (KLOCK, *et al.*, 2005).

Figura 12 – Comparação do aspecto dos corpos de prova após as avaliações.



Fonte: autor (2021).

T0: Testemunha; T1: Tanino; T2: Tanino+Boro; T3: Tanino+Cobre. A: aspecto das amostras que não foram à campo (à esquerda) e após 315 dias (à direita); B: aspecto das amostras após os tratamentos (sem ir a campo); C: aspecto das amostras que não foram à campo (à esquerda) e após 45 dias (à direita).

Já na Figura 13 é possível observar a presença de cupins subterrâneos e de fungos atacando e causando a degradação da madeira exposta a campo. Vale destacar que o ensaio de campo de apodrecimento simula as condições reais e naturais que a madeira pode sofrer quando exposta ao ambiente externo, como em contato direto com o solo. Desta forma os resultados sempre estarão associados com o local de condução do estudo, variando por exemplo, conforme o índice de pluviosidade e temperatura média local, pois tais características aceleram o processo de degradação do material lenhoso. Além disso, a presença de microorganismos afeta diretamente a qualidade das amostras, principalmente se forem encontrados de forma abundante, como no caso da AEF, onde o experimento foi conduzido.

Figura 13 – Ataque de agentes biodegradadores na madeira exposta a campo.



Fonte: Autor (2021).

A: ataque de térmitas (cupins de solo); B: ataque fúngico.

5 CONCLUSÃO

A densidade básica observada para a madeira de *Pinus taeda* foi de 0,347 g/cm³, o que permitiu classificá-la como leve. Os valores de densidade aparente (0,416 g/cm³) e densidade verde (1,008 g/cm³) mostraram-se condizentes com os citados na literatura para a espécie. Desta forma, mesmo não tendo a informação da idade exata do material utilizado o mesmo é representativo da madeira de *Pinus* utilizada comercialmente.

Em relação a qualidade do tratamento preservante, os resultados da penetração indicam que, independente do preservante, as seções transversais externas apresentaram penetração total e as seções internas apresentaram penetração parcial periférica. Porém, o tratamento Tanino+Cobre destacou-se visualmente dos demais. Quanto a análise de retenção, o tratamento Tanino+Cobre obteve média de 10,93 kg/m³, sendo este o melhor resultado. Os demais tratamentos não apresentaram diferença estatística entre si.

Avaliando os parâmetros de eficiência dos tratamentos, verificou-se uma tendência crescente de perda de massa da madeira, independente do tratamento, com o passar das avaliações. O mesmo comportamento foi observado para o índice de deterioração. Para as duas avaliações, o tratamento Tanino+Cobre foi o único a diferir estatisticamente dos demais, provando sua superioridade.

Assim, o tratamento Tanino+Cobre apresentou os melhores resultados em todas as avaliações, indicando que o cobre é o aditivo mais recomendado para ser utilizado em conjunto com o tanino. Por fim, recomendam-se novas pesquisas avaliando outros métodos e formulações para aplicação destes compostos.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. V. de; SHIMIZU, J. Y.; SOUSA, V. A. de. Silvicultura intensiva com Pinus no Brasil. **Revista Opiniões**, ano 16, n. 58, dez-fev 2020. Disponível em: <https://florestal.revistaopinioes.com.br/revista/detalhes/15-silvicultura-intensiva-com-pinus-no-brasil/>. Acesso em: 02 ago. 2020.
- AGUIAR, A. V. de; SHIMIZU, J. Y.; SOUSA, V. A. de. **Cultivo de Pinus: Espécies de Pinus mais plantadas no Brasil**. Embrapa Florestas, 2011. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=3715&p_r_p_-996514994_topicoId=3229. Acesso em: 02 ago. 2020.
- AGUIAR, S. V. MAGALHÃES, W. L. E. Cultivo de Pinus: Tecnologia da madeira. **Embrapa Florestas**, 2011. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=3715&p_r_p_-996514994_topicoId=3243. Acesso em: 02 ago. 2011.
- AMARAL, L. S. **Penetração e retenção do preservante em *Eucalyptus* com diferentes diâmetros**. Dissertação (Pós Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 1997. 107p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 16.143**. Preservação de Madeiras - Sistema de categorias de uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- BOSSARDI, K. **Tall oil e seus subprodutos: alternativas como preservantes para madeira**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica na área de Materiais.)- Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.
- COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 30: 1-006**: maderas: método de determinación de flexión estática. La Paz, 1972^a.
- COSTA, A. F. da.; VALE, A. T. do.; GONZALES, J. C.; SOUZA, F. D. M. de. Durabilidade de madeiras tratadas e não tratadas em campo de apodrecimento. **Floresta e Ambiente**, v. 12, n.1, p. 07-14, 2005. Disponível em: <https://www.floram.org/article/588e220ae710ab87018b461a/pdf/floram-12-1-7.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2020.
- FERREIRA, E. B., CAVALCANTI, P. P., NOGUEIRA, D. A. (2013). **ExpDes.pt: Experimental Designs package** (Portuguese). R package version 1.1.2.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

