

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

José Eduardo Niles

Efeito do tempo de exposição a campo na durabilidade natural das madeiras de
Cryptomeria japonica, Cupressus lusitanica e Pinus taeda

Curitibanos

2020

José Eduardo Niles

Efeito do tempo de exposição a campo na durabilidade natural das madeiras de
Cryptomeria japonica, Cupressus lusitanica e Pinus taeda

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

Orientador: Prof. Dr. Magnos Alan Vivian

Coordenador: Prof. Dr. Mario Dobner Junior

Curitiba

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
Através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Niles, José Eduardo
Efeito do tempo de exposição a campo na durabilidade natural das madeiras de *Cryptomeria japonica*, *Cupressus lusitanica* e *Pinus taeda* / José Eduardo Niles; orientador, Magnos Alan Vivian, 2020.
56 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus
Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal,
Curitibanos, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia Florestal. 2. Xilófagos. 3. Perda de massa. 4. Resistência Mecânica, 5. Campo de Apodrecimento. I. Vivian, Magnos Alan. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Florestal. III. Título.

José Eduardo Niles

**Efeito do tempo de exposição a campo na durabilidade natural das madeiras de
Cryptomeria japonica, *Cupressus lusitanica* e *Pinus taeda***

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de
"Bacharel em Engenharia Florestal" e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora.

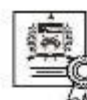
Curitiba, 06 de Novembro de 2020.



Documento assinado digitalmente
Mário Dobner Júnior
Data: 24/11/2020 13:25:19-0300
CPF: 034.250.259-05

Prof. Dr. Mário Dobner Júnior
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
Magnos Alan Vivian
Data: 24/11/2020 13:55:13-0300
CPF: 007.085.230-26

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



Documento assinado digitalmente
Karina Soares Modes
Data: 24/11/2020 14:00:19-0300
CPF: 005.062.249-85

Profa. Dra. Karina Soares Modes
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
Mário Dobner Júnior
Data: 24/11/2020 13:25:26-0300
CPF: 034.250.259-05

Prof. Dr. Mário Dobner Júnior
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho ao meu pai Gerson Niles, minha mãe Maria Angelita Alves da Silva, minha madrinha Silvia Finger Righes e namorada Paula Rafaela Fernandes Duarte.

Com o amor de vocês tudo ficou mais fácil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina, na qual tive o privilégio de obter formação acadêmica gratuita e de qualidade.

Ao corpo docente do curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Catarina pelos ensinamentos técnicos e humanos.

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

A Universidad Nacional de Asunción e ao programa Asociación de Universidades Grupo Montevideo pelo período de mobilidade acadêmica com bolsa integral.

As empresas Berneck S.A., Unique Wood PY e Klabin S.A. pelas oportunidades de estágio.

A empresa Florestal Gateados Ltda., por doar o material utilizado no experimento.

A Eng. Florestal Gláucia Cota Nunes, responsável pela condução do experimento durante os dois primeiros anos.

Ao Prof. Dr. Magnos Alan Vivian pela orientação, paciência e participação ativa na condução do presente trabalho.

A Profa. Dra. Karina Soares Modes pelos ensinamentos e participação ativa na execução do presente trabalho.

Ao professor Mário Dobner Júnior pelos ensinamentos e participação ativa na instalação do experimento.

Muito obrigado!

RESUMO

A avaliação da durabilidade natural da madeira permite conhecer o impacto dos agentes degradadores nas propriedades originais do material. Desta forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito do tempo de exposição a campo na perda de massa e resistência mecânica como consequência da durabilidade natural das madeiras de *Cryptomeria japonica*, *Cupressus lusitanica* e *Pinus taeda*, sendo a última com 15 e 43 anos. Os corpos de prova da madeira das espécies de dimensões 2,5 x 5,0 x 50,0 cm, de espessura (radial), largura (tangencial) e comprimento, respectivamente, foram expostos durante 48 meses a campo de apodrecimento no município de Curitiba, SC, em delineamento experimental de blocos casualizados (DBC), com parcelas subdivididas no tempo. A cada 6 meses foram removidos 5 corpos de prova por espécie, sendo avaliados: índice de deterioração, perda de massa, resistência e rigidez ao ensaio mecânico de flexão estática. Adicionalmente foram registrados os dados de precipitação e temperatura, para determinação do potencial de ataque fúngico (PAF) para o município de Curitiba, SC. O índice de deterioração médio das espécies após 48 meses de exposição a campo indicou que as madeiras de *Cryptomeria japonica* e *Cupressus lusitanica* sofreram ataque evidente, mas moderado de fungos e térmitas. Já as madeiras de *Pinus taeda* apresentaram apodrecimento intenso ou ataque intenso de térmitas. Para a variável perda de massa houve interação significativa entre os fatores espécie e tempo, sendo as madeiras de *Cryptomeria japonica* e *Cupressus lusitanica* classificadas como resistentes e *Pinus taeda* de ambas as idades, classificadas como não-resistentes após 48 meses de exposição. Ao final de 24 meses de exposição, todas as espécies apresentaram perda de resistência e rigidez à flexão estática. A menor perda de massa foi registrada pelas espécies *Cryptomeria japonica* e *Cupressus lusitanica* com valores de rigidez inferiores em 19% e 25% em relação ao valor inicial, enquanto *Pinus taeda* foi inferior em 62% e 64% para a mesma variável para as madeiras de 15 e 43 anos, respectivamente. As perdas observadas em relação a resistência inicial foram de 51% para *Cryptomeria japonica*, 72% para *Cupressus lusitanica*, 78% para *Pinus taeda* (15 anos) e 92% para *Pinus taeda* (43 anos). O potencial de ataque fúngico acumulado médio para o município de Curitiba, SC, entre 2017 e 2019 foi de $98,8 \pm 10$. Considerando os fatores climáticos, tem-se um potencial de ataque 11 (onze) vezes maior em janeiro quando comparado ao mês de julho. As madeiras de *Cupressus lusitanica* e *Cryptomeria japonica* apresentam maior durabilidade natural em contato com o solo em ambiente aberto na região de Curitiba, SC, quando comparados a *Pinus taeda* (ambas idades), e embora possuam propriedades em flexão estática inferior ao *Pinus taeda* para aplicações específicas, os valores sofrem menor redução em função do tempo de exposição a campo.

Palavras-chave: Xilófagos. Perda de massa. Resistência mecânica. Campo de apodrecimento.

ABSTRACT

The assessment of wood natural durability allows us to know the impact of degrading agents on the original properties of the material. Therefore, the objective of the present study was to evaluate the effect of time of exposure to the field on the mass loss and mechanical resistance as a result of *Cryptomeria japonica*, *Cupressus lusitanica* and *Pinus taeda* the last being 15 and 43 years old. The specimens of wood of the species of dimensions 2,5 x 5,0 x 50,0 cm, in thickness (radial), width (tangential) and length, respectively, were exposed for 48 months to the rotting field in the city of Curitiba, SC, in a randomized block design, with plots subdivided over time. Every 6 months, 5 specimens per species were removed, being evaluated: deterioration index, mass loss, mechanical strength and rigidity to the mechanical static bending test. Additionally, data was collected of precipitation and temperature, to determine the Fungal Attack Potential (FAP) of Curitiba, SC. The average species deterioration index after 48 months of exposure to open fields, indicated that the wood of *Cryptomeria japonica* and *Cupressus lusitanica* had evident but moderate attack of fungi and termites. While the woods of *Pinus taeda* showed intense rotting or intense termite attack. For the mass loss variable, there was a significant interaction between the species and time factors, the woods of *Cryptomeria japonica* and *Cupressus lusitanica* classified as resistant and *Pinus taeda* of both ages, as Non-Resistant after 48 months of exposure. At the end of 24 months of exposure, all species showed loss of strength and static bending stiffness. The lowest loss of mass was registered by the species *Cryptomeria japonica* and *Cupressus lusitanica* with lower stiffness values in 19 and 25% in relation to the initial value, while *Pinus taeda* was inferior in 62 and 64% to the same variable for 15 and 43 year old woods, respectively. The observed losses in relation to the initial were 51% for *Cryptomeria japonica*, 72% for *Cupressus lusitanica*, 78% for *Pinus taeda* (15 years), and 92% for *Pinus taeda* (43 years). The average accumulated fungal attack potential for the region of Curitiba, SC, between 2017 and 2019 is 98.8 ± 10 . Considering the climatic factors, there is an attack potential 11 (eleven) times higher in January when compared to the month of July. The woods of *Cupressus lusitanica* and *Cryptomeria japonica* have greater natural durability in contact with the soil in an open environment in the region of Curitiba, SC, when compared to *Pinus taeda* (both ages), and although these have lower bending properties than *Pinus taeda* for specific applications, the values are less reduced due to the time of exposure to the field.

Keywords: Xylophagous. Natural mass loss. Mechanical resistance. Rotting field.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação dos agentes deterioradores da madeira.	19
Figura 2 – Instalação do campo de apodrecimento.	26
Figura 3 – Croqui do campo de apodrecimento.	27
Figura 4 – Gabarito de avaliação do Índice de Deterioração.	29
Figura 5 – Potencial de Ataque Fúngico (PAF) entre 2016 e 2019 na região de Curitibaanos, SC.	34
Figura 6 – Potencial de Ataque Fúngico (PAF) médio entre os anos de 2016 e 2019 na região de Curitibaanos, SC.....	35
Figura 7 – Índice de deterioração médio ao longo do tempo de exposição da madeira das espécies.....	37
Figura 8 – Ataque evidente de fungos xilófagos no campo de apodrecimento.	38
Figura 9 – Ataque evidente de térmitas (cupins) no campo de apodrecimento.....	39
Figura 10 – Degradação fotoquímica das madeiras após 6 meses de exposição.....	40
Figura 11 – Perda de massa média ao longo do tempo de exposição da madeira das espécies.	41
Figura 12 – Aspecto das madeiras ao longo do tempo de exposição.	43
Figura 13 – Módulo de Elasticidade médio das madeiras das espécies ao longo do tempo de exposição.	44
Figura 14 – Módulo de Ruptura médio das madeiras das espécies ao longo do tempo de exposição.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização dos plantios de origem da madeira utilizada no experimento.	25
Tabela 2 – Classificação da deterioração da madeira proposto por Lepage (1970).	29
Tabela 3 – Classificação da durabilidade natural segundo a norma ASTM D 2017-05.	30
Tabela 4 – Densidade média das madeiras das espécies submetidas ao campo de apodrecimento.	33
Tabela 5 – Índice de deterioração das madeiras das espécies em diferentes tempos de exposição.	36
Tabela 6 – Índice de deterioração médio para as diferentes espécies.	37
Tabela 7 – Perda de massa (%) das madeiras das espécies em diferentes tempos de exposição.	41
Tabela 8 – Módulo de Elasticidade (MOE), em N/mm ² ao longo do tempo de exposição das espécies.	44
Tabela 9 – Módulo de Ruptura (MOR), em N/mm ² , ao longo do tempo de exposição das espécies.	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACR – Associação Catarinense de Empresas Florestais
ANOVA – Análise de Variância
AR – Altamente Resistente
ASTM – American Society for Testing and Materials
BS – British Standard
Cfb – Clima temperado, com verão ameno
DAP – Diâmetro a altura do peito
DBC – Delineamento em Blocos Casualizados
DIC – Delineamento Inteiramente Casualizados
IBÁ – Instituto Brasileiro de Árvores
IC – Índice de Comportamento
IMA – Incremento Médio Anual
IUFRO – International Union of Forest Research Organizations
MR – Moderadamente Resistente
NR – Não Resistente
PAF – Potencial de Ataque Fúngico
PIB – Produto Interno Bruto
PSF – Ponto de Saturação das Fibras
R – Resistente
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivo Geral.....	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	DESCRIÇÃO DAS ESPÉCIES.....	15
2.1.1	<i>Cryptomeria japonica</i> (Thunb. ex L.f.) D.Don	15
2.1.2	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.	15
2.1.3	<i>Pinus taeda</i> L.....	16
2.2	CAMPOS DE APODRECIMENTO	17
2.3	AGENTES DETERIORADORES DA MADEIRA.....	17
2.3.1	Agentes abióticos.....	19
2.3.2	Agentes bióticos - xilófagos	20
2.3.2.1	<i>Bactérias</i>	21
2.3.2.2	<i>Fungos</i>	21
2.3.2.3	<i>Insetos</i>	23
3	MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1	OBTENÇÃO E PREPARO DO MATERIAL.....	25
3.2	INSTALAÇÃO DO CAMPO DE APODRECIMENTO	26
3.3	POTENCIAL DE ATAQUE FÚNGICO	28
3.4	AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE NATURAL	28
3.4.1	Índice de Deterioração	29
3.4.2	Perda de Massa	30
3.4.3	Resistência Mecânica – Ensaio de Flexão Estática	30
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	32

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1	DENSIDADE DA MADEIRA	33
4.2	POTENCIAL DE ATAQUE FÚNGICO	34
4.3	ÍNDICE DE DETERIORAÇÃO	36
4.4	PERDA DE MASSA	40
4.5	RESISTÊNCIA MECÂNICA	44
5	CONCLUSÃO.....	48
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
	REFERÊNCIAS.....	50
	APÊNDICE 1 – QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANAVA)	54

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro possui participação ativa na economia do país, sendo que em 2018 foi responsável por 1,3% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional e 6,9% do PIB industrial. De acordo com a última estimativa a área total de florestas plantadas no Brasil chegou a 7,83 milhões de hectares, com predominância dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, que estão situados, majoritariamente, nas regiões Sul e Sudeste do país (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2019).

