



Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Florestal

**RESISTÊNCIA BIOLÓGICA DE PAINÉIS
COMPENSADOS DE *Trattinnickia burseraefolia*
(Mart.) Willd. PRODUZIDOS COM LÂMINAS
MODIFICADAS TERMOMECHANICAMENTE**

SARAH DA SILVA VAZ

Brasília

Março de 2013



Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Florestal

Resistência Biológica de Painéis Compensados de *Trattinnickia burseraefolia*
(Mart.) Willd. Produzidos com Lâminas Modificadas Termomecanicamente

Estudante: Sarah da Silva Vaz

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Henrique Soares Del Menezzi

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Brasília

Março de 2013

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha mãe Noelma e aos meus irmãos Adair e Paulo, por estarem comigo em todos os dias dessa jornada e por todo apoio nos momentos difíceis.

Agradeço ao meu namorado Eduardo, por estar ao meu lado dando todo o apoio necessário, amor e carinho, assim como a motivação para que eu seguisse em frente e trabalhasse para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Cláudio Del Menezzi pela idealização deste projeto e por todo o apoio durante todo o seu processo de realização.

Às minhas amigas de uma vida toda que sempre me apoiaram e estiveram ao meu lado em todos os momentos da minha vida, Janaína, Bárbara e Débora.

Aos colegas de curso e também amigos, Anna Cláudia, Paulo Henrique Luchtemberg e Renato Tormin por todo o apoio durante todo o processo laboratorial, em suas etapas.

Ao Laboratório de Produtos Florestais por permitir a utilização de suas instalações. Em especial, agradeço à Esmeralda Okino por seu auxílio durante as atividades no laboratório.

RESUMO

RESISTÊNCIA BIOLÓGICA DE PAINÉIS COMPENSADOS DE *Trattinnickia burseraefolia* (Mart.) Willd. PRODUZIDOS COM LÂMINAS MODIFICADAS TERMOMECHANICAMENTE

O tratamento termomecânico consiste em uma técnica que combina tratamento térmico com compressão mecânica sobre a madeira, com o intuito de se produzir um material com menor higroscopicidade, sem que isso interfira prejudicialmente em sua resistência mecânica. Com base nisso, foram confeccionados painéis compensados utilizando lâminas de madeira da espécie *Trattinnickia burseraefolia* termomecanicamente modificadas, em uma prensa hidráulica a temperaturas de 140°C e 180°C, tempos de um e dois minutos e pressão constante de 2,7 MPa. A cerca disso, este trabalho teve como objetivo o de avaliar a resistência biológica desses painéis sobre o ataque de fungos causadores de podridão parda (*Gloeophyllum trabeum*) e de podridão branca (*Trametes versicolor*). A determinação da resistência biológica dos painéis compensados foi realizada a partir do ensaio acelerado de ataque de fungos, de acordo com a Norma ASTM D 2017 (2005). A classificação quanto à resistência biológica dos painéis submetidos ao ataque dos fungos se mostraram de moderadamente resistente a resistente, tendo maior influência positiva quanto à perda de massa causada pelo fungo *G. trabeum*. Quanto à temperatura e o tempo aplicados em cada tratamento, o tratamento mais intenso, com temperatura de 180°C e tempo de dois minutos, teve maior influência positiva na resistência biológica dos painéis compensados.

Palavras-chave: tratamento termomecânico, compensados, resistência biológica.

ABSTRACT

RESISTANCE BIOLOGICAL OF PLYWOOD PANELS OF *Trattinnickia burseraefolia* (Mart.) Willd. PRODUCED WITH MODIFIED THERMOMECHANICALLY BLADES

The thermomechanical treatment consists of a technique that combines thermal treatment with mechanical compression of over the wood, in order to produce a material with low hygroscopicity, without affecting detrimentally on its mechanical resistance. Based on this, plywood panels were manufactured by using wood veneers from the species *Trattinnickia burseraefolia* thermomechanically modified in a hydraulic press at temperatures of 140 ° C and 180 ° C, times of one and two minutes and constant pressure of 2.7 MPa. About that, this study aimed to evaluate the biological resistance of these panels on the fungi causing brown rot (*Gloeophyllum trabeum*) and white rot (*Trametes versicolor*). The determination of biological resistance of plywood was made from the accelerated test of fungi in accordance with ASTM D 2017 (2005). The classification on the biological resistance of the panels subjected to the attack of fungi were found to be moderately resistant to resistant, and most positive influence on the mass loss caused by the fungus *G. trabeum*. Regarding the temperature and time applied to each treatment, treatment more intense, with a temperature of 180 ° C and a time of two minutes, had more positive influence on the biological resistance of the plywood panels.

Keywords: thermomechanical treatment, plywood, biological resistance.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. HIPÓTESE.....	2
1.2. OBJETIVO	2
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
3. MATERIAIS E MÉTODOS	7
3.1. OBTENÇÃO DAS LÂMINAS, PRODUÇÃO DOS COMPENSADOS E O TRATAMENTO TERMOMECÂNICO.....	7
3.2. ENSAIO ACELERADO DE ATAQUE DE FUNGOS	9
3.3. ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
5. CONCLUSÕES.....	17
6. APÊNDICE	21-23

1. INTRODUÇÃO

A madeira possui excelentes propriedades comparativamente a outros tipos de materiais, tais como trabalhabilidade, propriedades mecânicas em relação ao seu peso, a usabilidade, o conforto ao ambiente, sendo amplamente utilizada em painéis, móveis, pisos e estruturas (MORSING, 2000).

Porém, a madeira é um tipo de material que está sujeita ao ataque de organismos indesejáveis que deterioram a madeira, consumindo principalmente a celulose e hemicelulose, que são componentes estruturais, alterando dessa forma a sua resistência físico-mecânica. Essa propriedade indesejável tem contribuído para que novas pesquisas sejam realizadas sobre tratamentos de estabilização da madeira, incluindo a limitação da adsorção de umidade (VERNOIS, 2001).

Uma das principais limitações para o uso em ambientes externos da madeira é a que ela possui baixa estabilidade dimensional quando submetida às condições atmosféricas variáveis e assim como o que ocorre entre algumas espécies, a madeira pode apresentar baixa durabilidade ao ataque biológico. Tratamentos químicos de impregnação e térmicos são empregados para diminuir a capacidade natural da madeira de absorver água (FOREST PRODUCTS LABORATORY – FPL, 2010). Destes, o tratamento térmico é o mais conhecido e pelo menos há noventa anos é estudado na Europa e nos Estados Unidos (ESTEVES, 2009; XIE; LIU, 2002).

O tratamento térmico consiste em aquecer a madeira sob condições de temperaturas mais altas (95°C a 320°C) do que em condições normais de secagem, oferecendo um produto final de menor higroscopicidade e conseqüentemente mais estável por ter menor inchamento e contração (FPL, 2010). Porém, a estabilização da madeira relativa à redução de sua higroscopicidade é sempre acompanhada pela perda de massa e de uma diminuição da resistência mecânica (FPL, 2010). Para tentar minimizar esse efeito negativo da temperatura, podem ser aplicadas técnicas de densificação como a compressão mecânica concomitante com calor, que é conhecido como tratamento termomecânico (MORSING, 2000). Segundo (KUROWSKA, 2010) da mesma forma pode-se usar esse tratamento termomecânico em lâminas de madeira utilizadas na produção de compensados.