Produtos preservativos de madeiras registrados. Disponível em:

<http://www.ibama.gov.br/preservativos-de-madeiras/produtos-preservativos-de-madeiras-registrados-no-ibama>. Acesso em: 06 jul. 2021.

IBAMA. [Instrução normativa nº 132 de 6 de novembro de 2006]. **Instituto brasileiro do meio ambiente e dos recursos naturais renováveis**. [S. l.]: IBAMA, [2006]. Disponível em: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=13/11/2006&jornal=1&pagina=98&totalArquivos=144>. Acesso em: 9 abr. 2019.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório anual IBÁ 2020, ano base 2019**. São Paulo: IBÁ, 2020. 66p.

IAWA. International Association of Wood Anatomists. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.

JORGE, F. C.; BRITO, P.; PEPINO, L.; PORTUGAL, A.; GIL, H.; COSTA, R. P. Aplicações para as Cascas de Árvores e para os Extratos Taninosos: Uma Revisão. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 9, n. 2, p. 225 - 236, dez. 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/242418175_Aplicacoes_para_as_Cascas_de_Arvores_e_para_os_Extractos_Taninosos_Uma_Revisao. Acesso em: 6 abr. 2019.

JUTTEL, L. G. **Influência do desbaste nas propriedades tecnológicas da madeira de *Pinus taeda*** L. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal)- Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2018.

KLOCK, U. *et al.* **Química da Madeira**. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná, 3º ed. (material didático), 2005, p. 86.

LADEIRA, L. A.; PEREIRA, C. C. A.; COUTO, L. C.; REIS, A. B. Determinação das propriedades físicas da madeira de *Pinus sp.* Curitiba: **Brazilian Applied Science Review**, v. 2, n. 7, Edição Especial, p. 2244-2251, 2018.

LAKS, P. E.; MCKAIG, P. A.; HEMINGWAY, R. W. Flavonoid biocides: wood preservatives based on condensed tannins. **Holzforschung**, v. 42, n. 5, p. 299 – 306, 1988. Disponível em: https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/ja_laks004.pdf. Acesso em: 03 ago. 2021.

LAREDO, R. F. G. Preservación de madera con taninos. **Madera y Bosques.**, Xalapa, México, v.2, n.2, p. 67-73, 1996. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61720207>. Acesso em: 11 ago. 2020.

LEPAGE, E. S. **Método padrão sugerido pela IUFRO para ensaios de campo com estacas de madeira**. Preservação de Madeiras, São Paulo, v.1, n.4, p. 205-216. 1970.

LEPAGE, E.; SALIS, A. G.; GUEDES, E. C. R. Preservação de Madeira. *In*: LEPAGE, E.; SALIS, A. G.; GUEDES, E.C. R. **Tecnologia de Proteção da Madeira**. São Paulo: Montana Química, 2017. p. 79-111.

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 (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira)- Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011.

MACIEL, G. O. P.; FERREIRA, B. S.; SOUZA, G. C. **Propriedades físicas da madeira juvenil e adulta do *Pinus elliottii* e *Pinus taeda***. In: I SEMINÁRIO ONLINE: TECNOLOGIA E INOVAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS, nº 1, 2020. Anais... FAIT: Faculdade de ciências sociais e agrárias de Itapeva, 2020, 6 p.

MARCHINI, H. R. **Extração dos taninos da espécie *Pinus taeda* no município de Curitiba – SC e sua avaliação para aplicação industrial como adesivo modificado**. 2015. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos)- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.