Os produtos sólidos de madeira compõem um dos segmentos florestais com grande potencial de expansão e crescimento, sob demanda crescente dos mercados da construção civil, embalagens e linhas de transmissão (cruzetas, dormentes e postes) (VIDAL *et al.*, 2015).

O fator de maior influência no uso dos produtos sólidos de madeira em regiões de clima tropical é a sua durabilidade natural (MENDES; ALVES, 1988), variável entre espécies é definida como a vida útil da madeira em serviço quando exposta a fatores abióticos (temperatura, luz, umidade, acidez, etc.) e bióticos, potencializada em situações de contato direto com o solo, habitat da maioria dos organismos xilófagos, principalmente fungos e térmitas (JESUS *et al.*, 1998; OLIVEIRA *et al.*, 2005).

Dentre as diferentes formas de avaliação da durabilidade natural de madeiras estão os “Ensaio de Campo ou Campos de Apodrecimento”, que simulam a exposição da madeira aos diferentes agentes de deterioração em condições reais. A avaliação da durabilidade da madeira em contato direto com o solo permite avaliar a vida útil e a suscetibilidade aos agentes xilófagos (COSTA *et al.*, 2005). Informações complementares das propriedades físico-mecânicas permitem avaliar possíveis alterações da madeira, que possuem relação direta com sua qualidade e aplicabilidade (GALLIO *et al.*, 2018; TREVISAN; MARQUES; CARVALHO, 2008).

A intensa exploração econômica associada à ação antrópica do desmatamento resultou num cenário de baixo estoque e oferta de espécies nativas, tradicionalmente reconhecidas como duráveis. Diante disso, as florestas plantadas são responsáveis por atender as demandas atuais e futuras por produtos sólidos de madeira, com espécies de rápido crescimento. Neste sentido, a busca por espécies alternativas apresenta-se como uma alternativa promissora (SHIMIZU, 1998).

Diante da necessidade de informações técnicas acerca da durabilidade natural e da resistência mecânica da madeira de espécies promissoras como *Cupressus lusitanica* e *Cryptomeria japonica*, o presente estudo foi realizado, buscando novas alternativas para os diferentes usos da madeira, em especial em contato direto com o solo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o efeito do tempo de exposição a campo na durabilidade natural das madeiras de *Cryptomeria japonica*, *Cupressus lusitanica* e *Pinus taeda*.

1.1.2 Objetivos Específicos

Avaliar o potencial de ataque fúngico (PAF) ao longo do período de exposição das madeiras a campo.

Avaliar a perda de massa e o índice de deterioração das madeiras ao longo do tempo de exposição.

Quantificar a resistência e rigidez das madeiras ao longo do tempo de exposição a campo frente ao ensaio de flexão estática.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DESCRIÇÃO DAS ESPÉCIES

2.1.1 *Cryptomeria japonica* (Thunb. ex L.f.) D. Don

Cryptomeria japonica é uma espécie florestal pertencente a ordem Pinales e família Cupressaceae, popularmente conhecida no Brasil como Pinheiro-japonês, Cedrinho-japonês ou Criptoméria, e como “sugi” no seu país de origem (Japão). Tem origem na região temperada do Japão (entre 600 e 1.800 m de altitude), ocupando aproximadamente 45% dos maciços florestais naquele país (CARPANEZZI *et al.*, 1986).

Os primeiros registros de plantios de Criptoméria no Brasil são da década de 80, nas regiões de Caieiras – SP e Camanducaia – MG (CARPANEZZI *et al.*, 1986). Na mesma época, Alves *et al.*, (1984) realizavam ensaios de procedência de *Cryptomeria japonica* em três regiões distintas do estado do Paraná, obtendo taxas de sobrevivência de até 94%.

Recomendam-se plantios da espécie em regiões com temperatura média anual entre 12 e 14°C, aliado a altitude superior a 600 m e precipitação anual superior a 2.000 mm (CARPANEZZI *et al.*, 1986). Criptoméria exige solos profundos, úmidos e bem drenados, férteis, de preferência em encostas protegidas (SHIMIZU; MAIOCHI, 2007). Estudos recentes confirmam potencial de crescimento de *Cryptomeria japonica* na região Sul do Brasil, com valores de incremento médio anual (IMA) de 43,0 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ aos 25 anos em condições ótimas de sítio (DOBNER JR., 2013).

A madeira de Criptoméria é leve, com densidade aparente média de 0,360 g.cm⁻³ e não apresenta grandes problemas de contração, sendo ainda considerada uma madeira de alta durabilidade natural e fácil de ser trabalhada (PEREIRA; HIGA; SHIMIZU, 2003). As características da madeira juvenil apresentaram-se promissoras tanto em aspectos anatômicos e físicos, quanto mecânicos (CARNEIRO; BITTENCOURT; MUNIZ, 2009).

2.1.2 *Cupressus lusitanica* Mill.

Muitas árvores e arbustos do Gênero *Cupressus* são popularmente conhecidos como Cipreste ou Cedrinho. Acredita-se que *Cupressus lusitanica* seja resultado do cruzamento entre

C. benthamii e *C. lindleyi*, originários do México e Guatemala, respectivamente (PEREIRA; HIGA, 2003; SHIMIZU *et al.*, 2006). *Cupressus lusitanica* também pertence a ordem Pinales e família Cupressaceae, assim como *Cryptomeria japonica*.

Cupressus lusitanica ocorre em regiões altas (entre 1.000 e 2.500 m), com precipitações anuais entre 2.000 e 4.000 mm, bem distribuídas, e temperatura média anual em torno de 12°C. Por apresentar alto vigor e rusticidade, pode ser cultivada em solos rasos e sítios irregulares (CARPANEZZI *et al.*, 1986; SHIMIZU *et al.*, 2006). No Brasil, seu cultivo se limita aos planaltos e montanhas das regiões Sul e Sudeste, embora demonstre tolerância as variações climáticas e curtos períodos de seca (SHIMIZU *et al.*, 2006). O primeiro registro de plantio pré comercial do Cipreste no Brasil é do ano de 1904, em Jundiá – SP, pela Companhia Paulista de Estradas de Ferro (SHIMIZU, 2001).

Segundo Carpanezzi *et al.*, (1986), a produtividade média de *Cupressus lusitanica* pode ser de até 30 m³.ha⁻¹.ano⁻¹. Em estudo recente, Rauschkolb (2017) identificou diâmetro médio sem casca de 25 cm em povoamento de 15 anos de idade em Santa Catarina.

A madeira de *Cupressus lusitanica* é leve, com densidade média de 0,415 g.cm⁻³, baixos índices de contração volumétrica total e altamente homogênea quanto a variação dessas características dentro da árvore, além de resistente a biodeterioração (PEREIRA; HIGA, 2003; SHIMIZU *et al.*, 2006). Moya (2015) definiu a madeira de *Cupressus lusitanica* como de ótima trabalhabilidade. Apesar disso, a base genética da espécie ainda é restrita e desconhecida no Brasil, existindo um potencial inexplorado para aumentar a produtividade e melhorar a qualidade da madeira da espécie (SHIMIZU *et al.*, 2006).

2.1.3 *Pinus taeda* L.

Pinus taeda é uma espécie conífera nativa dos Estados Unidos, pertencente a ordem Pinales e família Pinaceae. Em toda região de ocorrência natural da espécie o clima é úmido, com precipitações anuais entre 900 mm e 2.200 mm e temperatura anual média de 13 a 19°C, suportando até mesmo temperaturas extremas (CARPENAZZI *et al.*, 1986).

O gênero *Pinus* no Brasil foi responsável por cobrir 1,58 milhão de hectares de área plantada em 2018 (ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS, 2019). Estima-se que *Pinus taeda* represente 1 (um) milhão destes maciços, concentrados nos planaltos

da Região Sul, em regiões com clima fresco e inverno frio, em solos bem drenados, sem deficiência hídrica (AGUIAR; SOUSA; SHIMIZU, 2014).

Segundo Schumacher (2020), a produtividade do *Pinus* spp. pode variar no intervalo de 15 a 45 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, sendo resultado de diversos fatores, tais como: material genético, clima, solo, manejo e interações.

A madeira de *Pinus taeda* é leve, com valores de densidade aparente em torno de 0,500 g.cm⁻³ (POTULSKI, 2010). *Pinus taeda* constitui uma importante fonte de matéria-prima na fabricação de diferentes produtos, cuja utilização pela indústria moveleira e de construção civil vem crescendo a cada ano. Embora difundida, a madeira de *Pinus* possui baixa durabilidade natural ao ataque de organismos xilófagos, potencializada em situações de uso em contato direto com o solo (JANKOWSKI; BARILLARI; FREITAS, 2002).

2.2 CAMPOS DE APODRECIMENTO

Os ensaios de apodrecimento ou campos de apodrecimento compõe uma das metodologias de avaliação da durabilidade da madeira e seus preservativos (MENDES; ALVES, 1988).

A durabilidade natural da madeira a organismos xilófagos é afetada pelas condições de uso, sendo avaliada de forma mais efetiva em condições reais (testes de campo), em que é exposta aos agentes físicos, químicos e biológicos do solo e ambiente (COSTA *et al.*, 2005). Nestes ensaios, a madeira pode ter suas dimensões reais de uso (postes, moirões, etc.) ou menores (MENDES; ALVES, 1988).

Embora ensaios de campo demandam mais tempo quando comparados a ensaios de laboratório, os resultados obtidos nesses experimentos possibilitam classificar a vida útil e o nível de deterioração ao longo do tempo, sendo uma questão importante na aplicação da madeira, principalmente em ambientes externos e em contato direto com o solo (JESUS *et al.*, 1998).

2.3 AGENTES DETERIORADORES DA MADEIRA

Por ser uma matéria-prima de origem orgânica, a madeira obedece uma ciclagem biogeoquímica natural de seus elementos constituintes, a partir de fatores abióticos e bióticos

(KLOCK *et al.*, 2005). Historicamente utilizada como matéria-prima para diversos fins, Vidal (2015) relata que existem registros sobre durabilidade natural e preservação de madeiras no Brasil desde o século XVI.

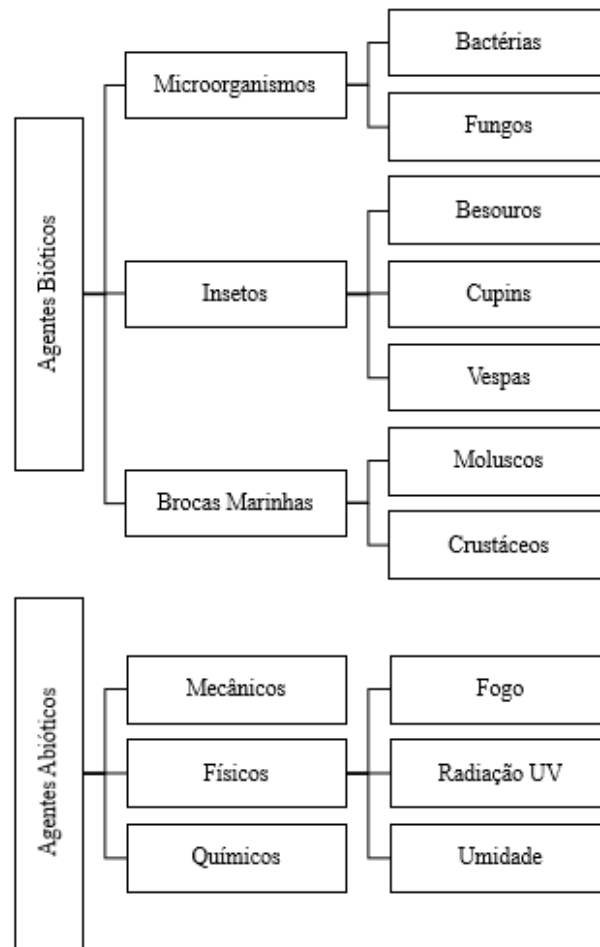
A deterioração da madeira em seu estado natural, sob uso e até mesmo na árvore viva, ocorre a partir de agentes mecânicos, físicos, químicos e biológicos (MENDES; ALVES, 1988). Estes agentes de deterioração da madeira atuam de forma contínua e simultânea, alterando as propriedades tecnológicas da madeira e deixando-a cada vez mais susceptível após o ataque inicial (RITTER; MORRELL, 1990).

