

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**RESISTÊNCIA BIOLÓGICA DA MADEIRA TRATADA
DE *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana* EM
ENSAIOS DE LABORATÓRIO E CAMPO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Magnos Alan Vivian

Santa Maria, RS, Brasil

2011

**RESISTÊNCIA BIOLÓGICA DA MADEIRA TRATADA DE
Eucalyptus grandis e *Eucalyptus cloeziana* EM ENSAIOS
DE LABORATÓRIO E CAMPO**

Magnos Alan Vivian

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia de Produtos Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

Orientador: Prof. Dr. Elio José Santini

Santa Maria, RS, Brasil

2011

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

**A comissão examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado**

RESISTÊNCIA BIOLÓGICA DA MADEIRA TRATADA DE *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana* EM ENSAIOS DE LABORATÓRIO E CAMPO

elaborada por
Magnos Alan Vivian

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:


Elio José Santini, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)


Cristiane Pedrazzi, Dr^a. (UFPEl)


Darci Alberto Gatto, Dr. (UFPEl)

Santa Maria, 19 de julho de 2011.

V858r Vivian, Magnos Alan
Resistência biológica da madeira tratada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana* em ensaios de laboratório e campo / por Magnos Alan Vivian. – 2011.
104 f. ; il. ; 30 cm

Orientador: Elio José Santini
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2011

1. Tratamento preservativo 2. Campo de apodrecimento
3. Apodrecimento acelerado 4. Resistência mecânica I. Santini, Elio José
II. Título.

CDU 674.04

Ficha catalográfica elaborada por Cláudia Terezinha Branco Gallotti – CRB 10/1109
Biblioteca Central UFSM

©2011

Todos os direitos autorais reservados a Magnos Alan Vivian. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Avenida Roraima, n° 1000, prédio 77, sala 36. Santa Maria, RS, Brasil, CEP: 97105-900;

Endereço Eletrônico: magnosalan@yahoo.com.br

DEDICO

À DEUS, por me guiar e abençoar em mais uma
etapa de minha vida.

Aos meus pais que, com muita dedicação e amor, me deram
muito mais do que a vida.

A minha noiva Karina, pelo carinho e apoio em todas as horas.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela saúde e dom da vida.

À meus pais Abílio e Liane, pelo apoio em todas as horas, e por sempre acreditarem em mim.

A Universidade Federal de Santa Maria, pela estrutura e apoio logístico necessário no desenvolvimento do estudo.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (PPGEF-UFSM), pela oportunidade de realização do Mestrado e apoio na participação em eventos científicos.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Professor e Orientador Elio José Santini, pela orientação, amizade e confiança.

Aos Professores e Co-orientadores Clovis Roberto Haselein e Miguel Durlo, pelas orientações, amizade e apoio.

Ao Engenheiro Florestal Alencar Garlet e ao Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro, em Brasília, pela execução dos ensaios de resistência biológica a fungos apodrecedores.

A FLOSUL Madeiras, pelo apoio na realização do trabalho, por meio da doação do material e tratamento da madeira.

A Karina, minha noiva, por sempre ter estado ao meu lado apoiando, incentivando e auxiliando em todas as etapas do trabalho.

A todos os amigos e funcionários do Laboratório de Produtos Florestais, e também aos colegas do Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, pelo agradável convívio: Marcio Navroski, Wesley Moraes, Felipe Susin, Joel Souza, Rafael Beltrame, Helton Ribeiro, Douglas Carvalho, Eduardo Londero, Guilherme Ivanov, Diego Stangerlin, Mariane Pereira, Ediane Buligon, Bibiana Argenta, Rafael Azambuja.

A todos que contribuíram para a realização desse trabalho.

Muito Obrigado.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

RESISTÊNCIA BIOLÓGICA DA MADEIRA TRATADA DE *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana* EM ENSAIOS DE LABORATÓRIO E CAMPO

AUTOR: MAGNOS ALAN VIVIAN

ORIENTADOR: ELIO JOSÉ SANTINI

Data e local da defesa: Santa Maria, 19 de julho de 2011

A madeira, devido sua origem orgânica, dependendo das condições ambientais que seja exposta, pode ser deteriorada por agentes biológicos. Em vista disto se torna de extrema importância que a mesma, passe por algum tratamento preservativo, com o intuito de aumentar sua vida útil. A presente pesquisa teve por objetivo avaliar a resistência biológica da madeira tratada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana* sob a ação de organismos biodeterioradores, em ensaios de laboratório e de campo, comparando-se os parâmetros de avaliação das madeiras tratadas com aqueles obtidos para a madeira sem tratamento. Para tanto, foram utilizadas árvores de *E. grandis* e *E. cloeziana*, ambas com 16 anos de idade, pertencentes à Empresa FLOSUL Madeiras. Nesta, as toras foram desdobradas em tábuas com as dimensões de 2,2 x 9,0 x 200,0 cm, as quais foram submetidas à secagem ao ar livre até atingir teor de umidade de 12 a 15%, para, posteriormente, efetuar-se o tratamento preservativo em autoclave com Arseniato de Cobre Cromatado (CCA). Em seguida, essas tábuas foram encaminhadas ao Laboratório de Produtos Florestais da UFSM, para confecção dos corpos de prova para avaliação de parâmetros físicos como massa específica e umidade de equilíbrio; parâmetros de qualidade do tratamento como penetração e retenção; e de eficiência, com os ensaios de apodrecimento em laboratório e campo. Com base nos resultados, observou-se que o tratamento preservativo com CCA sob pressão para as madeiras de *E. grandis* e *E. cloeziana* com 16 anos não mostrou efeito significativo sobre a massa específica, já no caso da umidade de equilíbrio, ocorreu aumento significativo para ambas as espécies. Em relação à qualidade do tratamento preservativo, a madeira de *E. grandis* apresentou penetração vascular e o *E. cloeziana* parcial irregular, já a retenção foi pouco satisfatória nas duas espécies estudadas. O tratamento preservativo foi eficiente na redução da degradação biológica das madeiras das duas espécies, tanto no ensaio de laboratório quanto de campo. Dessa forma, comparando-se os resultados obtidos nos testes de laboratório e de campo, o *E. cloeziana* tratado sob condições similares no, presente estudo, apresenta maior aptidão para ser usado em condições adversas, como decks, ou em contato com o solo.

Palavras-chave: tratamento preservativo; campo de apodrecimento; apodrecimento acelerado; resistência mecânica.

ABSTRACT

Master's Thesis
Master's Degree Program in Forest Engineering
Santa Maria Federal University

BIOLOGICAL RESISTANCE OF TREATED WOOD OF *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus cloeziana* IN LABORATORY TESTS AND FIELD

AUTHOR: MAGNOS ALAN VIVIAN

ADVISOR: ELIO JOSÉ SANTINI

Date and place of defense: Santa Maria, July 19th, 2011

The Wood, because of its organic origin, depending on environmental conditions that is exposed can be damaged by biological agents. In view of this becomes very important that the same pass for any preservative treatment, in order to increase its lifespan. This study aimed to evaluate the biological resistance of treated wood of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus cloeziana* under the action biodeterioration organisms in laboratory tests and field, comparing the parameters of wood treated with those obtained for untreated wood. For this purpose, used trees of *E. grandis* and *E. cloeziana*, both with 16 years of age, belonging to FLOSUL Timber Company. In this, the logs were deployed into planks with dimensions of 2.2 x 9.0 x 200.0 cm, which were subjected to an air drying until a moisture content of 12 to 15%, to then make up the preservative treatment autoclave with chromate copper arsenate (CCA). Then these boards were sent to the Laboratory of Forest Products UFSM for making the specimens for evaluation of physical parameters as density and equilibrium moisture, quality of treatment as penetration and retention, and efficiency, with tests rotting in the laboratory and field. Based on the results, the CCA preservative treatment under pressure to the woods *E. grandis* and *E. cloeziana* with 16 years, showed no significant effect on the specific mass, but in the case of equilibrium moisture content was significant increase for both species. Regarding the quality of preservative treatment, the wood of *E. grandis* showed penetration and vascular distribution and the *E. cloeziana* partial irregular, retention was unsatisfactory in both species. The preservative treatment were effective in reducing the biological degradation of wood of two species, both in the test laboratory and field. Thus, comparing the results obtained in tests laboratory and field, the wood of *E. cloeziana* treated under conditions similar to this study has greater ability to be used under conditions adverse, such as decks, or in contact with the ground.

Key-words: preservative treatment; field rot; decay accelerating; mechanical resistance.

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Categorias de uso da madeira | 23 |
| Tabela 2 – Aplicações da madeira serrada e as categorias de uso prováveis | 23 |
| Tabela 3 – Aplicação da madeira serrada, roliça e laminada com as retenções mínimas sugeridas para peças tratadas sob pressão com CCA-C e CCB | 24 |
| Tabela 4 – Classes de resistência ao ataque dos fungos apodrecedores | 40 |
| Tabela 5 – Classificação da deterioração da madeira..... | 42 |
| Tabela 6 – Massa específica obtida para as madeiras de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. cloeziana</i> com e sem tratamento..... | 46 |
| Tabela 7 – Umidade de equilíbrio obtida em câmara climatizada sob condições controladas (20°C e 65% UR) para as madeiras de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. cloeziana</i> , tratadas e não tratadas | 47 |
| Tabela 8 – Percentual de perda de massa e classificação conforme a norma ASTM D 2017 (2005) da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. cloeziana</i> , tratadas e não tratadas, submetidas ao apodrecimento acelerado | 52 |
| Tabela 9 – Comparação múltipla de médias para percentual de perda de massa, em função das espécies, tratamentos e fungos utilizados no estudo..... | 53 |
| Tabela 10 – Condições climáticas normais do local de realização do ensaio, média de 30 anos..... | 55 |
| Tabela 11 – Condições climáticas do período de realização do ensaio, ano 2010 ... | 56 |
| Tabela 12 – Perda de massa (%) das estacas de <i>Eucalyptus grandis</i> submetidas ao campo de apodrecimento: campo aberto e floresta | 59 |
| Tabela 13 – Perda de massa (%) das estacas de <i>Eucalyptus cloeziana</i> submetidas ao campo de apodrecimento: campo aberto e floresta | 60 |
| Tabela 14 – Comparação múltipla de médias para a perda de massa em função das espécies, tratamentos, ambientes e avaliações | 61 |
| Tabela 15 – Índice de comportamento das estacas de <i>Eucalyptus grandis</i> submetidas ao campo de apodrecimento: campo aberto e floresta | 64 |
| Tabela 16 – Índice de comportamento das estacas de <i>Eucalyptus cloeziana</i> submetidas ao campo de apodrecimento: campo aberto e floresta | 65 |
| Tabela 17 – Comparação múltipla de médias para o índice de comportamento em função das espécies, tratamentos, ambientes e avaliações | 67 |
| Tabela 18 – Módulo de elasticidade (MPa) das estacas de <i>Eucalyptus grandis</i> submetidas ao campo de apodrecimento: campo aberto e floresta | 70 |
| Tabela 19 – Módulo de elasticidade (MPa) das estacas de <i>Eucalyptus cloeziana</i> submetidas ao campo de apodrecimento: campo aberto e floresta | 71 |
| Tabela 20 – Módulo de ruptura (MPa) das estacas de <i>Eucalyptus grandis</i> submetidas ao campo de apodrecimento: campo aberto e floresta | 71 |
| Tabela 21 – Módulo de ruptura (MPa) das estacas de <i>Eucalyptus cloeziana</i> submetidas ao campo de apodrecimento: campo aberto e floresta | 72 |
| Tabela 22 – Comparação múltipla de médias para o módulo de elasticidade em função das espécies, tratamentos, ambientes e avaliações | 7 |
| Tabela 23 – Comparação múltipla de médias para o módulo de ruptura em função das espécies, tratamentos, ambientes e avaliações | 74 |
| Tabela 24 – Análise de variância fatorial para a massa específica da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. cloeziana</i> | 96 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 25 – Teste de médias para a massa específica da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. cloeziana</i> | 96 |
| Tabela 26 – Teste de médias para o efeito do tratamento preservativo sobre massa específica da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. cloeziana</i> | 96 |
| Tabela 27 – Análise de variância fatorial para a umidade de equilíbrio da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. cloeziana</i> | 97 |
| Tabela 28 – Teste de médias para a umidade de equilíbrio da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. cloeziana</i> | 97 |
| Tabela 29 – Teste de médias para o efeito do tratamento preservativo na umidade de equilíbrio da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. cloeziana</i> | 97 |
| Tabela 30 – Análise de variância para a retenção de CCA na madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. cloeziana</i> | 98 |
| Tabela 31 – Análise de variância fatorial para a perda de massa da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. cloeziana</i> submetidas ao apodrecimento acelerado..... | 99 |
| Tabela 32 – Teste de médias da perda de massa para o fator espécie | 99 |
| Tabela 33 – Teste de médias da perda de massa para o fator tratamento | 99 |
| Tabela 34 – Teste de médias da perda de massa para o fator fungos | 99 |
| Tabela 35 – Análise de variância fatorial para a perda de massa da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. cloeziana</i> submetidas ao ensaio em campo de apodrecimento..... | 100 |
| Tabela 36 – Análise de variância fatorial para o índice de comportamento da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. cloeziana</i> submetidas ao ensaio em campo de apodrecimento..... | 101 |
| Tabela 37 – Análise de variância fatorial para o módulo de elasticidade da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. cloeziana</i> submetidas ao ensaio em campo de apodrecimento..... | 102 |
| Tabela 38 – Comparação fatorial de médias para o módulo de elasticidade (MPa), da interação dos fatores espécie e ambiente | 102 |
| Tabela 39 – Análise de variância fatorial para o módulo de ruptura da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. cloeziana</i> submetidas ao ensaio em campo de apodrecimento..... | 103 |
| Tabela 40 – Comparação fatorial de médias para o módulo de ruptura (MPa), da interação dos fatores espécie e tratamento..... | 103 |
| Tabela 41 – Comparação fatorial de médias para o módulo de ruptura (MPa), da interação dos fatores espécie e avaliações..... | 103 |
| Tabela 42 – Comparação fatorial de médias para o módulo de ruptura (MPa), da interação dos fatores tratamentos e avaliações | 104 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Esquema do ensaio de flexão estática..... | 27 |
| Figura 2 – Representação das operações de obtenção das toras e tábuas | 29 |
| Figura 3 – Autoclave utilizada no tratamento industrial da madeira | 30 |
| Figura 4 – Amostras utilizadas na determinação da umidade de equilíbrio da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. cloeziana</i> | 32 |
| Figura 5 – Classificação utilizada para determinação da penetração do produto preservativo CCA da madeira tratada de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. cloeziana</i> | 33 |
| Figura 6 – Fungo <i>Trametes versicolor</i> (A) e Fungo <i>Gloeophyllum trabeum</i> (B) | 35 |
| Figura 7 – Placa suporte após inoculação do micélio do fungo..... | 37 |
| Figura 8 – Corpos de prova recém-introduzidos nos frascos sobre a placa suporte. | 37 |
| Figura 9 – Croqui ilustrativo da instalação do campo de apodrecimento | 40 |
| Figura 10 – Forma e dimensões do corpo de prova para flexão estática..... | 43 |
| Figura 11 – Máquina Universal de Ensaio Mecânicos..... | 44 |
| Figura 12 – Análise da penetração do CCA para a madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> . | 48 |
| Figura 13 – Análise da penetração do CCA para a madeira de <i>Eucalyptus cloeziana</i> | 48 |
| Figura 14 – Retenção média (kg/m ³) de CCA para a madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. cloeziana</i> submetidas ao tratamento preservativo em autoclave. *Médias seguidas por uma mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si (teste de Tukey, p > 0,05)..... | 50 |
| Figura 15 – Potencial de ataque fúngico (PAF), temperatura média (T) e número de dias com precipitação pluviométrica igual ou superior a 0,30 mm (D) em Santa Maria-RS, 2010..... | 58 |
| Figura 16 – Perda de massa da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> em função do tempo em que as amostras permaneceram no campo de apodrecimento..... | 62 |
| Figura 17 – Perda de massa da madeira de <i>Eucalyptus cloeziana</i> em função do tempo em que as amostras permaneceram no campo de apodrecimento | 63 |
| Figura 18 – Índice de comportamento da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> em função do tempo em que as amostras permaneceram no campo de apodrecimento..... | |
| Figura 19 – Índice de comportamento da madeira de <i>Eucalyptus cloeziana</i> em função do tempo em que as amostras permaneceram no campo de apodrecimento..... | 69 |
| Figura 20 – Módulo de elasticidade da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> em função do tempo em que as amostras permaneceram no campo de apodrecimento | 75 |
| Figura 21 – Módulo de elasticidade da madeira de <i>Eucalyptus cloeziana</i> em função do tempo em que as amostras permaneceram no campo de apodrecimento..... | 76 |
| Figura 22 – Módulo de ruptura da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> em função do tempo em que as amostras permaneceram no campo de apodrecimento | 77 |
| Figura 23 – Módulo de ruptura da madeira de <i>Eucalyptus cloeziana</i> em função do tempo em que as amostras permaneceram no campo de apodrecimento | 77 |

| | |
|---|----|
| Figura 24 – Registro do tratamento preservativo em autoclave com CCA..... | 88 |
| Figura 25 – Frascos de ensaio contendo corpos de prova de <i>Eucalyptus grandis</i> submetidos ao fungo <i>Trametes versicolor</i> já em fase de finalização do experimento. À esquerda amostra testemunha e à direita tratada com CCA..... | 89 |
| Figura 26 – Detalhe dos corpos de prova de <i>Eucalyptus grandis</i> removidos dos frascos junto com a placa suporte, à esquerda corpo de prova testemunha recoberto pelo micélio do fungo <i>Trametes versicolor</i> e a direita, corpo de prova tratado com CCA com pouco desenvolvimento do fungo <i>Trametes versicolor</i> | 89 |
| Figura 27 – Aspecto dos corpos de prova das espécies <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. cloeziana</i> após o ensaio de apodrecimento acelerado..... | 90 |
| Figura 28 – Instalação do campo de apodrecimento em campo aberto..... | 91 |
| Figura 29 – Instalação do campo de apodrecimento em campo aberto..... | 91 |
| Figura 30 – Instalação do campo de apodrecimento em floresta..... | 92 |
| Figura 31 – Instalação do campo de apodrecimento em floresta..... | 92 |
| Figura 32 – Campo de apodrecimento instalado no campo aberto..... | 93 |
| Figura 33 – Campo de apodrecimento instalado na floresta..... | 93 |
| Figura 34 – Laudo da análise de solo do campo aberto e floresta, fornecido pelo Departamento de Solos da UFSM..... | 94 |
| Figura 35 – Aspecto dos corpos de prova oriundos do campo aberto..... | 95 |
| Figura 36 – Aspecto dos corpos de prova oriundos da floresta..... | 95 |

LISTA DE APÊNDICES

| | |
|--|-----|
| Apêndice 1 – Condução do tratamento preservativo em autoclave | 88 |
| Apêndice 2 – Condução do ensaio de apodrecimento acelerado | 89 |
| Apêndice 3 – Instalação do campo de apodrecimento: campo aberto e floresta | 91 |
| Apêndice 4 – Laudo da análise de solo do campo aberto e floresta | 94 |
| Apêndice 5 – Aspecto dos corpos de prova da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> oriundos do campo de apodrecimento: campo aberto e floresta..... | 95 |
| Apêndice 6 – Análise de variância para a massa específica e efeito do tratamento preservativo sobre a mesma | 96 |
| Apêndice 7 – Análise de variância para a umidade de equilíbrio e efeito do tratamento preservativo sobre a mesma | 97 |
| Apêndice 8 – Análise de variância para retenção de CCA na madeira de <i>Eucalyptus</i> <i>grandis</i> e <i>E. cloeziana</i> | 98 |
| Apêndice 9 – Análise de variância para a perda de massa da madeira de <i>Eucalyptus</i> <i>grandis</i> e <i>E. cloeziana</i> submetidas aos fungos <i>Trametes versicolor</i> e <i>Gloeophyllum trabeum</i> , no ensaio de apodrecimento acelerado | 99 |
| Apêndice 10 – Análise de variância para a perda de massa da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. cloeziana</i> submetidas ao ensaio em campo de apodrecimento | 100 |
| Apêndice 11 – Análise de variância para o índice de comportamento da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. cloeziana</i> submetidas ao ensaio em campo de apodrecimento | 101 |
| Apêndice 12 – Análise de variância para resistência a flexão estática da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. cloeziana</i> submetidas ao ensaio em campo de apodrecimento | 102 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 15 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA | 18 |
| 2.1 Organismos biodeterioradores da madeira | 18 |
| 2.2 Preservação da madeira | 19 |
| 2.2.1 <i>Processo de tratamento industrial: Bethell de célula cheia</i> | 20 |
| 2.2.2 <i>Preservativos hidrossolúveis</i> | 21 |
| 2.2.3 <i>Categorias de uso da madeira</i> | 22 |
| 2.3 Avaliação da qualidade do tratamento preservante | 24 |
| 2.3.1 <i>Penetração</i> | 24 |
| 2.3.2 <i>Retenção</i> | 25 |
| 2.4 Avaliação da eficiência do preservante | 25 |
| 2.4.1 <i>Ensaio de laboratório</i> | 25 |
| 2.4.2 <i>Ensaio de campo</i> | 26 |
| 2.5 Avaliação da resistência mecânica da madeira | 27 |
| 2.5.1 <i>Flexão estática</i> | 27 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS | 29 |
| 3.1 Obtenção do material..... | 29 |
| 3.2 Condução do tratamento preservativo | 30 |
| 3.3 Massa específica aparente | 31 |
| 3.4 Umidade de equilíbrio | 31 |
| 3.5 Análise da penetração | 32 |
| 3.6 Análise da retenção | 33 |
| 3.7 Ensaio de laboratório | 34 |
| 3.7.1 <i>Preparação dos corpos de prova</i> | 34 |
| 3.7.2 <i>Fungos xilófagos e condições de ensaio</i> | 35 |
| 3.7.3 <i>Frascos de ensaio</i> | 36 |
| 3.7.4 <i>Blocos de correção</i> | 38 |
| 3.7.5 <i>Espécies de referência</i> | 38 |
| 3.7.6 <i>Determinação da perda de massa</i> | 39 |
| 3.8 Ensaio de campo..... | 40 |
| 3.8.1 <i>Potencial de ataque fúngico</i> | 41 |
| 3.8.2 <i>Perda de massa</i> | 42 |
| 3.8.3 <i>Índice de comportamento</i> | 42 |
| 3.8.4 <i>Testes de flexão estática</i> | 43 |
| 3.9 Análise estatística | 44 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 46 |
| 4.1 Massa específica aparente | 46 |
| 4.2 Umidade de equilíbrio | 47 |
| 4.3 Análise da penetração | 48 |
| 4.4 Análise da retenção | 50 |
| 4.5 Ensaio de laboratório | 51 |
| 4.6 Ensaio de campo..... | 54 |
| 4.6.1 <i>Análise de solo e Condições climáticas do período</i> | 54 |
| 4.6.2 <i>Potencial de ataque fúngico</i> | 57 |
| 4.6.3 <i>Perda de massa</i> | 59 |
| 4.6.4 <i>Índice de comportamento</i> | 64 |
| 4.6.5 <i>Flexão estática</i> | 69 |

| | |
|---|-----------|
| 5 CONCLUSÕES | 79 |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 81 |
| 7 APÊNDICES | 88 |

1 INTRODUÇÃO

A madeira, por ser material de origem orgânica, dependendo das condições ambientais a que for submetida, pode ser deteriorada tanto por agentes biológicos, como micro-organismos (bactérias e fungos), insetos (coleópteros e térmitas) e brocas marinhas (moluscos e crustáceos), bem como por reações químicas, o que traz prejuízo aos seus usuários, no que se refere ao custo da mão-de-obra para substituição do material e ao risco à segurança da obra.