MARCONDES, E.; RIBEIRO, M. A.; STANGERLIN, D. M.; SOUZA, A. P. de.; MELO, R. R. de. GATTO, D. A. Resistência natural da madeira de duas espécies amazônicas em ensaios de deterioração de campo. **Scientia Plena**, São Cristóvão, v. 9, n. 6, p. 1-9, jun. 2013.

MENDES, R. F.; JUNIOR, G. B.; GARLET, A.; VIDAL, J. M.; ALMEIDA, N. F. de.; JANKOWSKY, I. P. Resistência de painéis compensados de *Pinus taeda* tratados com preservantes ao ataque de fungos xilófagos. **Revista Cerne**, Lavras, v. 20, n. 1, p. 105- 112, 2014.

MONTEIRO, J. M.; ALBUQUERQUE, U. P.; ARAÚJO, E. L.; AMORIM, E. L. C. de. Taninos: uma abordagem da química à ecologia. São Paulo: **Química nova**, v.28, n.5, 2005. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422005000500029. Acesso em: 05 ago. 2020.

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: 4 abr. 2019.

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.

R CORE TEAM (2018). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RALL, R. **Influência das características dos anéis de crescimento na densidade, resistência e rigidez da madeira de *Pinus taeda* L.** 2006. 86 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2006.

RAMOS, A. M. D. **Estudos para a fixação do boro na madeira com vista à sua preservação**: cinéticas de reação do boro com compostos modelo simples da madeira e com a

madeira de pinho. 2003. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Universidade do Porto, Porto, 2003.

REZENDE, M. A.; ESCOBEDO, J. F.; FERRAZ, E. S. B. **Retratibilidade volumétrica e desdensidade aparente da madeira em função da umidade**. IPEF, n.39, p.33-40, 1988.

ROCHA, M. P. **Biodegradação e Preservação da Madeira**. Curitiba: Fupef, 2001.

SALES-CAMPOS, C.; VIANEZ, B. F.; MENDONÇA, M. S. Estudo da variabilidade da retenção do preservante CCA tipo A na madeira de *Brosimum rubescens* Taub. Moraceae - (pau-rainha) uma espécie madeireira da região amazônica. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 845-853, 2003.

SAMPAIO, F. G.; BOIJINK, C. L.; RANTIN, F. T. O. Uso do Sulfato de Cobre em Ecossistemas Aquáticos: fatores que afetam sua toxicidade em peixes de água doce. Jaguariúna, SP: **Embrapa Meio Ambiente**, 2013.

SEN, S.; TASCIOGLU, C.; TIRAK, K. Fixation, leachability, and decay resistance of wood treated with some commercial extracts and wood preservative salts. **International Biodeterioration & Biodegradation**, London, v. 63, n. 2, p. 135 - 141, 2009.

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.; WIELAND, S.; LEMENAGER, N.; PETUTSCHNIGG, A.; PIZZI, A.; THEVENON, M. F. Efficacy of tannin in fixing boron in wood: fungal and termite resistance. **Bioresources**, p. 1238-1252, 2012a.

TONDI, G.; PALANTI, S.; WIELAND, S.; THEVENON, M. F.; PETUTSCHNIGG, A.; SCHNABEL, T. Durability of tannin-boron-treated timber. **Bioresources**, p. 5138-5151, 2012b.

VIDAL, J. M.; EVANGELISTA, W.V.; SILVA, J. de C.; JANKOWSKY, I. P. Preservação de madeiras no brasil: histórico, cenário atual e tendências. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 257-271, jan.-mar., 2015.

VIVIAN, M. A. **Resistência biológica da madeira tratada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus Cloezina* em ensaios de laboratório e campo**. 2011. 105 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

VIVIAN, M. A.; GROSSKOPF, E. J.; NUNES, G. C.; ITAKO, A. T.; MODES, K. S. 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. 2020. DOI: 10.5965/223811711912020035

ZORTÉA, T.; TESTA, M.; SILVA, A. W. L.; BARRETA, D. Toxicidade do cobre em função da correção do pH em dois solos naturais – Uma abordagem com plantas e organismos edáficos. **Revista Scientia Agraria**, v. 17, n. 1, p. 1-9. 2016.