

VARIAÇÃO DIMENSIONAL DAS TÁBUAS DE *Eucalyptus grandis* DURANTE ALGUNS NÍVEIS DE TEMPO E TEMPERATURA DE TERMORRETIFICAÇÃO¹

FRED WILLIANS CALONEGO² & ELIAS TAYLOR DURGANTE SEVERO³

RESUMO: O presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do tempo e da temperatura de termorretificação na variação em espessura das tábuas de *Eucalyptus grandis*. Para tanto, foram utilizadas tábuas provenientes de toras de *Eucalyptus grandis*, com cerca de 30 anos de idade, da Floresta Estadual de Santa Bárbara, pertencente ao Instituto Florestal do Estado de São Paulo. Cada tábua foi seccionada de modo a fornecer peças destinadas para a termorretificação, com temperaturas finais de 180°C e 200°C durante 2,5, 3,0 e 4,0 horas. Os resultados mostraram que: (1) o material termorretificado com 200°C durante 3 a 4 horas apresentou aumento da espessura entre 0,698 mm e 0,874 mm devido ao surgimento de rachaduras internas; (2) o material termorretificado com 180°C durante 2,5 horas apresentou diminuição de 0,177 mm na sua espessura e não ocorreu presença de rachaduras internas.

Palavras-chave: Termorretificação da madeira, Rachaduras internas, *Eucalyptus grandis*.

¹ Trabalho extraído de tese defendida no Programa de Pós-graduação em Agronomia - Energia na Agricultura;

² Engenheiro Florestal Dr., Departamento de Recursos Naturais/Ciências Florestais, Universidade Estadual Paulista, Fazenda Experimental Lageado, s/n – Caixa Postal 237 – Botucatu, SP – CEP 18603-970, e-mail: fwcalonego@ig.com.br

³ Professor Adjunto, Departamento de Recursos Naturais/Ciências Florestais, Universidade Estadual Paulista, Fazenda Experimental Lageado, s/n – Caixa Postal 237 – Botucatu, SP – CEP 18603-970, e-mail: severo@fca.unesp.br

DIMENSIONAL CHANGE OF EUCALYPTUS GRANDIS TIMBER DURING SOME LEVELS OF RETIFICATION TEMPERATURE AND TIME

SUMMARY: *The objective of this study was evaluate the effects of retification[®] temperatures and times on thickness variation from Eucalyptus grandis timber. Boards from logs of 30-year-old Eucalyptus grandis trees, from São Paulo Forest Institute in Santa Barbara, Brazil, were thermally modified at 180°C for 2.5 hours, at 200°C for 3.0 hours and 200°C for 4.0 hours. The results showed that: (1) the thermally modified wood at 200°C by 3.0 to 4.0 hours showed increased thickness between 0.698 mm and 0.874 mm due to the internal cracks, (2) the thermally modified wood at 180°C by 2.5 hours has a decreased from 0,177 mm in thickness and the absences of internal cracks.*

Keywords: *Retification[®]; Cracks; Eucalyptus grandis.*

1 INTRODUÇÃO

Muitos processos de termorretificação da madeira são descritos na literatura. Em geral, eles apresentam em comum o fato da madeira ser exposta a temperaturas próximas à 200°C durante várias horas (WASKETT e SELMES, 2001; RAPP, 2001; ROUSSET et al., 2004; METSÄ-KORTELAJINEN et al., 2005).

Em escala laboratorial, a termorretificação da madeira é realizada por alguns pesquisadores em estufa elétrica, na qual a madeira é submetida ao ar aquecido com temperaturas entre 100°C e 200°C durante um período que varia de 2 a 24 horas, para que ocorra a degradação das hemiceluloses e a condensação dos componentes em um polímero complexo e modificado, com o intuito de melhorar a sua durabilidade biológica e a sua estabilidade dimensional (BEKHTA e NIEMZ, 2003; JUODEIKIENĖ e MINELGA, 2003; POPPER et al., 2005; BRITO et al., 2006).

Rousset et al. (2004) verificaram que a termorretificação à 200°C, durante 1 hora, diminuiu significativamente a higroscopicidade da madeira de *Populus robusta* entre 40% e 60%. Contudo, o tratamento não alterou a permeabilidade da madeira, pois, não gerou rachaduras internas e não afetou a morfologia dos poros.

Segundo Unsal e Ayrilmis (2005), após o aquecimento da madeira de *Eucalyptus camaldulensis*, entre 120°C e 180°C, durante 2 a 10 horas, houve um decréscimo na sua massa específica a 12% de umidade com o aumento da temperatura e do tempo de exposição ao tratamento. A madeira tratada por 10 horas com 150°C e 180°C apresentou, respectivamente, reduções de 7,1% e 10,0% na propriedade física estudada.

Madeiras de *Pinus sylvestris* e de *Picea abies* submetidas à termorreificação com 170°C, 190°C, 210°C e 230°C, por 3 horas, apresentaram relações diretas entre a perda de massa e o aumento da temperatura. O alburno de *Pinus* quando submetido a tais temperaturas, apresentou, respectivamente, perda de massa na ordem de 1,8%, 4,1%, 6,7% e 11,8%, e o cerne reduções equivalentes a 5,4%, 5,9%, 6,9% e 11,0%. Para o alburno de *Picea*, as perdas de massa foram de 1,8%, 3,3%, 6,6% e 10% quando submetidas a 170°C, 190°C, 210°C e 230°C e, no cerne, as respectivas reduções apresentaram-se em torno de 3,6%, 5,3%, 6,9% e 11,4% (METSÄ-KORTELAJINEN et al., 2005).