Segundo Calil Júnior e Dias (1997), a idéia equivocada de que a madeira tem vida útil curta, a tem negligenciado como material de construção. Embora seja susceptível ao ataque de organismos deterioradores sob condições específicas, quando preparada com tecnologia e tratamento preservativo, torna-se um material muito durável, tendo em vista que se pode obter proteção efetiva por períodos de até 50 anos ou mais.

Quando a situação de uso da madeira a submete a condições adversas ou ao contato com o solo, torna-se necessário o uso de espécies de alta durabilidade natural ou de baixa durabilidade, mas com facilidade de impregnação quando submetidas a tratamento preservantes, por meio da adição de produtos químicos; tornando-a mais resistente principalmente ao ataque biológico, que são os principais deterioradores da madeira em curto prazo, aumentando consideravelmente sua vida útil (BARILLARI e FREITAS, 2002).

Considerando que as espécies de alta durabilidade natural são provenientes de florestas tropicais, a utilização de espécies de florestas plantadas, e que possam ser submetidas ao tratamento preservante, torna-se uma alternativa promissora.

Nesse contexto, entram as espécies do gênero *Pinus* e *Eucalyptus* que, devido à boa adaptação às condições edafoclimáticas do Brasil, apresentaram altas taxas de crescimento e potencial para diversos usos, incluindo a produção madeireira (GOLFARI, 1978). Contudo, a utilização da madeira de reflorestamentos como produtos que requeiram tratamento preservante está concentrada principalmente no gênero *Eucalyptus*.

A importância do gênero *Eucalyptus* tem crescido consideravelmente no Brasil nos últimos anos, entretanto, são poucas as informações sobre as melhores

formas de tratamento preservativo desta madeira, necessárias, principalmente, devido à baixa permeabilidade da madeira desta espécie, o que resulta em uma deficiente penetração do produto preservativo além da região periférica da madeira de alburno.

Entre os métodos de tratamento da madeira, existem os sem pressão ou caseiros e os com pressão, também chamados de industriais. Segundo Mendes e Alves (1988), este último se destaca pela qualidade do tratamento, no que diz respeito à eficiência, ao controle da retenção e penetração do preservativo na madeira, à economia de tempo e a garantia de maior proteção, aumentando consideravelmente a vida útil das peças em serviço.

A qualidade de um tratamento preservativo é determinada pela profundidade de penetração e quantidade de produto retido pela madeira (HUNT e GARRATT, 1967). De acordo com Lepage (1986), a penetração e retenção dos produtos são os parâmetros que fornecem o verdadeiro grau de proteção das peças, sendo considerados de máxima importância no controle da qualidade do tratamento.

Segundo Barillari (2002), a eficiência dos produtos preservativos aplicados à madeira pode ser avaliada por ensaios de campo em locais conhecidos como campos de apodrecimento, onde a madeira é exposta ao solo, às intempéries do ambiente, aos fungos e insetos xilófagos. Já Santini (1988) cita o ensaio de laboratório em condições controladas como o teste mais simples para se avaliar a toxidez do produto em diferentes concentrações, permitindo detectar o nível com maior grau de inibição ao desenvolvimento dos fungos.

Outro fator extremamente importante que deve ser levado em consideração, segundo Trevisan et al. (2007), é com relação às propriedades mecânicas. O estudo desses parâmetros, em trabalhos que avaliam a decomposição da madeira, pode fornecer informações valiosas quanto à redução dessas características diante do processo de degradação causado pelos agentes biodeterioradores, agregando informações sobre este comportamento.

Os trabalhos de pesquisa existentes no Brasil ainda são bastante incipientes e não exploram as diferentes formas de avaliação, tanto da qualidade (retenção e penetração) quanto da eficiência dos tratamentos preservativos. Nesse sentido, ao se combinar ensaios de campo e de laboratório, tem-se por intuito que um supra as deficiências do outro, fornecendo resultados confiáveis quanto ao grau de proteção

proporcionado à madeira, principalmente a de difícil impregnação, tal como a do gênero *Eucalyptus*.

Nesse contexto, desenvolveu-se a presente pesquisa com o objetivo de avaliar a resistência biológica da madeira tratada de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell, quando submetidas à ação de organismos biodeterioradores em ensaios de laboratório e de campo, comparando-se os parâmetros obtidos para as madeiras com e sem tratamento.

Os objetivos específicos foram:

- Avaliar as alterações causadas pelo tratamento preservativo na massa específica e na umidade de equilíbrio das madeiras estudadas;
- Determinar a penetração e a retenção do produto preservativo;
- Quantificar a perda de massa da madeira tratada submetida ao ataque de fungos de podridão branca e podridão parda, em condições controladas de laboratório;
- Quantificar a perda de massa e o índice de deterioração da madeira tratada submetida a dois ambientes naturais: campo aberto e floresta;
- Determinar o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) da madeira tratada por meio do teste de flexão estática após o ensaio de campo;
- Estabelecer uma comparação dos parâmetros avaliados entre as espécies estudadas, de modo a definir qual apresenta maior aptidão para uso em decks ou condições igualmente adversas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Organismos biodeterioradores da madeira

A madeira é um material heterogêneo constituído por elementos orgânicos e inorgânicos. Klock et al. (2005) citam que, entre os elementos inorgânicos, temos os compostos químicos elementares, principalmente Carbono (C), Hidrogênio (H), Oxigênio (O) e Nitrogênio (N), este último em pequenas quantidades. Já entre os elementos orgânicos, existem os compostos macromoleculares, como a celulose, a lignina e a hemicelulose; e os micromoleculares, que são os extrativos.

Além desses elementos, encontram-se pequenas quantidades de Cálcio (Ca), Potássio (K), Magnésio (Mg) e outros, constituindo as substâncias minerais existentes na madeira.

Dessa forma, a madeira, por ser composta de elementos de origem orgânica, está sujeita a deterioração por agentes biológicos, físicos e reações químicas, os quais causam prejuízos tanto no que se refere à substituição do material quanto ao risco à segurança da obra.

Existem algumas espécies florestais que apresentam naturalmente substâncias tóxicas presentes em sua madeira o que as tornam resistentes ao ataque de organismos biodeterioradores. Tais substâncias são conhecidas como extrativos, formados por ocasião da transformação da madeira de alburno em cerne, acumulando-se nos lumes e paredes das células, resultando, na maioria das vezes, numa coloração escura do cerne (OLIVEIRA et al., 2005). Nesse sentido, a durabilidade natural da madeira está relacionada à presença de extrativos.

A grande maioria das espécies, porém, não apresenta extrativos em quantidade suficiente para proteger a madeira contra o ataque dos agentes deterioradores. Desta forma, surge a importância do tratamento preservativo da madeira, que consiste em impregná-la artificialmente com substâncias químicas, proporcionando alta resistência a estes organismos.

Os agentes biodeterioradores da madeira se alimentam direta ou indiretamente da madeira. Entre estes incluem-se bactérias, fungos, insetos,

moluscos e crustáceos, que decompõem a madeira para utilizar os seus constituintes como fonte de energia. Os agentes físicos e químicos atuam em conjunto com os biológicos, acelerando o processo de deterioração. Destes agentes, os biológicos são os de maior importância, principalmente os fungos, responsáveis pela maior proporção de danos causados à madeira.

Entre os fungos responsáveis pelo apodrecimento da madeira, segundo Oliveira et al. (2005), destaca-se a classe dos basidiomicetos, na qual se encontram os fungos responsáveis pela podridão parda e pela podridão branca, que possuem características enzimáticas próprias, quanto à decomposição dos constituintes primários da madeira. Os primeiros decompõem os polissacarídeos da parede celular, em que a madeira atacada apresenta uma coloração residual pardacenta. Os últimos atacam, indistintamente, tanto os polissacarídeos quanto a lignina. Neste caso, a madeira atacada adquire um aspecto mais claro.

Segundo Santos (1992), a madeira sob ataque de fungos apresenta alterações na composição química, redução da resistência mecânica, diminuição de massa, modificação da cor natural, aumento da permeabilidade, redução da capacidade acústica, aumento da inflamabilidade, diminuição do poder calorífico e maior propensão ao ataque de insetos, comprometendo, assim, sua qualidade, e inviabilizando sua utilização para fins tecnológicos.

2.2 Preservação da madeira

A preservação da madeira surgiu como mecanismo de proteção, com a intenção de aumentar o tempo de uso de produtos obtidos das espécies que são menos resistentes à deterioração, pois na maioria das vezes, são estas as encontradas em maior abundância na natureza, como também, aquelas de mais fácil obtenção através de reflorestamentos, como por exemplo *Pinus* e *Eucalyptus*.

Os métodos de tratamento da madeira, de uma maneira geral, podem ser classificados dentro de dois grandes grupos: os caseiros ou sem pressão e os industriais ou com pressão. Este último grupo se destaca pela possibilidade de conferir uma maior eficiência ao tratamento, obtendo-se valores mais favoráveis no que diz respeito às variáveis penetração e retenção do preservativo na madeira.

Quando não é possível modificar as condições que favorecem o desenvolvimento dos agentes xilófagos, como por exemplo diminuindo-se a umidade da madeira, é necessário envenenar-lhes o alimento por meio de produtos químicos tóxicos conhecidos como preservativos. Estes são classificados, de acordo com suas características físicas e químicas, em três grupos, a saber, os oleosos, os oleossolúveis e os hidrossolúveis, em que os dois primeiros utilizam óleo como solvente, e o último utiliza água.

Conforme Mendes e Alves (1988), toda substância química capaz de provocar o envenenamento dos componentes celulares da madeira, tornando-os, conseqüentemente, resistentes ao ataque de fungos e insetos, é considerado um preservativo de madeira. Ainda de acordo com os autores, para ser considerado um bom preservante, este deve, teoricamente, apresentar boa toxidez, não ser volátil nem lixiviável, ter alta fixação na madeira, não corroer metais, não ser inflamável, não alterar propriedades físico-mecânicas da madeira, e não ser tóxico ao homem nem aos animais. Dificilmente se encontrará um preservativo que reúna todas estas características, assim, dependendo do tipo de material a ser tratado e de onde a madeira será exposta, somente algumas destas características serão necessárias.

2.2.1 Processo de tratamento industrial: Bethell de célula cheia

Desenvolvido na Inglaterra por John Bethell (1838), o tratamento industrial é empregado quando se deseja obter retenção elevada por volume de madeira. O que o distingue dos tratamentos de célula vazia é a aplicação de um vácuo inicial para extrair, tanto quanto for possível, o ar das células, facilitando, deste modo, a penetração do preservativo na madeira. É chamado de célula cheia porque o preservativo fica retido tanto na parede como no lume das células da madeira.

O processo de tratamento de Bethell segue as seguintes etapas:

- 1. Vácuo inicial:* Nessa etapa, após a autoclave ser fechada, gera-se um vácuo inicial de 600 a 630 mmHg durante um tempo que varia de 30 min. a 1 hora, conforme a permeabilidade da madeira, com a finalidade de extrair parte do ar das camadas superficiais da madeira para facilitar a entrada do preservativo.

2. *Admissão do preservativo:* Sem romper o vácuo e aproveitando-se do mesmo, permite-se a entrada do preservativo. Esta admissão, se necessário, pode ser completada com o auxílio de uma bomba de transferência, pois a autoclave deve ficar completamente cheia com a solução preservativa, sem a ocorrência de bolsas de ar.

3. *Pressão:* Com a autoclave totalmente preenchida, eleva-se a pressão até se atingir a ordem de 10 a 12 kgf/cm². O período de pressão varia de 1 a 5 horas, dependendo da permeabilidade da madeira em tratamento. É necessário que seja absorvida a quantidade de preservativo correta para se obter a retenção desejada.

4. *Drenagem do preservativo:* A pressão é então aliviada, e o preservativo restante é bombeado de volta para o tanque de armazenamento.

5. *Vácuo final:* Aplica-se um vácuo final de curta duração com a finalidade de eliminar o excesso de preservativo sobre a superfície da madeira evitando desperdício.

O tempo requerido para o tratamento de madeira dependerá de alguns fatores, como espécie a tratar, grau de sazonalidade, dimensão das peças, e quantidade de alburno.

2.2.2 Preservativos hidrossolúveis

Segundo Freitas (2002), os preservativos hidrossolúveis apresentam inúmeras vantagens em relação aos preservativos oleossolúveis, entre elas: maior facilidade de formação de complexos com os componentes da parede celular, resistência à lixiviação, a aplicação pode ser feita à temperatura ambiente, não são corrosivos a metais, são quimicamente estáveis, não são inflamáveis, não exalam cheiro e permitem acabamento da madeira, como a aplicação de tintas e vernizes.

Além disso, mantêm inalterada a condutividade elétrica da madeira, fator de grande importância em postes para energia elétrica e dormentes para ferrovias.

Dentre os produtos utilizados na preservação, o arseniato de cobre cromatado (CCA) é atualmente um dos preservativos mais eficientes para o tratamento da madeira, protegendo-a da podridão por fungos e da deterioração por insetos e agentes marinhos. O produto é uma combinação básica do cobre, cromo e arsênio, o qual, segundo Galvão (2004), é comercializado em três formulações: Tipo A (65,5 % de CrO_3 , 18,1 % de CuO e 16,4 % de As_2O_5), Tipo B (35,3 % de CrO_3 , 19,6 % de CuO e 45,1 % de As_2O_5) e Tipo C (47,5 % de CrO_3 , 18,5 % de CuO e 34,00 % de As_2O_5). De acordo com Silva (2006), dentre estas formulações existentes, a de Tipo C é a mais utilizada em todo o mundo e vem sendo empregada desde 1930.

O CCA é um produto preservativo de ação fungicida e inseticida, que protege a madeira contra o ataque de insetos xilófagos (cupins, brocas, carunchos etc.), contra fungos apodrecedores e contra a destruição por furadores marinhos, tais como *Teredo sp* e *Limnoria sp* (MANUAL TÉCNICO MONTANA QUÍMICA, 2008).

2.2.3 Categorias de uso da madeira

O propósito do Sistema de Categorias de Uso é ter uma ferramenta simplificada para a tomada de decisão quanto ao uso racional e inteligente da madeira, por meio de uma abordagem sistêmica que garanta maior durabilidade das construções.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em conjunto com Associação Brasileira de Preservadores de Madeira (ABPM) e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), realizou a revisão da norma NBR 7190/97, em que foram estabelecidas as categorias de uso da madeira, baseadas nas condições de exposição ou uso da mesma, e nos possíveis agentes biodeterioradores presentes, de acordo como pode ser observado na Tabela 1, as quais futuramente serão adicionadas ao Anexo D da norma em questão.

Tabela 1 – Categorias de uso da madeira (Fonte: ABNT/ABPM/IPT, 2007)

| Categoria de uso | Condição de uso da madeira |
|-------------------------|--|
| 1 | Interior de construções, fora de contato com o solo, fundações ou alvenaria, protegidos das intempéries, das fontes internas de umidade e locais livres do acesso de cupins-subterrâneos ou arborícolas. |
| 2 | Interior de construções, em contato com a alvenaria, sem contato com o solo ou fundações, protegidos das intempéries e das fontes internas de umidade. |
| 3 | Interior de construções, fora de contato com o solo e protegidos das intempéries, que podem, ocasionalmente, ser expostos a fontes de umidade. |
| 4 | Uso exterior, fora de contato com o solo e sujeitos as intempéries. |
| 5 | Contato com o solo, água doce e outras situações favoráveis à deterioração, como engaste em concreto e alvenaria. |
| 6 | Exposição à água salgada ou salobra. |

Na Tabela 2 estão relacionadas as possíveis aplicações da madeira serrada como material de engenharia, com as categorias de uso prováveis.

Tabela 2 – Aplicações da madeira serrada e as categorias de uso prováveis (Fonte: Adaptado de ABNT/ABPM/IPT, 2007)

| APLICAÇÃO | CATEGORIA DE USO PROVÁVEL |
|-------------------------------|----------------------------------|
| Assoalho | 2 e 3 |
| Colunas | 2, 3, 4, 5 e 6 |
| Decks | 3 e 4 |
| Embalagens (não-descartáveis) | 1, 2, 3 e 4 |
| Escada | 2, 3, 4 e 5 |
| Estacas | 5 |
| Estrutura de telhado | 2, 3 e 4 |
| Fundação | 5 e 6 |
| Guarnições | 2, 3 e 4 |
| Janela | 1, 2, 3 e 4 |
| Móveis | 1, 2, 3 e 4 |
| Playground | 4 e 5 |
| Porta | 1, 2 e 3 |

Com base nas categorias de uso em que a madeira é exposta, a ABNT/ABPM/IPT (2007) recomenda uma retenção mínima para cada situação, para que a mesma tenha resistência suficiente às intempéries ambientais e aos organismos biodeterioradores, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 – Aplicação da madeira serrada, roliça e laminada com as retenções mínimas sugeridas para peças tratadas sob pressão com CCA-C e CCB (Fonte: Adaptado de ABNT/ABPM/IPT, 2007)

| Categoria de Uso | Retenção mínima kg/m³ (i.a.) | Penetração |
|-------------------------|--|---------------------|
| 1 e 2 | 4,0 a 6,5 | |
| 3 | 4,0 a 6,5 | 100 % do alburno e |
| 4 | 4,0 a 6,5 | porção permeável do |
| 5 | 6,5; 9,6 a 12,8 | cerne |
| 6 | 24 | |

Onde: CCA-C – arseniato de cobre cromatado tipo C; CCB – borato de cobre cromatado; i.a. – ingrediente ativo.

2.3 Avaliação da qualidade do tratamento preservante

De acordo com Santini (1988), os parâmetros usualmente empregados no julgamento da qualidade de um tratamento preservativo, do ponto de vista de sua aplicação na madeira, são a penetração no lenho e a retenção. Carvalho (1966) e Lepage (1986) afirmam que esses parâmetros fornecem o verdadeiro grau de proteção à madeira, sendo considerados de máxima importância no controle de qualidade do tratamento efetuado.

2.3.1 Penetração

A penetração é definida como sendo a profundidade alcançada pelo preservativo ou pelo(s) seu(s) ingrediente(s) ativo(s) na madeira, e como os mesmos

se alocam, como exemplo tem-se penetração nula, vascular, parcial irregular ou periférica e total (SALES-CAMPOS et al., 2003).

2.3.2 Retenção

De acordo com Torres et al. (2011) a retenção é o fator mais importante para se avaliar a qualidade de um tratamento preservativo. Sendo determinada pela quantidade de preservativo ou de seu(s) ingrediente(s) ativo(s), contida de maneira uniforme num determinado volume de madeira, expressa em quilogramas de ingrediente ativo por metro cúbico de madeira tratável (kg/m^3).

2.4 Avaliação da eficiência do preservante

Para avaliar a eficiência de um determinado preservante no combate à deterioração biológica pode-se lançar mão de alguns ensaios. Estes podem ser ensaios de laboratório ou de campo, conhecidos como apodrecimento acelerado e campo de apodrecimento, respectivamente (LOPEZ e MILANO, 1986).

2.4.1 Ensaio de laboratório

Os ensaios em laboratório constituem o primeiro estágio da avaliação de um produto preservativo para a madeira (HUNT e GARRAT, 1967; LOPEZ e MILANO, 1986). Este ensaio é considerado um dos melhores métodos acelerados para comparar a eficiência de produtos preservativos em condições de laboratório e para calcular as quantidades relativas necessárias de cada preservativo, com o objetivo de proteger a madeira dos diversos fungos.

Costa (1999) menciona que o desenvolvimento de ensaios em laboratório apresenta-se como uma das principais formas de avaliação de novos ingredientes ativos e/ou técnicas que apresentam resultados promissores no combate aos fungos e insetos xilófagos.

Entretanto, os ensaios de laboratório, embora forneçam resultados significativos quanto à eficiência de um determinado produto e/ou técnica e a durabilidade natural da madeira de uma determinada espécie, não devem ser considerados definitivos, pois são baseados em condições ideais de laboratório, em que diversos agentes físicos ou químicos do meio ambiente, que frequentemente ocorrem em condições reais, não são considerados (MENDES e ALVES, 1988).

2.4.2 Ensaios de campo

Os ensaios de campo, conhecidos como campos de apodrecimento, expõem a madeira ao solo, às intempéries do ambiente e a uma vasta gama de micro-organismos e insetos xilófagos.

Trevisan et al. (2008) cita que o tipo de ambiente influencia na ocorrência dos organismos xilófagos, bem como na atuação destes no processo de decomposição da madeira. Cavalcante (1985) afirma que o comportamento da mesma madeira pode ser diferente em dois ambientes distintos, porque cada qual apresentará condições características de, por exemplo, umidade, insolação, aeração, temperatura etc.

Nesse sentido, os testes de campo são uma maneira efetiva para avaliar-se a durabilidade de moirões e estacas em serviço e a eficiência de processos de tratamentos preservativos da madeira (GALVÃO, 1972). Segundo o mesmo autor, em avaliações dessa natureza são desejáveis resultados provenientes de ensaios conduzidos em diferentes condições de clima e solo, informações estas que são escassas em nosso meio. Assim, a madeira será deteriorada pelos organismos naturalmente presentes no solo.

Para Nicholas (1985), a madeira quando está em contato com o solo deteriora-se muito mais rápido do que fora dele, devido ao equilíbrio da umidade da madeira em contato com o solo úmido, à possibilidade de lixiviação de produtos

preservantes e a uma grande quantidade de micro-organismos que colonizam a madeira e/ou causam degradação do preservante.

2.5 Avaliação da resistência mecânica da madeira

2.5.1 Flexão estática

A flexão estática da madeira se refere ao comportamento que esta possui ao ser submetida a uma carga aplicada em sua face tangencial, com o objetivo de provocar seu flexionamento.

A madeira apresenta, até determinado ponto, uma característica elástica em que, cessando a força que a deforma, ainda apresenta capacidade de voltar ao seu estado original. A partir do ponto em que a madeira deixa de ser elástica, passa a ser plástica. Isso significa que, mesmo que cesse a força que a deforma, a madeira não tem mais a capacidade de retornar ao seu estado original.

De acordo com Moreschi (2005), o ensaio para determinação da flexão estática da madeira consiste na aplicação de uma carga a um corpo de prova que repousa sobre dois apoios, na metade de seu comprimento, para causar tensões e deformações mensuráveis, até sua ruptura, conforme a Figura 1.

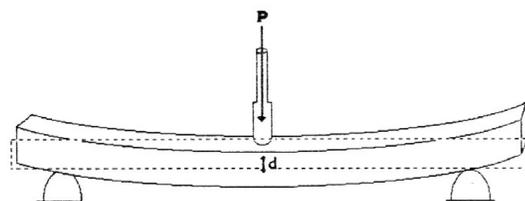


Figura 1 – Esquema do ensaio de flexão estática (P= carga; d= deformação) (Fonte: MORESCHI, 2005)

De acordo com o referido autor, diferentes fatores podem influenciar esta propriedade, dentre eles a forma e dimensões das peças, o ângulo das fibras, a massa específica, o teor de umidade, a temperatura, as propriedades anatômicas, os constituintes químicos e a deterioração do material, assunto do presente estudo.

O módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR) são dois parâmetros determinados no teste de flexão estática, os quais, segundo Silva et al. (2005), são de grande importância na caracterização tecnológica da madeira, em que ambos dão uma boa aproximação da resistência do material, constituindo-se, na prática, parâmetros de grande aplicação na classificação dos materiais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Obtenção do material

O material utilizado no estudo foi coletado em um povoamento pertencente à empresa FLOSUL Madeiras, localizada no município de Capivari do Sul – RS. As árvores de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana*, ambas com 16 anos de idade, foram abatidas, transformadas em toras de 2,0 m de comprimento e transportadas para a serraria da empresa. Na serraria, as toras foram desdobradas em tábuas com as dimensões de 2,2 x 9,0 x 200,0 cm, de acordo com os padrões utilizados pela FLOSUL para a produção de decks de madeira (Figura 2).