Observa-se nos últimos anos uma crescente preferência, principalmente em países em desenvolvimento, por painéis à base de madeira. Isso pode ser explicado pela crescente necessidade de substituição da madeira serrada, pela escassez da mesma, e também pelo preço

atrativo desses painéis nesses países, que investem em tecnologias de processamento da madeira, para atender a demanda de produtos dessa natureza.

O compensado é um painel constituído de lâminas de madeira sobrepostas e cruzadas entre si, as quais são unidas por adesivos ou resinas, por meio de pressão e calor. (Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente – ABIMCI, 2008). Com a finalidade de promover o aumento das propriedades mecânicas de produtos de madeira, tais como os compensados, para uso estrutural, surgiu o conceito de densificação da madeira, em meados da Segunda Guerra Mundial (STAMM; CHIDESTER, 1974). Tal densificação pode ocorrer por processos somente mecânicos ou combinando-se o processo mecânico com calor, que é chamado de termomecânico (ARRUDA, 2012).

Para se estabelecer critérios de usos de madeiras, é de fundamental importância a obtenção de informações sobre sua resistência biológica, assim como quando submetida a determinados tipos de tratamentos que influenciam positivamente nessa resistência da madeira. Esses conhecimentos possibilitam a utilização racional da madeira, contribuindo diretamente para a redução do seu consumo e, por consequência, dos custos com a preservação das reservas naturais remanescentes. Além disso, podem evitar perdas e prejuízos financeiros irreparáveis decorrentes de gastos com a reposição da madeira deteriorada.

1.1. HIPÓTESE

Será avaliada neste trabalho a hipótese de que os tratamentos termomecânicos aos quais as lâminas da madeira de amescla foram submetidas influenciam positivamente a resistência de compensados produzidos com essas lâminas ao ataque dos fungos apodrecedores.

1.2. OBJETIVO

Nesse contexto, o objetivo geral do trabalho foi o de determinar a resistência biológica de painéis de madeira compensados da espécie amescla (*Trattinnickia burseraefolia*), produzidos com lâminas de madeira termomecânicamente modificadas, ao apodrecimento causado pelo ataque de fungos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A espécie de madeira utilizada neste trabalho foi a *Trattinnickia burseraefolia*, tendo como nomes mais comuns os de amescla, amesclão, breu-preto, mescla, entre outros. Essa espécie é pertencente à família das Burseráceas, constituída por 21 gêneros e mais de 600 espécies. É uma espécie encontrada em matas de transição e na floresta ombrófila densa dos Estados brasileiros do Pará, Amazonas, Acre, Mato Grosso, Roraima e Maranhão (IBAMA, 2001; INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL, 2009).

A madeira de amescla possui boa trabalhabilidade, sendo fácil de serrar e aplinar, porém, apresenta aspereza em sua superfície radial, devido à grã cruzada irregular. É considerada leve, com massa específica aparente de 0,52 g/cm³ a 15% de umidade. Dentre outras espécies, são usadas na confecção de lâminas e em 60% dos compensados tropicais produzidos no Brasil, inclusive para a exportação (MATOSKI; ROCHA, 2006).

Os principais causadores de danos em materiais lignocelulósicos são os fungos pertencentes à classe dos basidiomicetos. Dentre esses se destacam os causadores de podridão parda, que se alimentam dos polissacarídeos da parede celular presentes nesses materiais e os de podridão branca, que, além de polissacarídeos, se alimentam também da lignina (OLIVEIRA, 1986).

Quanto ao apodrecimento causado pela atuação de enzimas excretadas pelos fungos, Seabright (1995) afirmou que estas são produzidas a partir de vários biocatalisadores, em que cada uma dessas substâncias desenvolve funções específicas, tais como a aceleração ou até mesmo o controle das reações bioquímicas. A hifa do fungo, por sua vez, secreta enzimas destruidoras de celulose. Pode-se afirmar que a quebra enzimática consiste basicamente na transformação dos componentes insolúveis da madeira em produtos solúveis e em seguida em compostos químicos simples, capazes de serem metabolizados. Sendo que os principais tipos de apodrecimento causado por esses agentes são o de podridão-branca, podridão-parda e podridão-mole (TEIXEIRA, 1997).

A madeira que apresenta podridão branca perde seu aspecto lustroso e sua cor natural, tornando-se esbranquiçada. Isso se deve à destruição dos pigmentos. Em alguns casos linhas escuras demarcam a região afetada e, quando a colonização já se encontra em fase adiantada, a madeira torna-se desfiável. Esses fungos pertencem aos basidiomicetos e são capazes de destruir os componentes da madeira (celulose, hemicelulose, lignina e outros carboidratos) causando uma progressiva perda de sua massa e diminuição de suas propriedades físicas e mecânicas (HUNT; GARRAT, 1967). O fungo causador de podridão branca *Trametes*

versicolor causa a deterioração simultânea da celulose, lignina e hemicelulose (TANAKA, 1999).

A madeira que apresenta podridão parda tem o aspecto de ser levemente queimada, adquirindo coloração parda, com rachaduras perpendiculares e paralelas às fibras. Essa forma de podridão é causada por fungos também pertencentes aos basidiomicetos que promovem uma contínua deterioração da celulose e hemicelulose, deixando a lignina praticamente intacta (HUNT; GARRAT, 1967). Logo, a madeira deteriorada por esses fungos tem um aspecto amarronzado e frágil (BLANCHETTE, 1991). Em estudo realizado sobre o fungo causador de podridão parda *Gloeophyllum trabeum*, Oliveira et al. (2005) concluíram que todas as madeiras analisadas foram consideradas naturalmente resistentes a esse fungo, possuindo cada uma um componente específico relacionado à sua resistência natural ao apodrecimento, o qual era solúvel em solventes distintos.

Santos et al. (1992) observaram que 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 e maior propensão ao ataque de insetos, comprometendo assim a sua qualidade e inviabilizando a utilização dessa madeira para fins tecnológicos. A podridão parda provoca uma diminuição nas características mecânicas da madeira mais rapidamente que a podridão branca, enquanto que a diminuição na massa específica, ao final do processo de deterioração é maior nesta última (LEPAGE, 1986).

Segundo Kelley et al. (2002) a deterioração e a descoloração causadas por fungos são as maiores fontes de desvalorização na produção de madeira com perdas de 15 a 25% do valor da madeira em pé e de 10 a 15% de produtos de madeira durante a estocagem e utilização. Uma das causas que tem contribuído, não apenas para a diminuição da procura da madeira brasileira, mas também para reduzir seu valor comercial, é a falta e/ou inadequado tratamento preventivo contra a infestação de micro-organismos que a danificam, em especial os fungos, que comprometem diretamente seu aspecto estético.

