

INFLUÊNCIA DA TERMORRETIFICAÇÃO NA RESISTÊNCIA A DEGRADAÇÃO BIOLÓGICA DAS MADEIRAS DE *Pinus taeda* E *Eucalyptus grandis*

THE INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON BIOLOGICAL DEGRADATION OF *Eucalyptus grandis* AND *Pinus taeda* WOOD

Karina Soares Modes¹ Elio José Santini² Magnos Alan Vivian³ Alencar Garlet⁴

RESUMO

A presente pesquisa objetivou investigar o efeito de duas técnicas de termorretificação nas propriedades biológicas das madeiras de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, comparando-as com os resultados obtidos para a madeira sem tratamento. De cada espécie foram amostradas três árvores com 25 anos, das quais se extraiu uma prancha central a altura do DAP para confecção de corpos de prova que foram submetidos aos tratamentos térmicos para, posteriormente, ser transformados em peças de 2,5 x 2,5 x 0,9 cm. No primeiro tratamento, as madeiras foram submetidas à termorretificação em autoclave a $130 \pm 3^\circ\text{C}$ e pressão de 2 kgf/cm², por 3 horas e, após um período de condicionamento, submetidas ao calor em estufa elétrica a $160 \pm 1^\circ\text{C}$ pelo mesmo período. O segundo tratamento consistiu apenas da termorretificação em estufa. A resistência ao ataque biológico foi avaliada por meio de ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório, utilizando um fungo de podridão-branca, *Trametes versicolor* (Linnaeus ex Fries) Pilat, e outro de podridão-parda *Gloeophyllum trabeum* (Persoon. ex Fries) Murr. O tratamento associado da autoclave com a estufa elétrica favoreceu o apodrecimento de ambas as espécies de madeira aos fungos empregados, com exceção da madeira de *Pinus taeda* submetida ao *Trametes versicolor*, enquanto o tratamento em estufa forneceu um aumento da resistência biológica da madeira de *Pinus taeda* ao *Trametes versicolor* e da madeira de *Eucalyptus grandis* ao fungo *Gloeophyllum trabeum*. De maneira geral, conclui-se que o tratamento em estufa resultou em peças de madeira mais resistentes à degradação biológica e em menor perda de massa em comparação com o tratamento associado da autoclave com a estufa, ao passo que este último quando aplicado a ambas as espécies resultou em um aumento na propensão das mesmas à degradação biológica.

Palavras-chave: biodegradação; retificação térmica; podridão-branca; podridão-parda.

ABSTRACT

This study investigated the effect of two thermal treatment technique on the biological properties of the wood of *Pinus taeda* L. and *Eucalyptus grandis* and W. Hill ex Maiden, comparing them with results obtained for the untreated wood. Of each species were sampled three trees at age 25, from where it drew a central plank height DBH for making test specimens were subjected to thermal treatments for later be transformed into pieces of 2.5 x 2.5 x 0.9 cm. In the first treatment the wood were subjected to thermal treatment by autoclaving at $130^\circ\text{C} / \pm 3^\circ\text{C}$ and pressure of 2 kgf /cm² for 3 hours and, after a conditioning period, subjected to heat in an electric oven at $160^\circ\text{C} / \pm 1^\circ\text{C}$ for the same period. The second treatment

1 Engenheira Florestal, Dr^a., Professora do Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Catarina, Rodovia Ulysses Gaboardi, km 3, CEP 89520-000, Curitibanos (SC), Brasil. karina.modes@ufsc.br

2 Engenheiro Florestal, Dr., Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. ejsantini@gmail.com

3 Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Catarina, Rodovia Ulysses Gaboardi, km 3, CEP 89520-000, Curitibanos (SC), Brasil. magnos.alan@ufsc.br

4 Engenheiro Florestal, Analista Ambiental, Laboratório de Produtos Florestais, Serviço Florestal Brasileiro, CEP 70818-900, Brasília (DF), Brasil. alencar.garlet@ibama.gov.br

consisted of only heat treatment by kiln. Resistance to biological attack was evaluated by accelerated decay test in the laboratory, using a white-rot fungus, *Trametes versicolor* (Linnaeus ex Fries) Pilat and other brown rot *Gloeophyllum trabeum* (Persoon. ex Fries) Murr. The combined treatment of the autoclave with electric oven favored the decay of both species of wood fungi employees, except for *Pinus taeda* submitted to the fungus *Trametes versicolor*, while treatment in an oven provided increase biological resistance of *Pinus taeda* wood fungus *Trametes versicolor* and of *Eucalyptus grandis* fungus *Gloeophyllum trabeum*. In general it is concluded that treatment in an oven resulted in more resistant to biological degradation and lower weight loss compared with the combined treatment of the autoclave with electric oven while the latter when applied to both species resulted in an increase in the propensity of biological degradation.