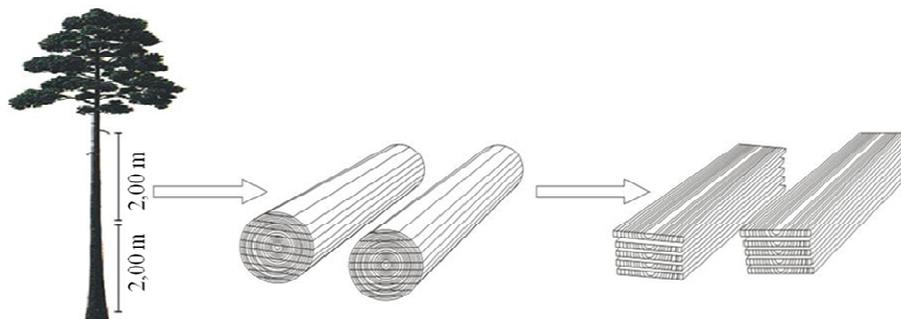


Figura 2 – Representação das operações de obtenção das toras e tábuas (Fonte: Adaptado de MELO, 2009)

Depois de serrada, a madeira foi submetida a uma secagem ao ar livre até atingir teor de umidade inferior ao ponto de saturação das fibras (PSF), de 12 a 15%, para viabilizar a realização do tratamento preservativo em autoclave. Uma parte das tábuas não foi submetida ao tratamento preservativo, sendo utilizada como comparativo (testemunha) nos ensaios biológicos e mecânicos.

3.2 Condução do tratamento preservativo

O tratamento preservativo da madeira foi executado numa autoclave da empresa FLOSUL Madeiras, com dimensões 2,10 m de diâmetro e 24,0 m de comprimento (Figura 3). As tábuas, após passarem pelo período de secagem ao ar, foram empilhadas sobre as vagonetas, as quais foram introduzidas no cilindro de tratamento, seguindo as fases do processo Bethell de célula cheia, com uma pressão máxima de 12 kgf/cm².



Figura 3 – Autoclave utilizada no tratamento industrial da madeira (Fonte: autor)

Como produto preservativo foi utilizado o Arseniato de Cobre Cromatado tipo C (CCA-C), que é um preservativo hidrossolúvel, fungicida e inseticida com boa mobilidade na madeira. Todos os procedimentos e operações para execução do tratamento das tábuas seguiram a rotina utilizada pela empresa nos tratamentos industriais de madeira serrada.

Para cada uma das espécies de eucalipto utilizadas, realizou-se o tratamento de uma carga de madeira, com as dimensões citadas anteriormente (2,2 x 9,0 x 200,0 cm). Após o tratamento, foram coletadas 20 tábuas de cada espécie que foram utilizadas na condução do experimento.

Após a retirada da autoclave, as peças tratadas passaram por um período de repouso, para que ocorresse a evaporação do solvente (a água) e, com isso, a fixação dos ingredientes ativos na madeira. Posteriormente foram transportadas para o Laboratório de Produtos Florestais (LPF) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), onde se seguiram as demais etapas do estudo.

3.3 Massa específica aparente

A massa específica aparente foi obtida a partir dos mesmos corpos de prova utilizados nos ensaios de campo, com dimensões de 2,0 x 2,0 x 30,0 cm. O valor foi determinado com base na massa e volume das amostras (Equação 1) após a estabilização em câmara climatizada a 20°C de temperatura e 65% de umidade relativa.

$$ME = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Onde: ME = massa específica aparente das amostras, g/cm³; m = massa, g; v = volume, cm³.

3.4 Umidade de equilíbrio

Para determinação do efeito do tratamento químico sobre a umidade de equilíbrio da madeira, foram utilizadas amostras com dimensões de 2,0 x 2,0 x 5,0 cm (Figura 4), que foram mantidas em câmara climatizada (20°C e 65% UR) até a estabilização da massa. Em seguida as amostras foram secas em estufa a 103°C até massa constante e, com base na massa constante do material em câmara climatizada e seca em estufa, por meio da Equação 2 calculou-se o teor de umidade de equilíbrio das amostras.

$$UEq = \frac{C - C_0}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

Onde: UEq = umidade de equilíbrio na condição de 20°C e 65% de umidade relativa, %; M_C = massa constante na condição de equilíbrio higroscópico, g; M_0 = massa constante na condição de secagem em estufa a 103°C, g.



Figura 4 – Amostras utilizadas na determinação da umidade de equilíbrio da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana* (Fonte: autor)

3.5 Análise da penetração

Depois do tratamento, selecionaram-se tábuas que foram cortadas ao meio e lixadas nas faces, para a realização de análise da penetração pelo método colorimétrico, utilizando a solução Cromoazurol-S como indicador. Esta solução reage com o preservante, especificamente o cobre, mostrando uma coloração azulada, o que indica sua presença na madeira (IPT-DIMAD, 1980). A penetração do preservante na peça foi classificada de acordo com os padrões mais comuns (IBDF/LPF 1988; INPA/CPPF, 1991), de acordo com a Figura 5.

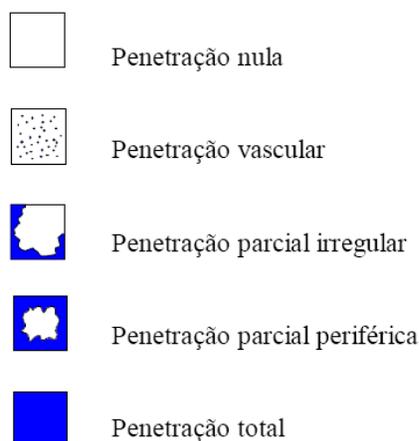


Figura 5 – Classificação utilizada para determinação da penetração do produto preservativo CCA da madeira tratada de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana* (Fonte: SALES-CAMPOS et al., 2003)

3.6 Análise da retenção

A determinação da quantidade de cada uma das substâncias introduzidas pelo tratamento por unidade cúbica de madeira tratada (retenção) foi realizada no Laboratório de Análises Químicas, Industriais e Ambientais do Departamento de Química da UFSM. Para isso, empregou-se a técnica de espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES, PerkinElmer, Optima 4300 DV), equipado com nebulizador concêntrico e câmara de nebulização ciclônica, que permite fazer a quantificação dos elementos químicos cobre, cromo e arsênio retidos na madeira.

Por amostragem, foram retiradas amostras de 2,0 x 2,0 x 2,0 cm com orientação tangencial, radial e axial, respectivamente, de três tábuas, para cada uma das espécies, mais as testemunhas. Posteriormente, essas amostras foram transformadas em pequenos palitos para possibilitar a digestão das mesmas. Para o procedimento de digestão utilizou-se 0,2 g de amostra e ácido nítrico concentrado (HNO₃ 14 mol/L). As amostras decompostas em triplicata foram aquecidas em forno micro-ondas utilizando sistema fechado de alta pressão (Anton Paar, Multiwave 3000), para posteriormente ser efetuada a leitura no aparelho, fornecendo valores em µg/g (micrograma por grama).

Estes valores obtidos foram transformados em unidade de retenção (kg de

substância/m³ de madeira tratada), e posteriormente comparados às recomendações sugeridas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), conjuntamente com Associação Brasileira de Preservadores de Madeira (ABPM) e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), os quais conduziram a revisão da norma NBR 7190/97, de acordo com a Tabela 3.

3.7 Ensaio de laboratório

O ensaio de apodrecimento acelerado foi conduzido no Setor de Biodegradação e Preservação da Madeira do Laboratório de Produtos Florestais (LPF), do Serviço Florestal Brasileiro (SFB), em Brasília, DF, seguindo a metodologia proposta pela norma ASTM D 2017 (ASTM, 2005) modificada para dimensões de 1,9 x 1,9 x 1,9 cm, conforme a norma ASTM D 1413 (ASTM, 1994).

3.7.1 Preparação dos corpos de prova

Corpos de prova nas dimensões de 1,9 x 1,9 x 1,9 cm (ASTM D 1413, 1994) foram serrados de peças de madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana* com e sem tratamento preservativo. Após o preparo, os corpos de prova foram enviados ao LPF/SFB para ensaio de apodrecimento acelerado.

O material foi acondicionado em estufa com circulação forçada de ar a 50°C, até atingir massa constante. Posteriormente, com uso de balança analítica com resolução de 0,0001g e o resultado registrado como massa inicial (Mi).

Para cada tratamento, foram ensaiados 36 corpos de prova, sendo 12 para podridão branca, 12 para podridão parda, e 12 blocos de correção (sem fungo).

Após a pesagem inicial, os corpos de prova foram esterilizados em autoclave, a 121 °C durante 45 minutos.

3.7.2 Fungos xilófagos e condições de ensaio

Foram empregadas duas espécies de fungos xilófagos provenientes da coleção do LPF: *Trametes versicolor* (Linnaeus ex Fries) Pilat, espécie causadora de podridão branca (Figura 6A), predominante em madeira de folhosas; e *Gloeophyllum trabeum* (Persoon. ex Fries.) Murr., espécie causadora de podridão parda (Figura 6B), e tolerante a compostos à base de arsênio.

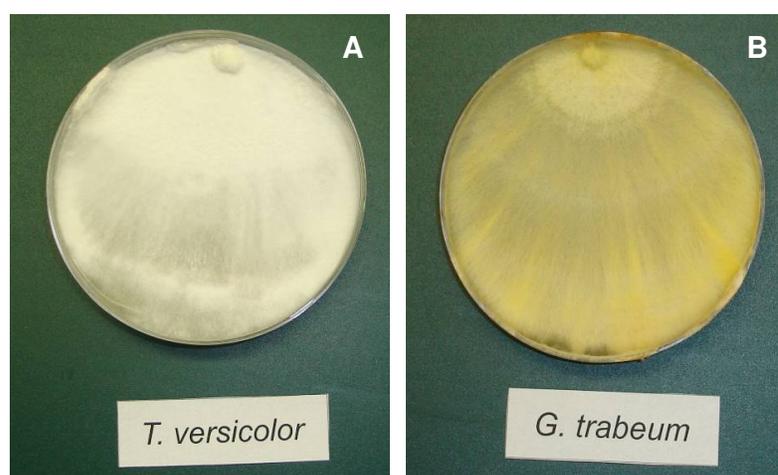


Figura 6 – Fungo *Trametes versicolor* (A) e Fungo *Gloeophyllum trabeum* (B)
(Fonte: LPF/SFB, 2010)

Os fungos foram repicados em placas de Petri descartáveis, com 90 mm de diâmetro, contendo 20 mL de meio de cultura malte sólido. O meio sólido foi preparado na concentração de 30 g de extrato de malte e 17 g de ágar bacteriológico para 1 L de água deionizada. Imediatamente após o preparo, o meio foi esterilizado em autoclave a 121 °C por 15 minutos. Após a esterilização o meio ainda quente foi pipetado para as placas de Petri.

Para cada espécie de fungo foram inoculadas 10 placas de Petri. O inóculo consistia de um disco de 1 cm de diâmetro contendo o micélio do fungo, retirado de uma placa mãe com idade inferior a 3 meses, mantida sob refrigeração a 5 °C.

Após inoculação as placas foram levadas à incubadora por duas semanas para o crescimento do micélio. Posteriormente, para cada espécie de fungo foram

selecionadas quatro placas, com bom crescimento, para servirem como fonte de inóculo para as culturas em meio líquido.

Na cultura em meio líquido, foram utilizados frascos erlenmeyer de 1000 mL de capacidade total, contendo 200 mL de meio malte líquido a 3%. Para cada espécie de fungo, foram preparados quatro frascos. Cada frasco foi inoculado com dois discos de 1 cm de diâmetro, contendo o micélio retirado da borda de crescimento de uma das placas de Petri previamente selecionadas. Após a inoculação, os frascos erlenmeyer permaneceram na incubadora até o micélio recobrir totalmente a superfície do meio de cultura (duas semanas).

No momento da inoculação dos frascos de ensaio, foi selecionado um erlenmeyer com meio líquido para cada espécie de fungo, para servir de fonte de inóculo. O meio de cultura foi drenado e o micélio transferido para a jarra de um liquidificador doméstico. Acrescentou-se 250 mL de meio malte líquido a 3% na jarra do liquidificador, e em seguida o micélio foi fragmentado por 20 segundos na velocidade máxima do aparelho. A jarra do liquidificador foi previamente esterilizada por dupla lavagem com álcool a 92,8°GL.

3.7.3 Frascos de ensaio

Para condução do ensaio foram utilizados frascos de vidro transparente, com boca larga, tampa rosqueável e capacidade de 250 mL, contendo 100 g de solo (horizonte B), livre de matéria orgânica. O solo recebeu adição prévia de calcário, para elevar o pH a 6,0. A umidade do solo foi ajustada para 130% da capacidade de campo, com adição de água deionizada.

No interior de cada frasco de ensaio, colocou-se sobre o solo uma placa de suporte de 3,3 x 2,9 x 0,3 cm, para o desenvolvimento inicial do fungo. Foram utilizadas placas de suporte de pinus (*Pinus* sp.), para o cultivo de *Gloeophyllum trabeum*; e, placas de embaúba (*Cecropia* sp.) para o cultivo de *Trametes versicolor*. A esterilização foi feita em autoclave a 121 °C por 45 minutos.

Cada frasco foi inoculado com 1 mL de meio de cultura, contendo o micélio fragmentado, depositado diretamente sobre a placa suporte, conforme a Figura 7.

Após a inoculação os frascos permaneceram na incubadora por duas semanas, para o crescimento do micélio sobre a placa suporte.



Figura 7 – Placa suporte após inoculação do micélio do fungo (Fonte: LPF/SFB, 2010)

Os frascos foram preparados uma semana antes da inoculação, durante o período de crescimento dos fungos em meio líquido. O número de frascos preparados e inoculados foi 30% superior à quantidade prevista para ser usada no ensaio. Assim, apenas os frascos que visualmente apresentavam o melhor crescimento do micélio e estavam livres de contaminações, foram selecionados para receberem os corpos de prova.

Após a colonização das placas de suporte, introduziu-se um corpo de prova em cada frasco de ensaio (Figura 8), os quais permaneceram na incubadora por 12 semanas em contato com os fungos.



Figura 8 – Corpos de prova recém-introduzidos nos frascos sobre a placa suporte (Fonte: LPF/SFB, 2010)

Durante todas as fases do ensaio, a incubadora permaneceu ajustada com temperatura de 26 (± 1) °C e umidade relativa de 70 (± 5)%.

Todas as operações de manipulação de fungos (repicagem, inoculação, fragmentação do micélio, introdução de corpos de prova nos frascos de ensaio) foram realizadas sob condições assépticas, no interior de capela de fluxo laminar.

Encerrado o período de apodrecimento, os corpos de prova foram retirados dos frascos de ensaio e submetidos a uma limpeza cuidadosa para remoção do excesso de micélio aderido. Posteriormente, foram condicionados em estufa, sob as mesmas condições pré-ensaio. Após atingirem massa constante, foram novamente pesados para determinação da massa final (Mf).

3.7.4 Blocos de correção

Para cada tratamento 12 corpos de prova foram introduzidos em frascos de ensaio não inoculados (sem fungos), recebendo o mesmo tratamento e manipulação dos demais. Os blocos de correção têm o objetivo de determinar a perda de massa resultante da manipulação dos corpos de prova e oscilações no teor de umidade antes e após o ataque, e portanto, servem para determinar a perda de massa causada por outras ações, não provocadas por fungos.

3.7.5 Espécies de referência

Como espécies de referência foram utilizados 16 corpos de prova (2,5 x 2,5 x 0,9 cm) de pinus (*Pinus* sp.) para o fungo *G. trabeum* e 16 corpos de prova de embaúba (*Cecropia* sp.) para o fungo *T. versicolor*.

Os corpos de prova de referência são indicadores do vigor vegetativo da cultura fúngica utilizada no ensaio, e das condições de incubação. Segundo a norma ASTM D-2017:05, o teste é considerado válido somente quando o fungo provoca perda de massa superior a 50% sobre a espécie de referência, num período de até 16 semanas.

A seleção das espécies de referência levou em consideração a existência de dados de vários ensaios realizados no LPF, que comprovam serem estas espécies susceptíveis aos fungos utilizados.

3.7.6 Determinação da perda de massa

Para avaliar a eficiência do preservativo utilizado, determinou-se a perda de massa a partir dos valores de M_i e M_f por corpo de prova (PMcp), conforme a Equação 3.

$$PM_{cp} (\%) = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad (3)$$

Onde: PMcp = perda de massa do corpo-de-prova, %; M_i = massa inicial, g; M_f = massa final, g.

Após a determinação da perda de massa individual de cada corpo de prova (PMcp), calculou-se a perda de massa média do tratamento (PMt). A partir da diferença deste com a perda de massa dos blocos de correção (PMbc), obteve-se a perda de massa final (PM) de cada tratamento, conforme a Equação 4.

$$PM = PMt - PMbc \quad (4)$$

Onde: PM = perda de massa final do tratamento, %; PMt = média de perda de massa total do tratamento, %; PMbc = média de perda de massa dos blocos de correção do tratamento, %.

Com base na PM, os tratamentos foram classificados quanto à resistência ao ataque dos fungos, segundo os critérios estabelecidos da ASTM D-2017:05, apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Classes de resistência ao ataque dos fungos apodrecedores (Fonte: 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 |

3.8 Ensaios de campo

A instalação dos corpos de prova em campo de apodrecimento foi realizada em duas situações distintas, uma em campo aberto e outra em floresta, conforme Apêndice 3. Para isso, corpos de prova de 2,0 x 2,0 x 30,0 cm das duas espécies estudadas foram divididos de forma sistemática, e instalados nessas duas áreas, conforme o esquema ilustrado na Figura 9. No local do ensaio, os corpos de prova foram enterrados até aproximadamente a metade do seu comprimento, de modo que a zona de afloramento (geralmente a parte mais deteriorada da madeira) seja coincidente com a região onde será aplicada a carga nos ensaios de flexão estática.

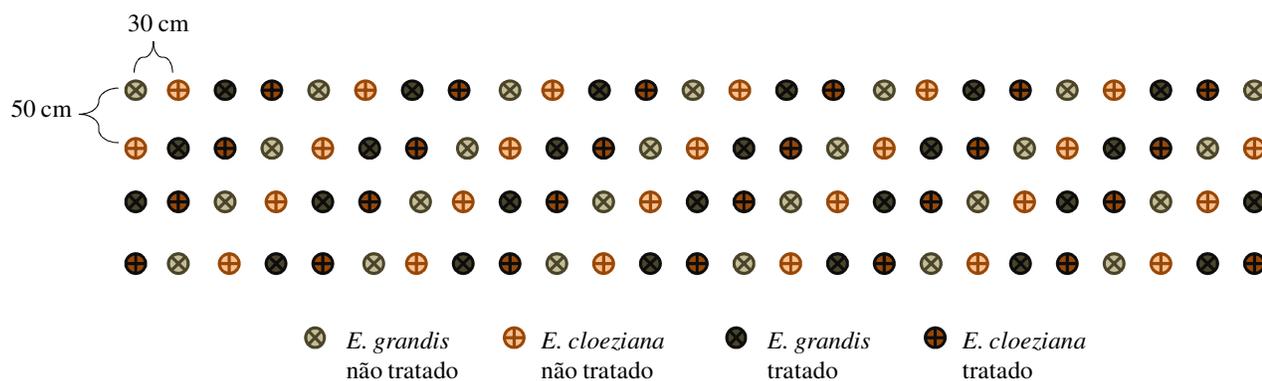


Figura 9 – Croqui ilustrativo da instalação do campo de apodrecimento. (Fonte: autor)

Previamente à instalação dos corpos de prova a campo, foram levantadas as condições climáticas da região, a saber, as oscilações de temperatura, umidade relativa do ar e os níveis pluviométricos do local de implantação do experimento; e também durante o período de execução dos testes, utilizando-se as informações da Estação Experimental de Meteorologia da UFSM. Além disso, realizaram-se as análises de solo das áreas de campo aberto e floresta, para conhecimento de suas características, devido a estas terem grande influência na ocorrência de organismos biodeterioradores da madeira.

A cada 60 dias, cinco amostras por tratamento foram retiradas do campo experimental, as quais passaram por uma limpeza para remoção da terra e posteriormente foram levadas para condicionamento em câmara climatizada. Durante todo o período de condução do experimento, foram realizadas seis avaliações: aos 0, 60, 120, 180, 240 e 300 dias de exposição a campo.

Para avaliar o material submetido ao ensaio de campo foram realizadas as seguintes determinações:

3.8.1 Potencial de ataque fúngico

A determinação do potencial de ataque fúngico (PAF) foi realizada seguindo a Equação 5 desenvolvida por Scheffer (1971) e adaptada para as condições brasileiras por Martins et al. (2003).

$$PAF = \sum_{Jan}^{Dez} \frac{[(T - 2) \cdot (D - 3)]}{16,7} \quad (5)$$

Onde: PAF = potencial de ataque fúngico; T = temperatura média, °C; D = número de dias no mês com precipitação pluviométrica igual ou superior a 0,30 mm.

3.8.2 Perda de massa

Para avaliação da perda de massa, as amostras foram mantidas em câmara climática a 20°C de temperatura e 65% de umidade relativa até estabilização da massa das mesmas, antes de serem levadas a campo e após retiradas do mesmo, para eliminar o efeito da umidade da madeira. Assim, com base nos valores de massa inicial e final calculou-se a perda de massa (PM) de cada uma das amostras, conforme a Equação 6.

$$PM \text{ (\%)} = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad (6)$$

Onde: PM = perda de massa, %; Mi= massa inicial, g; Mf= massa final, g.

3.8.3 Índice de comportamento

O índice de comportamento, segundo Lepage (1970), é um critério subjetivo de avaliação do estado de deterioração das amostras de madeira, baseado em notas, de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 – Classificação da deterioração da madeira (Fonte: LEPAGE, 1970)

| 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 |

3.8.4 Testes de flexão estática

Nas mesmas amostras utilizadas nas determinações anteriores realizou-se o ensaio mecânico de flexão estática, com o objetivo de auxiliar na avaliação da degradação biológica da madeira. As dimensões dos corpos de prova utilizados (2,0 x 2,0 x 30,0 cm) estavam em conformidade com as recomendações da COPANT 30:1-006 (1972), sendo a carga aplicada na metade de seu comprimento (Figura 10), aproximadamente na região correspondente à linha de afloramento.

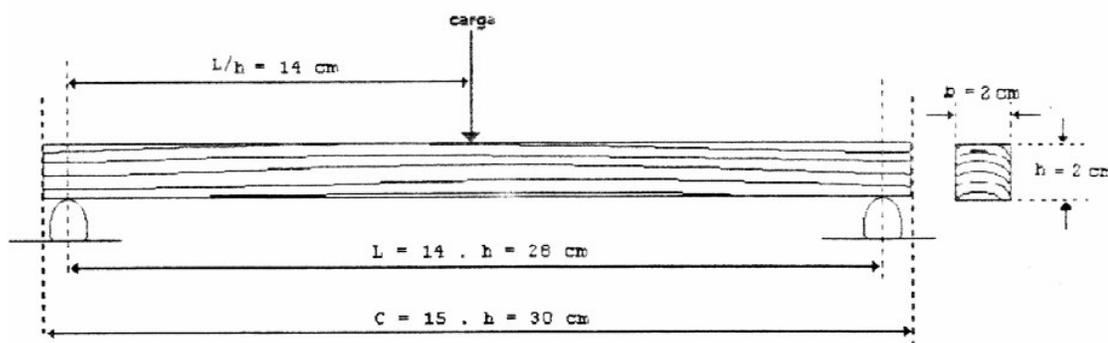


Figura 10 – Forma e dimensões do corpo de prova para flexão estática (Fonte: COPANT, 1972).