São necessárias condições de substrato e ambientais adequadas para que ocorra o ataque de qualquer agente xilófago na madeira. As condições de substrato são aquelas relativas propriamente à madeira, ou seja, presença de alimento, ausência de inibidores, umidade e porosidade. Por outro lado, as condições ambientais são: o teor de umidade, temperatura e fornecimento ou não de oxigênio. O tratamento térmico altera a composição

química da madeira, afetando assim as condições do substrato, o que implica em redução da disponibilidade de alimento.

Alves e Mendes et al. (2002) concluíram que o fator mais importante no processo de deterioração por fungos é o teor de umidade, sendo ótimo para o desenvolvimento da maioria dos fungos o teor acima do ponto de saturação das fibras, ou seja, entre 40% a 75%. Outros fatores que também influenciam no desenvolvimento desses fungos podem ser citados tais como a temperatura, com valores ideais entre 25°C e 30°C (dependendo do fungo também podendo ocorrer a temperaturas de 0°C a 40°C); o teor de oxigênio, sendo que sua falta impede ou restringe o seu desenvolvimento na madeira; e o pH, na faixa entre 3 e 6 propício ao seu desenvolvimento entre a maioria das espécies de madeira.

Para Tjeerdsma et al. (1998) a melhoria da resistência biológica da madeira tratada termicamente envolve dois aspectos: a redução do ponto de saturação das fibras da madeira a um nível menor ao daquele necessário ao ataque biológico e a alteração da estrutura química da parede celular de forma que o microorganismo não reconhece o substrato para promover um ataque.

O tratamento termomecânico é uma técnica de compressão que combina o tratamento mecânico com calor e compressão. Esse tipo de tratamento degrada rapidamente hemiceluloses, o que desempenha um papel importante na retirada desse material de interesse por parte dos organismos xilófagos, tais como os fungos. Hakkou et al. (2006) observaram uma importante correlação entre temperatura de tratamento e durabilidade, pois tratamentos térmicos acima de 180°C aumentaram a durabilidade da madeira de faia (*Fagus grandifolia*) contra o fungo *Gloeophyllum trabeum* e ainda que a partir de 200°C essa melhoria foi muito mais considerável.

Nestes tratamentos, a densificação ocorre através da parede celular flambagem, que reduz o volume vazio espaços (KUTNAR, 2009). No entanto, a fim de garantir as propriedades adequadas da madeira tratada, é importante que este tratamento ocorra a uma temperatura ideal, em que os polímeros amorfos da madeira (lignina e hemicelulose) passem do estado vítreo para o estado elástico. Essa temperatura é definida como temperatura de transição Tg e varia com a espécie e o teor de água utilizada. Neste ponto, a madeira pode ser comprimida sem colapso da estrutura da parede celular (AKERHOLM; SALME'N, 2004).

O tratamento termomecânico aplicado em madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* revelou que houve melhora na durabilidade natural contra o fungo *Trametes versicolor*. Para o fungo *Gloeophyllum trabeum* o tratamento termomecânico até 170°C implicou em uma maior

perda de massa do que o material não tratado, o qual pode ser considerado um resultado inesperado. Foi observado que este resultado foi significativamente afetado pela interação entre a pressão e o tempo aplicados. Esse tratamento não afetou a resistência biológica contra *T. versicolor*, mas contribuiu positivamente para a resistência contra *G. trabeum*. (SANTOS; DEL MENEZZI, 2012).

Em outro estudo realizado, Del Menezzi et al. (2008) observaram que a resistência contra ambos os fungos foi afetada pela temperatura, enquanto o tempo afetou apenas a resistência contra a deterioração causada pelo fungo *T. versicolor*. A utilização de temperatura mais alta melhorou a resistência contra a deterioração, para ambos os fungos, mas o *T. versicolor* parecia ser mais afetado do que *G. trabeum*. Para o primeiro, a melhora foi de cerca de 16,5%, enquanto que para o último foi apenas de 7,5%. Foi observado que a temperatura do tratamento é uma maneira eficaz de melhorar a durabilidade.

Del Menezzi et al. (2010) puderam observar que as propriedades relacionadas com a estabilidade dimensional não foram afetadas pelo tratamento higrotérmico aplicado. Por outro lado, as propriedades mecânicas, tais como o MOE poderiam ser ligeiramente melhoradas sendo a duração do tratamento estendida. Para as propriedades biológicas, o mesmo comportamento foi observado. Assim, uma melhora na resistência biológica contra o fungo *T. versicolor* foi alcançada nesse estudo. Neste contexto, de acordo com os resultados obtidos, o tratamento higrotérmico aplicado não melhorou a estabilidade dimensional, mas não afetou negativamente as propriedades mecânicas, que tem sido frequentemente encontrados como um efeito colateral de pré-tratamentos. Sendo que estes achados foram parcialmente diferentes dos obtidos por outros autores.

Nesse mesmo estudo, foi observado que o pré-tratamento favorece a compressão, reduzindo as tensões internas e promovendo aos polímeros a degradação química tratamento da higrotérmico aplicação de vapor a alta temperatura sob condições pressurizadas. Embora a temperatura e a duração deste tipo de pré-tratamento pode variar, a gama é geralmente acima de 150 °C e por períodos de tempo mais longos. No entanto, as condições de aplicação do tratamento higrotérmico pode provocar alguma degradação química, uma vez que uma ligeira melhoria da resistência biológica pode ser alcançada.

Del Menezzi et al. (2007) observaram que a quantidade total de hemiceluloses foi reduzida em 20% para o OSB tratados termicamente a 220°C e 1200 s, de modo que esses tornaram-se painéis menos higroscópicos. Assim, se hemiceluloses são degradadas, algumas melhorias podem ser esperadas na resistência contra a deterioração causada por fungos,

porque esse polímero presente na madeira é a fonte principal de alimento destes organismos. De fato, diversos estudos têm demonstrado que o tratamento térmico é eficaz em melhorar a referida propriedade.

Arruda et al. 2012 observaram que o tratamento termomecânico de 140°C e 180°C durante um e dois minutos e pressão de 2,7 MPa, aplicado sobre lâminas da madeira de amescla (*Trattinnickia burseraefolia*) densificou as lâminas e reduziu o teor de umidade de equilíbrio, o que resultou em faces mais densas e reduziu consideravelmente a higroscopicidade. No entanto, a estabilidade dimensional foi prejudicada devido à liberação de tensões de compressão e absorção maior de água.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. OBTENÇÃO DAS LÂMINAS, PRODUÇÃO DOS COMPENSADOS E O TRATAMENTO TERMOMECÂNICO

As amostras de painéis compensados de madeira de amescla (*Trattinnickia burseraefolia*) foram providas do trabalho realizado por Arruda (2012). As lâminas foram submetidas a diferentes tipos de tratamentos termomecânicos (pré-testes) para se determinar aqueles que apresentaram os melhores valores a serem utilizados. Os tratamentos com a temperatura de 160°C apresentaram valores intermediários, próximos dos de 180°C, sendo por isso feita a escolha de se usar valores de temperaturas mais distantes entre si, como 140°C e 180°C. Os tempos maiores que dois minutos prejudicaram o aspecto visual da lâmina que ficou muito escura e frágil, sendo essas, portanto descartadas.