Os agentes biológicos (ou bióticos) são representados pelos xilófagos – organismos capazes de usar direta ou indiretamente a madeira ou seus componentes principais – com grande importância pelo alto grau de incidência e severidade. Já a degradação mecânica, física e química, estão relacionadas às condições de uso e exposição da madeira, que se manifestam no fenômeno de intemperismo da madeira ou *weathering* (GONZAGA, 2006).

Para Oliveira *et al.*, (1986) os defeitos causados pelos agentes bióticos e abióticos na madeira exposta a condições adversas são: descoloração, enfraquecimento da estrutura e levantamento da grã. Os fungos e bactérias além de causarem o apodrecimento podem alterar características tecnológicas, principalmente a resistência mecânica. Já os insetos causam perfurações de modo irreversível.

Sob condições de uso da matéria-prima, torna-se importante a identificação das causas de deterioração, tornando métodos de controle específicos e eficientes. Nesse sentido, os diferentes agentes deterioradores da madeira são classificados conforme a Figura 1.

Figura 1 – Classificação dos agentes deterioradores da madeira.



Fonte: Adaptado de Oliveira *et al.*, (1986).

2.3.1 Agentes abióticos

A madeira exposta ao tempo (ar livre) sofre a influência de agentes mecânicos, físicos e químicos, que aceleram seu processo de deterioração (VALERI; PAULA, 2006) e atuam, de forma geral, na região superficial das peças (KLOCK, 2005), deixando-as mais susceptíveis ao ataque de agentes xilófagos (MENDES; ALVES, 1988).

O desgaste mecânico de madeiras ocorre quando esta é submetida a esforços ou condições de abrasão de forma contínua, exemplos disso são: dormentes, pontes, escadas, etc. (MENDES; ALVES, 1988).

A contínua exposição da madeira a radiação solar provoca a deterioração dos seus constituintes, enquanto que a alternância de chuvas resulta na absorção e perda de água,

ocasionando no inchamento e contração da madeira e diminuição gradativa de sua resistência mecânica (MORESCHI, 2005). O fogo é considerado o principal agente físico de destruição da madeira, com alto potencial destrutivo em curto período de tempo (MENDES; ALVES, 1988).

A degradação química da madeira é resultado de reações entre a madeira e substâncias químicas da solução do solo e da chuva ácida (VALERI, 2006). Na prática ocorrem sequência de reações de radicais livres, quebra da estrutura da lignina e reações fotoquímicas, resultando na mudança da coloração natural da madeira (KLOCK, 2005).

Segundo Oliveira *et al.*, (1986), em madeiras expostas a fatores mecânicos, químicos e energéticos (luz), em contato direto com o solo, ocorre o fenômeno conhecido como “*weathering*”, que afeta diretamente nas propriedades de resistência da madeira, de forma similar ao apodrecimento causado por microorganismos.

2.3.2 Agentes bióticos - xilófagos

A degradação biológica da madeira é ocasionada por organismos xilófagos, compreendidos basicamente por: bactérias, fungos, insetos, moluscos e crustáceos (MENDES; ALVES, 1988). Estes agentes são capazes de utilizar direta ou indiretamente as substâncias armazenadas na madeira (amido, açúcares, etc.) ou os principais componentes da madeira (celulose, hemicelulose e lignina) como fonte de energia (VALERI, 2006).

Os organismos xilófagos se desenvolvem em condições ideais de temperatura, umidade e oxigênio, além de fonte de recursos disponíveis na própria madeira. Os níveis de dependência desses fatores são variáveis entre os diferentes tipos de xilófagos, porém na ausência de um destes não ocorre a biodeteriorização (RITTER; MORRELL, 1990).

O teor de umidade da madeira é um dos principais determinantes do ataque de xilófagos, sendo a água componente fundamental no metabolismo de seres vivos.

Em níveis de umidade da madeira abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF), os ataques são quase nulos, exceto por alguns grupos de fungos e insetos. Nesse sentido é reconhecida a importância da secagem da madeira como método preventivo contra agentes xilófagos, embora em situações de uso da madeira em contato direto com a água o ataque seja iminente (RITTER; MORRELL, 1990).

Com exceção de bactérias anaeróbicas, esses organismos também requerem oxigênio para realização da respiração celular. Embora privá-los de oxigênio pareça uma estratégia

lógica e simples, geralmente é impraticável. Já a faixa de temperatura ótima para atividade metabólica de organismos xilófagos é do intervalo entre 21 e 29°C, embora muitos grupos consigam sobreviver a temperaturas maiores. Em temperaturas acima ou abaixo deste mesmo intervalo, há uma redução no metabolismo e estruturas de resistência podem ser criadas como estratégia de sobrevivência durante períodos desfavoráveis (RITTER; MORRELL, 1990).

2.3.2.1 Bactérias

O ataque de bactérias é comum em madeiras submersas por tempo prolongado ou em condições de anaerobiose. De modo geral, estes microorganismos não causam sérios problemas de deterioração da madeira e alimentam-se, aparentemente, dos nutrientes existentes nas células parenquimáticas dos raios e canais resiníferos. Em níveis mais severos, as enzimas segregadas pelas bactérias podem conferir mal cheiro a madeira (MENDES; ALVES, 1988).

Gonzaga (2006) descreve que bactérias gram-positivas têm capacidade enzimática de decompor celulose e hemicelulose, além de atuarem como agentes auxiliares aos fungos apodrecedores, uma vez que facilitam a penetração das hifas após rompimento das pontuações (válvula de passagem da seiva entre células).

2.3.2.2 Fungos

Os fungos são organismos rudimentares, desprovidos de clorofila e nutridos, essencialmente, de animais e plantas em decomposição (saprófitos) (MENDES; ALVES, 1988). Estes microorganismos se movimentam com uma rede de hifas microscópicas semelhante a fios que crescem e penetram na estrutura celular da madeira, produzindo corpos de frutificação sexual ou assexual para distribuir esporos reprodutivos (RITTER; MORRELL, 1990).

Todos os grupos de fungos que deterioram a madeira requerem condições ambientais adequadas a seu metabolismo, sendo as principais: umidade da madeira acima de 20%, temperatura entre 0 e 60°C (ideal entre 25 e 30°C), presença e suficiência de oxigênio, pouca incidência solar e pH levemente ácido (entre 4,5 e 5,5), não sendo tolerantes a ambientes alcalinos (pH maior que 7,0) (GONZAGA, 2006).

Os fungos que normalmente são encontrados na madeira dividem-se em 5 categorias: podridão parda, podridão branca, podridão mole, manchadores e emboloradores. Os três primeiros são agrupados como fungos apodrecedores e são responsáveis pela perda de resistência da madeira (MENDES; ALVES, 1988).

Os fungos emboloradores são visualizados como uma massa de esporos na superfície da madeira (VALERI, 2006), que podem ser removidos por escovação ou aplainamento (RITTER & MORRELL, 1990). Segundo Moreschi (2005) atacam principalmente a madeira recém-cortada das árvores, mas podem atacar também madeiras que foram previamente secas e que ficam expostas a um alto teor de umidade. Estes causam apenas danos estéticos, não afetando as propriedades de resistência da madeira (OLIVEIRA *et al.*, 1986).

Os fungos manchadores possuem hifas pigmentadas e habitam tecidos parenquimáticos, principalmente do parênquima radial, alimentando-se de nutrientes existentes nas células (MENDES; ALVES, 1988). Apesar de não comprometerem a estrutura, diminuem o valor da madeira por mancharem sua superfície, tendo como maior problema no Brasil o que produz a chamada “mancha azul” (GONZAGA, 2006). Esse grupo de fungos ocasiona a obstrução das passagens naturais da madeira, pelo fato de se propagarem entre pontuações, tornando a madeira mais impermeável a tratamentos preservativos (MORESCHI, 2005).

Os fungos apodrecedores desintegram a parede celular, diminuindo a resistência mecânica da madeira (VALERI, 2006). Estes estão divididos em três grandes grupos, com base na maneira com que atacam e a aparência do material deteriorado, sendo esses: podridão mole, podridão parda e podridão branca (RITTER; MORRELL, 1990).

A podridão mole é provocada, em geral, pelos fungos da classe dos Ascomycetos (GONZAGA, 2006) e Deuteromicetos (VALERI, 2006), que são capazes de degradar celulose e hemicelulose. Sua ação é relativamente lenta e superficial e a peça atacada apresenta superfície amolecida, com trincas transversais. Já a podridão parda tem como principais agentes os Basidiomicetos, que atacam a celulose, deixando a lignina praticamente intacta (GONZAGA, 2006), isso resulta no escurecimento da madeira atacada e fissuras por toda a peça, afetando a resistência da mesma e causando a perda de peso na ordem de até 70% (RITTER & MORRELL, 1990). Os fungos de podridão branca decompõem, proporcionalmente, tanto a celulose e hemicelulose, quanto a lignina (MENDES; ALVES; 1988). A madeira com podridão branca perde peso e entra em colapso, porém de forma mais lenta que na podridão parda (GONZAGA, 2006).

2.3.2.3 Insetos

Os insetos estão entre os organismos mais populosos do mundo e várias espécies desenvolveram a capacidade de usar a madeira como fonte de alimento ou abrigo. Das 26 ordens de insetos existentes, 6 causam danos a madeira, sendo os principais: cupins ou térmitas (Isoptera), besouros (Coleoptera), abelhas, vespas e formigas (Hymenoptera) (RITTER; MORRELL; 1990).

Os cupins ou térmitas compõe um grupo de aproximadamente 2.000 espécies e degradam a celulose, que é digerida por protozoários presentes no intestino desses insetos. São considerados insetos sociais, com a colônia dividida em três castas hierárquicas: a dos reprodutores, as operárias e a dos soldados, com as respectivas formas jovens e adultas. Os cupins que atacam a madeira podem ser divididos em cupins subterrâneos ou do solo, cupins de madeira úmida e cupins de madeira seca, que se diferenciam conforme seus hábitos de vida (MENDES; ALVES, 1988).

Os cupins do solo ou subterrâneos compõe a família Termitidae e, como o nome sugere, vivem preferencialmente no solo, onde formam imensas colônias (cupinzeiros), se alimentando de todo e qualquer tipo de material celulósico. Esse grupo de cupins possuem grande capacidade destruidora, embora prefiram material celulósico com maior teor de umidade (GONZAGA, 2006). Da mesma forma, os cupins de madeira úmida atacam madeiras recém-cortadas e em contato direto com o solo. Já os cupins de madeira seca, diferem dos demais por sua capacidade de atacar madeira extremamente seca, com teor de umidade de 5 a 6% (RITTER & MORRELL, 1990). Vivem no interior das peças e constroem longas galerias, com pequenos furos superficiais para aeração e despejo dos excrementos, em forma de grânulos escuros (GONZAGA, 2006).

Os besouros, também conhecidos como brocas da madeira, representam a maior ordem de insetos e possuem nove famílias que causam danos substanciais a madeira (RITTER; MORRELL; 1990). O ataque desses insetos é feito durante o período de seu ciclo vital, que compreende as fases de ovo, larva, pupa e inseto adulto (MENDES & ALVES; 1988). Alguns grupos atacam árvores vivas, outros da família Anobiidae, Bostrichidae e Lyctidae, completam seu ciclo de vida na madeira seca, alimentando-se de açúcares e amidos simples. Estes

conseguem ainda digerir a celulose, em simbiose com fungos e bactérias. As peças deterioradas por brocas geram um pó de coloração clara e fina (GONZAGA, 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 OBTENÇÃO E PREPARO DO MATERIAL

Foram utilizadas as madeiras de *Cryptomeria japonica* e *Cupressus lusitanica*, ambas com aproximadamente 16 anos de idade e *Pinus taeda*, com 15 e 43 anos de idade, portanto, para a última espécie, foram utilizadas madeiras com lenho juvenil e lenho adulto (porção amostrada acima do 30º ano). Todo o material foi cedido pela empresa Florestal Gateados Ltda., cujas características dos plantios são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização dos plantios de origem da madeira utilizada no experimento.