O ensaio foi realizado na Máquina Universal de Ensaio Mecânicos, com capacidade de 20 toneladas de carga, dotada de um computador acoplado com software específico para aquisição dos dados do ensaio, como mostra a Figura 11. Após a realização do teste, determinaram-se os módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) diretamente pelo gráfico gerado no computador.

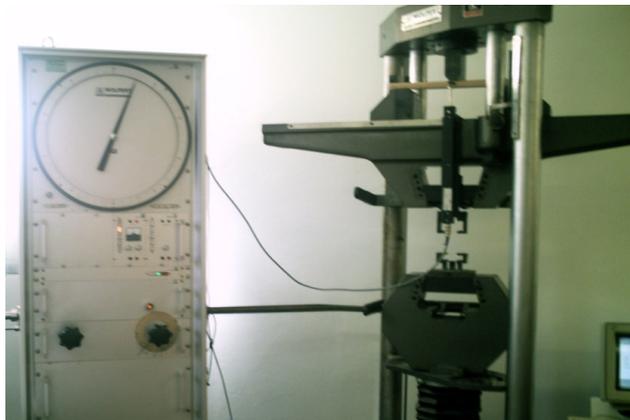


Figura 11 – Máquina Universal de Ensaio Mecânico (Fonte: autor)

Os valores de módulos de elasticidade e ruptura foram corrigidos, quando necessário, para o teor de umidade de 12%, correspondente à condição de equilíbrio higroscópico. Esse procedimento foi adotado com o objetivo de eliminar a influência do teor de umidade na resistência mecânica da madeira, conforme as recomendações prescritas pela NBR 7190/97 (ABNT, 1997), utilizando-se para isso a Equação 7.

$$X_{12\%} = X_{U\%} \left[1 + \frac{\alpha \cdot (U\% - 12)}{100} \right] \quad (7)$$

Onde: $X_{12\%}$; $X_{U\%}$ = valor do módulo de elasticidade ou de ruptura, a 12% e a U% de umidade do corpo-de-prova, respectivamente, MPa; U% = umidade do corpo-de-prova ensaiado, %; α = fator de correção da umidade, em que, para o módulo de elasticidade $\alpha = 2$, e módulo de ruptura $\alpha = 3$.

3.9 Análise estatística

Os dados referentes ao presente estudo foram processados e analisados de forma eletrônica, a partir da construção de um banco de dados utilizando-se o programa Excel® 2007, e de um programa de análise específico para o cumprimento dos objetivos da pesquisa, o software Statistical Package for Social Science 15.0 (SPSS).

Os dados foram avaliados por análise de variância (ANOVA), com posterior comparação de média pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro, juntamente com análise de regressão para os ensaios de campo. Para a análise do ensaio de apodrecimento acelerado foi empregado o delineamento estatístico inteiramente casualizado, com arranjo fatorial, em que foram analisados os seguintes fatores: espécies, com dois níveis; tratamentos, com dois níveis; fungos xilófagos, com dois níveis; e a interação entre os fatores, empregando-se o teste de Tukey em nível 5 % de probabilidade de erro, para os fatores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Massa específica aparente

A massa específica da madeira tratada e não-tratada de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana* pode ser observada na Tabela 6. Verifica-se que os valores das duas espécies são significativamente diferentes, o que sugere a possibilidade de diferenças na qualidade do tratamento preservativo.

Tabela 6 – Massa específica obtida para as madeiras de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana* com e sem tratamento

| Espécie | Massa específica (g/cm ³) | |
|-----------------------------|---------------------------------------|---------|
| | Não tratada | Tratada |
| <i>Eucalyptus grandis</i> | 0,52 bA | 0,53 bA |
| <i>Eucalyptus cloeziana</i> | 0,80 aA | 0,81 aA |

Médias nas colunas, seguidas por uma mesma letra minúscula ou em linhas, por uma mesma letra maiúscula, não diferem estatisticamente entre si (teste de Tukey, $p > 0,05$).

Os valores obtidos no presente estudo incluem a madeira de *Eucalyptus grandis* entre as consideradas leves, situada no intervalo de 0,50 a 0,64 g/cm³, de acordo com a classificação de Carvalho (1996). Já a madeira de *Eucalyptus cloeziana*, segundo o mesmo autor, pode ser classificada como pesada, com massa específica entre 0,80 a 0,95 g/cm³, assemelhando-se às madeiras de eucaliptos de cerne claro e negro, e carvalhos duros.

As médias mostradas na Tabela 6 estão muito próximas dos valores 0,55 e 0,85 g/cm³ encontrados por Oliveira (1998), respectivamente, para madeiras de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana* provenientes de povoamentos de 16 anos de idade.

Na comparação entre madeira tratada e não tratada, a Tabela 6 evidencia que o tratamento com preservativo CCA não influenciou na massa específica das duas espécies estudadas.

4.2 Umidade de equilíbrio

Na Tabela abaixo constam os teores de umidade de equilíbrio da madeira das duas espécies tratadas com CCA e controle (sem tratamento), após estabilização do peso em condições controladas de temperatura e umidade relativa.

Tabela 7 – Umidade de equilíbrio obtida em câmara climatizada sob condições controladas (20°C e 65% UR) para as madeiras de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana*, tratadas e não tratadas

| Espécie | Umidade de equilíbrio (%) | |
|-----------------------------|---------------------------|----------|
| | Não tratada | Tratada |
| <i>Eucalyptus grandis</i> | 13,47 bB | 14,47 bA |
| <i>Eucalyptus cloeziana</i> | 15,29 aB | 15,47 aA |

Médias nas colunas, seguidas por uma mesma letra minúscula ou em linhas, por uma mesma letra maiúscula, não diferem estatisticamente entre si (teste de Tukey, $p > 0,05$).

Observa-se que o tratamento preservativo aumentou significativamente o teor de umidade de equilíbrio para ambas as espécies, traduzindo-se em um aumento da capacidade das madeiras em trocar umidade com o meio circundante. O processo ocasionou um aumento de 7,42 e 1,18% na umidade de equilíbrio para as madeiras de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana*, respectivamente, em relação à madeira sem tratamento.

James (1980), em estudo realizado com a madeira de *Pinus sp.* (southern yellow) submetida ao tratamento preservativo com diferentes conservantes químicos, entre estes o CCA, também encontrou um aumento significativo na umidade de equilíbrio da madeira. O autor justifica que este comportamento se deve à natureza higroscópica dos sais metálicos.

O aumento da umidade de equilíbrio deve-se à maior quantidade de água adsorvida pelas paredes da célula em consequência da mudança química, que se dá através da fixação dos sais que compõem o preservativo, entre estes o arsênio, o cobre e o cromo.

4.3 Análise da penetração

Os resultados da penetração do cobre nas tábuas de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana* são apresentados nas Figuras 12 e 13, respectivamente. Observa-se, de modo geral, que as peças de *Eucalyptus grandis* apresentaram penetração vascular (IBDF/LPF 1988; INPA/CPPF, 1991) do elemento cobre.

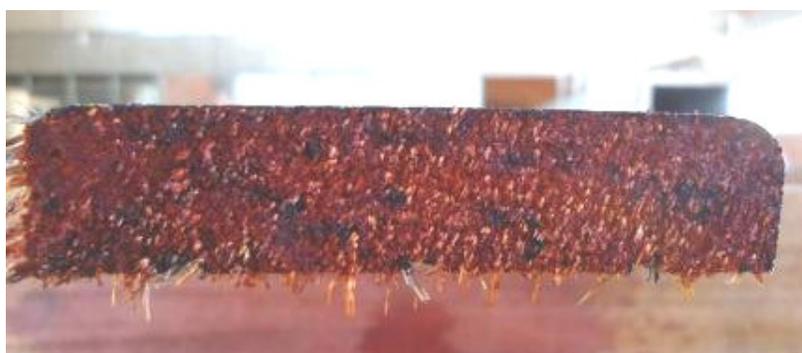


Figura 12 – Análise da penetração do CCA para a madeira de *Eucalyptus grandis* (Fonte: autor)

Já as tábuas de *Eucalyptus cloeziana* de maneira geral, apresentaram penetração parcial irregular (Figura 13) para o cobre, de acordo com a classificação do IBDF/LPF, 1988 e INPA/CPPF, 1991.



Figura 13 – Análise da penetração do CCA para a madeira de *Eucalyptus cloeziana* (Fonte: autor)

Esta penetração é considerada baixa para ambas as espécies, levando em consideração que se trata de tábuas submetidas ao tratamento industrial sob pressão. Uma das explicações para tal fato se deve à idade das árvores, 16 anos, o que propicia madeira com maior proporção de cerne, que naturalmente é impermeável ao tratamento preservativo.

Borges (2008), em estudo realizado com a madeira de *Corymbia citriodora* com 18 anos de idade, tratada em autoclave pelo processo de Bethell com CCA, observou a mesma tendência encontrada no presente trabalho para a madeira de *E. cloeziana*, em que o alburno foi totalmente tratado, entretanto na parte da peça com cerne não houve penetração do produto, de forma que a mesma enquadrou-se como parcial irregular. No mesmo trabalho, a autora utilizou a madeira de *E. cloeziana* e *E. dunnii*, com as idades de 37 e 23 anos, respectivamente, as quais também foram submetidas ao tratamento preservativo em autoclave com CCA, porém, devido à idade das mesmas, a penetração foi nula em ambas as espécies, de forma que a autora justifica que a madeira era formada apenas por cerne, que é impermeável ao tratamento.

De acordo com Albuquerque e Latorraca (2000), a formação do cerne, ainda sem uma explicação concisa, mostra que células da região do alburno são lentamente preenchidas com materiais como óleos, graxas e substâncias fenólicas, decorrentes provavelmente de processos metabólicos (bioquímicos) ainda remanescentes nas células dos raios na região periférica compreendida entre o cerne e o alburno. Tais materiais alteram a cor da madeira, sua permeabilidade, higroscopicidade, umidade de equilíbrio, contração e inchamento, durabilidade, bem como sua densidade (em algumas espécies).

Segundo os mesmos autores citados anteriormente, outro fato de destacada importância é o de que em certas madeiras de folhosas, durante a formação do cerne, ocorre a oclusão de vasos por tiloses. Estas provocam, então, o entupimento dos poros e, conseqüentemente, reduz-se de forma significativa a permeabilidade da madeira com relação aos fluidos (BURGER e RICHTER, 1991; MARRA, 1992; SALES-CAMPOS et al., 2003).

4.4 Análise da retenção

A retenção média de CCA para a madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana* submetidas ao tratamento preservativo em autoclave é apresentada na Figura 14. Nota-se que não foram observadas retenções satisfatórias para nenhuma das espécies. Isso demonstra que a madeira não recebeu um tratamento adequado. Geralmente o tratamento em autoclave proporciona altas retenções, ou seja, conferem boa qualidade à madeira tratada, porém um fator que deve ser levado em consideração é a espécie que está sendo tratada, bem como a idade da mesma, devido à influência destes nas características da madeira.

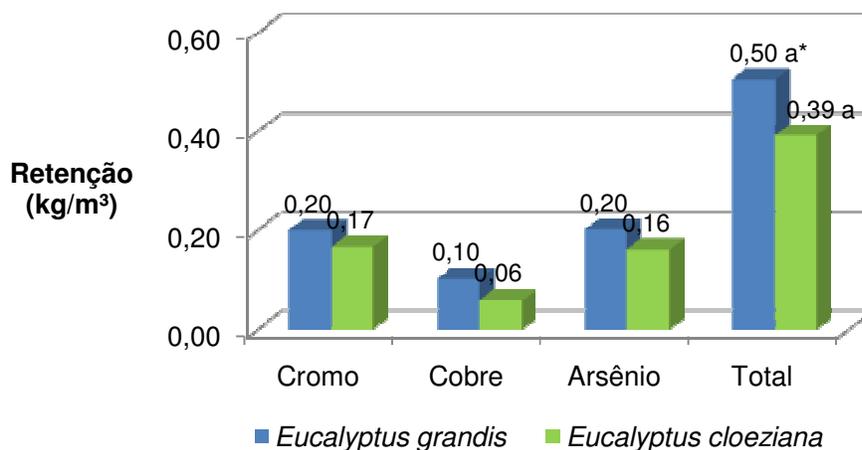


Figura 14 – Retenção média (kg/m³) de CCA para a madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana* submetidas ao tratamento preservativo em autoclave. *Médias seguidas por uma mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si (teste de Tukey, $p > 0,05$)

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em conjunto com Associação Brasileira de Preservadores de Madeira (ABPM) e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), os valores de retenção sugeridos variam de 4,0 a 6,5 kg/m³ para produtos hidrossolúveis (CCA e CCB) impregnados sob pressão em autoclave, para madeira serrada, roliça e laminada, que serão submetidos às classes de uso 1 a 4 (Tabela 1). Esta retenção é sugerida para peças

de madeira que possam vir a serem utilizadas em decks e assoalhos, entre outros, de acordo com o intuito desta pesquisa, em que o material utilizado tem seu uso comercial voltado à utilização em decks.

Como pode ser observado na Figura 14, a retenção total foi baixa para as duas espécies, estando situada abaixo do mínimo recomendada para preservativos hidrossolúveis pela ABNT/ABPM/IPT (2007). Uma explicação para este fato se deve à idade das árvores, as quais possuíam 16 anos, o que pode ocasionar grande parte da madeira com cerne. Tal fato, segundo Sales-Campos et al. (2003), relaciona-se às características anatômicas destas estruturas, cujas maiores deposições de extrativos encontram-se no cerne, bem como as maiores obstruções dos vasos deste por tiloses.

O mesmo autor citado anteriormente, em estudo realizado com a madeira de *Brosimum rubescens* tratada em autoclave com CCA encontrou uma retenção baixa para madeira com presença de cerne, com valores médios de 0,20 kg/m³; já para madeira de alburno o mesmo encontrou valores de 8,28 kg/m³, devido à maior permeabilidade deste.

De acordo com Freitas (2009), as espécies de eucalipto apresentam pequeno volume de alburno, tendência de fendilhamento, cerne moderadamente durável e baixa permeabilidade, o que justifica a baixa retenção de produto preservativo na madeira. O autor, em estudo realizado com postes de eucalipto tratado, encontrou uma retenção de 1,96 kg/m³ de CCA a três centímetros de profundidade.

Outro fator que indica que a baixa retenção obtida está relacionada à presença de cerne na madeira e não ao tratamento em autoclave em si, é o fato de que a pressão ideal de trabalho foi atingida (12 kgf/cm²), bem como o vácuo requerido (560 mm.hg), conforme pode ser visto na Figura 24, Apêndice 1.

4.5 Ensaio de laboratório

A Tabela 8 mostra as médias de perda de massa sofrida pela madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana*, durante o ensaio de apodrecimento acelerado com os fungos *Trametes versicolor* (podridão branca) e *Gloeophyllum trabeum* (podridão parda) para os dois tratamentos.

Tabela 8 – Percentual de perda de massa e classificação conforme a norma ASTM D 2017 (2005) da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana*, tratadas e não tratadas, submetidas ao apodrecimento acelerado

| Tratamentos | Perda de massa (%) | | |
|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------|
| | <i>Trametes versicolor</i> | <i>Gloeophyllum trabeum</i> | |
| <i>Eucalyptus grandis</i> | Não tratada | 58,20 NR | 33,45 MR |
| | Tratada | 37,73 MR | 31,18 MR |
| <i>Eucalyptus cloeziana</i> | Não tratada | 28,82 MR | 15,23 R |
| | Tratada | 5,10 AR | 0,51 AR |
| Embaúba* (<i>Cecropia sp.</i>) | 58,11 NR | | |
| Pinus* (<i>Pinus sp.</i>) | | | 60,95 NR |

Onde: *Espécies de referência. NR = não-resistente; MR = moderadamente resistente; R = resistente; AR = altamente resistente.

A perda de massa observada nas madeiras de referência foi de 58,11% na madeira de embaúba, causada pelo fungo *Trametes versicolor* e de 60,95% na madeira de pinus, causada pelo fungo *Gloeophyllum trabeum*. Estes valores foram observados após 12 semanas de ensaio e são superiores ao valor mínimo de 50% estabelecido pela norma ASTM D-2017:05. Estes dados atestam que as condições gerais de ensaios foram favoráveis ao crescimento dos fungos e que as culturas empregadas estavam em pleno vigor vegetativo, portanto os resultados do ensaio são válidos.

A Tabela 8 mostra que, independente do tratamento aplicado e da espécie, as maiores perdas de massa foram causadas pelo fungo *Trametes versicolor*. Isto se deve ao fato de que fungos de podridão branca se desenvolvem melhor em madeira de folhosas, enquanto fungos de podridão parda causam maiores perdas de massa em coníferas (CURLING e MURPHY, 2002; MARTÍNEZ et al., 2005).

O tratamento preservativo aumentou a resistência da madeira das duas espécies aos fungos apodrecedores, principalmente para a madeira de *E. cloeziana*, tornando-a altamente resistente aos mesmos. Após o tratamento, a perda de massa foi reduzida em 35,17 e 82,31% para a madeira de *E. grandis* e *E. cloeziana* para o fungo *Trametes versicolor*, respectivamente; já no caso do fungo *Gloeophyllum trabeum* a perda de massa foi reduzida em 6,79 e 96,65%, em comparação à testemunha.

Oliveira et al. (2005), em estudo realizado com a madeira de várias espécies de *Eucalyptus*, entre elas o *E. grandis* e *E. cloeziana*, submetidas ao ensaio de

apodrecimento acelerado pelo fungo *Gloeophyllum trabeum*, observaram uma perda de massa de 0,5 e 2,8%, respectivamente, após 16 semanas. Já a madeira de *Pinus elliotii*, utilizada como espécie de referência, teve apenas 38,0% de perda de massa, enquanto no presente estudo foi de 60,95% para o *Pinus sp.*

Em estudo desenvolvido por Modes (2010), com a madeira de *Eucalyptus grandis* submetida ao apodrecimento acelerado em laboratório, após 12 semanas de ensaio, a autora observou que a perda de massa da madeira foi de 57,74 e 41,46% para os fungos *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*, respectivamente; valores semelhantes aos encontrados na presente pesquisa.

Já Okino et al. (2002), trabalhando com a madeira de seringueira (*Hevea brasiliensis*) em ensaios de laboratório com os mesmos fungos utilizados nesta pesquisa, *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*, encontraram uma perda de massa de 38,84 e 36,17%, respectivamente.

Por meio da Tabela 31, do Apêndice 9, observa-se a análise de variância fatorial para perda de massa da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana*, submetidas ao ensaio de apodrecimento acelerado. Percebe-se que todos os fatores foram altamente significativos a 1% de probabilidade, exceto para a interação dos fatores espécie, tratamento e fungo.

Na Tabela 9 encontra-se a comparação múltipla de médias para a perda de massa e interações dos fatores significativos sobre a mesma.

Tabela 9 – Comparação múltipla de médias para percentual de perda de massa, em função das espécies, tratamentos e fungos utilizados no estudo

| Espécie | Tratamento | |
|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | Não tratada | Tratada |
| <i>Eucalyptus grandis</i> | 45,83 aA | 34,46 aB |
| <i>Eucalyptus cloeziana</i> | 22,02 bA | 2,81 bB |
| Espécie | Fungos | |
| | <i>Trametes versicolor</i> | <i>Gloeophyllum trabeum</i> |
| <i>Eucalyptus grandis</i> | 47,97 aA | 32,32 aB |
| <i>Eucalyptus cloeziana</i> | 16,96 bA | 7,87 bB |
| Tratamento | Fungos | |
| | <i>Trametes versicolor</i> | <i>Gloeophyllum trabeum</i> |
| Não tratada | 43,51 aA | 24,34 aB |
| Tratada | 21,42 bA | 15,84 bB |

Onde: As médias na vertical seguidas por uma mesma letra minúscula, ou na horizontal, por uma mesma letra maiúscula, não diferem estatisticamente (Tukey $p > 0,05$).

Como pode ser observado na Tabela 9, a madeira de *E. cloeziana* apresentou resistência natural (não tratada) significativamente superior (51,95%) ao *E. grandis*, mesma tendência que a madeira tratada de ambas as espécies apresentaram, em que o *E. cloeziana* foi altamente resistente ao ataque dos organismos biodeterioradores. É possível analisar que o tratamento preservativo aumentou significativamente a resistência biológica de ambas as espécies, em 24,93 e 87,24% para a madeira de *E. grandis* e *E. cloeziana*, respectivamente.

O fungo de podridão branca foi o que causou maiores perdas de massa nas duas espécies, como pode ser visto na Figura 27, Apêndice 2, justificando a afirmação de Martínez et al. (2005), que relatam que este fungo age com maior intensidade na madeira de folhosas, e que o fungo de podridão parda prefere madeira de coníferas. A madeira de *E. grandis* foi significativamente mais degradada com os dois fungos, 182,84 e 310,67% para o *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*, respectivamente, quando comparada à madeira de *E. cloeziana*.

O tratamento preservativo aumentou de forma significativa a resistência da madeira à ação dos fungos causadores da podridão branca e podridão parda, em 50,77 e 34,92% respectivamente, demonstrando que o tratamento foi eficaz neste quesito. Oliveira et al. (2005), em estudo conduzido em laboratório com a madeira de seis espécies submetidas ao fungo *Gloeophyllum trabeum*, entre estas o *Corymbia citriodora*, observaram uma perda de massa em torno de 3% para madeira em seu estado natural, já para a mesma espécie após a extração dos seus extrativos, o autor observou uma perda de massa próxima a 40%. Isto justifica que a madeira com presença de algumas substâncias, entre elas os extrativos ou outras adicionadas através do tratamento preservativo, torna-se mais resistente à deterioração por organismos xilófagos.

4.6 Ensaio de campo

4.6.1 Análise de solo e Condições climáticas do período

O laudo com a análise de solo para o campo aberto e floresta fornecido pelo Departamento de Solos da UFSM pode ser observado na Figura 34, Apêndice 4.

Com base na análise realizada, é possível observar que o pH de ambas as áreas são semelhantes, 5,0 e 4,9 no campo e floresta, respectivamente. Em relação à matéria orgânica (MO) observa-se que a floresta apresentou percentual de 2,8%, enquanto o campo, de 1,9%, o que mostra que a floresta possibilita condições mais adequadas para o desenvolvimento de micro-organismos.

Ruivo et al. (2002) dizem que fatores como temperatura, umidade e pH do solo podem influenciar na densidade dos micro-organismos, pois os mesmos são sensíveis às mudanças das condições edáficas. Neste sentido, infere-se que as bactérias podem ser mais sensíveis às alterações ambientais, se comparadas com a população fúngica.

Através das Tabelas 10 e 11, podem ser observadas as condições climáticas da região de realização do estudo de campo. A Tabela 10 mostra as condições normais de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação para a região, obtidas com base em 30 anos de observação, de acordo com os dados da Estação Meteorológica da UFSM.

Tabela 10 – Condições climáticas normais do local de realização do ensaio, média de 30 anos (Fonte: Estação Meteorológica da UFSM)

| Mês | Temperatura média (°C) | Umidade relativa média (%) | Precipitação média (mm) |
|------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| Janeiro | 24,6 | 71,0 | 145,1 |
| Fevereiro | 24,0 | 76,0 | 130,2 |
| Março | 22,2 | 79,0 | 151,7 |
| Abril | 18,8 | 80,0 | 134,7 |
| Mai | 16,0 | 82,0 | 129,1 |
| Junho | 12,9 | 81,0 | 144,0 |
| Julho | 13,5 | 80,0 | 148,6 |
| Agosto | 14,6 | 78,0 | 137,4 |
| Setembro | 16,2 | 78,0 | 153,6 |
| Outubro | 18,8 | 73,0 | 145,9 |
| Novembro | 21,4 | 71,0 | 132,2 |
| Dezembro | 22,7 | 69,0 | 133,5 |

Na Tabela 11 encontram-se as variáveis observadas no período de execução do estudo de campo, com as médias mensais de temperatura, umidade relativa e precipitação, de acordo com a Estação Meteorológica da UFSM.