Para tratar as lâminas foi utilizada uma prensa hidráulica INDUMEC com aquecimento por resistência elétrica e área de prensagem máxima de 2500 cm². Após o pré-teste foram selecionados quatro tratamentos que apresentaram os melhores resultados em relação à densidade, perda de massa (PM), taxa de compressão (TC) e no aspecto visual. Dos resultados apontados nos pré-testes realizados, foram determinados os melhores valores a serem utilizados de temperatura, os mais distantes entre si, como 140°C e 180°C. As lâminas de amescla utilizadas na produção dos painéis foram então submetidas aos quatro tipos diferentes de tratamentos térmicos (T1 a T4) mais a testemunha (T0) (ARRUDA, 2012). Os parâmetros utilizados para o tratamento termomecânico estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Delineamento experimental do tratamento termomecânico.

Tratamento	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Pressão (MPa)	Nº de lâminas
T0*	-	-	-	30
T1	140	1,0	2,7	30
T2	140	2,0	2,7	30
T3	180	1,0	2,7	30
T4	180	2,0	2,7	30

Fonte: ARRUDA (2012). *T0 é a testemunha, ou seja, isento de tratamento térmico.

- **Produção dos Compensados**

Segundo Arruda (2012), os compensados foram colados com a resina fenol-formaldeído na gramatura de 200 g/m³. O adesivo foi formulado na proporção de 100:5:8:7, sendo estes valores os de porcentagem de resina, farinha de trigo, farinha de coco e água, respectivamente. A farinha de trigo, assim como a farinha de coco foram utilizadas como espessante, de acordo com a ficha técnica do fabricante fornecida pela empresa SIGroup Crios, fabricante do adesivo. Foram confeccionados seis compensados por tratamento, montados com cinco lâminas de 250 mm x 250 mm cada, coladas perpendicularmente umas às outras, sendo uma de 3,4 mm de espessura no meio e duas de 1,5 mm em cada face. (Figura 1).



Figura 1 - Seção transversal do painel compensado com cinco lâminas. Fonte: ARRUDA (2012).

Os compensados foram prensados em uma prensa hidráulica com pressão de 1,0 MPa, temperatura de 150°C e tempo de prensagem de 7,0 minutos. A temperatura e tempo utilizados foram também recomendados pelo fabricante do adesivo. Durante o processo de prensagem do painel foi colocado um termopar na linha de cola mais interna para medir a temperatura dentro de um painel para cada tratamento. Após a confecção dos painéis, os

mesmos foram colocados em câmara climatizada ($20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ e $65\% \pm 1\%$ de umidade relativa) até atingirem massa constante e em seguida foram esquadrejados e depois obtidos os corpos-de-prova para cada tipo de ensaio realizado no referido estudo (ARRUDA, 2012).

3.2. ENSAIO ACELERADO DE ATAQUE DE FUNGOS

Dando continuidade ao experimento realizado com o tratamento termomecânico, foi realizado o experimento para se determinar e analisar a biodeterioração causada por fungos dessas amostras de painéis de amescla, assim como avaliar a influência do tratamento termomecânico ao qual foram submetidas.

O solo proveniente da região da Fazenda Água Limpa (FAL) da Universidade de Brasília já corrigido anteriormente a pH neutro até 6,0, foi passado em peneira de 3 mm e em seguida realizada a limpeza dos frascos de vidro contendo tampa de plástico, onde o chamado sistema ou conjunto foi montado.

Foram realizados os cálculos, conforme metodologia ASTM D 1413, seção 9.2.2, com a finalidade de se determinar a quantidade de solo e a umidade necessária. Foi determinada para cada frasco a quantidade de solo a ser depositada de 70g e a quantidade de 40 ml de água destilada. Sendo que o solo deve apresentar umidade ajustada para 130% da capacidade de retenção de água. Há então a autoclavagem desses frascos a 127°C por 40 minutos.

Os corpos-de-prova (CPs) de painéis compensados foram preparados com as dimensões de 2,5 cm x 2,5 cm x 0,9 cm, sendo previamente lixados e codificados de acordo com a sequência de 1 a 12 para cada tratamento térmico a qual fora submetido (T0 a T4) e ao fungo apodrecedor a qual será exposto (*Gloeophyllum trabeum* e *Trametes versicolor*) além dos expostos a nenhum dos dois fungos, a testemunha, chamada aqui de tratamento em branco. Foram expostos 60 Cps a cada fungo e a testemunha. Os CPs foram então submetidos à estufa a 50°C até atingir massa constante. Assim que atingida a massa constante, os CPs foram pesados e assim obteve-se a massa inicial (M_i).

Foi pesada a quantidade de 9,9 g de extrato de malte em pó (meio de cultura) com uso de balança analítica com resolução de 0,0001g. O meio líquido foi preparado dissolvendo-se o extrato de malte em pó em 330 ml de água deionizada em um béquer, para cada um dos dois fungos a serem inoculados.

A repicagem dos fungos foi feita em capela de fluxo laminar. Foram obtidos inóculos de aproximadamente 1 cm^2 , contendo micélios do fungo, que serão adicionados ao meio de cultura líquido anteriormente preparado com o extrato de malte. Os frascos contendo os fungos inoculados foram levados para uma mesa agitadora por um período de 48 horas, com o

objetivo de proporcionar uma aeração ao meio de cultura. Em seguida, os frascos foram mantidos em sala de incubação à temperatura de $(26,7 \pm 1)^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $(70 \pm 4)\%$ por um período de 15 dias, para o melhor desenvolvimento do fungo.

Dentro de cada frasco contendo o solo já previamente preparado, foi adicionada uma placa suporte de madeira para o cultivo de *G. trabeum* e uma para o cultivo de *T. versicolor*, respectivamente, Embaúba e Pinus, previamente esterilizadas, com dimensões de 35 mm x 29 mm x 3 mm, sendo que nas amostras em que não foram submetidas à exposição a nenhum dos fungos, foram utilizadas placas suporte de Embaúba. Após a montagem, os frascos foram autoclavados a 127°C por 45 minutos.

Após a autoclavagem dos frascos, ocorreu o resfriamento dos mesmos até a temperatura ambiente e em seguida foi realizada uma limpeza com álcool em cada frasco. O meio de cultura foi transferido para o copo de um triturador no qual será levemente batido, antes da inoculação dos frascos. Esse procedimento possibilitou a homogeneidade dos micélios do fungo no meio de cultura. Em seguida foi realizada em capela asséptica a inoculação dos frascos utilizando-se um pipetador, com o qual foram colocados 2 ml do meio de cultura. Os frascos foram então colocados na incubadora em condições de temperatura de 26°C e umidade relativa de 70%, até que o micélio recubra de forma homogênea a superfície da placa suporte.

Os CPs previamente esterilizados à 121°C , 30-40 minutos, foram introduzidos, com o auxílio de uma pinça, nos frascos, anteriormente limpos novamente com álcool, em capela asséptica. Os CPs foram dispostos uniformemente sobre a placa suporte já coberta por cada um dos dois fungos apodrecedores, assim como as amostras em branco. As amostras permaneceram em contato com os fungos por 12 semanas na incubadora.