Espécie	Idade	Espaçamento	Origem
<i>C. japonica</i>	16	2,5 x 2,0	Campo Belo do Sul – SC
<i>C. lusitanica</i>	16	2,5 x 2,0	Campo Belo do Sul – SC
<i>Pinus taeda</i>	15*	3,0 x 2,0	Campo Belo do Sul – SC
<i>Pinus taeda</i>	43**	2,0 x 2,0	Correia Pinto – SC

*A madeira com 15 anos serviu como referência, possuindo apenas lenho juvenil. ***Amostras confeccionadas somente com o lenho produzido após os 30 anos, caracterizando, dessa forma, somente o lenho adulto. Fonte: Nunes (2018).

Foram selecionadas 10 árvores por espécie. Em seguida, o material foi transportado para o Laboratório de Recursos Florestais, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), campus de Curitibanos para confecção dos corpos de prova.

A partir das toras foram confeccionados 55 corpos de prova para cada espécie, livres de defeitos, nas dimensões 2,5 x 5,0 x 50,0 cm, sendo a última paralela a grã, em conformidade com o método sugerido pela International Union for Forestry Research Organization – IUFRO, para ensaios de campo com estacas de madeira, citado por Lepage (1970) e Becker (1972).

Em seguida, os corpos de prova foram submetidos a secagem em estufa com circulação forçada de ar, em temperatura de 60°C até massa constante, seguido da pesagem em balança de precisão e medição com paquímetro digital e régua para determinação da densidade aparente da madeira nessa condição, conforme a Equação 1.

$$D = \frac{M_i}{v} \quad (1)$$

Em que:

D: densidade aparente (g/cm^3);

Mi: massa inicial após climatização a temperatura de 60°C até massa constante (g);

v: volume (cm^3).

A massa obtida na pesagem após estabilização a 60°C foi denominada de massa inicial (Mi) e serviu de base para o cálculo da perda de massa após exposição a campo (item 3.5.2).

3.2 INSTALAÇÃO DO CAMPO DE APODRECIMENTO

O campo de apodrecimento foi instalado em dezembro de 2015, em uma área de campo aberto localizada na Área Experimental Florestal (AEF) da UFSC, no município de Curitibanos/SC, nas coordenadas $27^\circ 18' 52.11''\text{S}$ e $50^\circ 42' 36.36''\text{O}$, e altitude de 835 metros. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é Cfb – subtropical úmido com verões amenos (EMBRAPA, 2012).

O campo de apodrecimento ocupou uma área total de $73,5\text{ m}^2$ ($9,8 \times 7,5\text{ m}$), delimitado por moirões e cercas de arame (Figura 2). Foi realizada a limpeza da área 30 dias antes da instalação do experimento, com aplicação de herbicida para o controle das ervas daninhas. O mesmo foi utilizado em casos de infestação, de modo a eliminar a influência da vegetação no experimento.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados (DBC), utilizando parcelas subdividas no tempo, sendo 5 blocos com 10 corpos de prova de cada espécie por bloco, totalizando 50 corpos de prova por tratamento a campo, conforme demonstra o croqui esquemático da Figura 3. Os corpos de prova foram enterrados em profundidade de 25 cm, correspondente a metade do comprimento dos mesmos, equidistantes 30 cm entre si e 100 cm entre blocos, representado na Figura 3.

Figura 2 – Instalação do campo de apodrecimento.



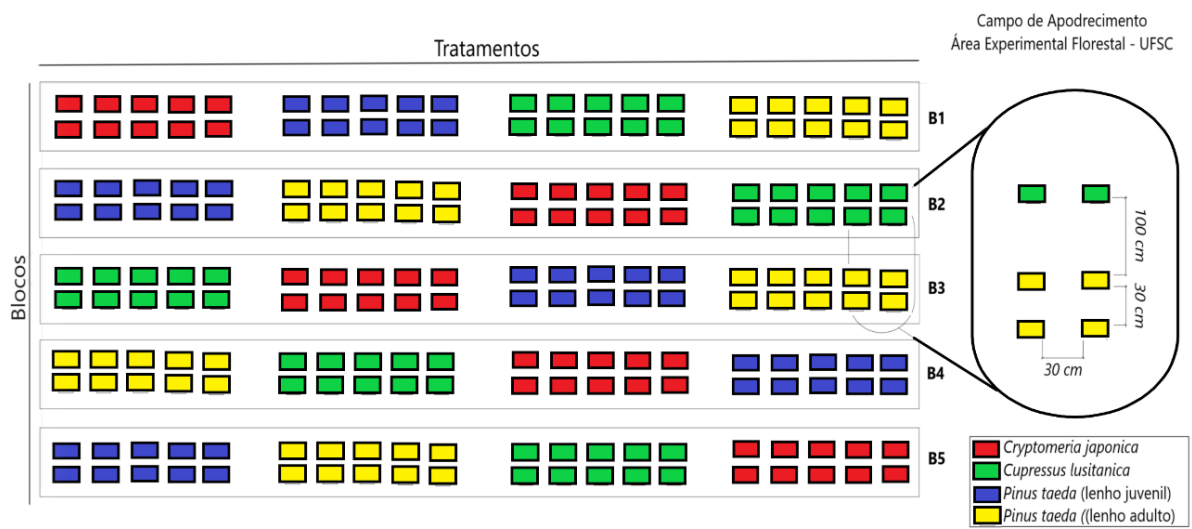
A



B

Legenda: (A) Instalação das amostras e (B) distribuição das amostras a campo.
 Fonte: Nunes, 2018.

Figura 3 – Croqui do campo de apodrecimento.



Fonte: o autor, 2020.

3.3 POTENCIAL DE ATAQUE FÚNGICO

Foram coletados os dados climatológicos de temperatura média mensal (°C) e pluviosidade média mensal (mm) da região de Curitiba durante os 4 anos de vigência do experimento (janeiro de 2016 a dezembro de 2019), tomando como os dados climáticos da estação meteorológica da UFSC, em Curitiba/SC, localizado nas coordenadas 27°17'07.4"S e 50°32'00.3"O e altitude de 1.097 metros. A partir dessas informações, calculou-se o potencial de ataque fúngico (PAF) do local da localidade de instalação, conforme a Equação 2, adaptada para as condições do Brasil por Martins *et al.* (2003).

$$PAF = \sum_{\text{Janeiro}}^{\text{Dezembro}} \frac{[(T - 2) \times (D - 3)]}{16,7} \quad (2)$$

Em que:

PAF: Potencial de ataque fúngico;

T: Temperatura média (°C);

D: Número de dias no mês com precipitação igual ou maior que 0,30 mm.

3.4 AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE NATURAL

Avaliou-se a durabilidade natural das madeiras pelo índice de deterioração, proposto por Lepage (1970), perda de massa e propriedade mecânica em flexão estática após a exposição a campo.

Nos meses de junho e dezembro, de cada um dos 4 anos de vigência do experimento, foram removidos 5 corpos de prova por tratamento (um corpo de prova por bloco), selecionados de forma sistemática, totalizando a remoção de 40 corpos de prova por tratamento ao final do período.

Após a remoção, realizava-se a limpeza das amostras de madeira com auxílio de escova, a fim de evitar a influência dos resíduos de solo na pesagem e diagnóstico visual de deterioração.

Assim como na obtenção da massa inicial, os corpos de prova depois de limpos foram submetidos ao condicionamento em estufa com circulação de ar a 60°C até obtenção de massa constante para determinação da massa final.

3.4.1 Índice de Deterioração

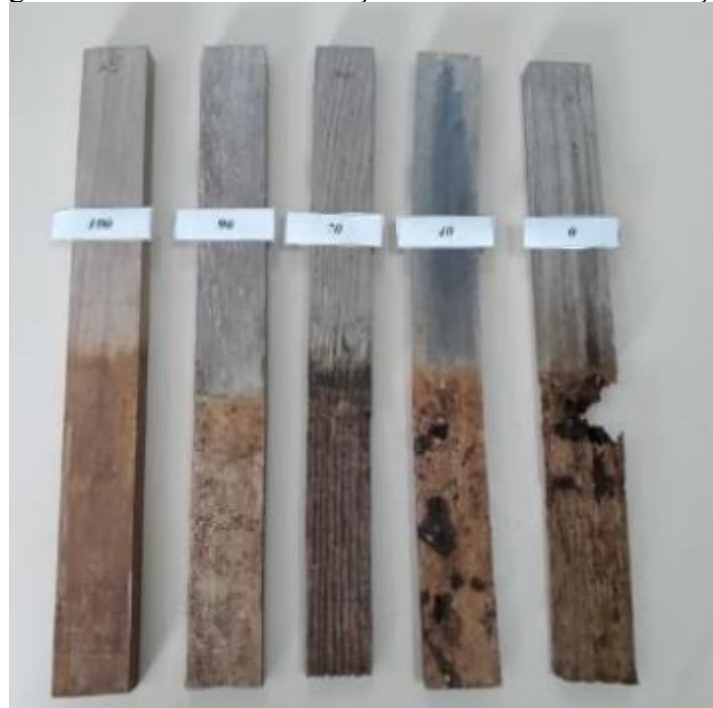
O índice de deterioração deu-se a partir da análise visual e atribuição de notas aos corpos de prova oriundos do campo a cada avaliação, utilizando como parâmetro a classificação proposta por Lepage (1970), indicada na Tabela 2. As notas são subjetivas e variam conforme o aspecto visual da amostra. Na Figura 4 exemplificam-se as notas atribuídas e índice de deterioração observado.

Tabela 2 – Classificação da deterioração da madeira proposto por Lepage (1970).

Estado de Sanidade	Índice de Deterioração
Sadio, nenhum ataque	100
Ataque leve ou superficial de fungos e térmitas	90
Ataque evidente, mas moderado de fungos e térmitas	70
Apodrecimento intenso ou ataque intenso de térmitas	40
Quebra, perda quase total de resistência	0

Fonte: Lepage (1970).

Figura 4 – Gabarito de avaliação do Índice de Deterioração.



Fonte: Nunes (2018).

3.4.2 Perda de Massa

As amostras removidas passaram pelo processo de condicionamento em estufa com circulação forçada de ar (60°C até massa constante). Em seguida, as mesmas foram pesadas em balança de precisão, tomando sua massa final (Mf) para cálculo da perda de massa em porcentagem, seguido da classificação da classe de resistência da madeira, conforme a norma ASTM D 2017-05 (2005), indicada na Tabela 3.

$$PM(\%) = \frac{Mi - Mf}{Mi} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

PM: Perda de Massa (%);

Mi: Massa inicial (g);

Mf: Massa final (g).

Tabela 3 – Classificação da durabilidade natural segundo a norma ASTM D 2017-05.

Classe de Resistência	Perda de Massa (%)	Massa Residual (%)
Altamente Resistente – AR	0 – 10	90 – 100
Resistente – R	11 – 24	76 – 89
Moderadamente Resistente – MR	25 – 44	56 – 75
Não-Resistente – NR	>45	>55

Fonte: ASTM D 2017-05 (2005).

3.4.3 Resistência Mecânica – Ensaio de Flexão Estática

Após avaliação da perda de massa os corpos de prova tiveram as dimensões ajustadas segundo a norma ASTM D 143-94 (1994), para o ensaio de flexão estática, resultando em duas repetições por corpo de prova com as dimensões de 2,5 x 2,5 x 41,0 cm, tomando-se o cuidado para que o centro da amostra (zona de afloramento) coincidisse com o centro da amostra a ser ensaiada (local de aplicação da carga no ensaio). Os ensaios foram conduzidos somente com as amostras retiradas do campo até os 24 meses, que ainda apresentavam integridade para tais procedimentos.

De acordo com a norma a aplicação da carga ocorreu na face tangencial do corpo de prova, com distância entre os apoios (vão) de 36 cm e velocidade de aplicação da carga de 1,3 mm/min.

O ensaio de flexão estática foi realizado em máquina universal de ensaios mecânicos, no Laboratório de Recursos Florestais da Universidade Federal de Santa Catarina. Ao final dos ensaios foi registrada a carga e deformação correspondente, que juntamente com os valores de dimensão dos corpos de prova na região de aplicação da carga e vão permitiram os cálculos do Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR), pelas equações 4 e 5, respectivamente.

$$MOE = \frac{1}{4} \times \frac{(P_2 - P_1)}{(L_2 - L_1)} \times \frac{L^3}{b \times h^3} \quad (4)$$

Em que:

MOE: Módulo de Elasticidade (N/mm²);

P₂ e P₁: Carga (N);

L₂ e L₁: Deformação (mm);

L: Vão = 360 mm;

b: Base (mm) = Tangencial;

h: Altura (mm) = Radial.

$$MOR = \frac{3}{2} \times \frac{P_{m\acute{a}x} \times L}{b \times h^2} \quad (5)$$

Em que:

MOR: Módulo de Ruptura (N/mm²);

P_{máx}: Carga máxima (N);

L: Vão = 360 mm;

b: Base (mm) = Tangencial;

h: Altura (mm) = Radial.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos no campo de apodrecimento foram armazenados em base padronizada e analisados, posteriormente, no software estatístico *RStudio Team* (2020).