É possível perceber que o nível pluviométrico do período de realização do estudo foi muito superior nos meses de janeiro, julho e setembro, quando comparado às médias normais da região para o mesmo período. Já nos meses de março, outubro e novembro, as precipitações foram extremamente baixas, quando comparadas com os níveis normais do período. Nos demais meses do ano, os níveis de chuva foram próximos à média para a região. Para a temperatura e umidade relativa do ar, os valores foram próximos às médias relatadas, com base nos anos anteriores, sem grandes variações.

Tabela 11 – Condições climáticas do período de realização do ensaio, ano 2010.
(Fonte: Estação Meteorológica da UFSM)

| Mês | Temperatura média (°C) | Umidade relativa média (%) | Precipitação média (mm) |
|------------|-----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| Janeiro | 24,7 | 79,0 | 405,9 |
| Fevereiro | 25,8 | 78,0 | 124,7 |
| Março | 24,1 | 77,0 | 25,1 |
| Abril | 19,2 | 76,0 | 116,8 |
| Mai | 15,8 | 86,0 | 117,7 |
| Junho | 14,3 | 85,0 | 128,9 |
| Julho | 13,2 | 82,0 | 238,3 |
| Agosto | 13,5 | 82,0 | 109,4 |
| Setembro | 16,7 | 84,0 | 244,9 |
| Outubro | 18,1 | 71,0 | 49,3 |
| Novembro | 20,7 | 66,0 | 71,3 |
| Dezembro | 24,3 | 67,0 | 157,9 |

Oliveira et al. (1986) afirmaram que as condições de temperatura, umidade e precipitação, dentre outros fatores, são importantes na determinação dos micro-organismos aptos a colonizar a madeira e decompô-la e têm marcante influência na velocidade da decomposição. Temperaturas entre 5 e 65°C permitem o desenvolvimento desses micro-organismos, entretanto são poucos os que crescem com temperaturas acima de 35 ou 40°C. No entanto, como diferentes espécies de

organismos apresentam diferentes tolerâncias e pontos ótimos de temperaturas, este fator pode influenciar intensamente a composição de espécies das populações que colonizaram o material nos diferentes estágios seriais da degradação.

Diversas pesquisas levam em consideração a influência destes fatores ambientais, tais como temperatura, umidade e níveis pluviométricos na ocorrência de organismos biodeterioradores no solo, como fungos e bactérias.

Entre estas, Monteiro (1994) e Dionísio (1994), estudando solo permanentemente coberto com vegetação, identificaram uma acentuada redução na quantidade de fungos em períodos de maior precipitação pluviométrica. Os autores justificam que possivelmente ocorre influência do processo de lixiviação, no qual há uma retirada parcial dos componentes do solo, os quais interferem na atividade fúngica.

Seguindo a mesma linha, Silva et al. (2010) também encontraram uma diminuição da atividade fúngica nos períodos de maior precipitação, porém, observaram um aumento da população bacteriana no mesmo período chuvoso.

4.6.2 Potencial de ataque fúngico

A Figura 15 mostra o potencial de ataque fúngico (PAF) nos meses de 2010 para o local de execução do trabalho em Santa Maria-RS, bem como a temperatura média mensal e o número de dias com precipitação pluviométrica igual ou superior a 0,30 mm.

Com base nas medições realizadas no período de execução dos ensaios, o valor do PAF encontrado foi de 74,4, correspondente à soma dos valores parciais de todos os meses do ano. Esse resultado corrobora aqueles obtidos por Martins et al. (2003), que estabeleceram valores de PAF na ordem de 70,0 para a maior parte do território gaúcho. Em outras regiões do Brasil, como Pará e Amazonas, os mesmos autores evidenciaram PAF de até 270. Tavares et al. (2007), em levantamento realizado em Pelotas-RS, encontraram um valor de 63,3, que se aproxima daquele citado por Martins et al. (2003) para o território gaúcho.

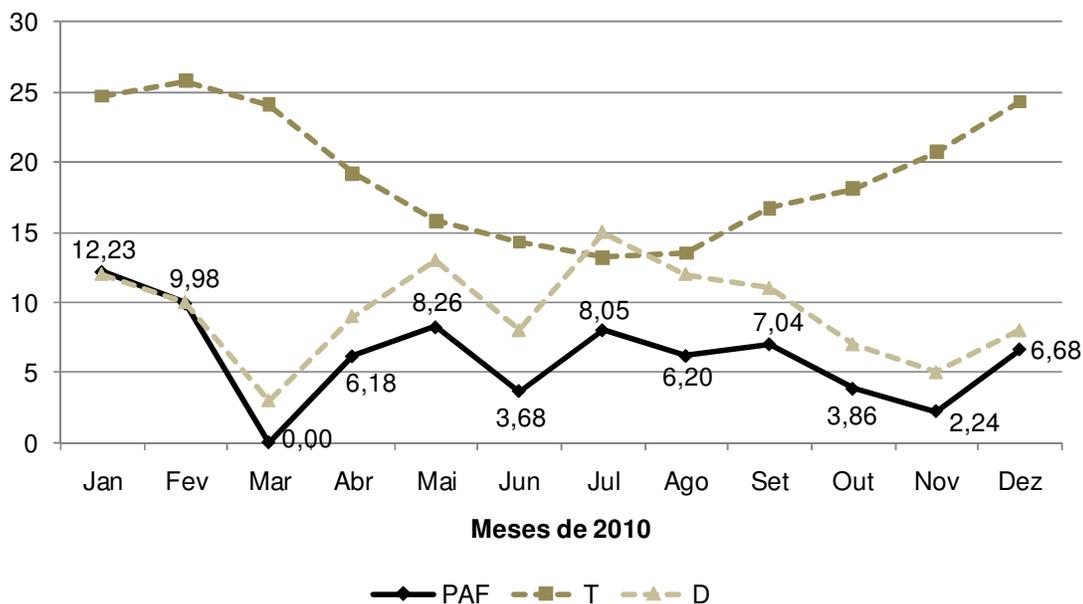


Figura 15 – Potencial de ataque fúngico (PAF), temperatura média (T) e número de dias com precipitação pluviométrica igual ou superior a 0,30 mm (D) em Santa Maria-RS, 2010

Na Figura 15 observa-se uma expressiva oscilação nos valores obtidos para o PAF ao longo do ano, apresentado variações entre 0,0 e 12,23. Os meses que apresentam valores de PAF mais elevados foram janeiro e fevereiro, o que coincidiu com as temperaturas médias mais elevadas, 24,7 e 25,8 °C, respectivamente. Esta constatação confirma as argumentações de Moreschi (1980), que considera que temperaturas próximas a 25°C representam um maior risco de ataques fúngicos em madeiras, por ser esta a temperatura ótima para o desenvolvimento de fungos.

Os menores valores de PAF foram observados nos meses de março e novembro, os quais apresentaram a menor ocorrência de dias com precipitação pluviométrica igual ou superior a 0,30 mm, com apenas três e cinco dias, respectivamente. Desta forma, evidencia-se a redução da probabilidade de ataques de fungos em períodos que apresentam menores taxas de precipitação pluviométrica.

4.6.3 Perda de massa

A perda de massa (PM) observada na madeira tratada e não tratada de *Eucalyptus grandis*, submetidas ao campo de apodrecimento em duas situações distintas, campo aberto e floresta, é apresentada na Tabela 12. De acordo com esses valores, a madeira sem tratamento foi a que apresentou a maior PM, quando comparada à madeira submetida ao tratamento preservativo, porém os valores não diferiram um do outro. A PM pode ser considerada mínima, pois os valores não ultrapassaram 5%, tanto para a madeira tratada quanto não tratada, no decorrer das avaliações realizadas.

Tabela 12 – Perda de massa (%) das estacas de *Eucalyptus grandis* submetidas ao campo de apodrecimento: campo aberto e floresta

| Avaliação | | Não tratada | | Tratada | |
|-----------|------|-------------|----------|---------|----------|
| Nº | Dias | Campo | Floresta | Campo | Floresta |
| 1 | 0 | | 0,00 | | 0,00 |
| 2 | 60 | 0,76 | 1,04 | 0,74 | 0,96 |
| 3 | 120 | 1,02 | 1,71 | 0,98 | 1,64 |
| 4 | 180 | 2,12 | 2,23 | 2,00 | 2,06 |
| 5 | 240 | 3,21 | 3,11 | 3,05 | 2,19 |
| 6 | 300 | 4,22 | 4,59 | 4,10 | 4,07 |

As amostras instaladas na floresta apresentaram a tendência de maiores perdas de massa em relação às amostras a campo aberto, o que corrobora com o encontrado por Trevisan (2006) e Melo et al. (2010). Com base na mesma classificação utilizada para os ensaios de apodrecimento acelerado conduzidos em laboratório (ASTM D-2017:05), a madeira das duas espécies em estudo podem ser enquadradas como altamente resistentes à deterioração, pois apresentaram perda de massa inferior a 10% durante o período de exposição a campo.

Na Tabela 13 encontra-se a PM da madeira de *Eucalyptus cloeziana*, tratada e não tratada, submetida ao campo de apodrecimento em duas situações distintas,

campo aberto e floresta. A madeira de *Eucalyptus cloeziana* seguiu a mesma tendência apresentada pela madeira de *E. grandis*, em que as amostras sem tratamento apresentaram maiores perdas de massa, quando comparadas às submetidas ao tratamento preservativo, porém a diferença entre elas não foi significativa. As peças instaladas na floresta também apresentaram maiores perdas de massa em relação às amostras a campo aberto.

De acordo com norma ASTM D-2017:05, a madeira de *Eucalyptus cloeziana* pode ser classificada como altamente resistente à deterioração, pois apresentaram perda de massa inferior a 10% durante o período analisado.

Tabela 13 – Perda de massa (%) das estacas de *Eucalyptus cloeziana* submetidas ao campo de apodrecimento: campo aberto e floresta

| Avaliação | | Não tratada | | Tratada | |
|-----------|------|-------------|----------|---------|----------|
| Nº | Dias | Campo | Floresta | Campo | Floresta |
| 1 | 0 | | 0,00 | | 0,00 |
| 2 | 60 | 1,00 | 1,25 | 1,15 | 1,54 |
| 3 | 120 | 1,43 | 1,48 | 1,39 | 1,55 |
| 4 | 180 | 1,74 | 2,21 | 1,99 | 1,66 |
| 5 | 240 | 2,84 | 3,05 | 2,80 | 2,41 |
| 6 | 300 | 4,13 | 4,17 | 3,75 | 3,96 |

Em relação às maiores perdas no ambiente florestal, Melo et al. (2010) justificam que tal fenômeno ocorre em razão da alta umidade existente no ambiente da floresta, do armazenamento de água no solo (permanece úmido por vários dias após às chuvas) e da pouca infiltração de raios solares pelas copas, o que proporciona baixa luminosidade e temperaturas inferiores às alcançadas no ambiente de campo.

Já Trevisan (2006) afirma que variações ambientais, principalmente com relação à temperatura e umidade, têm importância fundamental no desenvolvimento dos micro-organismos aptos ao ataque, e na velocidade de decomposição da madeira. Em contrapartida, uma maior exposição solar no ambiente de campo ocasiona processos mais bruscos de secagem e umedecimento, o que proporciona

o surgimento de tensões de secagem que podem provocar rachaduras na madeira. As aberturas produzidas pelas rachaduras podem acumular umidade, criando, deste modo, uma região de maior fragilidade ao ataque de fungos e, em sequência, às térmitas.

Na Tabela 35, do Apêndice 10, observa-se a análise de variância fatorial para a perda de massa da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana*, submetidas ao ensaio em campo de apodrecimento. É possível perceber que apenas o fator avaliações foi significativo a 1% de probabilidade, bem como a interação dos fatores espécie, tratamento e avaliação, a 5% de probabilidade, enquanto os demais fatores não ocasionaram efeito significativo sobre a PM.

A Tabela 14 apresenta a comparação múltipla de médias para a PM da madeira em função das espécies, tratamentos, ambientes e avaliações.

Tabela 14 – Comparação múltipla de médias para a perda de massa em função das espécies, tratamentos, ambientes e avaliações

| Espécie | Perda de massa (%) |
|-----------------------------|---------------------------|
| <i>Eucalyptus grandis</i> | 1,91 a |
| <i>Eucalyptus cloeziana</i> | 1,89 a |
| Tratamento | Perda de massa (%) |
| Não tratada | 1,97 a |
| Tratada | 1,83 a |
| Ambiente | Perda de massa (%) |
| Campo aberto | 1,85 a |
| Floresta | 1,95 a |
| Avaliações (dias) | Perda de massa (%) |
| 1 (0) | 0,00 a |
| 2 (60) | 1,05 b |
| 3 (120) | 1,40 b |
| 4 (180) | 2,00 c |
| 5 (240) | 2,83 d |
| 6 (300) | 4,12 e |

Onde: As médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey $p > 0,05$).

Verifica-se que a madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou a tendência de maior PM em comparação com a madeira de *E. cloeziana*, bem como a madeira sem tratamento, a tendência de perder mais massa quando comparada com a madeira tratada, embora não tenha sido encontrada diferença significativa entre as espécies e nem entre os tratamentos.

Para o fator ambiente de exposição, campo aberto e floresta, embora o segundo tenha apresentado maior PM, não foi constatada diferença significativa entre eles. Trevisan et al. (2007) justificam que a floresta apresenta condições ambientais que favorecem o desenvolvimento dos organismos biodeterioradores, o que pode ocasionar maiores perdas nesta em comparação com o campo. Já para as avaliações houve diferença significativa, de forma que a PM aumentou ao decorrer das mesmas, demonstrando que a deterioração das peças foi intensificada com o passar do tempo.

Nas Figuras 16 e 17 podem ser observadas as equações lineares ajustadas para estimativa da PM da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana*, respectivamente, em função do número de dias em que as amostras permaneceram instaladas em campo de apodrecimento.

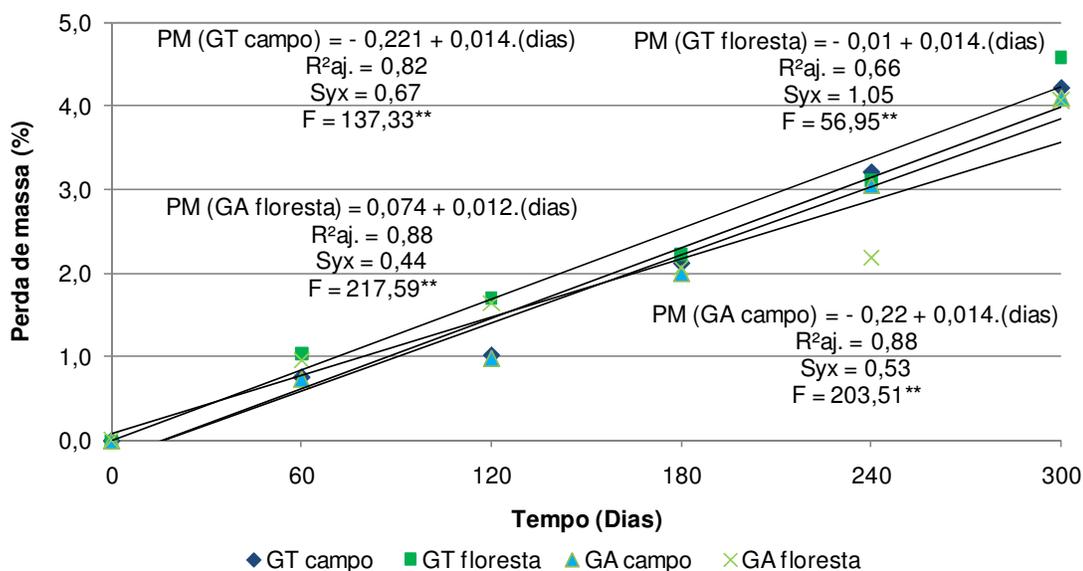


Figura 16 – Perda de massa da madeira de *Eucalyptus grandis* em função do tempo em que as amostras permaneceram no campo de apodrecimento (GT = *E. grandis* não tratada; GA = *E. grandis* tratada). ** significativo a 1% de probabilidade

As informações apresentadas na Figura 16 sugerem que todas as equações geradas para estimativa da PM em função do número de dias de exposição a campo para a madeira de *Eucalyptus grandis* apresentaram bons ajustes, com altos coeficientes de determinação e significativos a 1% de probabilidade de erro.

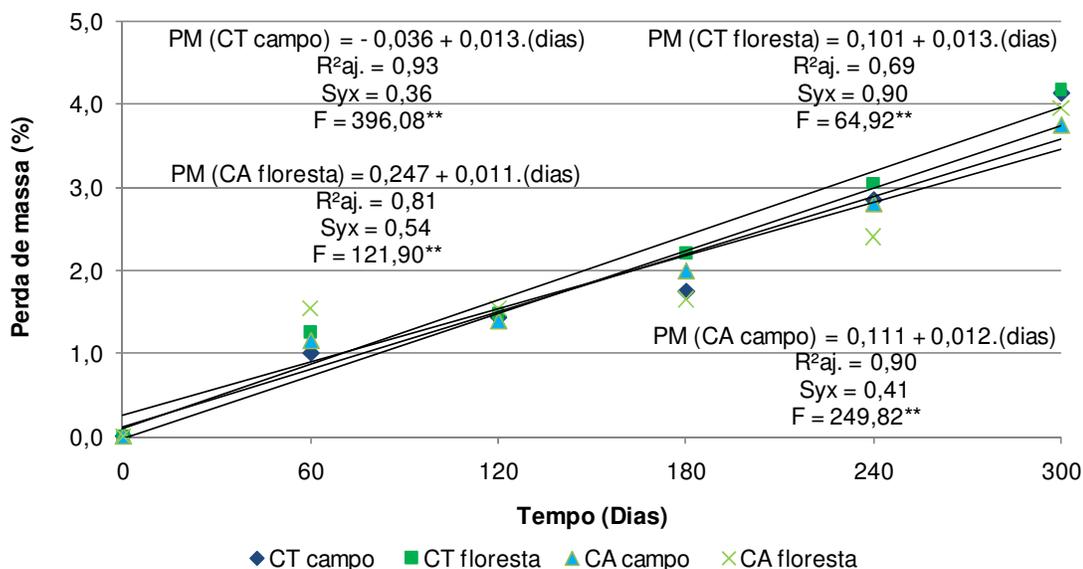


Figura 17 – Perda de massa da madeira de *Eucalyptus cloeziana* em função do tempo em que as amostras permaneceram no campo de apodrecimento (CT = *E. cloeziana* não tratada; CA = *E. cloeziana* tratada). ** significativo a 1% de probabilidade

Para a madeira de *Eucalyptus cloeziana* (Figura 17) os ajustes das equações foram ainda mais significativos, observando-se coeficientes de determinação e valores de F superiores. Desta forma, as equações geradas podem ser utilizadas como método confiável para estimativa da PM a partir do número de dias de exposição a campo.

Em ensaio de campo conduzido com madeira de açoita-cavalo, nogueira e plátano, Melo et al. (2010) também encontraram bons ajustes para as equações geradas para estimativa da PM em função dos dias de exposição a campo, com valores de coeficiente de determinação que variaram entre 0,40 e 0,84.

4.6.4 Índice de comportamento

O índice de comportamento (IC) da madeira de *Eucalyptus grandis*, tratada e não tratada, submetida ao campo de apodrecimento em duas situações distintas, campo aberto e floresta, pode ser observado na Tabela 15. Verifica-se que os índices de comportamento mais altos (que representam maior expectativa de durabilidade) correspondem às peças tratadas, que foram submetidas ao tratamento com CCA. Contudo, mesmo as amostras sem tratamento apresentaram índices de comportamento considerados satisfatórios.

Tabela 15 – Índice de comportamento das estacas de *Eucalyptus grandis* submetidas ao campo de apodrecimento: campo aberto e floresta

| Avaliação | | Não tratada | | Tratada | |
|-----------|------|-------------|----------|---------|----------|
| Nº | Dias | Campo | Floresta | Campo | Floresta |
| 1 | 0 | 100 | | 100 | |
| 2 | 60 | 100 | 88 | 98 | 86 |
| 3 | 120 | 94 | 88 | 98 | 88 |
| 4 | 180 | 82 | 82 | 86 | 90 |
| 5 | 240 | 78 | 78 | 82 | 82 |
| 6 | 300 | 74 | 68 | 78 | 78 |

Como pode ser observado na Tabela 15, o IC foi reduzindo-se com o decorrer do tempo de exposição ao ambiente. Entretanto, em relação à média, tanto os tratamentos quanto os ambientes não apresentaram deterioração intensa no final da avaliação, sendo esta considerada apenas moderada (próximo a 70).

Paes et al. (2002), em estudo realizado com a madeira de *Eucalyptus grandis* submetida ao tratamento com creosoto vegetal, após 12 meses a campo, observaram IC de 90 a 100 para madeira tratada, já no caso da madeira sem tratamento, o índice após este período foi de 40 a 70. No mesmo estudo, o autor observou que, depois de 4 anos, a madeira submetida ao tratamento preservativo ainda apresentava um IC de 40 a 70, enquanto que a madeira testemunha

apresentava comportamento 0, ou seja, perda total de resistência, o que validou o tratamento da madeira realizado pelo autor.

Por meio da Tabela 16, pode ser observado o IC da madeira de *Eucalyptus cloeziana*, tratada e não tratada, submetida ao campo de apodrecimento em duas situações distintas, campo aberto e floresta. Pode verificar-se que os valores encontrados para a espécie foram superiores aos do *E. grandis*, indicando que a madeira de *E. cloeziana* apresenta maior resistência quando exposta às condições adversas ou em contato com o solo.

Tabela 16 – Índice de comportamento das estacas de *Eucalyptus cloeziana* submetidas ao campo de apodrecimento: campo aberto e floresta

| Avaliação | Nº | Dias | Não tratada | | Tratada | |
|-----------|----|------|-------------|----------|---------|----------|
| | | | Campo | Floresta | Campo | Floresta |
| | 1 | 0 | | 100 | | 100 |
| | 2 | 60 | 100 | 96 | 98 | 98 |
| | 3 | 120 | 96 | 98 | 98 | 98 |
| | 4 | 180 | 90 | 90 | 92 | 92 |
| | 5 | 240 | 86 | 86 | 86 | 90 |
| | 6 | 300 | 82 | 78 | 82 | 82 |

As estacas de *E. cloeziana* apresentam IC elevado, superiores a 90, até a quarta avaliação (180 dias) para ambos os tratamentos. Apenas a partir da quinta avaliação (240 dias), as peças demonstraram comportamento intermediário com ataque leve a moderado.

Os corpos de prova instalados dentro da floresta apresentaram-se mais degradados em comparação com os de campo aberto nas duas espécies em estudo. Esse fato é absolutamente compreensível em função das características ecológicas inerentes ao ambiente florestal, que favorecem a diversidade e a atuação dos organismos decompositores da madeira.

Trevisan et al. (2008), estudando o comportamento da madeira de cinco espécies florestais em função da deterioração em dois ambientes (campo aberto e floresta), também encontraram a mesma tendência, com maiores perdas na floresta

em comparação com o campo aberto. Segundo os mesmos autores, após 12 meses de exposição ao ambiente, as madeiras de *Eucalyptus urophylla* e *Inga marginata* apresentaram, respectivamente, IC de 70 e 92 no campo aberto e 60 e 87 no ambiente florestal, comprovando a tendência encontrada no presente estudo.