Keywords: biodegradation; heat treatment; white rot; brown rot.

INTRODUÇÃO

A madeira pode apresentar restrições de uso, dependendo da sua utilização final, devido a algumas propriedades intrínsecas, como higroscopicidade, anisotropia e susceptibilidade ao ataque biológico.

Nesse sentido, de acordo com Mohebbi e Sanaei (2005), diferentes técnicas têm sido estudadas ou usadas com objetivo de modificar algumas propriedades da madeira, sendo o tratamento térmico considerado um dos métodos mais antigos, de fácil aplicação e de baixo custo, diminuindo a higroscopicidade e aumentando a estabilidade dimensional e resistência biológica.

Segundo Silva (2006), a termorretificação utiliza apenas calor e consiste em expor a madeira a temperaturas elevadas (120° a 200°C), sem provocar a degradação dos componentes químicos fundamentais. Esses componentes, tais como a celulose e principalmente as hemiceluloses, por serem os mais sensíveis à ação do calor, sofrem modificações parciais em sua constituição, resultando na obtenção de um produto sólido, com características diferenciadas, quando comparado com madeira em condições normais, algumas delas podendo tornar-se desejáveis para aplicações diferenciadas da madeira (BRITO et al., 2006).

Nesse sentido, o tratamento térmico da madeira surge como alternativa para melhorar a utilização de madeiras consideradas inapropriadas para determinadas finalidades, proporcionando mais usos e ampliando seu potencial econômico, questão na qual se enquadram as madeiras dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, que estão mais disponíveis em escala comercial, mas apresentam limitações na obtenção de multiprodutos devido à inadequação de uma ou mais propriedades para um fim específico.

Os benefícios do tratamento térmico sobre a resistência ao apodrecimento da madeira têm sido relatados por muitos autores. De acordo com Weiland e Guyonnet (2003), existem duas razões principais para esse aumento de durabilidade: o tratamento térmico promove formação de novas substâncias que atuam como biocida, modificando o substrato que passa a não ser mais reconhecido pelos fungos; e a degradação das hemiceluloses, a principal fonte de alimento dos fungos. Entretanto, para Silva, Machado e Gomes Junior (2008), o aumento da durabilidade da madeira tratada termicamente contra fungos pode ser explicada por quatro razões: geração de novos extrativos que podem atuar como fungicidas; modificação química da celulose, hemiceluloses, polissacarídeos e lignina da madeira, que leva a uma inibição das enzimas digestivas dos fungos; degradação significativa das hemiceluloses que constituem uma das principais fontes de nutrientes para os fungos; e aumento de propriedades hidrofóbicas da madeira, que reduz a absorção de água e não favorece o desenvolvimento de certos fungos.

Para Pincelli, Brito e Corrente (2002), a ação do calor sobre a madeira em vários processamentos pode se dar de forma mais ou menos intensa, de acordo com transformações estruturais necessárias pelos constituintes da madeira. No entanto, nem sempre o calor é o único responsável pelas modificações sofridas pela madeira, já que o grau de transformações dos seus polímeros e, conseqüentemente, dos efeitos atribuídos à termorretificação é, de acordo com Korkut e Bektas (2008), dependente da espécie de madeira, da umidade inicial, da atmosfera circundante e do tempo de exposição à temperatura máxima utilizada.

No que se refere à atmosfera circundante no decorrer do processo, Wangaard (1950) cita que o comportamento da degradação da madeira é diferenciado, conforme o meio de aquecimento utilizado. Na presença de vapor, a madeira pode ser mais facilmente degradada do que na presença de água líquida, que, por sua vez, é maior que a degradação em função apenas da temperatura, isso porque a celulose e as hemiceluloses são despolimerizadas via hidrólise na presença da água, sendo esta a principal causa de perda

da resistência das mesmas à degradação.

O resultado da termorretificação é altamente dependente da presença de oxigênio e água. A presença de oxigênio promove reações de oxidação, o qual podem ser prevenidas pelo tratamento em atmosfera inerte como óleo, nitrogênio, água ou vapor (JOHANSSON, 2008).