O delineamento utilizado para análise da variável densidade da madeira foi o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), considerando a uniformidade existente dentro das estufas de condicionamento, seguido da Análise de Variância (ANAVA) e teste de médias de Tukey, com 95% de significância.

As variáveis de avaliação da durabilidade natural (perda de massa, índice de deterioração e resistência mecânica) foram delineadas experimentalmente em blocos casualizados (DBC). Foram avaliados os fatores espécie (4 níveis) e tempo (9 e 5 níveis). O conjunto de dados foi submetido a Análise de Variância (ANAVA) e teste de médias de Tukey, com 95% de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DENSIDADE DA MADEIRA

Os resultados de densidade média das madeiras das espécies submetidas ao campo de apodrecimento são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Densidade média das madeiras das espécies submetidas ao campo de apodrecimento.

Espécie	Densidade aparente* (g/cm³)	Mínimo	Máximo	CV** (%)
<i>Pinus taeda</i> (43 anos)	0,544 ^a	0,428	0,610	8,1
<i>Cupressus lusitanica</i>	0,433 ^b	0,320	0,600	11,1
<i>Pinus taeda</i> (15 anos)	0,399 ^c	0,366	0,468	5,9
<i>Cryptomeria japonica</i>	0,348 ^d	0,292	0,438	8,8

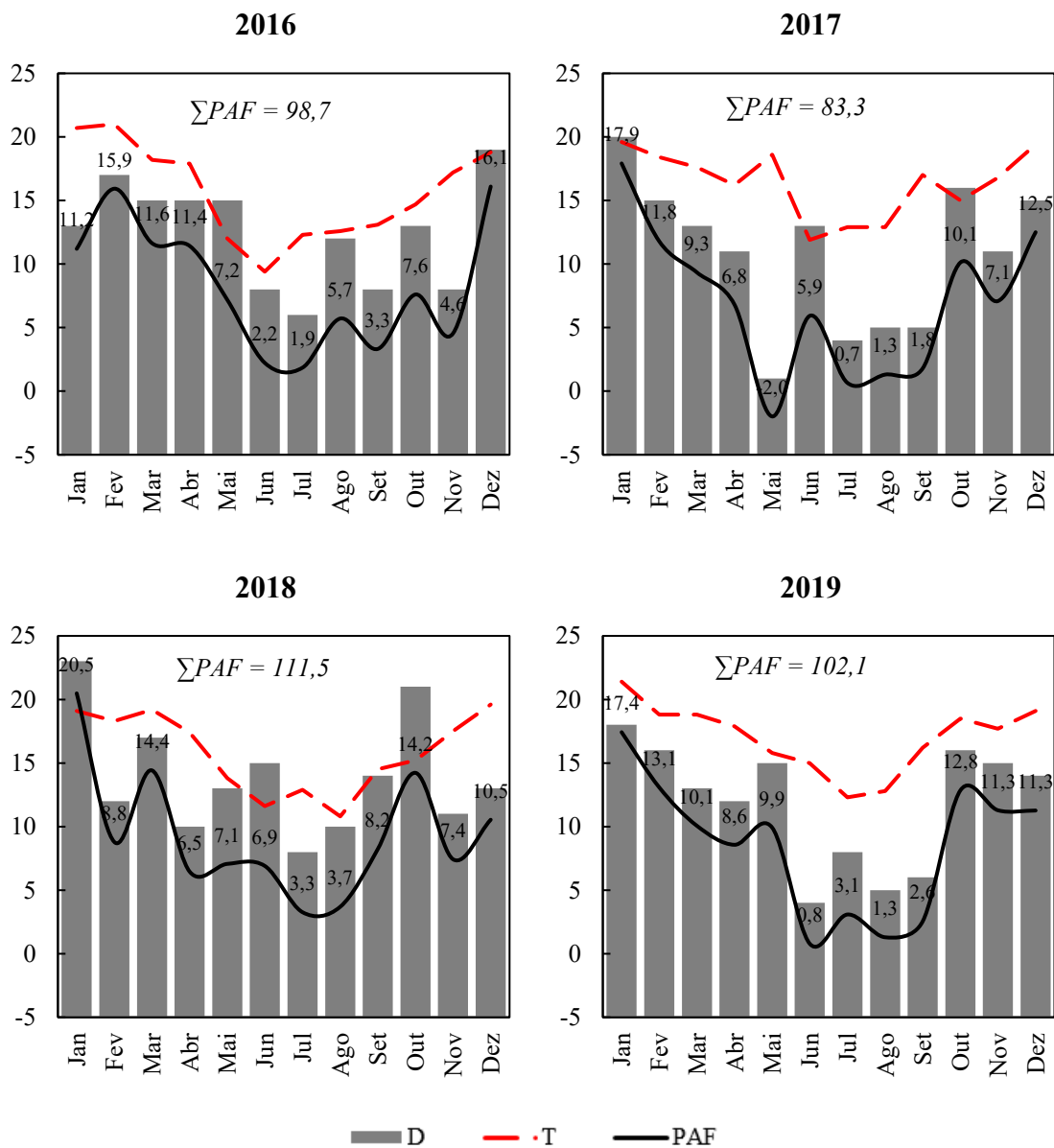
Médias seguidas da mesma letra não apresentam diferença estatística significativa pelo teste de médias (Tukey, $p > 0,05$). *Densidade da madeira após secagem em estufa a 60°C até massa constante. **CV: Coeficiente de variação.

Todas as espécies diferiram estatisticamente entre si para a variável densidade. Estudos indicaram a correlação positiva existente entre a densidade aparente de madeiras, durabilidade natural e resistência mecânica. Gonçalves *et al.* (2013) ao compararem a durabilidade natural da madeira de 10 (dez) espécies, obtiveram notas de menor desgaste para espécies mais densas. Palma *et al.* (2018) ao estudarem a durabilidade natural e resistência mecânica de madeiras de rápido crescimento em campo de apodrecimento, verificaram uma elevada relação linear entre a densidade aparente e resistência ao impacto, a partir de testes de flexão dinâmica. Teoricamente, considerando apenas essa propriedade física, *Pinus taeda* (43 anos) e *Cupressus lusitanica* tenderiam a serem as espécies mais duráveis e resistentes, porém outros aspectos podem influenciar nesse quesito, como composição química, classe de extrativos, presença de cerne ou alburno, presença de defeitos, entre outros aspectos. Os resultados sobre a durabilidade natural são apresentados a seguir.

4.2 POTENCIAL DE ATAQUE FÚNGICO

O potencial de ataque fúngico (PAF) nos 4 anos do experimento, na região de Curitiba, SC é apresentados na Figura 5. Este índice dimensiona a probabilidade do ataque fúngico em madeiras, quando exposta a determinada condição climática (CASAVECCHIA, 2011).

Figura 5 – Potencial de Ataque Fúngico (PAF) entre 2016 e 2019 na região de Curitiba, SC.



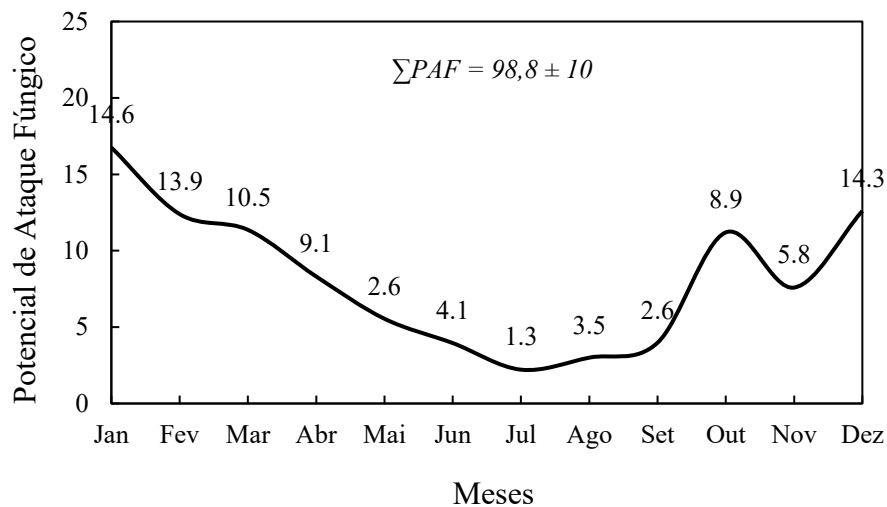
Legenda: D = número de dias com precipitação maior que 0,30 mm; T = temperatura média mensal (°C); PAF = Potencial de ataque fúngico.

Fonte: o autor (2020).

De modo geral, notou-se comportamento semelhante do PAF ao longo dos anos, com picos máximos e mínimos nas estações quente e fria, respectivamente. Exceções foram vistas pontualmente, influenciadas pelo número de dias com precipitação maior que 0,30 mm. O PAF acumulado no período foi de: 98,7; 83,3; 111,5 e 102,1 para os anos de 2016, 2017, 2018 e 2019, respectivamente. Casavecchia (2011) ao estudar o potencial de ataque fúngico na região de Sinop – MT, concluiu que oscilações da variável foram dependentes quase que exclusivamente da distribuição das precipitações na região, evidenciando a importância da umidade no metabolismo de fungos xilófagos.

De modo geral, na região de Curitibanos, SC, existem períodos do ano em que a madeira se encontra mais susceptível ao ataque de fungos xilófagos (Figura 6). Considerando os extremos, tem-se um potencial de ataque 11 (onze) vezes maior em janeiro quando comparado ao mês de julho.

Figura 6 – Potencial de Ataque Fúngico (PAF) médio entre os anos de 2016 e 2019 na região de Curitibanos, SC.



Fonte: o autor (2020).

O potencial de ataque fúngico acumulado médio no período de vigência do estudo para a região de Curitibanos, SC foi igual a $98,8 \pm 10$. Vivian (2011) relatou PAF de 74 no município de Santa Maria, RS, no ano de 2010. Casavecchia (2011) citou PAF médio de 135 para região de Sinop, MT, entre 2007 e 2009. Martins *et al.* (2003) ao mapearem o PAF no Brasil representaram a região de Curitibanos como de baixo potencial, quando comparada as demais regiões do território brasileiro. Na prática, para diferentes condições de exposição (precipitação

e temperatura), tem-se diferentes níveis de incidência e severidade de organismos xilófagos, ou seja, os dados encontrados no presente estudo são considerados locais, não sendo passíveis para generalizações acerca da durabilidade natural das madeiras.

4.3 ÍNDICE DE DETERIORAÇÃO

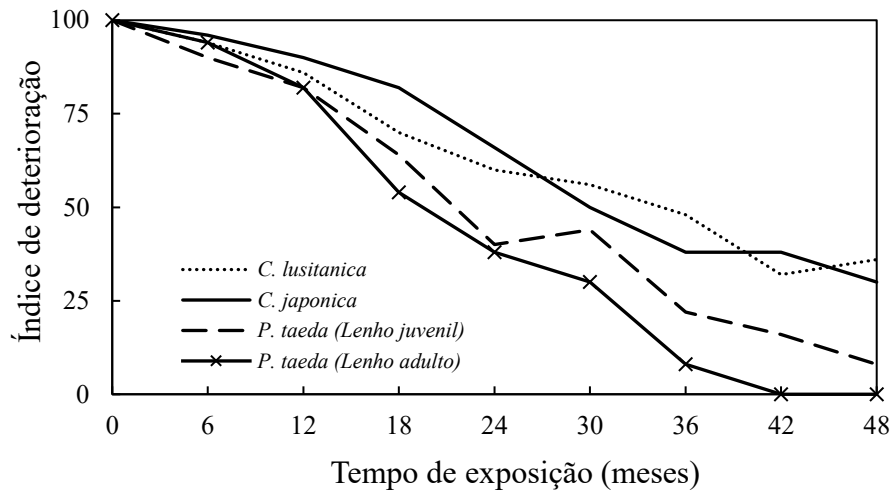
Os resultados para o índice de deterioração são apresentados na Tabela 5. Quando submetidas a análise de variância ($p > 0,05$), houve diferença significativa dentro dos fatores espécie e tempo.

Tabela 5 – Índice de deterioração das madeiras das espécies em diferentes tempos de exposição.

Tempo (Meses)	Espécie			
	<i>Cryptomeria japonica</i>	<i>Cupressus lusitanica</i>	<i>Pinus taeda</i> (15 anos)	<i>Pinus taeda</i> (43 anos)
6	96	94	90	94
12	90	86	82	82
18	82	70	64	54
24	66	60	40	38
30	50	56	44	30
36	38	48	22	8
42	38	32	16	0
48	30	36	8	0

A Figura 7 representa o comportamento do índice de deterioração de cada espécie ao longo do tempo.