Segundo Melo et al. (2010), a análise subjetiva atribuída por notas é o principal parâmetro para avaliação da durabilidade de madeiras em ensaios de campo de apodrecimento. Este procedimento é empregado em ensaios realizados com amostras de grandes dimensões, em que são feitas avaliações visuais periodicamente, com posterior reintrodução no ambiente de teste. No entanto, Lopez e Milano (1986) citam que diversos pesquisadores utilizam, além das avaliações visuais como o índice de deterioração, um segundo parâmetro, que pode ser ensaio mecânico ou perda de massa, para melhor caracterizar a durabilidade natural de uma madeira em ensaio de campo.

Por meio da Tabela 36, do Apêndice 11, observa-se a análise de variância fatorial para o IC da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana*, submetidas ao ensaio em campo de apodrecimento. É possível perceber que os fatores espécie e avaliação foram significativos a 1% de probabilidade, assim como a interação de todos os fatores (espécie x tratamento x ambiente x avaliação). Já os demais fatores não ocasionaram efeito significativo sobre o índice de deterioração.

A comparação múltipla de médias para o índice de comportamento em função das espécies, tratamentos, ambientes e avaliações é apresentada na Tabela 17. As análises evidenciaram a existência de diferença significativa no IC das espécies, em que o *Eucalyptus cloeziana* foi significativamente mais resistente à deterioração quando exposto a condições adversas ou em contato com o solo, em comparação com o *E. grandis*.

O tratamento preservativo não ocasionou efeito significativo sobre o IC da madeira, bem como o ambiente em que a mesma foi exposta. Segundo Trevisan et al. (2007), a floresta ocasiona um IC menor em comparação ao campo, devido ao primeiro apresentar condições ambientais que favorecem o desenvolvimento dos organismos biodeterioradores; tendência esta que foi observada no presente trabalho, porém não diferiu estatisticamente do IC do campo.

Tabela 17 – Comparação múltipla de médias para o índice de comportamento em função das espécies, tratamentos, ambientes e avaliações

| Espécie | Índice de comportamento |
|-----------------------------|--------------------------------|
| <i>Eucalyptus grandis</i> | 87,42 b |
| <i>Eucalyptus cloeziana</i> | 92,42 a |
| Tratamento | Índice de comportamento |
| Não tratada | 88,92 a |
| Tratada | 90,92 a |
| Ambiente | Índice de comportamento |
| Campo aberto | 90,83 a |
| Floresta | 89,00 a |
| Avaliações (dias) | Índice de comportamento |
| 1 (0) | 100,00 a |
| 2 (60) | 95,50 ab |
| 3 (120) | 94,75 b |
| 4 (180) | 88,00 c |
| 5 (240) | 83,50 c |
| 6 (300) | 77,75 d |

Onde: As médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey $p > 0,05$).

Já para as avaliações houve diferença significativa, em que o IC foi sendo reduzido significativamente no decorrer das mesmas, demonstrando que a deterioração das peças foi sendo intensificada com o passar do tempo.

Outro fato observado foi a alteração de cor dos corpos de prova, principalmente nos que foram instalados a campo aberto, apresentaram aspecto envelhecido; já as peças retiradas do interior da floresta apresentavam aspecto normal, como pode ser visto nas Figuras 35 e 36, Apêndice 5. Trevisan (2006) também constatou a mesma tendência, de forma que a maioria dos corpos de prova procedentes do campo aberto apresentaram uma coloração mais escura, comparando-se com os não atacados e com os procedentes do campo de dentro da mata. O mesmo autor justifica que isto provavelmente pode ser explicado pela atuação da degradação fotoquímica, pois a intensidade solar neste ambiente é superior, pela ausência de árvores, à do ambiente de dentro da mata, assim, a

incidência da radiação ultravioleta é direta. Segundo Oliveira et al. (1986), a degradação fotoquímica é promovida pela radiação ultravioleta, que atua, principalmente, sobre a lignina, ocasionando como efeito perceptível a alteração da cor da madeira.

Nas Figuras 18 e 19 podem ser observadas as equações lineares ajustadas para estimativa do IC da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana*, respectivamente, em função do número de dias em que as amostras permaneceram instaladas em campo de apodrecimento.

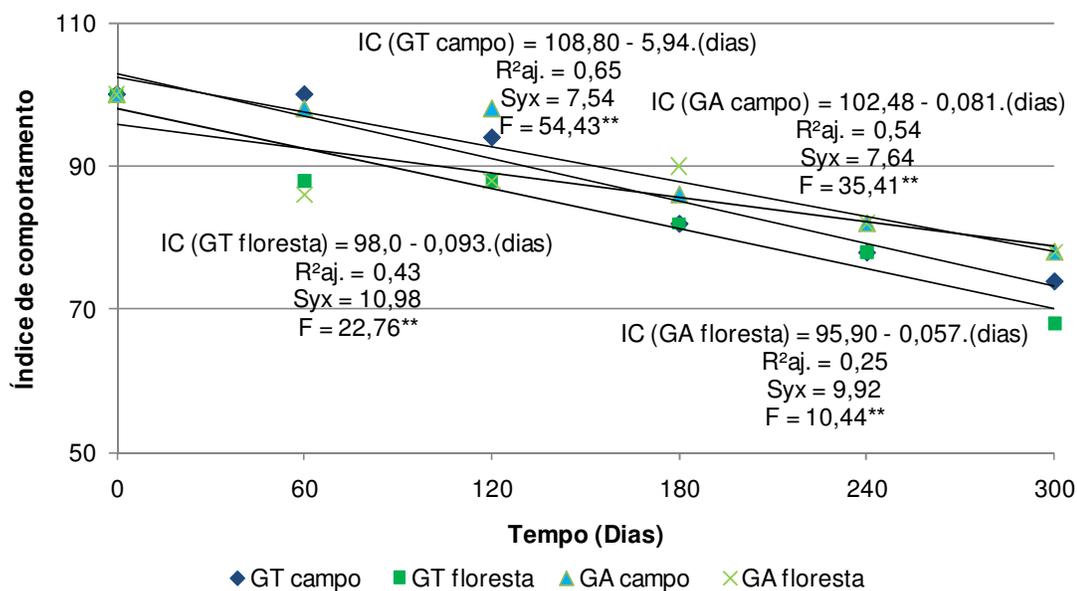


Figura 18 – Índice de comportamento da madeira de *Eucalyptus grandis* em função do tempo em que as amostras permaneceram no campo de apodrecimento (GT = *E. grandis* não tratada; GA = *E. grandis* tratada). ** significativo a 1% de probabilidade

Como pode ser observado na Figura 18, todas as equações geradas para estimativa do IC em função do número de dias de exposição a campo para a madeira de *Eucalyptus grandis* apresentaram bons ajustes, com coeficientes de determinação aceitáveis, e F calculado significativo a 1% de probabilidade de erro.

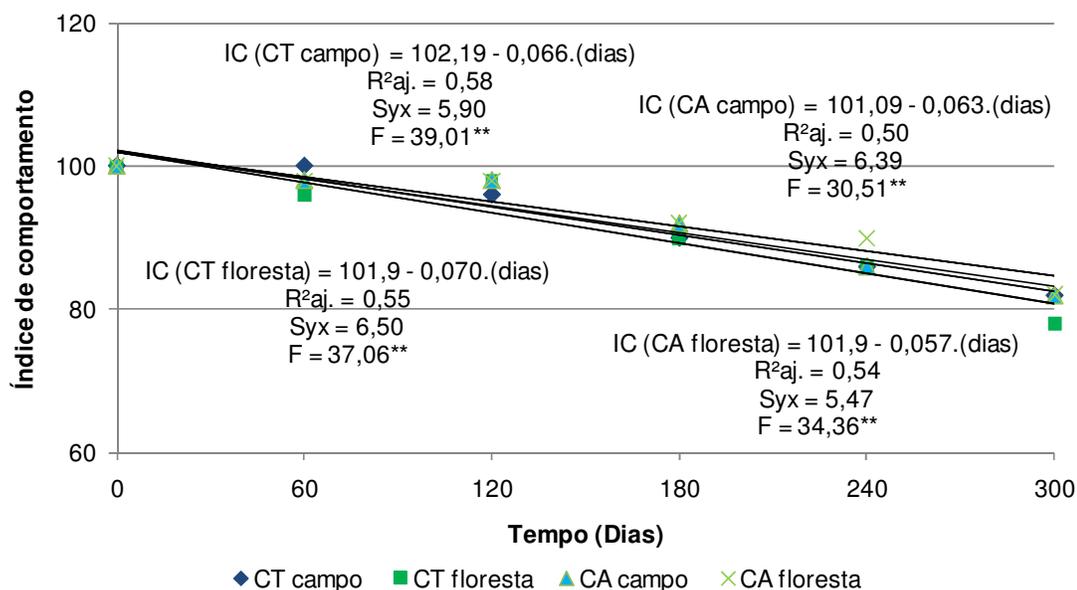


Figura 19 – Índice de comportamento da madeira de *Eucalyptus cloeziana* em função do tempo em que as amostras permaneceram no campo de apodrecimento (CT = *E. cloeziana* não tratada; CA = *E. cloeziana* tratada). ** significativo a 1% de probabilidade

Já para madeira de *Eucalyptus cloeziana* (Figura 19), os ajustes encontrados foram ainda mais significativos do que para a madeira *E. grandis*, sendo observados coeficientes de determinação superiores e maiores valores de F, o que indica que as equações obtidas pelo modelo podem ser utilizadas como método confiável para estimativa do IC com base no tempo de exposição a campo.

4.6.5 Flexão estática

Por meio da Tabela 18 pode ser observado o MOE da madeira de *Eucalyptus grandis*, testemunha e tratada, submetida ao campo de apodrecimento em duas situações distintas, campo aberto e floresta.

Tabela 18 – Módulo de elasticidade (MPa) das estacas de *Eucalyptus grandis* submetidas ao campo de apodrecimento: campo aberto e floresta

| Avaliação | | Não tratada | | Tratada | |
|-----------|------|-------------|----------|---------|----------|
| Nº | Dias | Campo | Floresta | Campo | Floresta |
| 1 | 0 | 11301,4 | | 12045,7 | |
| 2 | 60 | 11432,2 | 11624,0 | 11375,9 | 12473,0 |
| 3 | 120 | 11834,1 | 11900,9 | 11878,8 | 10636,4 |
| 4 | 180 | 11088,2 | 9485,9 | 10988,1 | 11756,4 |
| 5 | 240 | 9926,2 | 10498,2 | 11588,3 | 11354,8 |
| 6 | 300 | 10127,5 | 10367,1 | 10414,3 | 10369,3 |

Como pode ser observado na tabela acima, a madeira apresentou a tendência de diminuição do MOE com o passar das avaliações, entretanto, com algumas oscilações durante o período. Aprile et al. (1999) justificam que a decomposição normalmente não é contínua, que o curso de seu tempo deve ser representado como uma sucessão de fases em ampla atividade, com intervalos de inibição, devido à limitação ou inibição completa de processos físicos, químicos ou biológicos no processo de decomposição.

A redução na resistência da madeira não apresentou tendência definida quando comparada ao ambiente em que a mesma foi exposta. Já em função do tratamento da madeira, a resistência foi superior nas peças submetidas ao tratamento preservativo.

Na Tabela 19, observa-se o MOE da madeira de *Eucalyptus cloeziana*, testemunha e tratada, submetida ao campo de apodrecimento em duas situações distintas, campo aberto e floresta.

A madeira de *Eucalyptus cloeziana* apresentou a mesma tendência encontrada para o *E. grandis*, em que o MOE foi sendo reduzido com o passar do tempo, porém com períodos de oscilação na resistência apresentada pela madeira. A redução da rigidez da madeira não apresentou tendência definida em função do ambiente em que a mesma foi exposta, entretanto em relação ao tratamento preservativo aplicado, a madeira tratada apresentou valores de MOE superiores a não tratada.

Tabela 19 – Módulo de elasticidade (MPa) das estacas de *Eucalyptus cloeziana* submetidas ao campo de apodrecimento: campo aberto e floresta

| Avaliação | | Não tratada | | Tratada | |
|-----------|------|-------------|----------|---------|----------|
| Nº | Dias | Campo | Floresta | Campo | Floresta |
| 1 | 0 | 16045,6 | | 16525,6 | |
| 2 | 60 | 15456,2 | 15303,3 | 15469,7 | 15644,9 |
| 3 | 120 | 15824,5 | 16100,4 | 16835,8 | 16150,4 |
| 4 | 180 | 15827,4 | 15154,2 | 16611,7 | 16360,3 |
| 5 | 240 | 15529,6 | 15384,1 | 16217,7 | 16451,6 |
| 6 | 300 | 13831,6 | 14622,4 | 15117,9 | 15367,6 |

Na Tabela 20 encontra-se o MOR da madeira de *Eucalyptus grandis*, testemunha e tratada, submetida ao campo de apodrecimento em duas situações distintas, campo aberto e floresta.

Como pode ser observado, a madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou valores de MOR semelhantes até a terceira avaliação (120 dias) para ambas amostras, tratadas e sem tratamento. A partir da quarta avaliação (180 dias), a madeira submetida ao tratamento preservativo apresentou resistência superior à sem tratamento, o que demonstra que o mesmo foi eficiente ao longo do tempo em que a madeira esteve exposta ao ambiente.

Tabela 20 – Módulo de ruptura (MPa) das estacas de *Eucalyptus grandis* submetidas ao campo de apodrecimento: campo aberto e floresta

| Avaliação | | Não tratada | | Tratada | |
|-----------|------|-------------|----------|---------|----------|
| Nº | Dias | Campo | Floresta | Campo | Floresta |
| 1 | 0 | 80,8 | | 76,1 | |
| 2 | 60 | 74,2 | 82,3 | 80,2 | 77,0 |
| 3 | 120 | 66,9 | 76,7 | 77,7 | 67,4 |
| 4 | 180 | 61,1 | 56,1 | 64,7 | 76,1 |
| 5 | 240 | 57,9 | 62,4 | 63,2 | 76,3 |
| 6 | 300 | 55,8 | 51,5 | 60,6 | 69,5 |

O MOR da madeira de *Eucalyptus cloeziana*, testemunha e tratada, submetida ao campo de apodrecimento em duas situações distintas, campo aberto e floresta, pode ser observado na Tabela 21.

Tabela 21 – Módulo de ruptura (MPa) das estacas de *Eucalyptus cloeziana* submetidas ao campo de apodrecimento: campo aberto e floresta

| Avaliação | | Não tratada | | Tratada | |
|-----------|------|-------------|----------|---------|----------|
| Nº | Dias | Campo | Floresta | Campo | Floresta |
| 1 | 0 | | 124,5 | | 126,0 |
| 2 | 60 | 121,8 | 115,9 | 127,2 | 123,7 |
| 3 | 120 | 105,4 | 111,8 | 124,4 | 128,4 |
| 4 | 180 | 116,5 | 95,6 | 114,9 | 125,1 |
| 5 | 240 | 108,2 | 98,5 | 119,4 | 133,1 |
| 6 | 300 | 81,0 | 84,9 | 97,3 | 102,3 |

Com base na Tabela 21, é possível observar que a madeira de *Eucalyptus cloeziana* submetida ao tratamento preservativo em autoclave apresentou o MOR superior à madeira não tratada em todas as avaliações, o que enfatiza que o tratamento foi eficiente para esta propriedade no decorrer do tempo.

Trevisan et al. (2007), ao estudarem a redução de algumas propriedades físicas e mecânicas da madeira de cinco espécies florestais em exposição a campo de apodrecimento em céu aberto e floresta por um período de 12 meses, concluíram que as condições diferenciadas de exposição ambiental influenciaram o percentual de redução destas características. As madeiras provindas do campo de apodrecimento localizado dentro da mata foram as que apresentaram maior redução nessas propriedades, em comparação com as oriundas do campo aberto. As maiores reduções no MOE foram registradas pelas madeiras das espécies de *Eucalyptus urophylla* e *Pinus elliottii*, nos dois campos de apodrecimento, sendo que no de dentro da mata a redução foi da ordem de 38 e 35%, e para o campo de fora da mata, 20 e 21%, respectivamente. Em relação ao MOR, os maiores registros de redução percentual também foram obtidos nos ensaios com a madeira destas espécies, sendo que naquelas provindas do campo de dentro da mata a redução foi de 52 e 49%, e nas de fora da mata, 20 e 19%, respectivamente.

A análise de variância fatorial para MOE e MOR de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana*, submetidas ao ensaio em campo de apodrecimento pode ser observada nas Tabelas 37 e 39, do Apêndice 12. Para o MOE os fatores espécie, tratamento e avaliação foram altamente significativos a 1% de probabilidade, além da interação das espécies com os ambientes, bem como os fatores espécies, ambientes e avaliações, significativos a 5% de probabilidade. Já para o MOR os fatores altamente significativos foram espécie, tratamento e avaliação, além da interação das espécies com os tratamentos, dos tratamentos com as avaliações, bem como os tratamentos, ambientes e avaliações. Já os demais fatores não ocasionaram efeito significativo sobre o MOE e o MOR.

Através da Tabela 22, observa-se a comparação múltipla de médias para o MOE em função das espécies, tratamentos, ambientes e avaliações.

Tabela 22 – Comparação múltipla de médias para o módulo de elasticidade em função das espécies, tratamentos, ambientes e avaliações

| Espécie | Módulo de elasticidade (MPa) |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| <i>Eucalyptus grandis</i> | 11158,9 a |
| <i>Eucalyptus cloeziana</i> | 15766,8 b |
| Tratamento | Módulo de elasticidade (MPa) |
| Não tratada | 13167,2 a |
| Tratada | 13758,5 b |
| Ambiente | Módulo de elasticidade (MPa) |
| Campo aberto | 13470,6 a |
| Floresta | 13455,1 a |
| Avaliações (dias) | Módulo de elasticidade (MPa) |
| 1 (0) | 13979,6 a |
| 2 (60) | 13597,4 a |
| 3 (120) | 13895,2 a |
| 4 (180) | 13409,0 ab |
| 5 (240) | 13368,8 ab |
| 6 (300) | 12527,2 b |

Onde: As médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey $p > 0,05$).

Conforme pode ser observado, houve diferença significativa entre o MOE das espécies, em que o *Eucalyptus cloeziana* foi significativamente mais resistente do que o *E. grandis*.

O tratamento preservativo ocasionou efeito significativo sobre o MOE, em que a madeira tratada foi mais resistente do que a não tratada. Já em função do ambiente de exposição, o mesmo não provocou efeito significativo sobre o MOE.

Para as avaliações houve diferença significativa, com redução do MOE no decorrer das mesmas, demonstrando que a deterioração das peças foi sendo intensificada com o passar do tempo.

Já a comparação múltipla de médias para o MOR em função das espécies, tratamentos, ambientes e avaliações, pode ser vista na Tabela 23.

Tabela 23 – Comparação múltipla de médias para o módulo de ruptura em função das espécies, tratamentos, ambientes e avaliações

| Espécie | Módulo de ruptura (MPa) |
|-----------------------------|--------------------------------|
| <i>Eucalyptus grandis</i> | 69,6 a |
| <i>Eucalyptus cloeziana</i> | 114,0 b |
| Tratamento | Módulo de ruptura (MPa) |
| Não tratada | 87,3 a |
| Tratada | 96,4 b |
| Ambiente | Módulo de ruptura (MPa) |
| Campo aberto | 91,1 a |
| Floresta | 92,6 a |
| Avaliações (dias) | Módulo de ruptura (MPa) |
| 1 (0) | 101,9 a |
| 2 (60) | 100,3 a |
| 3 (120) | 94,8 ab |
| 4 (180) | 88,8 b |
| 5 (240) | 89,9 b |
| 6 (300) | 75,4 c |

Onde: As médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey $p > 0,05$).

O MOR seguiu a mesma tendência apresentada pelo MOE, com maior resistência para a madeira de *Eucalyptus cloeziana* quando comparada com o *E. grandis*, bem como valores superiores da madeira tratada, confirmando o acréscimo de durabilidade proporcionado pelo tratamento preservativo.

O ambiente de exposição (campo e floresta) não apresentou comportamento distinto para o MOR, já para as avaliações houve redução significativa do mesmo, com gradativa perda de resistência ao longo do tempo de exposição ao campo de apodrecimento.

Nas Figuras 20 e 21 podem ser observadas as equações lineares ajustadas para estimativa do MOE da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana*, respectivamente, em função do número de dias em que as amostras permaneceram instaladas em campo de apodrecimento.

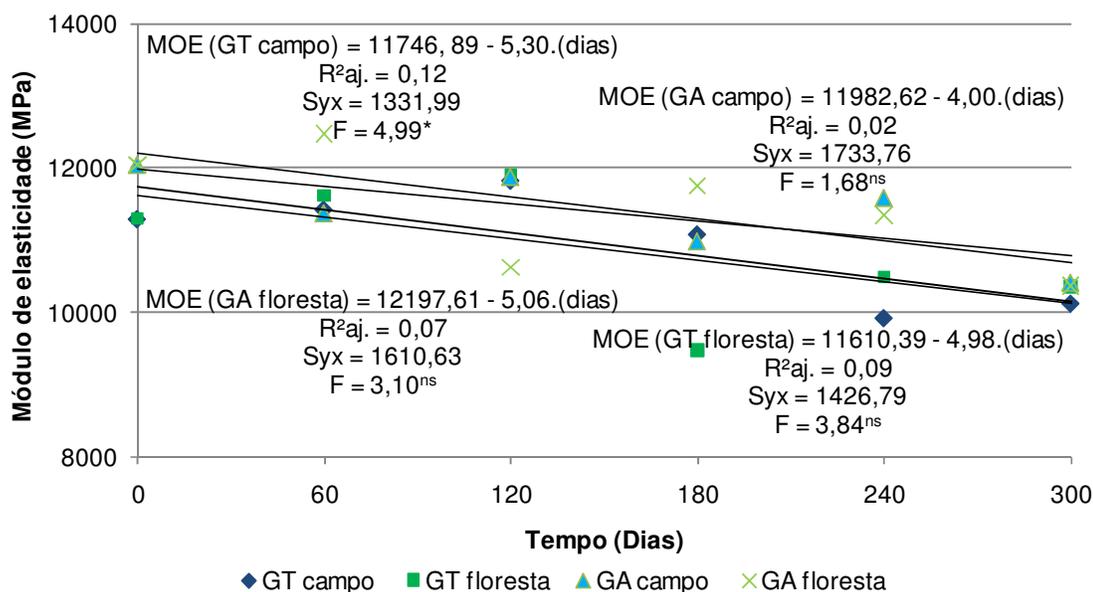


Figura 20 – Módulo de elasticidade da madeira de *Eucalyptus grandis* em função do tempo em que as amostras permaneceram no campo de apodrecimento (GT = *E. grandis* não tratada; GA = *E. grandis* tratada). * significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo

Como pode ser visto na Figura 20, apenas a equação gerada para madeira de *Eucalyptus grandis*, testemunha exposta ao campo aberto, foi significativa a 5% de

probabilidade, já as demais equações não foram significativas para estimativa do MOE em função do número de dias de exposição a campo.

Já para madeira de *Eucalyptus cloeziana* (Figura 21) nenhuma das equações geradas foram significativas, com coeficientes de determinação muito baixos, desta forma, não podem ser utilizadas para estimativa do MOE a partir do número de dias de exposição a campo.