Transcorrido esse tempo, as amostras foram retiradas dos frascos, submetidas à limpeza com o auxílio de escova de cerdas macias, para a remoção do excesso de micélio aderido e serão novamente climatizadas em estufa, como mencionado anteriormente, e assim serão pesadas até massa constante e assim será obtido a massa final (M_f), para a determinação da perda de massa (Figura 2).

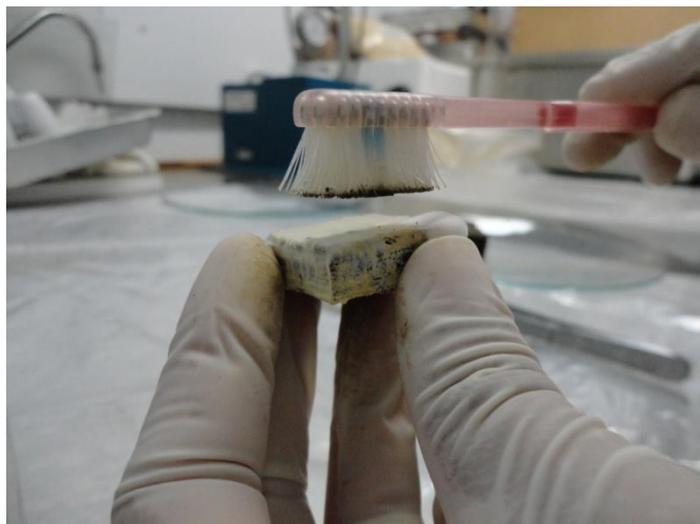


Figura 2 – Limpeza dos corpos-de-prova.

A perda de massa em porcentagem (PM) dos CPs causada pelo ataque dos fungos apodrecedores foi determinada de acordo com a seguinte equação:

$$PM (\%) = \left(\frac{M_i - M_f}{M_i} \right) \times 100$$

Onde:

M_i = Massa inicial, g

M_f = Massa final, g

A classe de resistência de cada amostra, de acordo com a Norma ASTM D 2017 (2005), quanto à resistência ao apodrecimento, a partir dos resultados obtidos da porcentagem de perda de massa, ocorreu conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação de resistência natural de madeiras submetidas ao ataque de fungos apodrecedores em ensaio acelerado de laboratório.

Porcentagem de Perda de Massa	Classe de Resistência
0 a 10	Altamente Resistente
11 a 24	Resistente
25 a 44	Moderadamente Resistente
> 45	Pouco ou Não Resistente

Fonte: ASTM D – 2017 (2005).

3.3. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os valores apresentados de perda de massa foram analisados pela análise de variância ANOVA seguida de fator único com o teste Least Significant Difference (LSD), a 5% de significância, que comparou cada uma das médias do material tratado termomecanicamente (T1-T4) expostas aos dois fungos apodrecedores (podridão branca e podridão parda) com a média das amostras testemunha, par a par. Foi feita também uma análise fatorial com dois fatores (temperatura e tempo) e dois níveis cada (140°C e 180°C; um minuto e dois minutos). Essa análise foi usada para identificar o efeito isolado de cada um dos fatores e a interação entre eles.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta a classificação, de acordo com a Norma ASTM D 2017 (2005), quanto à resistência ao apodrecimento do painel de madeira de amescla submetida a cada tratamento termomecânico (T0 a T4), após o ataque dos fungos *Gloeophyllum trabeum* e *Trametes versicolor*, segundo ASTM D 2017 (2005).

Tabela 3 - Classe de resistência contra ao apodrecimento causado pelos fungos *Gloeophyllum trabeum* e *Trametes versicolor*.

Tratamentos	Classe de resistência natural contra <i>G. trabeum</i>	Classe de resistência natural contra <i>T. versicolor</i>
T0	Moderadamente Resistente	Moderadamente Resistente
T1	Moderadamente Resistente	Moderadamente Resistente
T2	Moderadamente Resistente	Moderadamente Resistente
T3	Moderadamente Resistente	Moderadamente Resistente
T4	Resistente	Moderadamente Resistente

A análise dos valores médios de perda de massa ocorrida devido ao ataque do fungo *G. trabeum*, para cada tipo de tratamento termomecânico foi feita e foi possível classificá-los de acordo com a resistência ou a durabilidade da madeira contra o ataque biológico, sendo que somente o tratamento chamado T4 apresentou-se resistente e os demais, apresentaram-se moderadamente resistente. Isso demonstrou que, mediante ao ataque do fungo *G. trabeum*, o tratamento T4 apresentou diferença estatística em relação aos outros tratamentos.

Da mesma maneira, a partir da análise dos valores médios de perda de massa ocorrida devido ao ataque do fungo *T. versicolor*, cada tratamento foi classificado de acordo com a

resistência ao ataque do fundo apresentada. Notou-se que a madeira se apresentou, diante de ambos os tratamentos, moderadamente resistente. Sendo que, o T4 apresentou o menor valor médio de perda de massa, entre os tratamentos (Tabela 3).

A princípio, todos os tratamentos/painéis foram classificados como moderadamente resistentes com exceção do tratamento T4 exposto ao fungo *G. trabeum*, que foi resistente. Uma análise superficial sugere que os tratamentos foram brandos, uma vez que todos estão inseridos na mesma classe de resistência natural, igual ao da testemunha, que é isento de tratamento.



Figura 3: Corpos-de-prova submetidos ao ataque do fungo *T. versicolor*.

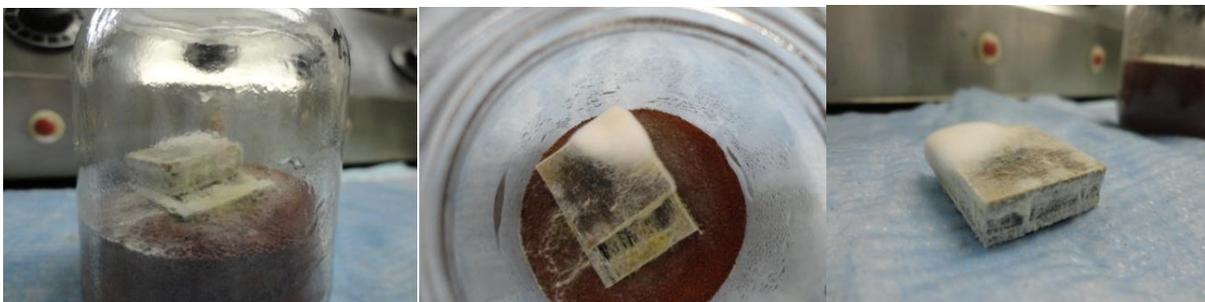


Figura 4: Corpos-de-prova submetidos ao ataque do fungo *G. trabeum*.

A partir da análise visual dos CPs submetidos ao ataque de ambos os fungos Figuras 3 e 4, pôde-se observar que o desenvolvimento do fungo *T. versicolor* ocorreu de forma mais rápida e intensa que o ocorrido pelo fungo *G. trabeum*. Eaton & Hale (1993) afirmam que o fungo *G. trabeum* apresenta um crescimento em períodos de repouso, o que explica o seu desenvolvimento ser mais lento.