Figura 7 – Índice de deterioração médio ao longo do tempo de exposição da madeira das espécies.



Fonte: o autor (2020).

Todas as espécies possuíram decréscimo do índice de deterioração ao longo do tempo, sendo esta tendência já esperada. Quanto menor o índice de deterioração, maior é o nível de deterioração observado. *Cupressus lusitanica* e *Cryptomeria japonica* permaneceram em níveis superiores, com alternâncias ao longo do tempo, em relação a madeira de *Pinus taeda*. Ao final dos 48 meses de exposição *Cupressus lusitanica* e *Cryptomeria japonica* apresentaram valores residuais do índice de deterioração 34% e 30%, respectivamente. Já as madeiras de *Pinus taeda* apresentaram 8% para a madeira jovem e 0% para madeira mais velha. Isso significa que para a última houve perda total do índice, ou seja, a madeira apresentou a pior condição de deterioração. A Tabela 6 apresenta o teste de médias dentro do fator espécie (4 níveis).

Tabela 6 – Índice de deterioração médio para as diferentes espécies.

Espécie	Índice de Deterioração	Mínimo	Máximo	CV* (%)
<i>Cryptomeria japonica</i>	65,4 ^a	0	100	48,5
<i>Cupressus lusitanica</i>	63,3 ^a	0	100	49,1
<i>Pinus taeda</i> (15 anos)	50,0 ^b	0	100	74,5
<i>Pinus taeda</i> (43 anos)	42,2 ^b	0	100	98,2

*CV: Coeficiente de variação.

Após 48 meses de exposição, diferiram as espécies *Cryptomeria japonica* e *Cupressus lusitanica* de *Pinus taeda*. Segundo a classificação de Lepage (1970), o primeiro grupo é descrito com ataque evidente, mas moderado de fungos e térmitas, já *Pinus taeda* como apodrecimento intenso ou ataque intenso de térmitas.

Ao longo das avaliações também foi possível visualizar a ação dos agentes xilófagos. Notou-se a evolução em níveis de incidência e severidade de ataque e sucessão após a colonização inicial de fungos (Figura 8).

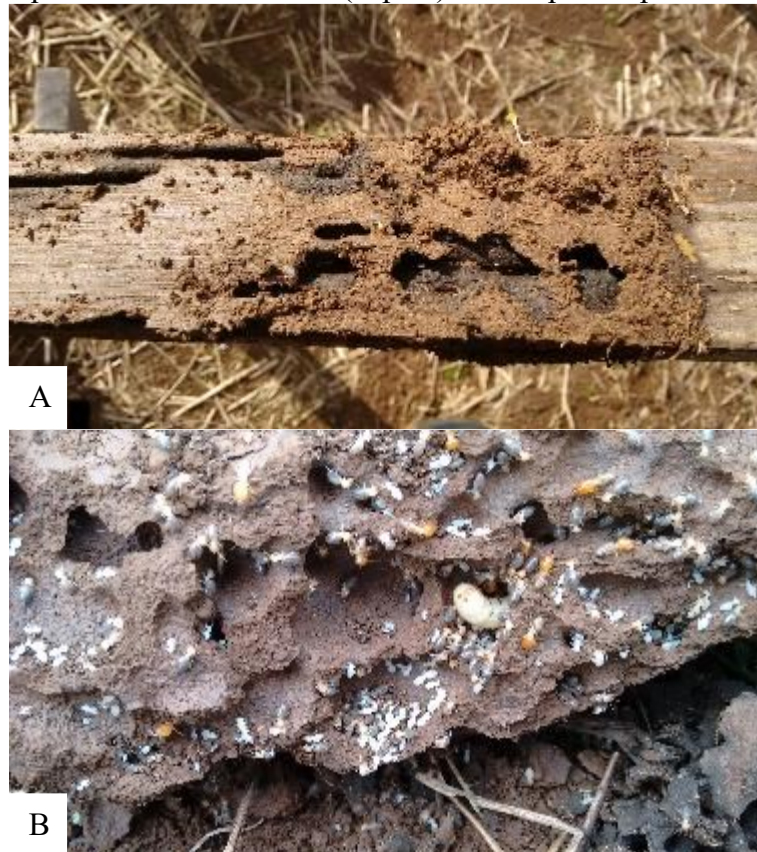
Figura 8 – Ataque evidente de fungos xilófagos no campo de apodrecimento.



Legenda: (A) fungos emboloradores (B) fungos apodrecedores e (C) estruturas de colonização.
Fonte: Nunes, 2018.

Da mesma forma, o ataque de térmitas foi evidente no campo de apodrecimento. Em algumas avaliações foi possível identificar até mesmo a colônia de cupins e suas diferentes castas, demonstrado na Figura 9.

Figura 9 – Ataque evidente de térmitas (cupins) no campo de apodrecimento.



Legenda: (A) galerias na madeira e (B) colônia de cupins subterrâneos.
Fonte: o autor (2018).

Durante a condução do experimento, verificou-se a degradação fotoquímica das madeiras a partir do 6º mês de exposição (Figura 10). Esse fenômeno de intemperismo também foi descrito por Vivian (2011) em madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana* expostas a campo aberto.

Figura 10 – Degradação fotoquímica das madeiras após 6 meses de exposição.



Fonte: Nunes, 2018.

O aspecto acinzentado das madeiras resulta da ação dos raios ultravioleta, que agem principalmente na lignina (RITTER; MORRELL, 1990).

4.4 PERDA DE MASSA

A Tabela 7 apresenta os valores médios de perda de massa das diferentes espécies ao longo do tempo. Nesse caso, houve interação significativa entre os fatores espécie e tempo, quando submetidas a Análise de Variância, a 5% de significância. A Figura 11 representa o comportamento da variável ao longo do tempo para as diferentes espécies.

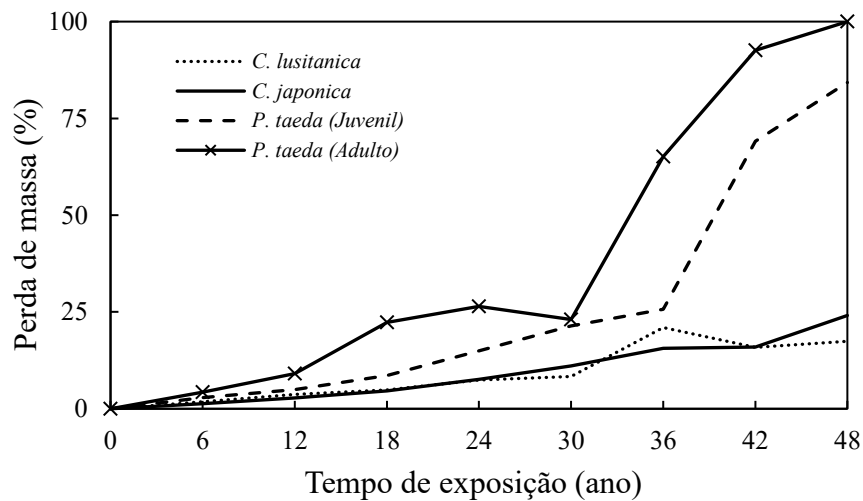
A perda de massa até o 30º mês não diferiu estatisticamente no período. Após 36 meses, *Cupressus lusitanica*, *Cryptomeria japonica* e *Pinus taeda* (15 anos) apresentavam menores valores de perda de massa, quando comparados a madeira de 43 anos de *Pinus taeda*. Ao final do 48º mês, *Cupressus lusitanica* e *Cryptomeria japonica* apresentaram perda de massa inferiores a *Pinus taeda*. Para a última, houve maior perda de massa para o lenho mais velho.

Tabela 7 – Perda de massa (%) das madeiras das espécies em diferentes tempos de exposição.

Tempo (Meses)	Espécie			
	<i>Cryptomeria</i>	<i>Cupressus</i>	<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus taeda</i>
	<i>japonica</i>	<i>lusitanica</i>	(15 anos)	(43 anos)
6	1,3 ^{Aa}	1,8 ^{Aa}	2,9 ^{Aa}	4,2 ^{Aa}
12	2,8 ^{Aa}	3,7 ^{Aa}	4,9 ^{Aa}	9,0 ^{Aa}
18	4,6 ^{Aa}	4,9 ^{Aa}	8,5 ^{Aa}	22,3 ^{Aa}
24	7,6 ^{Aa}	7,4 ^{Aa}	14,9 ^{Aa}	26,4 ^{Aa}
30	11,0 ^{Aa}	8,3 ^{Aa}	21,4 ^{Aa}	23,0 ^{Aa}
36	15,6 ^{Aa}	21,0 ^{Aa}	25,7 ^{Aa}	65,1 ^{Bb}
42	16,0 ^{Aa}	15,8 ^{Aa}	69,1 ^{Bb}	92,6 ^{Cc}
48	24,1 ^{Ab}	17,5 ^{Aa}	84,3 ^{Bb}	100,0 ^{Bc}

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

Figura 11 – Perda de massa média ao longo do tempo de exposição da madeira das espécies.



Fonte: o autor (2020).

Cryptomeria japonica e *Cupressus lusitanica* perderam massa com tendência linear, variando estatisticamente apenas no 48º mês de exposição para a primeira e sem variação significativa durante todo o período para *Cupressus lusitanica*. *Pinus taeda* apresentaram 2 (dois) e 3 (três) grupos de classificação de médias, nos lenhos juvenil e adulto, respectivamente. A perda de massa para essa espécie seguiu tendência exponencial, indicando a maior degradação da madeira após o ataque inicial.

Após os 48 meses de exposição a campo, as madeiras foram classificadas, com base nas classes de resistência da norma ASTM D 2017-5 (2005), da seguinte forma: *Cupressus lusitanica* = Resistente (PM = 17,5), *Cryptomeria japonica* = Resistente (PM = 24,1), *Pinus taeda* (15 anos) = Não-Resistente (PM = 84,3) e *Pinus taeda* (43 anos) = Não-Resistente (PM = 100,0).

Nunes (2018) classificou as madeiras do presente experimento após 24 meses de exposição. Nessa ocasião *Pinus taeda* (43 anos) foi classificado como Moderadamente Resistente, *Pinus taeda* (15 anos) como Resistente, *Cryptomeria japonica* e *Cupressus lusitanica* como Altamente Resistentes.

A Figura 12 representa o aspecto e danos aparentes dos corpos de prova ao longo das avaliações, que influenciaram na perda de massa das madeiras.

Figura 12 – Aspecto das madeiras ao longo do tempo de exposição.



Fonte: Nunes, 2018.

4.5 RESISTÊNCIA MECÂNICA

Os corpos de prova das madeiras das espécies submetidos ao ensaio de flexão estática cujos resultados para o Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) (N/mm²) são representados nas Tabelas 8 e 9.

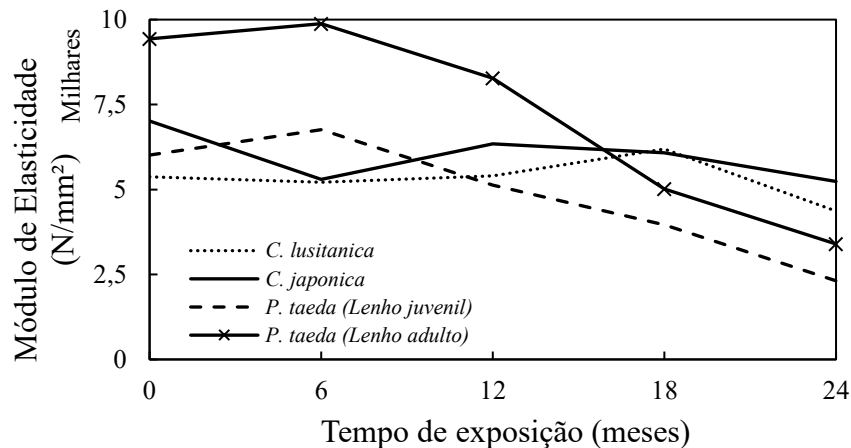
Segundo Moreschi (2005), o MOE expressa o valor teórico da carga necessária para distender um corpo de 1 cm² de seção transversal, a uma distância igual ao seu próprio comprimento. No presente estudo, os fatores espécie e tempo possuíram interação significativa, a 5% de significância. O comportamento da variável ao longo do tempo de exposição é apresentado na Figura 13.

Tabela 8 – Módulo de Elasticidade (MOE), em N/mm², ao longo do tempo de exposição das espécies.