Segundo Severo e Tomaselli (2003), uma alta umidade relativa provoca degradação da madeira predominantemente por hidrólise ácida. Nesse caso, a taxa de degradação é maior em comparação a degradação térmica ou pirolítica. Na primeira, a água faz com que sejam quebrados os grupos acetilas, com a formação de ácido acético, responsável pela degradação da madeira. Deve-se, no entanto, considerar que o excesso de água reduz a quantidade de oxigênio no ar, podendo retardar a reação da hidrólise.

As pesquisas desenvolvidas no Brasil sobre o assunto ainda são bastante incipientes e existem poucos trabalhos avaliando a interação de diferentes temperaturas e tempos de tratamento sobre as propriedades da madeira, além de outros parâmetros relativos ao processo, podendo-se citar os trabalhos de Brito et al. (2006) e Pincelli, Brito e Corrente (2002). O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da termorretificação sob a combinação do uso de autoclave e estufa elétrica e com uso de apenas uma estufa elétrica sobre a resistência das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis* em ensaio de apodrecimento acelerado sob a ação de fungos de podridão-branca e parda.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção e preparo do material

As madeiras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Pinus taeda* L. foram obtidas de plantios pertencentes à Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – FEPAGRO Florestas, localizada em Boca do Monte, distrito de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

Para cada espécie foram amostradas três árvores, com aproximadamente 25 anos de idade e, de cada uma, foi retirada uma prancha central na altura do DAP, para confecção de corpos de prova com dimensões de 2,5 x 2,5 x 40 cm. Estas peças, após condicionamento em câmara climática a 20°C de temperatura e 65% de umidade relativa do ar (UR), foram submetidas a duas metodologias de termorretificação: na primeira, a madeira foi tratada previamente em autoclave e, após um período de climatização, submetida ao tratamento em estufa, na segunda, a madeira foi tratada apenas em estufa, enquanto no tratamento testemunha, a madeira permaneceu apenas sob condicionamento.

A variação da temperatura em função do tempo dos diferentes tratamentos é ilustrada na Figura 1. O tempo dos tratamentos começou a ser contabilizado a partir do momento que a temperatura requerida foi atingida.

Para a condução da termorretificação da madeira utilizou-se uma autoclave de laboratório com dimensões internas aproximadas de 79 x 85 x 125 cm (capacidade de 225 l), e uma estufa elétrica com circulação de ar e controle digital de temperatura. Depois de submetidos aos tratamentos de termorretificação eliminaram-se os primeiros 10 cm de cada extremidade das peças e o restante do material foi resserado no sentido longitudinal para obtenção de corpos de prova com dimensões 2,5 x 2,5 x 0,9 cm. Posteriormente, todo o material foi condicionado em câmara climática até o equilíbrio higroscópico, e depois submetido aos ensaios de resistência biológica.

Preparação do experimento e condições de ensaio

O ensaio de apodrecimento acelerado foi conduzido no Setor de Biodegradação e Preservação da Madeira do Laboratório de Produtos Florestais do IBAMA (LPF), em Brasília, Distrito Federal, seguindo a metodologia proposta pela norma ASTM D 2017 (2005).

Para cada tratamento foram utilizadas 36 peças, sendo 12 para avaliação de resistência a fungo de podridão-branca (*Trametes versicolor* (Linnaeus ex Fries) Pilat), 12 para fungo de podridão-parda (*Gloeophyllum trabeum* (Persoon. ex Fries) Murr.) e 12 blocos de correção. Esses últimos foram introduzidos em frascos de ensaio sem inoculação de fungos e receberam o mesmo tratamento e manipulação dos demais, para determinar a perda de massa não atribuída à ação dos fungos.