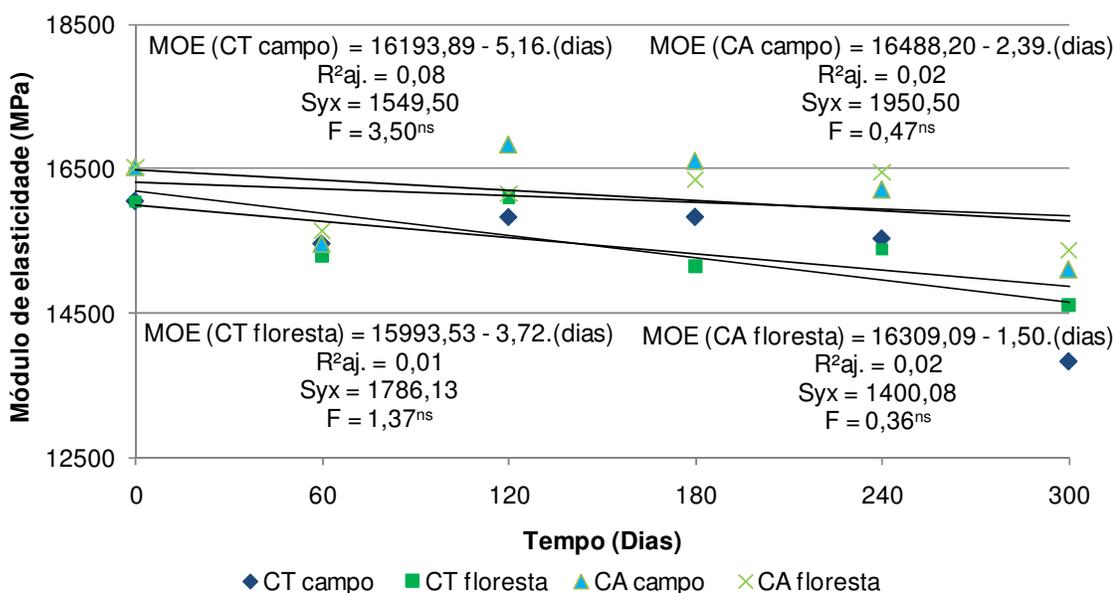


Figura 21 – Módulo de elasticidade da madeira de *Eucalyptus cloeziana* em função do tempo em que as amostras permaneceram no campo de apodrecimento (CT = *E. cloeziana* não tratada; CA = *E. cloeziana* tratada). ^{ns} não significativo

Nas Figuras 22 e 23, podem ser observadas as equações lineares ajustadas para estimativa do MOR da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana*, respectivamente, em função do número de dias em que as amostras permaneceram instaladas em campo de apodrecimento.

Conforme a Figura 22, todas as equações geradas para estimativa do MOR em função do número de dias de exposição a campo para a madeira de *Eucalyptus grandis* apresentaram bons ajustes, com exceção da madeira tratada submetida à floresta, com coeficientes de determinação aceitáveis e altamente significativos a 1% de probabilidade de erro.

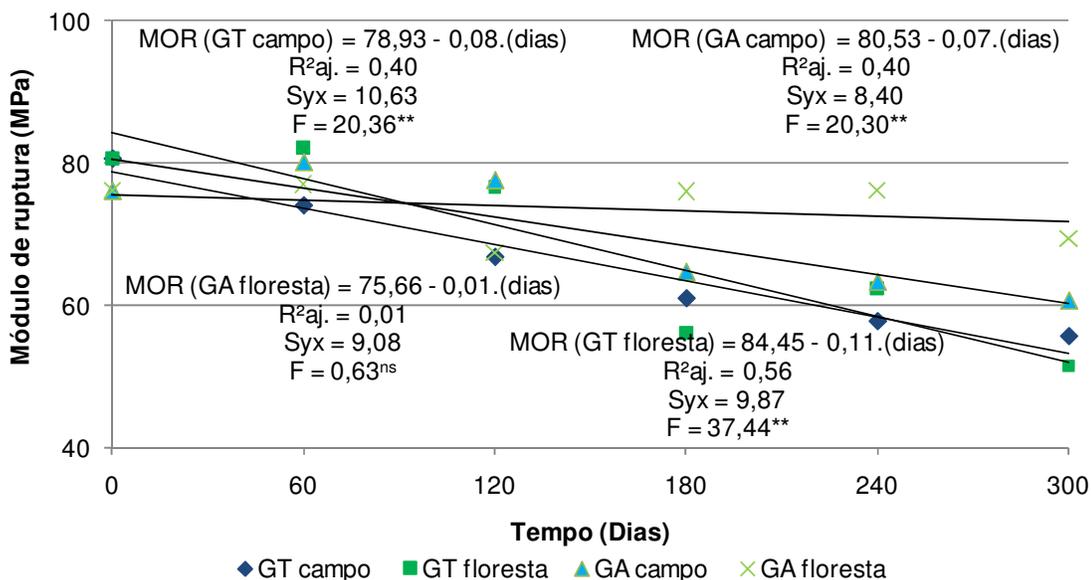


Figura 22 – Módulo de ruptura da madeira de *Eucalyptus grandis* em função do tempo em que as amostras permaneceram no campo de apodrecimento (GT = *E. grandis* não tratada; GA = *E. grandis* tratada). ** significativo a 1% de probabilidade; ^{ns} não significativo

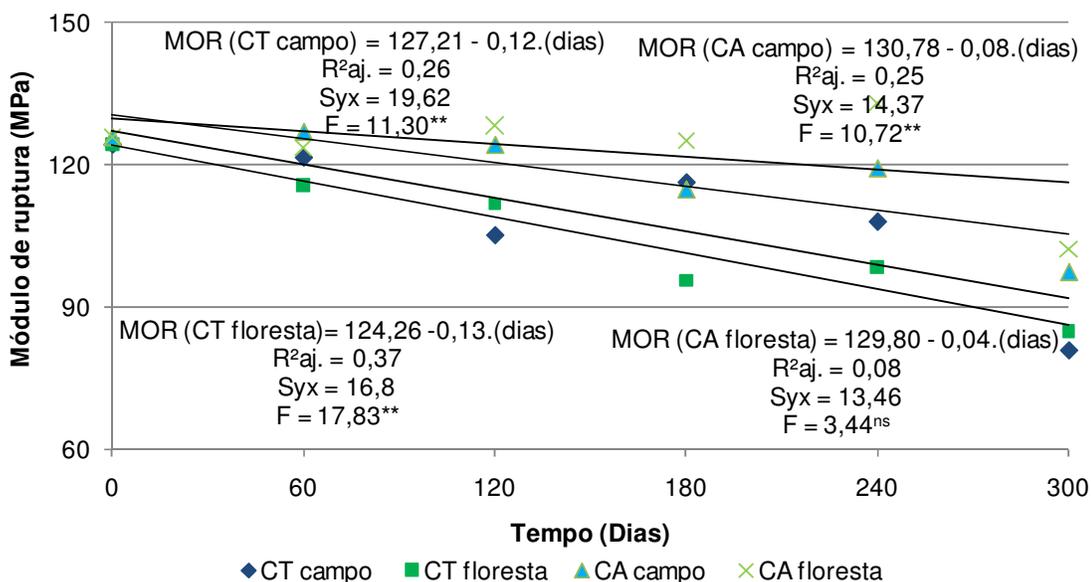


Figura 23 – Módulo de ruptura da madeira de *Eucalyptus cloeziana* em função do tempo em que as amostras permaneceram no campo de apodrecimento (CT = *E. cloeziana* não tratada; CA = *E. cloeziana* tratada). ** significativo a 1% de probabilidade; ^{ns} não significativo

A madeira de *Eucalyptus cloeziana* (Figura 23) seguiu a mesma tendência apresentada pelo *E. grandis*, com ajustes significativos a 1% de probabilidade, exceto para madeira tratada exposta ao ambiente florestal. Nesse sentido, é possível utilizar com confiabilidade as equações geradas para estimativa do MOR a partir do número de dias de exposição a campo.

5 CONCLUSÕES

Com base nas condições de realização do presente estudo para as espécies *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana* tratadas com Arseniato de Cobre Cromatado (CCA) em autoclave, conclui-se que o tratamento:

- ✓ Não apresenta efeito significativo sobre a massa específica nas duas espécies estudadas, apenas ocasiona um pequeno aumento devido à fixação dos sais na madeira.
- ✓ Aumenta significativamente o teor de umidade de equilíbrio da madeira de ambas as espécies, traduzindo-se em um aumento da capacidade destas de trocar umidade com o meio em que estiverem expostas.
- ✓ Apresenta penetração vascular para a madeira de *E. grandis*, e parcial irregular para o *E. cloeziana*.
- ✓ Não apresenta retenções satisfatórias para nenhuma das espécies utilizadas, o que demonstra que a madeira não é tratada adequadamente. Uma explicação para este fato se deve à idade das árvores, que possuíam 16 anos, o que pode ocasionar grande parte da madeira com cerne.
- ✓ É eficiente na redução da degradação da madeira para as duas espécies aos fungos *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*.
- ✓ Reduz a perda de massa das peças expostas ao campo de apodrecimento, tanto no ambiente florestal quanto no campo aberto.
- ✓ Proporciona índice de comportamento superior às peças tratadas no caso das duas espécies em estudo, com valores satisfatórios ao longo do tempo de exposição a campo.

- ✓ Proporciona resistência superior às peças tratadas, tanto para o módulo de elasticidade quando de ruptura, sendo eficiente contra a deterioração ao longo do período das avaliações.

- ✓ Comparando-se os resultados obtidos nos testes de laboratório e de campo para ambas as espécies, o *Eucalyptus cloeziana* apresenta maior aptidão para ser usado em condições adversas, como decks, ou em contato com o solo.

- ✓ Sugere-se a condução de outros estudos sobre o assunto, com diferentes espécies e em idades menores, levando em consideração também a constituição química da madeira, bem como sua alteração ao longo do tempo de exposição a campo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, C. E. C.; LATORRACA, J. V. F. Influência das características anatômicas da madeira na penetração e adesão de adesivos. **Floresta e Ambiente**. v. 7, n.1, p.158 - 166, 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 1413**. Standard test method for wood preservatives by laboratory soil-block cultures. Philadelphia, p. 119-121. 1994.

_____. **ASTM D 2017**. Standard test method for accelerated laboratory test of natural decay resistance of wood. Philadelphia, 2005. 5p.

APRILE, F. M.; DELITTI, W. B. C.; BIANCHINI JR., L. Aspectos cinéticos da degradação de laminados de madeira em ambientes aquático e terrestre. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 59, p. 485 - 492, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**. Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro. 1997. 107p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRESERVADORES DE MADEIRA. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **ABNT/ABPM/IPT**. VII ENCONTRO NACIONAL ABPM. 2007. 43p. Disponível em: <http://www.abpm.com.br/pdf/IPT-Sergio_Brazolin.pdf> Acesso em: 03 mai. 2011.

BARILLARI, T. C. **Durabilidade da madeira do gênero *Pinus* tratada com preservantes: avaliação em campo de apodrecimento**. 2002 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

BARILLARI, T. C.; FREITAS, V. P. Preservação. **Revista da Madeira**. Edição n°68. Dez. 2002. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=264&subject=Preserva%E7%E3o&title=Preserva%E7%E3o>. Acesso em: 16 nov. 2010.

BORGES, C. C. **Potencialidade do uso de cruzetas de madeira tratada**. 2008. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

BURGER, M. L.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel. 1991. 154p.

CALIL JÚNIOR, C.; DIAS, A. A. Utilização da madeira em construções rurais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 1, p.71-77, 1997.

CARVALHO, A. **Impregnação de madeiras para construções rurais**. Lisboa: Direção Geral dos Serviços Florestais e Agrícolas, 1966. 98 p. (Estudos e Informação, 227).

CARVALHO, A. **Madeiras Portuguesas - Estrutura anatômica, propriedades, utilizações**. V. I. Instituto Florestal, 1996. 340p.

CAVALCANTE, M. S. Métodos para aumentar a durabilidade da madeira. **Boletim da Associação Brasileira de Preservadores de Madeira**, São Paulo, n. 36, p. 159-170, 1985.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Maderas: método de determinación de flexión estática. 30: 1- 006. COPANT, 1972.

COSTA, A. F. **Utilização de interações entre produtos químicos preservantes no desenvolvimento de formulações para a prevenção de fungos manchadores e emboloradores na madeira**. 1999. 103 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

CURLING, S. F.; MURPHY, R. J. The use of the Decay Susceptibility Index (DSI) in the valuation of biological durability tests of wood based board materials. **Holz als Roh und Werkstoff**, n. 60, p. 224-226, 2002.

DIONISIO, J. A. Ocorrência de microorganismos em áreas de plantio direto. In: III Simpósio Brasileiro sobre Microbiologia do solo, 3, 1994. **Anais...** Londrina: IAPAR, v. 1. p. 124-124, 1994.

FREITAS, R. R. **Modelo teórico-experimental de deterioração de postes de madeira aplicado ao Estado de São Paulo**. 2009. 142 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

FREITAS, V. P. **Variações na retenção de CCA-A em estacas de Pinus após 21 anos de exposição em campo de apodrecimento**. 2002. 76 f. Dissertação

(Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

GALVÃO, A. P. M.; MAGALHÃES, W. L. E.; MATTOS, P. P. **Processos práticos para preservar a madeira**. Colombo: Embrapa Florestas. 2004, 49p. (Documentos 96).

GALVÃO, A. P. M. A durabilidade da madeira tratada e a eficiência de preservativos avaliados através de ensaios de campo primeira avaliação. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr04/cap02.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2009.

GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. Zoneamento ecológico esquemático para o reflorestamento no Brasil. Brasília, Ministério da Agricultura-PRODEPEF-PNDUFAO-IBDF-45 (**Série Técnica n.11**), 1978.

HUNT, G. M.; GARRATT, G. A. **Wood preservation**. 3 ed. New Work: Mc Graw-Will, 1967. 433p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL / LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS – IBDF/LPF. **Madeiras da Amazônia, Características e utilização. Estação Experimental de Curuá-Una**, v. 2, p. 30-32, 1988.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA / CENTRO DE PESQUISA DE PRODUTOS FLORESTAIS – INPA/CPPF. **Catálogo de madeiras da Amazônia**: características tecnológicas; área da hidrelétrica de Balbina. Manaus: 1991. 163 p.

IPT-DIMAD Reações colorimétricas para determinação de preservativo em madeiras-DIMAD 1980. C1. In: **Métodos de ensaio e análises em preservação de madeiras - Public 1155**. 1980.

JANKOWSKY, I. P.; GALVÃO, A. P. M. Influência do teor de extrativos na umidade de equilíbrio da madeira. **IPEF**, n.18, p.1-33, 1979.

JAMES, W. L. **Effects of Wood Preservatives on Electric Moisture-Meter Readings**. Forest Products Laboratory, Forest Service U.S. Department of Agriculture. 1980. 22p.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B.; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. **Química da**

madeira. Universidade Federal do Paraná. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. Curitiba. (3ª. Edição revisada). 2005. 86p.

LEBOW, S. T. **Wood Handbook, Chapter 15: Wood Preservation.** General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory: 15-1 - 15-28. Chapter 15. 2010.

LEPAGE, E. S. Preservativos e sistemas preservativos. In: LEPAGE, E. S. (Coord.). **Manual de Preservação de Madeiras.** São Paulo: IPT, v.1. p. 279-342, 1986.

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.

LOPEZ, G. A. C.; MILANO, S. Avaliação da durabilidade natural da madeira e de produtos usados na sua proteção. In: LEPAGE, E. S., (Coord.). **Manual de Preservação de Madeiras.** São Paulo: IPT; SICCT, v.2. cap. 10, p. 473-510, 1986.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding.** Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453p.

MARTÍNEZ, A. T.; SPERANZA, M.; RUIZ-DUENAS; FERREIRA, P.; CAMARERO, S.; GUILLÉN F.; MARTÍNEZ, M. J.; GUTIÉRREZ, A.; DEL RIO, J. C. Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin. **International Microbiology**, n. 8, p. 195-204. 2005.

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**, n.76, p. 29-34, 2003.

MELO, R. R. **Propriedades físico-mecânicas e resistência a biodeterioradores de chapas aglomeradas constituídas por diferentes proporções de madeira e casca de arroz.** 2009. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A.; SUSIN, F. Durabilidade da madeira de três espécies florestais em ensaios de campo. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 2, p. 357-365, 2010.

MENDES, A. S.; ALVES, M. V. S. **A degradação da madeira e sua preservação.** Brasília, IBDF/DPq – LPF, 1988. 58p.

MODES, K. S. **Efeito da retificação térmica nas propriedades físico-mecânicas e biológica das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*.** 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

MONTEIRO, A. C. Influência da sazonalidade, dos teores de matéria orgânica, pH e umidade na ocorrência de fungos entomopatogênicos no solo. **In:** III Simpósio Brasileiro sobre Microbiologia do solo, 3.,1994. Resumos. Londrina: IAPAR, 1v. 1994.

MORESCHI, J. C. **Biodegradação da Madeira.** Curitiba: UFPR, 1980, 38p.

MORESCHI, J. C. **Propriedades Tecnológicas da Madeira** - Manual Didático, UFPR, 2005. 168p.

NFA (L'Association Française de Normalization).1942. Norme Française, bois essai de choc ou flexion dynamique. **NF B51-009.** Paris.

NICHOLAS, D. D. **Wood preservation and its prevention by preservative treatments.** Suni: Syracuse University Press, 1985. v.1. 380p.

OKINO, E. Y. A.; ALVES, M. V. S.; SANTANA, M. A. E.; SOUSA, M. E. Durabilidade natural de madeira sólida, de chapas aglomeradas e de chapas de cimento-madeira de *Hevea brasiliensis*. **Revista Brasil Florestal**, n.73, p.39-46, 2002.

OLIVEIRA, A. M. F.; LELIS, A. T.; LEPAGE, E. S.; CARBALLERA LOPEZ, G. A.; OLIVEIRA, L. C. S.; CAÑEDO, M. D.; MILANO, S. Agentes destruidores da madeira. **In:** LEPAGE, E. S. (Coord.) **Manual de preservação de madeiras.** São Paulo: IPT, v.1 p.99-279, 1986.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil.** 1998. 429 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

OLIVEIRA, J. T. S.; SOUZA, L. C.; DELLA LUCIA, R. M.; SOUZA JÚNIOR, W. P. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **Revista Árvore**, v.29, n.5, p.819-826, 2005.

OLIVEIRA, J. T.; TOMASELLO, M.; SILVA, J. C. Resistência natural da madeira de sete espécies de eucalipto ao apodrecimento. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.6, p.993-998, 2005.

PAES, J. B.; VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M.; DELLA LUCIA, T. R. C. Efeitos da purificação e do enriquecimento do creosoto vegetal na preservação da madeira de *Eucalyptus grandis*, após 48 meses de instalação do ensaio de campo. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.4, p.475-484, 2002

RUIVO, M. L. P.; PEREIRA, S. B.; BUSSETI, E. P. C.; COSTA, R. F. QUANZ, B.; NAGAISHI, T. Y.; OLIVEIRA, P. J.; MEIR, P.; MALHI, Y.; COSTA, A. C. L. **Propriedades do solo e fluxo de CO₂ em Caxiuanã, Pará: experimento LBA-Esecaflor**. In: KLEIN, E.L.; VASQUEZ, M.L.; ROSA-COSTA, M.L. (Orgs.) Contribuições à Geologia da Amazônia, V.3. SBG-Núcleo Norte, p. 291-299, 2002.

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**, v.27, n.6, p.845-853, 2003.

SANTINI, J. E. **Biodeterioração e preservação da madeira**. Santa Maria: UFSM/FATEC, 1988. 125p.

SANTOS, Z. M. **Avaliação da durabilidade natural da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill: Maiden em ensaios de laboratório**. 1992. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1992.

SILVA, J. C.; MATOS, J. L. M.; OLIVEIRA, J. T. S.; EVANGELISTA, W. V. Influência da idade e da posição radial na flexão estática da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, v.29, n.5, p.795-799, 2005.

SILVA, J. C. **Métodos práticos de tratamento da madeira na propriedade rural**. Viçosa: UFV, PEC, Núcleo de difusão e tecnologia, 2006. 40p. (Boletim de extensão nº 49).

SILVA, R. B.; MOURA Q.; RODRIGUES H.; BARRETO, P.; NUNES, H.; RODRIGUES, R.; SANTOS, S.; RUIVO, M. L. Estudo das colônias de fungos e bactérias em solos de floresta tropical associada à variação das chuvas na região. In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2010, Belém. **Anais eletrônicos...** Belém, 2010. Disponível em: <<http://www.cbmet2010.com/anais/4.html>>. Acesso em: 24 jan. 2011.

TAVARES, G. C.; HAMM, L. G.; OLIVEIRA, L. S.; GATTO, D. A. Determinação do potencial de ataque fúngico na madeira para Pelotas-RS em 2006. In: XVI Congresso de Iniciação Científica da UFPEL e IX Encontro de Pós-Graduação. **Anais...** Pelotas, 2007.

TORRES, P. M. A.; PAES, J. B.; LIRA FILHO, J. A.; NASCIMENTO, J. W. B. Tratamento preservativo da madeira juvenil de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh pelo método de substituição de seiva. **Cerne**, v. 17, n. 2, p. 275-282, abr./jun. 2011.

TREVISAN, H. **Degradação natural de toras e sua influência nas propriedades físicas e mecânicas da madeira de cinco espécies florestais**. 2006, 69f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

TREVISAN, H.; CARVALHO, A. G.; TIEPPO, F. M. T. M.; LELIS, R. C. C. Avaliação de propriedades físicas e mecânicas da madeira de cinco espécies florestais em função da deterioração em dois ambientes. **Revista Árvore**, v.31, n.1, p.30-37, 2007.