Muitos autores têm encontrado que o tratamento termomecânico melhora consideravelmente a durabilidade da madeira. Porém, as condições dos tratamentos realizados neste estudo foram mais leves, o que justifica os resultados obtidos de moderadamente resistente e resistente. Jamsa e Viitaniemi (2001) afirmam que, para uma melhoria da

resistência biológica, o tratamento termomecânico deve ser aplicado, pelo menos, a 220°C durante 3 minutos.

A Figura 5 mostra os valores médios de perda de massa causada por cada um dos fungos *G. trabeum* e *T. versicolor* em análise, para cada um dos tratamentos termomecânicos aos quais foram submetidos as amostras de painéis produzidos a partir da madeira de amescla.

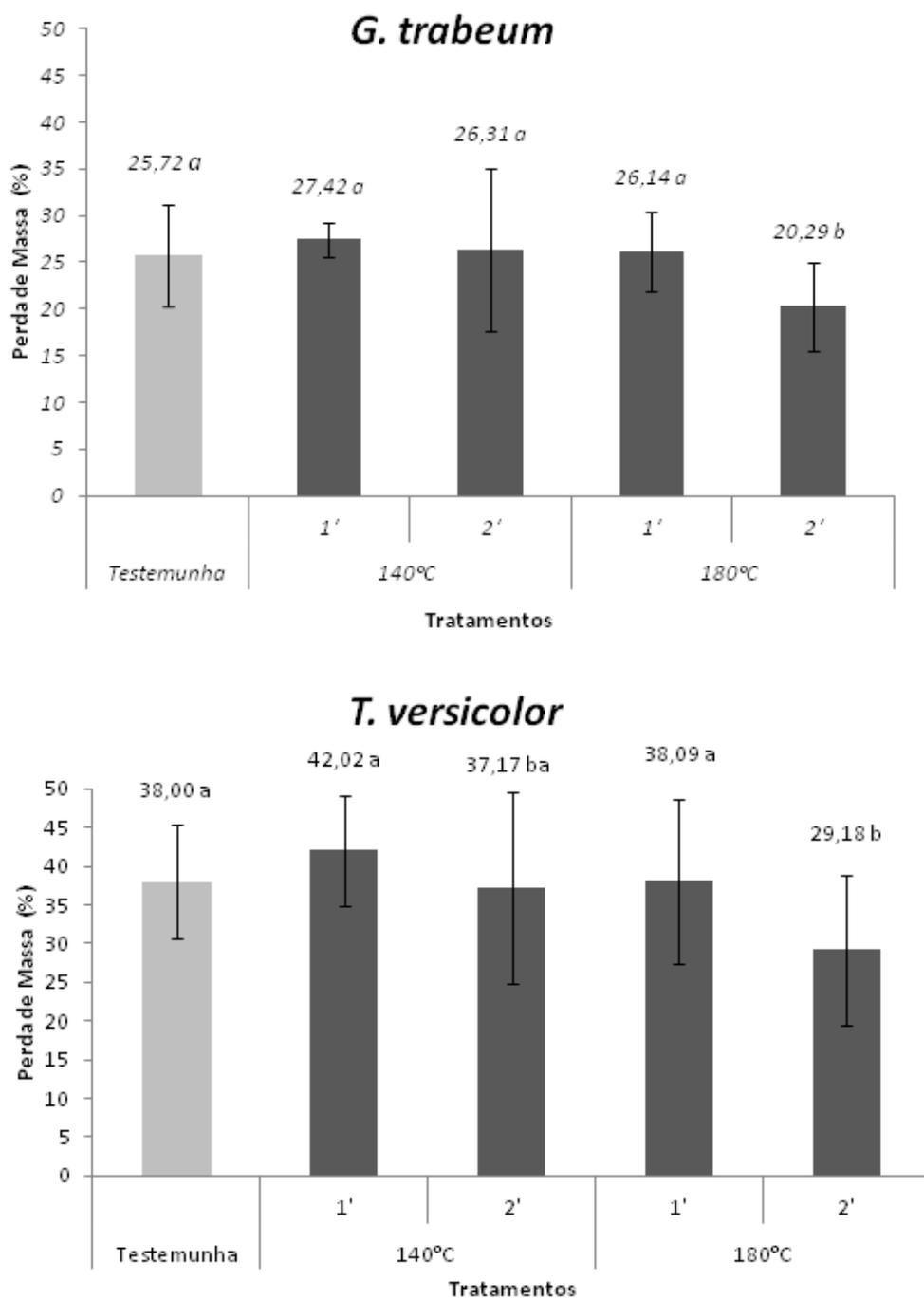


Figura 5 - Valores médios de perda de massa causada pelo fungo *Gloeophyllum trabeum* e *Trametes versicolor* para cada tipo de tratamento termomecânico. Letras iguais indicadas indicam equivalência estatística, a 5% de significância.

A partir da análise da Figura 5, onde são observados os valores médios de perda de massa causada pelo fungo *G. trabeum*, os CPs aos quais foram submetidos ao tratamento termomecânico T4, com os valores mais altos de temperatura e tempo, respectivamente 180° C e 2 minutos, influenciou em uma menor perda de massa causada pelo ataque do fungo, havendo diferença estatística para esse tratamento.

Da mesma forma, a análise da relação entre os valores médios de perda de massa devido ao ataque do fungo *T. versicolor*, é percebido também que o tratamento termomecânico T4, ao qual foram submetidos os valores de temperatura e de tempo mais altos, de 180°C e 2 minutos, demonstraram menores valores médios de perda de massa devido ao ataque biológico. Esses resultados vão de acordo com vários autores que afirmaram que valores altos de tempo e de temperatura contribuem com o aumento da durabilidade da madeira contra o ataque biológico.

- **Efeito da Temperatura e do Tempo**

A análise de variância demonstrou que a interação entre os tratamentos termomecânicos e o ataque dos fungos, assim como a interação entre as temperaturas e os tempos utilizados foram significativas a 5% de probabilidade.

A Figura 6 apresenta respectivamente, para os fungos *G. trabeum* e *T. versicolor*, os valores médios de perda de massa causada pela deterioração biológica, para cada temperatura e tempo utilizados no tratamento termomecânico.