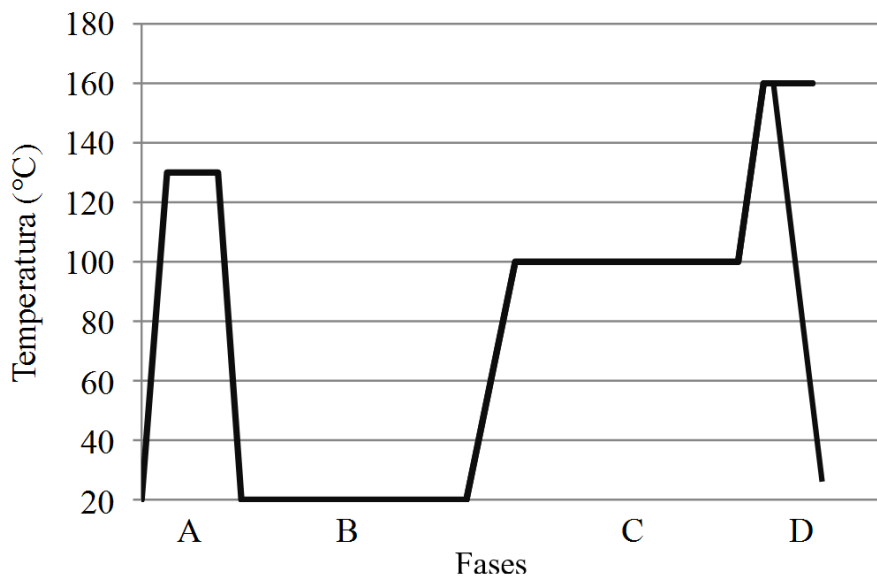


FIGURA 1: Fases dos tratamentos de termorretificação combinando autoclave e estufa e apenas em estufa.

(A) Tratamento de termorretificação em autoclave a temperatura de $130 \pm 3^\circ\text{C}$ e pressão de 2 kgf/cm^2 por 3 horas; (B) Período de condicionamento em câmara climatizada a 20°C 65% UR até peso constante; (C) Secagem prévia em estufa a $100 \pm 1^\circ\text{C}$ por 24 horas; (D) Tratamento de termorretificação em estufa elétrica a $160 \pm 1^\circ\text{C}$ por 3 horas; A + B + C + D = Tratamento associando autoclave e estufa; B+C+D = Tratamento em estufa;

FIGURE 1: Stages of heat treatment with electric oven and autoclave and only electric oven. (A) Treatment in an autoclave at a temperature of $130 \pm 3^\circ\text{C}$ and pressure of 2 kgf/cm^2 for 3 hours; (B) period of conditioning in an incubator at 20°C 65% RH to constant weight; (C) Previous drying in an oven at $100 \pm 1^\circ\text{C}$ for 24 hours; (D) Treatment in an electric oven at $160 \pm 1^\circ\text{C}$ for 3 hours; A + B + C + D = Treatment associating autoclave and electric oven; B+C+D = Treatment in oven;

Para verificação do vigor vegetativo das culturas fúngicas utilizadas no ensaio e das condições de incubação foram utilizados 16 corpos de prova de pinus (*Pinus* sp.) como espécie de referência para o fungo *Gloeophyllum trabeum* e 16 corpos de prova de embaúba (*Cecropia* sp.) para o fungo *Trametes versicolor*. Esses corpos de prova tinham dimensões de $2,5 \times 2,5 \times 0,9 \text{ cm}$. Segundo ASTM (2005), o teste é considerado válido somente quando o fungo provocar perda de massa de pelo menos 50% sobre a espécie de referência, em um período de até 16 semanas.

Antes da inoculação com os fungos, os corpos de prova foram acondicionados em estufa com circulação forçada de ar a 50°C , até atingir massa constante. Posteriormente foram pesados em balança analítica com precisão de $0,0001\text{g}$ e o resultado registrado como massa inicial (*mi*). Após a pesagem inicial os corpos de prova foram esterilizados em autoclave a 121°C por 45 minutos.

Os fungos utilizados, provenientes da coleção do LPF, foram cultivados em placas de petri descartáveis, contendo malte sólido como meio de cultura, preparado na concentração de 30 g de extrato de malte e 17 g de ágar bacteriológico para 1 litro de água deionizada. Após crescimento do micélio, estes serviram como fonte de inóculo para as culturas em meio líquido, contendo 200 mL de meio malte líquido a 3% para cada espécie de fungo, que permaneceram na incubadora até o micélio recobrir totalmente a superfície do meio de cultura.

No momento da inoculação dos frascos de ensaio, o meio de cultura foi drenado e o micélio transferido para a jarra de um liquidificador doméstico para fragmentação, acrescentando-se 500 mL de meio malte líquido a 3%.

Inoculação dos fungos

As câmaras de incubação consistiram em frascos de vidro transparente, 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.

Em cada frasco de ensaio foi adicionada, sobre o substrato de solo, uma placa de suporte de 33 x 29 x 3 mm para o desenvolvimento inicial do fungo. Para o cultivo dos fungos *Gloeophyllum trabeum* e *Trametes versicolor*, foram utilizadas, respectivamente, placas de suporte de pinus e embaúba. 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 de suporte. Após a inoculação, os frascos permaneceram na incubadora por duas semanas, para o crescimento do micélio sobre a placa de suporte.