Tempo (Meses)	Espécie			
	<i>Cryptomeria japonica</i>	<i>Cupressus lusitanica</i>	<i>Pinus taeda</i> (15 anos)	<i>Pinus taeda</i> (43 anos)
0	7016 ^{Ba}	5377 ^{Ba}	6013 ^{Bab}	9429 ^{Aa}
6	5298 ^{Ba}	5215 ^{Ba}	6761 ^{Ba}	9880 ^{Aa}
12	6345 ^{Ba}	5404 ^{Ba}	5133 ^{Babc}	8403 ^{Aa}
18	6080 ^{Aa}	6191 ^{Aa}	3962 ^{Bbc}	6271 ^{Ab}
24	5109 ^{Aa}	4410 ^{Aa}	3856 ^{Ac}	5661 ^{Ab}

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).

Figura 13 – Módulo de Elasticidade médio das madeiras das espécies ao longo do tempo de exposição.



Fonte: o autor (2020).

Ballarin e Nogueira (2005) encontraram valores de MOE iguais a 8418 ± 1791 e 13376 ± 3021 N/mm² para madeira de 15 e 43 anos de *P. taeda*, respectivamente, ambos superiores aos valores originalmente encontrados para as espécies avaliadas. Os mesmos autores citam que a maior densidade do lenho adulto promove a maior resistência mecânica da madeira. Carneiro *et al.* (2008) ao estudarem as propriedades mecânicas da madeira de *C. japonica* aos 14 anos encontraram valores de MOE equivalentes a 5539 ± 1527 N/mm², já Okino *et al.* (2006) citam valores médios de MOE para *C. lusitanica* iguais a 6965 ± 3035 N/mm², ambos também próximos aos valores originalmente apresentados pelas espécies

A madeira de *Pinus taeda* com lenho mais velho possuía rigidez estatisticamente superior, indicada pelo módulo de elasticidade (MOE), as demais espécies até o primeiro ano (12 meses), igualada estatisticamente por *Cryptomeria japonica* e *Cupressus lusitanica* aos 18 meses e *Pinus taeda* (15 anos) aos 24 meses. Ao final de 24 meses de exposição o MOE apresentado pelas espécies foi estatisticamente igual. Entretanto, as madeiras de *Cryptomeria japonica* e *Cupressus lusitanica* tiveram redução de 19 e 25% do valor de MOE inicial enquanto a madeira de *Pinus taeda* teve uma redução de 62 e 64% para os lenhos inicial e adulto, respectivamente.

Espera-se uma diminuição do módulo de elasticidade das madeiras ao longo do tempo de exposição. No entanto, comportamento inverso foi visto para *Pinus taeda* após 6 meses.

Os valores médios obtidos para o MOR (N/mm²) são apresentados na Tabela 9, com interação significativa entre os fatores a 5% de significância.

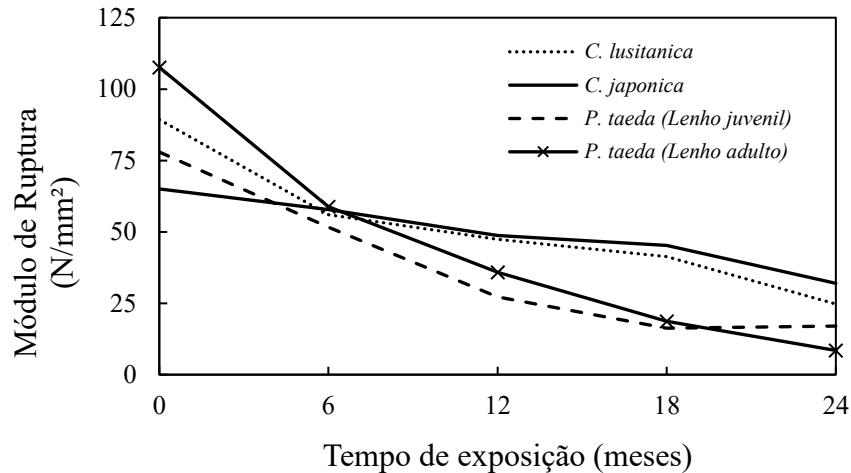
Tabela 9 – Módulo de Ruptura (MOR), em N/mm², ao longo do tempo de exposição das espécies.

Tempo (Meses)	Espécie			
	<i>Cryptomeria japonica</i>	<i>Cupressus lusitanica</i>	<i>Pinus taeda</i> (15 anos)	<i>Pinus taeda</i> (43 anos)
0	65 ^{Ca}	89 ^{Aa}	78 ^{BCa}	108 ^{Aa}
6	58 ^{Aa}	56 ^{Ab}	52 ^{Ab}	59 ^{Ab}
12	49 ^{Aab}	47 ^{ABb}	40 ^{Abc}	27 ^{Bbc}
18	45 ^{Aab}	41 ^{Abc}	19 ^{Bc}	16 ^{Bcd}
24	30 ^{Ab}	25 ^{Ac}	17 ^{Ac}	8 ^{Ad}

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

O comportamento do Módulo de Ruptura para as diferentes espécies ao longo do tempo é representado na Figura 14.

Figura 14 – Módulo de Ruptura médio das madeiras das espécies ao longo do tempo de exposição.



Fonte: o autor (2020).

Inicialmente, *Pinus taeda* (43 anos) e *Cupressus lusitanica* apresentavam módulo de ruptura superiores, seguido de *Pinus taeda* (15 anos) e *Cryptomeria japonica*. Já no 6º mês todas as espécies apresentavam-se estatisticamente iguais para a variável, da mesma forma após 24 meses. Carneiro *et al.* (2008) ao estudarem as propriedades mecânicas da madeira de *Cryptomeria japonica* com 14 anos encontraram valores médios de MOR igual a 38 ± 8 N/mm². Okino *et al.* (2006) citam valores de MOR iguais a 77 ± 24 para *Cupressus lusitanica*. Ballarin e Palma (2003) descreveram as propriedades mecânicas de *Pinus taeda*, resultando em valores de 87 ± 19 e 128 ± 21 para os lenhos juvenil e adulto, respectivamente.

Pinus taeda apresentou tendência similar, onde visualizou-se a queda abrupta ao longo do tempo, com inversão aos 18 meses e superioridade do tratamento com 15 anos ao final do período avaliado. As perdas da variável MOR representaram 51% para *Cryptomeria japonica*, 72% para *Cupressus lusitanica*, 78% para *Pinus taeda* (15 anos) e 92% para *Pinus taeda* (43 anos) ao final do período de 24 meses.

Cupressus lusitanica apresentou perda de resistência mecânica mais acentuada nos seis primeiros meses, mantendo-se estável entre o intervalo de 6 e 18 meses e nova queda ao final de dois anos. *Cryptomeria japonica* mante estabilidade até o 18º mês, seguido de queda aos

dois anos. Para essas duas últimas, embora ocorram perdas no módulo de ruptura, essas representam valores menos significativos.

5 CONCLUSÃO

A partir do presente estudo acerca da durabilidade natural das madeiras de *Cryptomeria japonica*, *Cupressus lusitanica* e *Pinus taeda*, esta última a partir da madeira juvenil e adulta, conclui-se que:

- O potencial de ataque fúngico acumulado médio para região de Curitiba, SC, entre 2016 e 2019 é de $98,8 \pm 10$. Considerando os fatores climáticos, tem-se um potencial de ataque 11 (onze) vezes maior em janeiro quando comparado ao mês de julho.
- O índice de deterioração médio das espécies após 48 meses de exposição a campo aberto permitiu classificar as madeiras de *Cryptomeria japonica* e *Cupressus lusitanica* com ataque evidente, mas moderado de fungos e térmitas e *Pinus taeda* como apodrecimento intenso ou ataque intenso de térmitas.
- Para a variável perda de massa houve interação significativa entre os fatores espécie e tempo, classificando *Cryptomeria japonica* e *Cupressus lusitanica* como Resistentes e *Pinus taeda* como Não-Resistente após 48 meses de exposição.
- Ao final de 24 meses de exposição, todas as espécies apresentaram perda de resistência mecânica, indicada pelos Módulos de Elasticidade e Ruptura na flexão estática. Entretanto, *Cryptomeria japonica* e *Cupressus lusitanica* perderam 19 e 25% em relação ao valor inicial de MOE, enquanto *Pinus taeda* perdeu 62 e 64% para a mesma variável nos lenhos juvenil e adulto, respectivamente. As perdas observadas em relação ao MOR inicial foram de 51% para *Cryptomeria japonica*, 72% para *Cupressus lusitanica*, 78% para *Pinus taeda* (15 anos) e 92% para *Pinus taeda* (43 anos).

As madeiras de *Cupressus lusitanica* e *Cryptomeria japonica* apresentam maior durabilidade natural em contato com o solo em ambiente aberto na região de Curitiba, SC, quando comparados a *Pinus taeda* (ambos os lenhos). Embora essas mesmas espécies possuam resistência mecânica inferior ao *Pinus taeda* para aplicações específicas, essas possuem a manutenção de suas propriedades mecânicas por maior período de tempo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho destina-se especialmente a pessoas que utilizam o recurso florestal madeireiro como fonte de renda e interesses próprios. Levantar hipóteses e consolidar o conhecimento empírico de produtores florestais, em suas diferentes escalas espaciais e de negócio torna-se uma missão desafiadora, sendo a comunicação o maior gargalo da transmissão dos resultados obtidos. O trabalho é realizado sob demanda e destina-se para solução de um problema real, neste caso a necessidade de conteúdo técnico sobre durabilidade natural de espécies alternativas, especificamente *Cryptomeria japonica* e *Cupressus lusitanica* quando em contato direto com o solo e sem o uso de produtos preservativos. Os resultados obtidos ao longo dos 4 anos de avaliação revelaram o grande potencial a ser explorado na qualidade a aplicação das madeiras das espécies citadas.

Estudos que busquem respostas específicas sobre o motivo real por qual as madeiras de *Cryptomeria japonica* e *Cupressus lusitanica* são mais duráveis e resistentes do que o *Pinus taeda* são de interesse popular e científico, sendo eles: composição química das madeiras, classificação e teores de extrativos, fisiologia de espécies florestais, entre outros.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. V.; SOUSA, SOUSA, V. A.; SHIMIZU, J. Y. **Cultivo de *Pinus*: Espécies de *Pinus* Mais Plantadas No Brasil**. Brasília: Embrapa Florestas, jun., 2014.
- ALVES, S. T. *et al.*. TESTE DE PROCEDÊNCIA DE *Cryptomeria japonica* EM TRÊS REGIÕES DO ESTADO DO PARANÁ. **EMBRAPA**, Curitiba, n. 40, 1984, p. 03.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D143**. Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. Philadelphia, 1994. 31p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2017**. Standard Test method for accelerated laboratory test of natural decay resistance of wood. Philadelphia, 2005. 5p.
- ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS (ACR). **Anuário Estatístico de Base Florestal para o estado de Santa Catarina 2019 (Ano Base 2018)**. Lages: STCP Engenharia de Projetos Ltda., 2019, p. 118.
- BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. L. PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA E RIGIDEZ DA MADEIRA JUVENIL E ADULTA DE *Pinus taeda* L. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.3, p.371-380, 2003.
- BALLARIN, A. W.; NOGUEIRA, M. DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DA MADEIRA JUVENIL E ADULTA DE *Pinus taeda* POR ULTRA-SOM. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.19-28, jan./abr. 2005.
- BECKER, G. Suggested standard method for field tests with wooden stakes. **PANS – Pest Articles & News Summaries**, v. 18, n. 1, p. 137-142, 1972.
- CARNEIRO, M. E.; BITTENCOURT, E.; MUNIZ, G. I. B. QUALIDADE DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica* D. Don. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 913-920, out./dez., 2009.
- CARPANEZZI, A. A. (org.) *et al.*. Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado do Paraná. **EMBRAPA – CNPF**, Curitiba, 1986, p. 89.
- CASAVECCHIA, B. H.; SOUZA, A. P.; STANGERLIN, D. M.; MELO, R. D. Potential fungal attack for wood in Mato Grosso state, Brazil. **Nativa**, Sinop, v.4, n.3, p.156-161, mai./jun. 2016.
- CORREA, R. **CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MORFOLÓGICA DA MADEIRA DE *Cupressus lusitanica* Mill. PARA PRODUÇÃO DE POLPA CELULÓSICA**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal), Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2016.
- COSTA, A. F. *et al.*. Durabilidade de madeiras tratadas e não tratadas em campo de apodrecimento. **Floresta e Ambiente**, Brasília, v. 12, n. 1, p. 07-14, 2005.

DOBNER JUNIOR, M. *et al.*. Crescimento de um povoamento de *Cryptomeria japonica* no Sul do Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 39-46, mar., 2013.

EMBRAPA. **ATLAS CLIMÁTICO DA REGIÃO SUL DO BRASIL**: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Brasília: RGB Arte, 2012. E-book.

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

GALLIO, E. *et al.*. Caracterização de propriedades tecnológicas de três folhosas deterioradas por térmitas. **Revista Matéria**, Pelotas, v. 23, n. 4, p. 9, 2018.