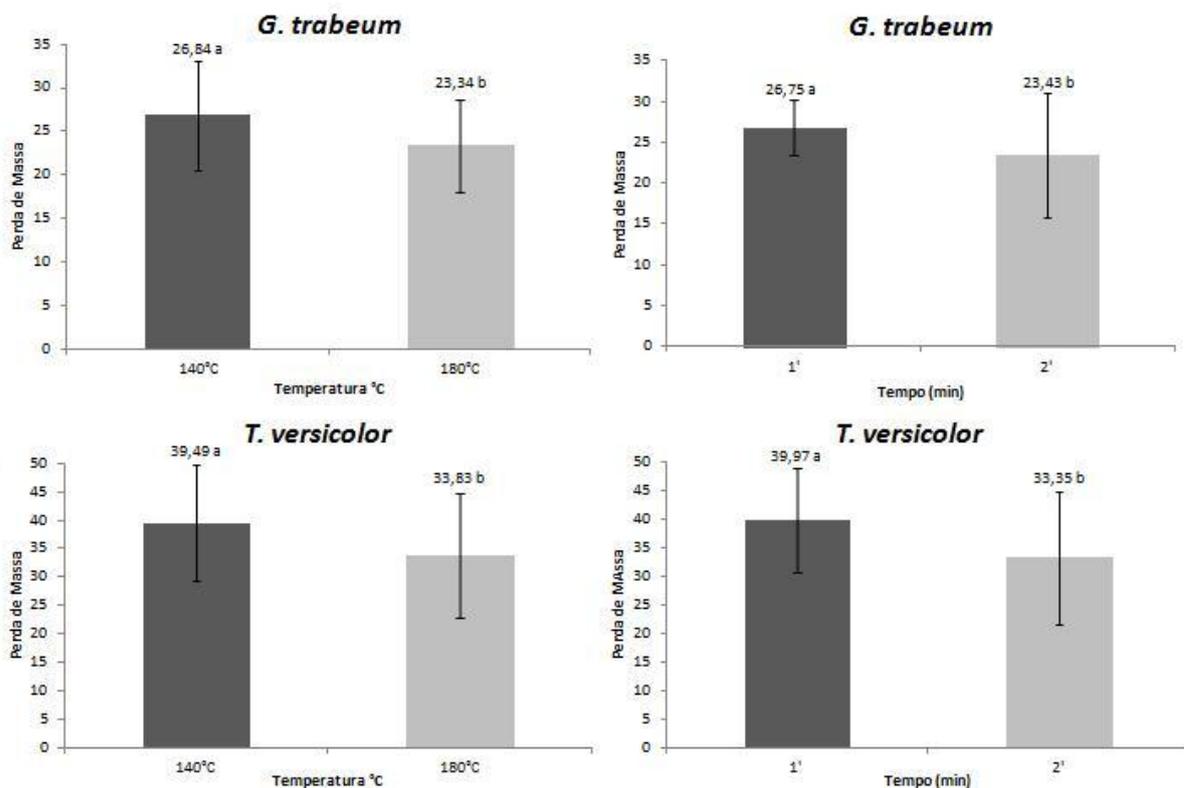


Figura 6 - Representação gráfica dos valores médios de perda de massa obtidos para as temperaturas e os tempos utilizados nos tratamentos térmicos. Letras iguais indicadas indicam equivalência estatística.

A partir da análise da Figura 6 é possível se observar que o tempo e a temperatura tiveram significativa influência no aumento da durabilidade dos CPs devido ao ataque dos fungos apodrecedores analisados neste estudo. Porém, no que se refere ao significativo aumento da resistência à deterioração biológica causada por fungos apodrecedores, Hakkou et al. (2006) observaram que temperaturas acima de 180°C aplicadas em tratamentos térmicos aumentaram a durabilidade da madeira de faia (*Fagus grandifolia*) contra o fungo *C. versicolor* e que ainda acima de 220°C houve esse aumento da durabilidade ainda maior. Os valores encontrados neste estudo, para as temperaturas e tempos utilizados no tratamento térmico, não indicaram um aumento significativo, já que segundo a classificação de acordo com a Norma ASTM D 2017 (2005), foram de moderadamente resistentes a resistentes.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados, verificou-se que para as amostras de painéis compensados, a partir da madeira de amescla, para ambos os fungos *G. trabeum* e *T. versicolor*, houve influencia significativa dos tratamentos termomecânicos aplicados. Sendo que a maior influência observada foi quanto à perda de massa causada pelo fungo *G. trabeum*, que diante da classificação quanto à resistência à biodeterioração, se mostrou resistente, para o tratamento de maior temperatura e tempo juntamente.

Conclui-se também que tanto a temperatura quanto o tempo tiveram influência significativa quanto à resistência biológica das amostras de painéis compensados de madeira de amescla (*Trattinnickia burseraefolia*). Verificou-se que a temperatura de 180°C juntamente com o tempo de dois minutos nos tratamentos termomecânicos realizados causou aumento da resistência à deterioração causada pelos fungos apodrecedores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKERHOLM, M.; SALMÉN, L., 2004. Softening of wood polymers induced by moisture studied by dynamic FTIR spectroscopy. *J. Appl. Polym. Sci.* 94: 2032–2040. ALVES, M. V. da S.; MENDES, A. de S. Biodegradação e Preservação da Madeira. Brasília: LPF, 2002. 41 p.

ARRUDA, L. M. (2012). Modificação Termomecânica da Madeira de amescla (*Trattinnickia burseraefolia* (Mart.) Willd.): Efeito sobre as Propriedades de Lâminas e Compensados. Dissertação de Mestrado. Publicação PPGEFL.DM – 174/2012. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília, Brasília, - DF, 108 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). Estudo Setorial 2008: Ano Base 2007. ABIMCI 2008.

BLANCHETTE, R.A. Delignification by wood-decay fungi. *Annual Review of Phytopatology*, v.29, p.381-398, 1991.

DEL MENEZZI, C. H. S.; SOUZA, R. Q.; THOMPSON, R. M.; TEIXEIRA, D. E.; OKINO, E. Y. A.; COSTA, A. F., 2008. Properties after weathering and decay resistance of a thermally modified wood structural board. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v.62, 448–454 p, 2008.

DEL MENEZZI, C. H. S.; TEIXEIRA D. E.; OKINO, E. Y. A., 2007. Post-Thermal Treatment of Oriented Strandboard (OSB) Made From Cypress (*Cupressus glauca* Lam.). *Maderas. Ciencia y tecnología* 9(3): 199-210 p, 2007.

EATON, R.A.; HALE, M.D.C. Wood: decay, pests and protection. London: Chapman & Hall, 1993. 546 p.

ESTEVEES, B. M.; PEREIRA, H. M. Wood Modification by Heat Treatment: A Review. *BioResources*, v. 4, n.1, p. 370-404, 2009.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. 508p.

HAKKOU, M., PÉTRISSANS, M., GÉRARDIN, P., ZOULALIAN, A., 2006. Investigations of reasons for fungal durability of heat-treated beech wood. *Polymer Degradation and Stability* 91, 393–397.

HUNT, G. M.; GARRAT, G. A. Wood preservation. 3. ed. New York : McGraw-Hill, 1967. 433 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE DE RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Banco de Dados de Madeiras Amazônicas. Laboratório de Produtos Florestais, Brasília-DF, 2001. Disponível em:<<http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira/introducao.htm>>. Acesso em: 25 jan. 2013.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL CAMPOS FILHO, E. M. (Org.). Guia de Identificação. Volume II, Coleção Plante as Árvores do Xingu e Araguaia. São Paulo: ISA, 2009. 304 p.

JAMSÄ, S. AND VIITANIEMI, P. (2001). Heat treatment of wood – better durability without chemicals. In: *Proceedings of the Special Seminar of COST Action E22*. Antibes, France, pp. 21-26.

KELLEY, S. S. Use of NIR and pyrolysis-MBMS coupled with multivariate analysis for detecting the chemical changes associated with brown-rot biodegradation of spruce wood. *FEMS Microbiology Letters*, Oxford, v. 209, n. 1, p.107-111, 2002.