Após a colonização das placas suporte, introduziu-se um corpo de prova em cada frasco de ensaio. Os corpos de prova permaneceram na incubadora por 12 semanas em contato com os fungos com temperatura ajustadas para 26 (± 1)°C e umidade relativa de 70 (± 5)%.

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 do pré-ensaio, e pesados novamente, após atingirem massa constante, para obtenção da massa final (*mf*).

O grau de resistência natural individual de cada corpo de prova foi determinado em função da perda de massa (PM). A resistência natural ao apodrecimento foi determinada em termos da média de percentagem de perda de massa, por meio da Equação 1.

$$PM = ((mi - mf)/mi) \times 100 \quad (1)$$

Em que: *PM* = Perda de massa, em %; *mi* = Massa inicial seca a 50°C (antes da exposição ao fungo), em g; *mf* = Massa final seca a 50°C (após a exposição ao fungo), em g.

A perda de massa média final de cada tratamento por espécie foi calculada conforme a Equação 2, levando em consideração os resultados obtidos para os blocos de correção.

$$PMF = PM - PMbc \quad (2)$$

Em que: *PMF* = Perda de massa final, em %; *PM* = Perda de massa, em %; *PMbc* = Perda de massa dos blocos de correção, em %.

Com base nos resultados, classificou-se o material ensaiado de acordo com os intervalos de perda de massa média apresentados na Tabela 1 (2005).

TABELA 1: Classes de resistência da madeira a fungos xilófagos (ASTM D 2017 (2005)).

TABLE 1: Classes of resistance of the wood by fungi (ASTM D 2017 (2005)).

Classes de resistência	Perda de massa	Massa residual
	(%)	(%)
Muito Resistente (MR)	0 – 10	90 – 100
Resistente (R)	11 – 24	76 – 89
Resistência Moderada (RM)	25 – 44	56 – 75
Não Resistente (NR)	≥ 45	≤ 55

Análise estatística

Na montagem do experimento empregou-se o delineamento inteiramente casualizado. Os valores de perda de massa por espécie, tratamento e tipo de fungo utilizado foram inseridos no delineamento proposto e serviram para verificar a existência de diferenças significativas, pelo teste de F. Para as fontes de variação significativas, foi aplicado o teste de Tukey a 95% de significância. Foi verificada também a interação entre as variáveis envolvidas no tratamento a partir do seguinte arranjo fatorial: espécie, com dois níveis (*Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*), tratamento, com três níveis (associação entre autoclave e estufa, apenas estufa e madeira sem tratamento), e fungo apodrecedor com dois níveis (*Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*).

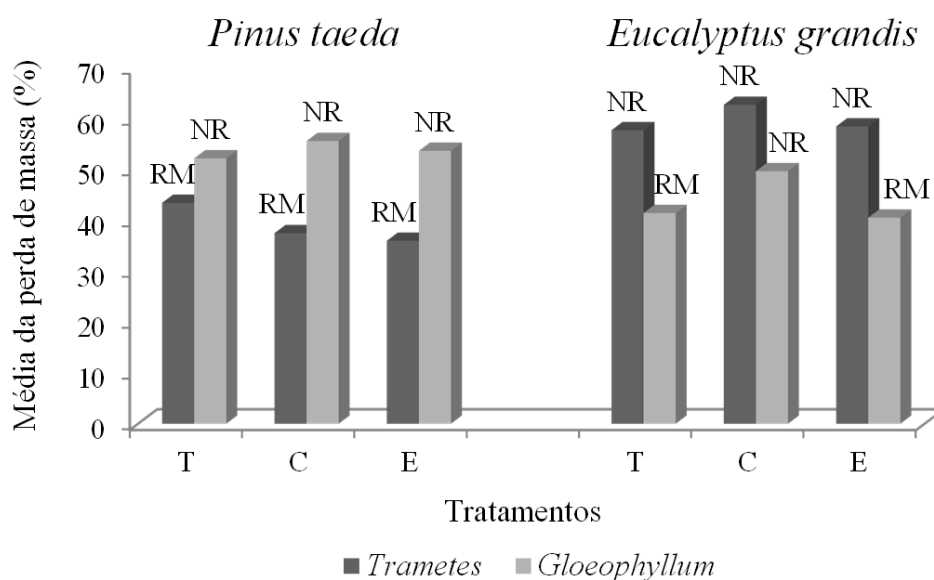


FIGURA 2: Perda de massa média de madeiras com e sem tratamento térmico e respectiva classificação da resistência à degradação biológica. (T = Testemunha; C = associação de autoclave e estufa; E = Estufa; RM = resistência moderada; NR = não resistente).