GONÇALVES, F. G.; PINHEIRO, D. J. C.; PAES, J. B.; OLIVEIRA, G. L. Durabilidade Natural de Espécies Florestais Madeireiras ao Ataque de Cupim de Madeira Seca. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 1, p. 110-116, jan./mar., 2013.

GONZAGA, A. L. **Madeira: Uso e Conservação**. Brasília: IPHAN/MONUMENTA, 2006. p. 246.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório 2019**. São Paulo: Pöyry Consultoria em Gestão e Negócios Ltda., 2019. 80 p.

JANKOWSKI, I. P.; BARILLARI, C. T.; FREITAS, V. P. **Preservação**. Revista da Madeira, n. 68, dez. 2002.

JESUS, M. A. *et al.*. Durabilidade natural de 46 espécies de madeira amazônica em contato com o solo em ambiente florestal. **Scientia Forestalis**, São Paulo, n. 54, p. 81-92, dez., 1998.

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.

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.

MARTINS, V. A.; ALVES, M. V. S.; SILVA, J. F.; REBELLO, E. R. G.; PINHO, G. S. C. Umidade de equilíbrio e risco de apodrecimento da madeira em condições de serviço no Brasil. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 22, n. 76, p. 29-34, 2003.

MENDES, A. S.; ALVES, M. V. S. **A DEGRADAÇÃO DA MADEIRA E SUA PRESERVAÇÃO**. Brasília: IBDF/LPF, 1988. 57 p.

MORESCHI, J. C. **PROPRIEDADES DA MADEIRA**. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná, 4º ed. (material didático), 2005, p. 208.

MOYA R. *et al.*. Evaluation of chemical composition, air-dry, preservation and workability of eight fastgrowing plantation species in Costa Rica. **Madera y Bosques**, Cartago, Costa Rica, v. 21n, n. 21, p. 31-47, 2015.

NUNES, G. C. **DURABILIDADE NATURAL DAS MADEIRAS DE *Cupressus lusitanica*, *Cryptomeria japonica* E *Pinus taeda* EM ENSAIO DE DETERIORIZAÇÃO A CAMPO**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal), Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2018.

OLIVEIRA, A. M. *et al.*. Agentes destruidores da madeira. Em: LEPAGE, E. S. (Coord.). **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, Divisão de Madeiras, 1986, v. 1, p. 99-278.

OLIVEIRA, J. T. S. *et al.*. INFLUÊNCIA DOS EXTRATIVOS NA RESISTÊNCIA AO APODRECIMENTO DE SEIS ESPÉCIES DE MADEIRA. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 819-826, 2005.

OKINO, E. Y. A. *et al.*. *Cupressus glauca* Lam. wood characteristics. **Scientia Forestalis**, n. 72, p. 39-48, 2006.

PALMA, V. L.; SANTINI, E. J.; SILVEIRA, A. G.; TALGATTI, M. DURABILIDADE NATURAL E RESISTÊNCIA MECÂNICA DE MADEIRAS DE RÁPIDO CRESCIMENTO APÓS ENSAIOS DE CAMPO. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 17, n. 3, jul./set., p. 339-343, 2018.

PEREIRA, J. C. D.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Propriedades da madeira do cedinho japonês**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003, p. 4 (Comunicado técnico, n. 88).

PEREIRA, J. C. D.; HIGA, R. C. V. **Propriedades da Madeira de *Cupressus lusitanica* Mill**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003, p. 5 (Comunicado técnico 107).

POTULSKI, D. C. **DENSIDADE E RETRATIBILIDADE DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* H. E. Moore E *Pinus taeda* L.** 2010. Trabalho de conclusão de Estágio (graduação) – Universidade Federal do Paraná, Graduação em Engenharia Industrial Madeireira, Curitiba, 2010.

RAUSHKOLB, D. **CRESCIMENTO DE *Cupressus lusitanica* NO PLANALTO DE SANTA CATARINA**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal, Curitibanos, 2017.

RITTER, M. A.; MORRELL, J. J. Chapter 13: Bridge Inspection for Decay and Other Deterioration. In: RITTER, M. A. **Timber Bridges: Design, Construction, Inspection and Maintenance**. United States Department of Agriculture, USDA. Forest Service. Washington, 1990, p. 721-787.

SCHUMACHER, M. V. Produtividade Potencial do *Pinus* no Brasil. 2020. 60 slides. Disponível em:
http://www.acr.org.br/download/biblioteca/Produtividade_Potencial_do_Pinus_no_Brasil.pdf.

SHIMIZU, J. Y. Espécies não tradicionais para plantios com finalidades produtivas e ambientais: silvicultura e usos. *In*: SIMPÓSIO SOBRE ESPÉCIES NÃO TRADICIONAIS PARA PLANTIOS COM FINALIDADES PRODUTIVAS E AMBIENTAIS, 1998, Curitiba, PR. **Anais [...]**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 1998, p. 63-71.

SHIMIZU, J. Y. Memórias do “Workshop” sobre conservação e uso de recursos genéticos florestais. **Documento 56**, Colombo, PR, p. 1-159, out. 2001.

SHIMIZU, J. Y. *et al.*. **Cedrinho como Alternativa para Produção de Madeira em Pequenas Propriedades Rurais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006, p. 3 (Comunicado técnico 172).

SHIMIZU, J. Y.; MAIOCHI, R. A. Criptoméria como espécie alternativa para produção de madeira no Paraná. **Pesq. Flor. Bras.**, Colombo, n. 54, p. 63-70, jan./jun., 2007.

TREVISAN, H.; MARQUES, F. M. T.; CARVALHO, A. G. DEGRADAÇÃO NATURAL DE TORAS DE CINCO ESPÉCIES FLORESTAIS EM DOIS AMBIENTES. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 1, jan./mar., 2008.

VALERI, S. V.; PAULA, R. C. **Tratamento Preservativo da Madeira**. Jaboticabal, 2006. 72 slides. Disponível em:
https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/producaovegetal/SERGIOVALIENGOVALERI/silvic_modulo20_preservamadeira19_11_09.pdf.

VIDAL, J. M. *et al.*. 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 cloeziana* EM ENSAIOS DE LABORATÓRIO E CAMPO**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

YEH, T.; BRAUN, J. L.; GLDFARB, B.; CHANG, H.; KADLA, J. F. Morphological and chemical variations between juvenile wood, mature wood, and compression wood of loblolly pine (*Pinus taeda* L.). **Holzforchung**, 2006.

APÊNDICE A – QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANAVA)

1) Densidade da Madeira

Quadro da Análise de Variância – ANAVA					
	GL	SQ	QM	Fc	Pr (>Fc)
Tratamento	3	1,138	0,379	259,2	$2,2 \times 10^{-16}^{***}$
Resíduo	216	0,316	0,001		
Total	219	1,454			

2) Índice de Deterioração.

Quadro da Análise de Variância – ANAVA					
	GL	SQ	QM	Fc	Pr (>Fc)
Bloco	4	337	84,2	0,182	0,94753
Tratamento	3	15059	5019,8	10,841	0,00000
Tempo	8	156620	19577,5	42,282	0,00000
Tratamento * Tempo	24	8256	344,0	0,743	0,79966
Resíduo	140	64823	463,0		
Total	179	245095			

CV = 39,24%

3) Perda de Massa

Quadro da Análise de Variância – ANAVA					
	GL	SQ	QM	Fc	Pr (>Fc)
Bloco	4	1134	283,4	1,705	0,15302
Tratamento	3	30255	10085,0	60,687	0,00000
Tempo	7	57490	8212,8	49,421	0,00000
Tratamento * Tempo	21	29221	1391,5	8,373	0,00000
Resíduo	124	20607	166,2		
Total	159	138706			

CV= 55,90%

Quadro da Análise de Variância – ANAVA					
	GL	SQ	QM	Fc	Pr (>Fc)
Bloco	4	1133,5479	283,38698	1,7053	0,153
Tempo	7	57489,8270	8212,83242	49,4207	0
Espécie:tempo 6	3	24,9231	8,30770	0,05	0,9852
Espécie:tempo 12	3	114,4573	38,15242	0,2296	0,8756
Espécie:tempo 18	3	1044,5398	348,17993	2,0952	0,1043
Espécie:tempo 24	3	1198,8898	399,62994	2,4048	0,0706
Espécie:tempo 30	3	810,1770	270,05899	1,6251	0,187
Espécie:tempo 36	3	7618,7015	2539,56715	15,2818	0
Espécie:tempo 42	3	22480,9597	7493,65324	45,0931	0
Espécie:tempo 48	3	26183,7055	8727,90183	52,5201	0
Resíduo	124	20606,5680	166,18200		
Total	159	138706,2965	872,36664		

Quadro da Análise de Variância – ANAVA					
	GL	SQ	QM	Fc	Pr (>Fc)
Bloco	4	1133,548	283,3870	1,7053	0,153
Espécie	3	30255,021	10085,0071	60,6865	0
Tempo:espécie CJ	7	2138,318	305,4740	1,8382	0,0857
Tempo:espécie CL	7	1760,946	251,5637	1,5138	0,1685
Tempo:espécie PN	7	33041,075	4720,1536	28,4035	0
Tempo:espécie PV	7	49770,820	7110,1172	42,7851	0
Resíduo	124	20606,568	166,1820		
Total	159	138706,297	872,3666		

4) Módulo de Elasticidade (MOE)

Quadro da Análise de Variância – ANAVA					
	GL	SQ	QM	Fc	Pr (>Fc)
Tratamento	3	244100973	81366991	28,2800	0,00000
Tempo	4	131297559	32824390	11,4085	$2,8 \times 10^{-8}$
Tratamento * Tempo	12	115139267	9594939	3,3348	$2,1 \times 10^{-4}$
Resíduo	180	517894242	2877190		
Total	199	1008432042			

CV= 27,85%

Quadro da Análise de Variância – ANAVA					
	GL	SQ	QM	Fc	Pr (>Fc)
Tempo	4	131297559	32824390	11,4085	0
Espécie:tempo 0	3	94989259	31663086	11,0049	0
Espécie:tempo 6	3	142555278	47518426	16,5156	0
Espécie:tempo 12	3	65875453	21958484	7,6319	$1,0 \times 10^{-4}$
Espécie:tempo 18	3	37083071	12361024	4,2962	0,0059
Espécie:tempo 24	3	18737179	6245726	2,1708	0,0931
Resíduo	180	517894242	2877190		
Total	199	1008432042	5067498		

Quadro da Análise de Variância – ANAVA					
	GL	SQ	QM	Fc	Pr (>Fc)
Espécie	3	244100973	81366991	28,28	0
Tempo:espécie CJ	4	24400154	6100038	2,1201	0,0801
Tempo:espécie CL	4	16073043	4018261	1,3966	0,2369
Tempo:espécie PN	4	64252932	16063233	5,583	3,0 x 10 ⁻⁴
Tempo:espécie PV	4	141710698	35427674	12,3133	0
Resíduo	180	517894242	2877190		
Total	199	1008432042	5067498		

5) Módulo de Ruptura (MOR)

Quadro da Análise de Variância – ANAVA					
	GL	SQ	QM	Fc	Pr (>Fc)
Tratamento	3	5382	1793,9	5,432	0,00134158
Tempo	4	102734	25683,4	77,773	0,00000000
Tratamento * Tempo	12	17019	1418,2	4,295	0,00000559
Resíduo	180	59442	330,2		
Total	199	184576			

CV= 39,12

Quadro da Análise de Variância – ANAVA					
	GL	SQ	QM	Fc	Pr (>Fc)
Tempo	4	102733,704	25683,4260	77,7734	0
Espécie:tempo 0	3	9786,014	3262,0047	9,8779	0
Espécie:tempo 6	3	300,757	100,2523	0,3036	0,8228
Espécie:tempo 12	3	2922,782	974,2607	2,9502	0,0341
Espécie:tempo 18	3	6803,685	2267,8949	6,8675	2,0 x 10 ⁻⁴
Espécie:tempo 24	3	2587,401	330,2342	2,6117	0,0529
Resíduo	180	59442,157	927,5201		
Total	199	184576,500			

Quadro da Análise de Variância – ANAVA					
	GL	SQ	QM	Fc	Pr (>Fc)
Espécie	3	5381,755	1793,9183	5,4323	0,0013
Tempo:espécie CJ	4	7202,819	1800,7047	5,4528	4,0 x 10 ⁻⁴
Tempo:espécie CL	4	22859,511	5714,8777	17,3055	0
Tempo:espécie PN	4	28144,337	7036,0842	21,3063	0
Tempo:espécie PV	4	61545,921	15386,4803	46,5926	0
Resíduo	180	59442,157	330,2342		
Total	199	184576,500	927,5201		