KUROWSKA, A.; BORYSIUK, P.; MAMINSKI, M.; ZBIEC, M. Veneer Densification as a Tool for Shortening of Plywood Processing Time. *Drvna Industrija*, v. 61, n. 3, p. 193-196, 2010.

KUTNAR, A., KAMKE, F. A., and Sernek, M. 2009. Density profile and morphology of viscoelastic thermal compressed wood. *Wood Sci. Technol.* 43: 57–68.

LEPAGE, E. S. *Manual de Preservação de Madeiras*. São Paulo: IPT, 1986. v. 1. 342 p.

MATOSKI, S. L. S.; ROCHA, M. P. Influência do Fotoperíodo no Ataque de *Dinoderus minutus* Fabricius (Coleoptera: Bostrichidae) em Lâminas Torneadas de Espécies Tropicais. *Floresta*, v. 36, n. 3, p. 385-396, 2006.

MORSING, N. Densification of Wood The Influence of Hygrothermal Treatment on Compression of Beech Perpendicular to the Grain. THECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK, p. 1-145. 2000. (N. 79).

OLIVEIRA J. T. S. Influência dos Extrativos na Resistência ao Apodrecimento de Seis Espécies de Madeira. *Revista Árvore*. v. 29, n. 5. Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005.

SANTOS, Z. M. Avaliação da Durabilidade Natural da Madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill: Maiden em ensaios de laboratório. 1992. 75f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1992.

SANTOS, C. M. T.; DEL MENEZZI, C. H. S. Effect of Thermo-Mechanical Treatment on Natural Durability and Wettability of Wood from a Tropical Pine Species. *Proceedings of the Sixth European Conference on Wood Modification 2012*, Ljubljana, Slovenia. University of Brasília, Faculty of Technology, Department of Forest Engineering, Brasília, Brazil, p. 307-310, 2012.

SEABRIGHT, D. Eating away at the woodwork. *Asian Timber*, v.14, n.3, p.46-47, 1995.

STAMM, A. J.; CHIDESTER. *Yearbook of Agriculture 1943-1947 Part 5*. U.S. Department of Agriculture, 1947. Disponível em: <http://science-in-farming.library4farming.org/Part_5/New-Goods-From-Wood.html>. Acesso em: 26 jan. 2013.

TANAKA, H. Hydroxyl radical generation by an extracellular lowmolecular-weight substance and phenol oxidase activity during wood degradation by the white rot basidiomycete *Trametes versicolor*. *Journal of Biotechnology*, v. 75, n. 1, p. 57-70, 1999.

TEIXEIRA, D. E. Aglomerados de Bagaço de cana-de-açúcar: Resistência Natural ao Ataque de Fungos Apodrecedores. *Scientia Florestalis*. São Paulo: IPEF – Esalq. n.52, p. 29-34, 1997.

TJEERDSMA, B.F.; BOONSTRA, M.; MILITZ, H. Thermal modification of non-durable wood species 2. Improved wood properties of thermally treated wood. In: ANNUAL MEETING INTERNATIONAL RESEARCH GROUP ON WOOD PRESERVATION, 29, 1998, Separatas. Maastricht, 1998a. 10 f.

VERNOIS, M. Heat Treatment of Wood in France – State of the Art. In: Special Seminar of COST Action E22. 2001, Antibes, France. *Proceedings...* 2001.

XIE, Y.; LIU, Y.; SUN, Y. Heat-Treated Wood and Its Development in Europe. *Journal of Forestry Research*, v. 13, n. 3, p. 224-230, 2002.

APÊNDICE

A – ANÁLISE ESTATÍSTICA REFERENTE AO FUNGO *GLOEOPHYLLUM TRABEUM*.

TABELA A.1 – Estatística descritiva dos tratamentos térmicos em relação à perda de massa ocorrida devido ao ataque do fungo *G. trabeum*.

Tratamentos	Nº de Amostras	Média (%)	Desvio Padrão	Erro Padrão	Intervalo de Confiança de 95% para a média	
					Limite Inferior	Limite Superior
0	12	25,71	5,42	1,56	22,26	29,16
1	11	27,42	1,91	0,57	26,13	28,71
2	12	26,31	8,72	2,51	20,77	31,85
3	12	26,14	4,31	1,24	23,40	28,88
4	11	20,28	4,72	1,42	17,10	23,46
Total	58	25,22	5,88	0,77	23,67	26,76

TABELA A.2 – ANOVA

	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Fator F	Significância
Entre os Dois Grupos	348,669	4	87,167	2,842	0,033
Dentro dos Grupos	1625,454	53	30,669		
Total	1974,123	57			

B – ANÁLISE ESTATÍSTICA REFERENTE AO FUNGO *TRAMETES VERSICOLOR*.

TABELA B.1 – Estatística descritiva dos tratamentos térmicos em relação à perda de massa ocorrida devido ao ataque do fungo *T. versicolor*.

Tratamentos	Nº de Amostras	Média (%)	Desvio Padrão	Erro Padrão	Intervalo de Confiança de 95% para a média	
					Limite Inferior	Limite Superior
0	11	37,99	7,40	2,23	33,01	42,97
1	11	42,02	7,10	2,14	37,25	46,79
2	12	37,16	12,32	3,55	29,33	45,00
3	12	38,08	10,64	3,07	31,32	44,85
4	11	29,18	9,62	2,90	22,71	35,64
Total	57	36,91	10,24	1,35	34,19	39,63

TABELA B.2 – ANOVA

	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Fator F	Significância
Entre os Dois Grupos	974,490	4	243,622	2,586	0,048
Dentro dos Grupos	4899,207	52	94,216		
Total	5873,697	56			

C – ANÁLISE DE VARIÂNCIA UNIVARIADA REFERENTE AO FUNGO *GLOEOPHYLLUM TRABEUM*.

TABELA C – Estatística descritiva dos valores de temperatura e de tempo em relação à perda de massa ocorrida devido ao ataque do fungo *G. trabeum*.

Temperatura	Tempo	Média (%)	Desvio Padrão	Nº de Amostras
140	1	27,42	1,91	11
	2	26,31	8,72	12
	Total	26,84	6,32	23
180	1	26,14	4,31	12
	2	20,28	4,72	11
	Total	23,34	5,32	23
Total	1	26,75	3,37	23
	2	23,42	7,59	23
	Total	25,09	6,04	46

D – ANÁLISE DE VARIÂNCIA UNIVARIADA REFERENTE AO FUNGO *TRAMETES VERSICOLOR*.

TABELA D – Estatística descritiva dos valores de temperatura e de tempo em relação à perda de massa ocorrida devido ao ataque do fungo *T. versicolor*.

Temperatura	Tempo	Média (%)	Desvio Padrão	Nº de Amostras
140	1	42,02	7,10	11
	2	37,16	12,32	12
	Total	39,48	10,25	23
180	1	38,08	10,64	12
	2	29,18	9,62	11
	Total	33,83	10,93	23
Total	1	39,97	9,14	23
	2	33,34	11,60	23
	Total	36,65	10,86	46