FIGURE 2: Average mass loss of wood with and without heat treatment and their ranking of resistance to biological degradation. (T = control; C = Combination, E = Oven; RM = moderate resistance; NR = not resistant).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na avaliação dos testes de apodrecimento acelerado verificou-se que a perda de massa nas madeiras de referência foi de 58,67% para a embaúba, causada pelo fungo *Trametes versicolor* e de 62,55% para o 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 (2005). Estes resultados atestaram que as condições gerais de ensaios foram favoráveis ao crescimento dos fungos e que as culturas empregadas estavam em pleno vigor vegetativo, validando os resultados do presente trabalho.

A Figura 2 mostra as médias de perda de massa registradas pelas madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*, durante o ensaio de apodrecimento acelerado com os fungos de podridão-branca (*Trametes versicolor*) e de podridão-parda (*Gloeophyllum trabeum*), para os dois tratamentos e a testemunha.

Observou-se que independentemente do tratamento térmico aplicado, na madeira de eucalipto, as maiores perdas de massa foram causadas pelo fungo *Trametes versicolor*, enquanto na madeira de pinus, as maiores perdas de massa foram provocadas pelo fungo *Gloeophyllum trabeum*. Segundo Martínez et al. (2005), essas são devidas ao melhor desenvolvimento de fungos de podridão-branca em madeiras de folhosas, enquanto fungos de podridão-parda causam maiores perdas de massa em coníferas.

Observou-se que na madeira de *Pinus taeda*, o fungo *Trametes versicolor* provocou as maiores perdas de massa nas amostras-testemunhas, com uma perda de massa de 43,46%, mostrando que os tratamentos térmicos aplicados foram eficientes no aumento da resistência das madeiras à degradação biológica, principalmente pelo tratamento em estufa que promoveu um aumento na resistência biológica das peças em 17,19 %, cujos valores demonstraram diferença estatística significativa com a testemunha. Já para o tratamento associando ao uso da autoclave com estufa, essa resistência foi agregada na ordem de 13,76%. Estes resultados estão de acordo com os registrados por Stamm (1956) que verificou que a madeira aquecida em atmosfera com a presença de oxigênio é degradada mais rapidamente que a madeira aquecida em atmosfera livre deste, devido às reações de oxidação. Esteves, Domingos e Pereira (2008) explicam que isso acontece porque o ácido acético, produzido nesse processo, atua como um catalizador das reações de despolimerização.

Quanto à perda de massa da madeira de *Pinus taeda* frente ao apodrecimento causado pelo fungo *Gloeophyllum trabeum*, observou-se que os tratamentos térmicos, ao contrário, promoveram uma menor resistência biológica, com efeito mais pronunciado no tratamento associando autoclave com estufa, no qual as peças de madeira tiveram sua resistência reduzida em 6,53%, seguido do tratamento em estufa, no qual a redução da resistência biológica foi de 2,83%. Da mesma forma, Doi et al. (2005) constataram a mesma susceptibilidade com a madeira de *Larix leptolepis* ao apodrecimento pelo fungo de podridão-parda *Fomitopsis palustris*, depois de tratada a 120 e 130°C, por 48 h a seco e na presença de vapor. Os autores explicaram que isso possivelmente tenha ocorrido devido à produção de fragmentos de açúcares de baixo peso molecular, quando da degradação das hemiceluloses durante os processos a alta temperatura, incluindo o tratamento com vapor.

Com relação à madeira de *Eucalyptus grandis* e sua interação com o fungo *Trametes versicolor*, constatou-se um aumento da perda de massa das peças tratadas termicamente para ambas as metodologias testadas, principalmente para o tratamento associando uso da autoclave com estufa, o que sugere uma maior propensão dessa espécie ao apodrecimento. Para esse fungo, o tratamento associando autoclave com estufa forneceu uma resistência inferior à testemunha em 8,64%, passando no tratamento em estufa, a uma resistência inferior em 1,30%. Na interação do fungo *Gloeophyllum trabeum* com a madeira tratada pelo método associando autoclave com estufa, o tratamento térmico favoreceu a degradação em 19,83%, de tal forma que a madeira passou de moderadamente resistente (MR) a não resistente (NR), conforme classificação da norma ASTM D-2017 (2005). Em contrapartida, o tratamento em estufa aumentou a resistência biológica das peças tratadas em 2,22%, em comparação com a madeira sem tratamento.