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

7 APÊNDICES

Apêndice 1 – Condução do tratamento preservativo em autoclave



Figura 24 – Registro do tratamento preservativo em autoclave com CCA (Fonte: autor)

Apêndice 2 – Condução do ensaio de apodrecimento acelerado

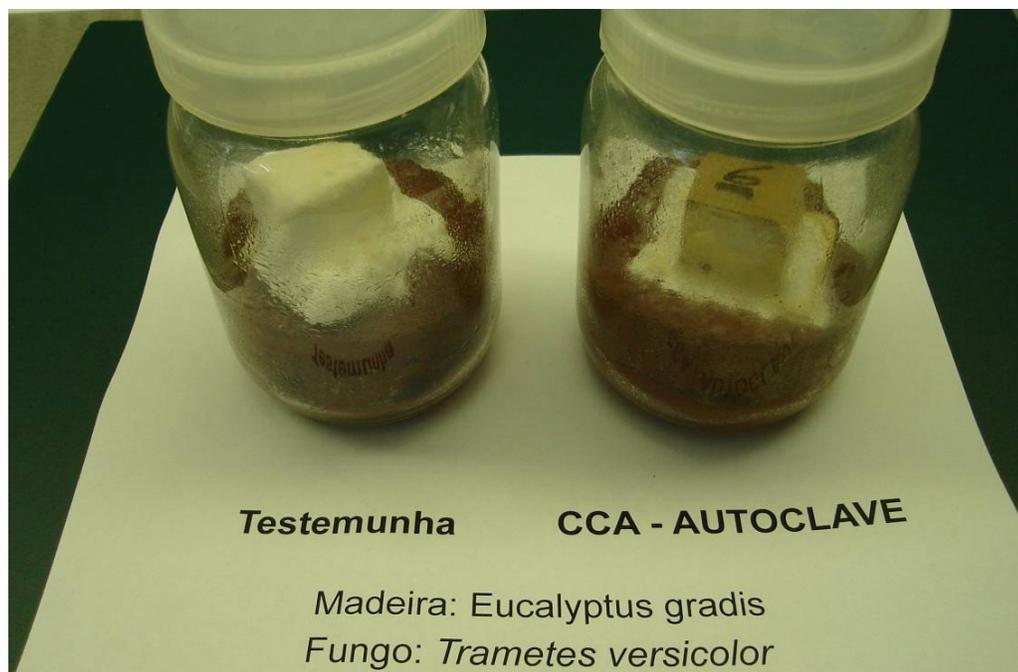


Figura 25 – Frascos de ensaio contendo corpos de prova de *Eucalyptus grandis* submetidos ao fungo *Trametes versicolor* já em fase de finalização do experimento. À esquerda amostra testemunha e à direita tratada com CCA (Fonte: LPF/SFB)



Figura 26 – Detalhe dos corpos de prova de *Eucalyptus grandis* removidos dos frascos junto com a placa suporte, à esquerda corpo de prova testemunha recoberto pelo micélio do fungo *Trametes versicolor* e a direita, corpo de prova tratado com CCA com pouco desenvolvimento do fungo *Trametes versicolor* (Fonte: LPF/SFB)

| AMOSTRA | FUNGOS | | |
|---|---|--|---|
| | <i>T. versicolor</i> | <i>G. trabeum</i> | Sem fungo |
| <i>Eucalyptus grandis</i> Testemunha |  |  |  |
| <i>Eucalyptus grandis</i> Tratado |  |  |  |
| <i>Eucalyptus cloeziana</i> Testemunha |  |  |  |
| <i>Eucalyptus cloeziana</i> Tratado |  |  |  |
| <i>Cecropia sp.</i> (embaúba) Referência |  |  |  |
| <i>Pinus sp.</i> Referência |  |  |  |

Figura 27 – Aspecto dos corpos de prova das espécies *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana* após o ensaio de apodrecimento acelerado (Fonte: autor)

Apêndice 3 – Instalação do campo de apodrecimento: campo aberto e floresta



Figura 28 – Instalação do campo de apodrecimento em campo aberto (Fonte: autor)



Figura 29 – Instalação do campo de apodrecimento em campo aberto (Fonte: autor)



Figura 30 – Instalação do campo de apodrecimento em floresta (Fonte: autor)



Figura 31 – Instalação do campo de apodrecimento em floresta (Fonte: autor)



Figura 32 – Campo de apodrecimento instalado no campo aberto (Fonte: autor)



Figura 33 – Campo de apodrecimento instalado na floresta (Fonte: autor)

Apêndice 4 – Laudo da análise de solo do campo aberto e floresta

MEC - Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais - Departamento de Solos
 Santa Maria/RS Cep: 97105-900
 Fone/Fax: (55)3220-8153
 http://www.ufsm.br/solos
Laudo de Análise de Solo


 DEPARTAMENTO DE SOLOS
 CCR - UFSM

Nome: ELIO JOSÉ SANTINI Solicitante: ELIO JOSE SANTINI
 Município: SANTA MARIA Endereço:
 Localidade: Entrada: 18/08/10 Emissão: 08/09/2010

| Registro | Cx. | Cel. | Identificação da amostra | Área (ha) | Sistema de cultivo | Prof. (cm) | Georef. |
|----------|-----|------|--------------------------|-----------|--------------------|------------|---------|
| 16263 | B92 | 33 | FLORESTA CAMPO | | | | |
| 16264 | B92 | 34 | | | | | |

Diagnóstico para acidez do solo e calagem

| Registro | pH água 1:1 | Ca | Mg | Al | H+Al | CTC efet. | Saturação (%) | | Índice SMP |
|----------|-------------|----------------------|-----|-----|------|-----------|---------------|-------|------------|
| | | cmol/dm ³ | | | | | Al | Bases | |
| 16263 | 4,9 | 2,4 | 2,3 | 6,9 | 15,4 | 11,8 | 58 | 24 | 4,9 |
| 16264 | 5,0 | 2,0 | 1,2 | 2,1 | 13,7 | 5,5 | 38 | 20 | 5,0 |

Diagnóstico para macronutrientes e recomendação de adubação NPK-S

| Registro | % MO | % Argila | Textura | S | P-Mehlich | P-resina | K | CTC pH7 | K |
|----------|------|----------|---------|--------------------|-----------|----------|----------------------|---------|--------------------|
| | m/v | | | mg/dm ³ | | | cmol/dm ³ | | mg/dm ³ |
| 16263 | 2,8 | 28 | 3 | --X-- | 3,7 | --X-- | 0,18 | 20,3 | 72 |
| 16264 | 1,9 | 27 | 3 | --X-- | 1,5 | --X-- | 0,19 | 17,1 | 76 |

Diagnóstico para micronutrientes e relações molares

| Registro | Cu | Zn | B | Fe | Mn | Na | Relações Molares | | |
|----------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|-----------|--------------------------|
| | mg/dm ³ | | | | | | Ca/Mg | (Ca+Mg)/K | K/(Ca+Mg) ^{1/2} |
| 16263 | --X-- | --X-- | --X-- | --X-- | --X-- | --X-- | 1,0 | 25,5 | 0,085 |
| 16264 | --X-- | --X-- | --X-- | --X-- | --X-- | --X-- | 1,7 | 16,5 | 0,108 |

Vinculado à ROLAS-RS/SC

N  PESQUISA
 ESTE LAUDO NÃO VALE
 FINANCIAMENTO BANCÁRIO

SELO DE QUALIDADE
Análise Básica + Micronutrientes
 2010
 ROLAS - NRS - SBCS

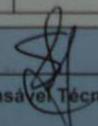
Responsável Técnico

 Eng. Agr. Sandro José Giacomini
 CREA: 100472

Figura 34 – Laudo da análise de solo do campo aberto e floresta, fornecido pelo Departamento de Solos da UFSM

Apêndice 5 – Aspecto dos corpos de prova da madeira de *Eucalyptus grandis* oriundos do campo de apodrecimento: campo aberto e floresta



Figura 35 – Aspecto dos corpos de prova oriundos do campo aberto (Fonte: autor)

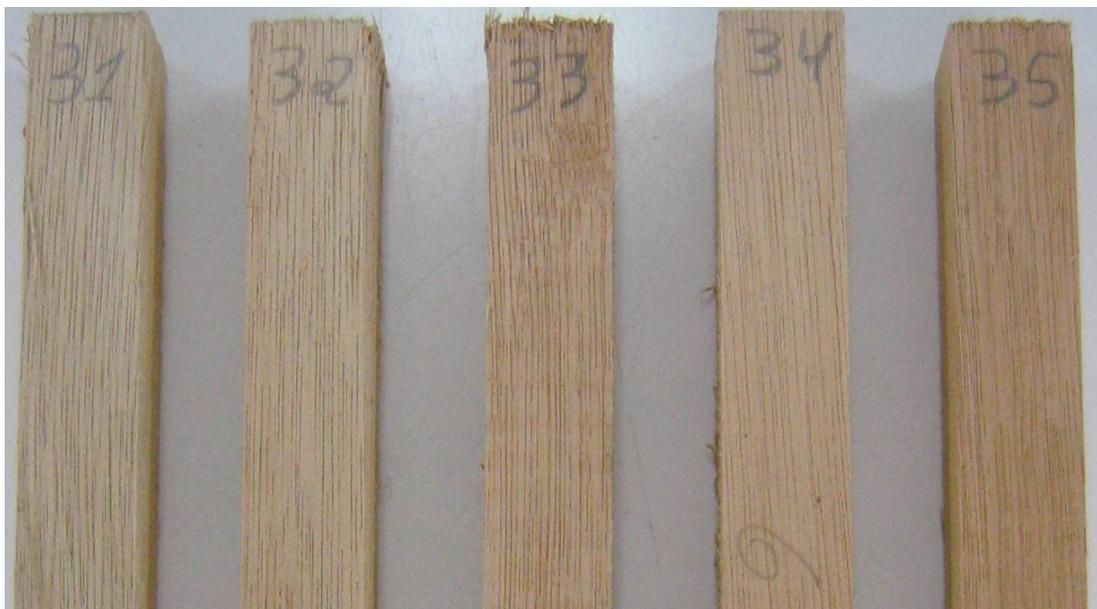


Figura 36 – Aspecto dos corpos de prova oriundos da floresta (Fonte: autor)

Apêndice 6 – Análise de variância para a massa específica e efeito do tratamento preservativo sobre a mesma

Tabela 24 – Análise de variância fatorial para a massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana*

| FV | GL | SQ | QM | F |
|-------------|-----------|-----------|-----------|--------------------|
| Espécie | 1 | 4,80 | 4,80 | 1913,18** |
| Tratamento | 1 | 0,01 | 0,01 | 2,55 ^{ns} |
| E x T | 1 | 0,00 | 0,00 | 0,19 ^{ns} |
| Tratamentos | 3 | 4,80 | 1,60 | 638,64** |
| Resíduo | 236 | 0,59 | 0,00 | |
| Total | 239 | 5,40 | | |

Onde: E = espécie; T = tratamento. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

Tabela 25 – Teste de médias para a massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana*

| Espécie | Massa específica (g.cm⁻³) |
|-----------------------------|---|
| <i>Eucalyptus grandis</i> | 0,52 a |
| <i>Eucalyptus cloeziana</i> | 0,81 b |

Onde: *= Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (teste de Tukey, $p \geq 0,05$).

Tabela 26 – Teste de médias para o efeito do tratamento preservativo sobre massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana*

| Tratamento | Massa específica (g.cm⁻³) |
|-------------------|---|
| Não tratada | 0,66 a |
| Tratada | 0,67 a |

Onde: *= Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (teste de Tukey, $p \geq 0,05$).

Apêndice 7 – Análise de variância para a umidade de equilíbrio e efeito do tratamento preservativo sobre a mesma

Tabela 27 – Análise de variância fatorial para a umidade de equilíbrio da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana*

| FV | GL | SQ | QM | F |
|-------------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Espécie | 1 | 29,93 | 29,93 | 256,21** |
| Tratamento | 1 | 5,24 | 5,24 | 44,89** |
| E x T | 1 | 2,50 | 2,50 | 21,44** |
| Tratamentos | 3 | 37,68 | 12,56 | 107,51** |
| Resíduo | 56 | 6,54 | 0,12 | |
| Total | 59 | 44,22 | | |

Onde: E = espécie; T = tratamento. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

Tabela 28 – Teste de médias para a umidade de equilíbrio da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana*

| Espécie | Umidade de equilíbrio (%) |
|-----------------------------|----------------------------------|
| <i>Eucalyptus grandis</i> | 13,97 a |
| <i>Eucalyptus cloeziana</i> | 15,38 b |

Onde: * = Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (teste de Tukey, $p \geq 0,05$).

Tabela 29 – Teste de médias para o efeito do tratamento preservativo na umidade de equilíbrio da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana*

| Tratamento | Umidade de equilíbrio (%) |
|-------------------|----------------------------------|
| Não tratada | 14,38 a |
| Tratada | 14,97 b |

Onde: * = Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (teste de Tukey, $p \geq 0,05$).

Apêndice 8 – Análise de variância para retenção de CCA na madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana*

Tabela 30 – Análise de variância para a retenção de CCA na madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana*

| FV | GL | SQ | QM | F |
|-------------|-----------|-----------|-----------|--------------------|
| Tratamentos | 1 | 0,03 | 0,03 | 0,26 ^{ns} |
| Resíduo | 6 | 0,60 | 0,09 | |
| Total | 7 | 0,63 | | |

Onde: ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).

Apêndice 9 – Análise de variância para a perda de massa da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana* submetidas aos fungos *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*, no ensaio de apodrecimento acelerado

Tabela 31 – Análise de variância fatorial para a perda de massa da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana* submetidas ao apodrecimento acelerado

| FV | GL | SQ | QM | F |
|------------------------------|----|-----------|-----------|--------------------|
| Espécie | 1 | 18.669,44 | 18.669,44 | 584,89** |
| Tratamento | 1 | 5.497,28 | 5.497,28 | 172,22** |
| Fungo | 1 | 3.496,74 | 3.496,74 | 109,55** |
| Espécie x Tratamento | 1 | 352,50 | 352,50 | 11,04** |
| Espécie x Fungo | 1 | 264,08 | 264,08 | 8,27** |
| Tratamento x Fungo | 1 | 1.209,42 | 1.209,42 | 37,89** |
| Espécie x Tratamento x Fungo | 1 | 123,02 | 123,02 | 3,85 ^{ns} |
| Tratamentos | 7 | 29.612,50 | 4.230,36 | 132,53** |
| Resíduo | 88 | 2.808,93 | 31,92 | |
| Total | 95 | 32.421,43 | | |

Onde: ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).

Tabela 32 – Teste de médias da perda de massa para o fator espécie

| Médias para espécie | PM (%) |
|-----------------------------|---------|
| <i>Eucalyptus grandis</i> | 39,84 a |
| <i>Eucalyptus cloeziana</i> | 11,95 b |

Onde: * = Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (teste de Tukey, $p \geq 0,05$).

Tabela 33 – Teste de médias da perda de massa para o fator tratamento

| Médias para espécie | PM (%) |
|---------------------|---------|
| Não tratada | 33,46 a |
| Tratada | 18,33 b |

Onde: * = Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (teste de Tukey, $p \geq 0,05$).

Tabela 34 – Teste de médias da perda de massa para o fator fungos

| Médias para espécie | PM (%) |
|-----------------------------|---------|
| <i>Trametes versicolor</i> | 31,93 a |
| <i>Gloeophyllum trabeum</i> | 19,86 b |

Onde: * = Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (teste de Tukey, $p \geq 0,05$).

Apêndice 10 – Análise de variância para a perda de massa da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana* submetidas ao ensaio em campo de apodrecimento

Tabela 35 – Análise de variância fatorial para a perda de massa da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana* submetidas ao ensaio em campo de apodrecimento

| FV | GL | SQ | QM | F |
|-------------------|-----|--------|-------|----------------------|
| Espécie | 1 | 0,01 | 0,01 | 0,02 ^{ns} |
| Tratamento | 1 | 1,16 | 1,16 | 2,94 ^{ns} |
| Ambiente | 1 | 0,63 | 0,63 | 1,60 ^{ns} |
| Avaliação | 5 | 415,72 | 83,14 | 210,20 ^{**} |
| E x T | 1 | 0,12 | 0,12 | 0,31 ^{ns} |
| E x Ab. | 1 | 0,01 | 0,01 | 0,03 ^{ns} |
| E x Av. | 5 | 2,58 | 0,52 | 1,31 ^{ns} |
| T x Ab. | 1 | 0,53 | 0,53 | 1,35 ^{ns} |
| T x Av. | 5 | 2,06 | 0,41 | 1,04 ^{ns} |
| Ab. x Av. | 5 | 2,80 | 0,56 | 1,62 ^{ns} |
| E x T x Ab. | 1 | 0,01 | 0,01 | 0,02 ^{ns} |
| E x T x Av. | 5 | 0,17 | 0,03 | 0,09* |
| E x Eb. x Ev. | 5 | 1,19 | 0,24 | 0,60 ^{ns} |
| T x Ab. x Av. | 5 | 1,13 | 0,22 | 0,57 ^{ns} |
| E x T x Ab. x Av. | 5 | 0,60 | 0,12 | 0,30 ^{ns} |
| Tratamentos | 47 | 428,74 | 9,12 | 23,06 ^{**} |
| Resíduo | 192 | 75,94 | 0,40 | |
| Total | 239 | 504,69 | | |

Onde: E = espécie; T = tratamento; Ab. = ambiente; Av. = avaliação. **significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ^{ns}não significativo ($p \geq 0,05$).

Apêndice 11 – Análise de variância para o índice de comportamento da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana* submetidas ao ensaio em campo de apodrecimento

Tabela 36 – Análise de variância fatorial para o índice de comportamento da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana* submetidas ao ensaio em campo de apodrecimento

| FV | GL | SQ | QM | F |
|-------------------|-----|----------|---------|--------------------|
| Espécie | 1 | 1500,00 | 1500,00 | 23,84** |
| Tratamento | 1 | 240,00 | 240,00 | 3,81 ^{ns} |
| Ambiente | 1 | 201,67 | 201,67 | 3,20 ^{ns} |
| Avaliação | 5 | 12963,33 | 2792,67 | 44,39** |
| E x T | 1 | 41,67 | 41,67 | 0,66 ^{ns} |
| E x Ab. | 1 | 166,67 | 166,67 | 2,65 ^{ns} |
| E x Av. | 5 | 325,00 | 65,00 | 1,03 ^{ns} |
| T x Ab. | 1 | 26,67 | 26,67 | 0,42 ^{ns} |
| T x Av. | 5 | 245,00 | 49,00 | 0,78 ^{ns} |
| Ab. x Av. | 5 | 493,33 | 98,67 | 1,57 ^{ns} |
| E x T x Ab. | 1 | 1,67 | 1,67 | 0,03 ^{ns} |
| E x T x Av. | 5 | 83,33 | 16,67 | 0,26 ^{ns} |
| E x Eb. x Ev. | 5 | 308,33 | 61,67 | 0,98 ^{ns} |
| T x Ab. x Av. | 5 | 88,33 | 17,67 | 0,28 ^{ns} |
| E x T x Ab. x Av. | 5 | 33,33 | 6,67 | 0,11* |
| Tratamentos | 47 | 17718,33 | 276,98 | 5,99** |
| Resíduo | 192 | 12080,00 | 62,92 | |
| Total | 239 | 29798,33 | | |

Onde: E = espécie; T = tratamento; Ab. = ambiente; Av. = avaliação. **significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ^{ns}não significativo ($p \geq 0,05$).

Apêndice 12 – Análise de variância para resistência a flexão estática da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana* submetidas ao ensaio em campo de apodrecimento

Tabela 37 – Análise de variância fatorial para o módulo de elasticidade da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana* submetidas ao ensaio em campo de apodrecimento

| FV | GL | SQ | QM | F |
|-------------------|-----|---------------|---------------|--------------------|
| Espécie | 1 | 1273960673,97 | 1273960673,97 | 466,63** |
| Tratamento | 1 | 20984492,44 | 20984492,44 | 7,67** |
| Ambiente | 1 | 14292,50 | 14292,50 | 0,01 ^{ns} |
| Avaliação | 5 | 54366821,86 | 10873364,37 | 3,98** |
| E x T | 1 | 465640,22 | 465640,22 | 0,17 ^{ns} |
| E x Ab. | 1 | 2,36 | 2,36 | 0,00* |
| E x Av. | 5 | 12921243,25 | 2584248,65 | 0,94 ^{ns} |
| T x Ab. | 1 | 26407,94 | 26407,94 | 0,01 ^{ns} |
| T x Av. | 5 | 9205333,68 | 1841066,74 | 0,67 ^{ns} |
| Ab. x Av. | 5 | 5630727,81 | 1126145,56 | 0,41 ^{ns} |
| E x T x Ab. | 1 | 162661,47 | 162661,47 | 0,06 ^{ns} |
| E x T x Av. | 5 | 5362219,82 | 1072443,96 | 0,39 ^{ns} |
| E x Eb. x Ev. | 5 | 1860744,04 | 372148,81 | 0,14* |
| T x Ab. x Av. | 5 | 9559137,55 | 1911827,51 | 0,70 ^{ns} |
| E x T x Ab. x Av. | 5 | 3413637,42 | 682727,48 | 0,25 ^{ns} |
| Tratamentos | 47 | 1397934036,36 | 29743277,37 | 10,89** |
| Resíduo | 192 | 524187438,83 | 2730142,91 | |
| Total | 239 | 1922121475,19 | | |

Onde: E = espécie; T = tratamento; Ab. = ambiente; Av. = avaliação. **significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ^{ns}não significativo ($p \geq 0,05$).

Tabela 38 – Comparação fatorial de médias para o módulo de elasticidade (MPa), da interação dos fatores espécie e ambiente

| Espécie | Ambiente | |
|-----------------------------|--------------|-------------|
| | Campo aberto | Floresta |
| <i>Eucalyptus grandis</i> | 11166,74 bA | 11151,10 bA |
| <i>Eucalyptus cloeziana</i> | 15774,43 aA | 15759,20 aA |

Onde: As médias seguidas na vertical seguidas por uma mesma letra minúscula, ou na horizontal, por uma mesma letra maiúscula, não diferem estatisticamente (Tukey $p > 0,05$).

Tabela 39 – Análise de variância fatorial para o módulo de ruptura da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana* submetidas ao ensaio em campo de apodrecimento

| FV | GL | SQ | QM | F |
|-------------------|-----|-----------|-----------|--------------------|
| Espécie | 1 | 118229,66 | 118229,66 | 692,29** |
| Tratamento | 1 | 4942,33 | 4942,33 | 28,93** |
| Ambiente | 1 | 137,91 | 137,91 | 0,81 ^{ns} |
| Avaliação | 5 | 18598,51 | 3719,70 | 21,78** |
| E x T | 1 | 1055,08 | 1055,08 | 6,17* |
| E x Ab. | 1 | 90,98 | 90,98 | 0,53 ^{ns} |
| E x Av. | 5 | 2066,21 | 413,24 | 2,42* |
| T x Ab. | 1 | 407,76 | 407,76 | 2,39 ^{ns} |
| T x Av. | 5 | 2356,94 | 471,39 | 2,76* |
| Ab. x Av. | 5 | 350,84 | 70,17 | 0,41 ^{ns} |
| E x T x Ab. | 1 | 248,66 | 248,66 | 1,45 ^{ns} |
| E x T x Av. | 5 | 389,14 | 77,83 | 0,46 ^{ns} |
| E x Eb. x Ev. | 5 | 416,80 | 83,36 | 0,49 ^{ns} |
| T x Ab. x Av. | 5 | 2126,66 | 425,33 | 2,49* |
| E x T x Ab. x Av. | 5 | 423,48 | 84,70 | 0,50 ^{ns} |
| Tratamentos | 47 | 151840,98 | 3230,66 | 18,92** |
| Resíduo | 192 | 32790,00 | 170,78 | |
| Total | 239 | 184630,98 | | |

Onde: E = espécie; T = tratamento; Ab. = ambiente; Av. = avaliação. **significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ^{ns}não significativo ($p \geq 0,05$).

Tabela 40 – Comparação fatorial de médias para o módulo de ruptura (MPa), da interação dos fatores espécie e tratamento

| Espécie | Tratamento | |
|-----------------------------|-------------|-----------|
| | Não tratada | Tratada |
| <i>Eucalyptus grandis</i> | 67,20 bB | 72,08 bA |
| <i>Eucalyptus cloeziana</i> | 107,39 aB | 120,66 aA |

Onde: As médias seguidas na vertical seguidas por uma mesma letra minúscula, ou na horizontal, por uma mesma letra maiúscula, não diferem estatisticamente (Tukey $p > 0,05$).

Tabela 41 – Comparação fatorial de médias para o módulo de ruptura (MPa), da interação dos fatores espécie e avaliações

| Espécie | Avaliações (dias) | | | | | |
|-----------------------------|-------------------|---------------|---------------|--------------|---------------|-------------|
| | 0 | 60 | 120 | 180 | 240 | 300 |
| <i>Eucalyptus grandis</i> | 78,45 bA | 78,42 bA | 72,17 bAB | 64,50 bBC | 64,94 bB | 59,35 bC |
| <i>Eucalyptus cloeziana</i> | 125,27 aA | 122,14 aAB | 117,50 aAB | 113,04 aB | 114,82 aAB | 91,40 aC |

Onde: As médias seguidas na vertical seguidas por uma mesma letra minúscula, ou na horizontal, por uma mesma letra maiúscula, não diferem estatisticamente (Tukey $p > 0,05$).

Tabela 42 – Comparação fatorial de médias para o módulo de ruptura (MPa), da interação dos fatores tratamentos e avaliações

| Tratamento | Avaliações (dias) | | | | | |
|-------------|-------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0 | 60 | 120 | 180 | 240 | 300 |
| Não tratada | 102,64 aA | 98,52 aAB | 90,20 bBC | 82,35 bC | 81,75 bC | 68,30 bD |
| Tratada | 101,06 aA | 102,03 aA | 99,48 aA | 95,19 aA | 98,01 aA | 82,45 aB |

Onde: As médias seguidas na vertical seguidas por uma mesma letra minúscula, ou na horizontal, por uma mesma letra maiúscula, não diferem estatisticamente (Tukey $p > 0,05$).