O mesmo efeito do tratamento térmico foi constatado por Prates, Costa e Garlet (2008). Os autores, ao submeterem madeiras de marupá, louro-vermelho e jequitibá-rosa à temperatura de 150°C e em seguida ao apodrecimento acelerado com os mesmos fungos utilizados no presente estudo, observaram que os tratamentos térmicos tornaram a madeira de louro-vermelho mais susceptível ao ataque do fungo

TABELA 2: Análise de variância da perda de massa (g) das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis* para os tratamentos em estufa, combinado e testemunha em função dos fungos *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*.

TABLE 2: Analysis of variance of weight loss (g) of the wood of *Pinus taeda* and *Eucalyptus grandis* for the treatments in the oven, combined and control according to the witness fungi *Trametes versicolor* and *Gloeophyllum trabeum*.

Fator de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F
Espécie	1	969,75	10,32**
Tratamento	2	221,12	2,35ns
Fungo	1	10,77	0,11ns
Espécie x Tratamento	2	172,02	1,83ns
Espécie x Fungo	1	8331,88	88,66**
Tratamento x Fungo	2	132,33	1,40ns
Espécie x Tratamento x Fungo	2	95,14	1,01ns
Resíduo	132	93,96	
Média geral		48,52	
Coefficiente de variação		19,97	

Em que: ** = Significativo a 1% de probabilidade de erro; ns = não significativo

TABELA 3: Comparações múltiplas entre médias, pelo teste de Tukey, para a perda de massa (g) das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*.

TABLE 3: Multiple comparisons among means by Tukey test for the mass loss (g) of the wood of *Pinus taeda* and *Eucalyptus grandis*.

Espécie	Efeito da espécie na perda de massa (g) por fungo	
	Fungo	
	<i>Trametes versicolor</i>	<i>Gloeophyllum trabeum</i>
<i>Pinus taeda</i>	38,59 bB	53,26 aA
<i>Eucalyptus grandis</i>	58,99 aA	43,23 bB

Em que: Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na horizontal, ou pela mesma letra minúscula, na vertical, não diferem entre si a 5% de probabilidade.

Trametes versicolor, sendo que para as demais espécies, não aumentaram de forma significativa a resistência contra o apodrecimento pelos dois fungos, quando comparados com as amostras não tratadas termicamente.

O resumo da análise de variância da perda de massa, para as duas espécies de madeira utilizadas é apresentado na Tabela 2. Já a comparação de médias da interação dos fatores por Tukey a 5% é mostrada na Tabela 3.

Observou-se pela Tabela 2 que a perda de massa entre as espécies de madeira foi significativa, desconsiderando o efeito dos tratamentos de termorretificação e tipo de fungo empregado. A interação espécie x fungo empregado também foi significativa. Neste caso, a espécie de madeira considerada conduziu a maior ou menor degradação pelos fungos, também não existindo influência dos tratamentos sobre este processo.

A comparação de médias apresentada na Tabela 3 mostrou que os resultados de perda de massa diferiram entre as espécies de madeira para o mesmo fungo apodrecedor e dentro da mesma espécie submetida à ação dos dois diferentes fungos.

CONCLUSÕES

Os tratamentos térmicos foram eficientes na redução da degradação biológica da madeira de *Pinus taeda* pelo fungo *Trametes versicolor*, principalmente no tratamento em estufa, mas favoreceram

o apodrecimento da madeira pelo fungo *Gloeophyllum trabeum*, sendo este efeito mais pronunciado no tratamento associando autoclave e estufa.

Os tratamentos térmicos favoreceram a degradação da madeira de *Eucalyptus grandis* pelo fungo *Trametes versicolor*, principalmente no tratamento associando autoclave e estufa, mas o tratamento em estufa aumentou a resistência biológica ao fungo *Gloeophyllum trabeum*.

De maneira geral, a termorreificação executada apenas em estufa resultou em menor degradação das madeiras utilizadas quando comparada ao tratamento associando autoclave e estufa elétrica.

Os tratamentos de termorreificação somente em estufa e associados à utilização de autoclave podem ser indicados para o tratamento da madeira de *Pinus taeda* quando exposta a condições que propiciem sua degradação biológica pelo fungo *Trametes versicolor*.

Para a madeira de *Eucalyptus grandis*, o tratamento em estufa pode ser indicado para tratamento da mesma em condições nas quais estará exposta a ação do fungo *Gloeophyllum trabeum*.

Em estudos futuros, sugere-se aplicar no tratamento em estufa a mesma temperatura usada na etapa de autoclave, a fim de se avaliar melhor o efeito deste tratamento sobre a degradação biológica da madeira.

AGRADECIMENTOS

Ao laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro em Brasília - DF, em especial ao engenheiro Florestal Alencar Garlet, pela condução do ensaio de apodrecimento acelerado.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 2017**. Standard method for accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods. Philadelphia, 2005. 5 p.
- BRITO, J. O. et al. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* submetida a diferentes temperaturas de termorreificação. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 182-188, 2006.
- DOI, S. et al. Changes of decay and termite durabilities of Japanese larch (*Larix leptolepis*) wood due to high temperature kiln drying processes. **Journal of Wood Science**, Japan, v. 51, n. 5, p. 526-530, 2005.
- ESTEVES, B. M.; DOMINGOS, I. L.; PEREIRA, H. M. Pine wood modification by heat treatment in air. **BioResources**, Amsterdã, v. 3, n. 1, p. 142-154, 2008.
- JOHANSSON, D. **Heat treatment of solid wood: effects on absorption, strength and colour**. 2008. 142 f. Doctoral thesis (Divisions of wood Physics) – Lulea University of Technology, Sweden, 2008.
- KORKUT, S.; BEKTAS, I. The effects of heat treatment on physical properties of Uludag fir (*Abies bornmuelleriana* mattf.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood. **Forest Products Journal**, Madison, v. 58, n. 3, p. 95-99, 2008.
- MARTÍNEZ, A. T. et al. Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin. **International Microbiology**, New York, v. 8, n. 3, p. 195-204, 2005. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16200498>>. Acesso em: 3 jan. 2010.
- MOHEBBY, B.; SANAELI, I. Influences of the hydro-thermal treatment on physical properties of beech Wood (*Fagus orientalis*). In: ANNUAL MEETING BANGALORE, 36., 2005, India. **Anais eletrônicos...** India: Tarbiat Modarress University, 2005. Disponível em: <<http://www.modares.ac.ir/file/IRG05-Mohebbyp=UxFL0ISRzA1LU1vaGViYnkucGRmLjI1NDY4MV9QQVRI&n=SVJHMDUfTW9oZWJieS5wZGY->>>. Acesso em: 25 dez. 2009.
- PINCELLI, A. L. P. S. M.; BRITO, J. O.; CORRENTE, J. E. Avaliação da termorreificação sobre a colagem da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 1, n. 61, p. 122-132, 2002.
- PRATES, E. M. B.; COSTA, A. F.; GARLET, A. Efeito de tratamentos térmicos sobre a resistência biológica da madeira de marupá, louro vermelho e jequitibá rosa. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 15., 2008, Brasília. **Anais eletrônicos...** Brasília: UnB, 2008. Disponível em: <http://www.unb.br/administracao/decanatos/dpp/pibic/Programacao_de_Iniciacao_cientifica_2009.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2010.
- SEVERO, E. T. D.; TOMASELLI, I. Efeito do tratamento de vaporização em toras e madeira serrada de

Eucalyptus dunnii sobre a flexão estática. **Floresta**, Curitiba, v. 29, n. 3, p. 37-51, 2003.

SILVA, M. R.; MACHADO, G. O.; GOMES JUNIOR, C. C. Efeito do tratamento térmico nas propriedades mecânicas de *Pinus elliotti*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11., 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: UEL; EBRAMEM, 2008.

SILVA, P. H. M. Tratamentos prolongam uso da madeira. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 17, n. 100, p. 78 – 80, 2006.

STAMM, A. J. Thermal degradation of wood and cellulose. **Industrial and Engineering Chemistry**, Amsterdã, v. 48, n. 3, p. 413-417, 1956.

WANGAARD, F. F. **The mechanical properties of wood**. London: Chapman & Hall, 1950. 377 p.

WEILAND, J.; GUYONNET, R. Study of chemical modifications and fungi degradation of thermally modified wood using DRIFT spectroscopy. **Holz Roh-Werkst**, New York, n. 61, p. 216-220, 2003.