Alén et al. (2002) e Sundqvist et al. (2006), em seus respectivos estudos, concluíram que a madeira de *Picea abies* e a de *Betula pubescens* termorreificadas com temperaturas entre 180°C e 225°C, durante 2 a 8 horas, e entre 160°C e 200°C, durante 1 a 4 horas, apresentaram maior perda de massa com o aumento do tempo de exposição e da temperatura do tratamento.

As madeiras de *Picea abies* termorreificadas por 4 horas, com temperaturas de 180°C e 225°C, apresentaram perda de massa de 1,5% e 10,8%; enquanto as tratadas com as mesmas temperaturas, durante 6 horas, apresentaram perda de massa de 1,7% e 12,5% (ALÉN et al., 2002). As madeiras de *Betula pubescens* tratadas por 2,5 horas, com temperaturas de 160°C e 200°C, apresentaram perda de massa de 20% e 48% (SUNDQVIST et al., 2006).

Hakkou et al. (2005a) salientaram que a madeira de *Fagus sylvatica* termorreificada durante 8 horas, sob temperatura de 180°C, apresentou perda de massa em torno de 7%. Com o aumento da temperatura, houve um aumento progressivo da perda de massa até um valor máximo de 35% na madeira tratada à 260°C.

Hakkou et al. (2005b) estudaram o efeito da temperatura, entre 40°C e 260°C, durante 8 horas, na perda de massa das madeiras das folhosas *Fagus sylvatica* e *Populus nigra* e das coníferas *Pinus sylvestris* e *Abies Alba*. Os autores concluíram que a perda de massa tornou-se significativamente apreciável a partir dos 180-200°C para as folhosas e, já ocorreu, a partir de 50°C nas coníferas. No primeiro grupo de madeiras, a degradação das hemiceluloses é o principal responsável pela perda de massa, e, no segundo grupo, os extrativos voláteis também interferem neste fenômeno, pois, são degradados em baixas temperaturas.

Juodeikienė e Minelga (2003) estudando o efeito do aquecimento entre 60°C e 120°C durante 24 a 96 horas, concluíram que o tratamento com maiores tempo e temperatura proporcionou diminuição da higroscopicidade da madeira de *Pinus* sp. e um aumento na sua estabilidade dimensional. A madeira não

tratada apresentou teores de umidade de equilíbrio higroscópico (TUE) de 8,44% e 13,30%, respectivamente, quando exposta em ambientes interno e externo. As tratadas à 60°C durante 24 horas apresentaram 7,78% e 12,36%, e as tratadas à 120°C por 96 horas apresentaram 5,92% e 10,86% de TUE nos ambientes interno e externo. Os autores ainda verificaram que, a madeira não tratada apresentou variação nas dimensões radial e tangencial de 1,550 mm e 2,835 mm, a tratada com 60°C durante 24 horas apresentou variações dimensionais de 1,490 e 2,800 mm e a tratada com 120°C por 96 horas apresentou variações em torno de 1,350 e 2,635 mm.

Entretanto, Unsal e Ayrilmis (2005) afirmam que há pouca informação sobre o efeito dos tratamentos térmicos nas propriedades tecnológicas da madeira de *Eucalyptus*, principalmente sobre as propriedades físicas.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito do tempo e da temperatura de termorreificação na variação em espessura das tábuas de *Eucalyptus grandis*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para realização desse estudo foi utilizada a madeira proveniente de 12 árvores de *Eucalyptus grandis*, com 30 anos de idade. O material foi coletado na Floresta Estadual de Santa Bárbara, pertencente ao Instituto Florestal do Estado de São Paulo e localizado no município de Águas de Santa Bárbara - SP. Nesse estudo foi utilizado somente material proveniente de toras de diâmetro médio de 30 a 35 cm e que apresentava massa específica básica de $0,599 \pm 0,031 \text{ g/cm}^3$.

2.1 Preparo do material

De cada árvore foram retiradas toras, com cerca de 2,9 metros de comprimento, e estas foram desdobradas em tábuas com 28 mm de espessura através de cortes tangenciais na serraria do Horto Florestal de Mandurí, pertencente ao Instituto Florestal do Estado de São Paulo e localizado no município de Mandurí - SP.

Posteriormente, toda a madeira foi seca em uma estufa piloto de secagem convencional do Laboratório de Secagem e Preservação de Madeiras, pertencente à FCA-UNESP de Botucatu-SP, com capacidade para aproximadamente $2,5 \text{ m}^3$ de madeira serrada. Somente as tábuas que continham a medula foram selecionadas para a realização desse estudo.

2.2 Termorretificação das tábuas

As tábuas centrais (àquelas que continham a medula) foram cortadas em peças menores com 0,50 m de comprimento, sendo que foram descartadas as regiões com rachaduras e nós e o material contido até 30 cm das extremidades.

Cada peça, com teor de umidade de 10,0%, teve os seus topos selados com borracha de silicone vermelho (resistente a temperaturas de até 316°C) e foi empilhada de modo gradeado em uma estufa elétrica.

O material foi aquecido com uma temperatura inicial de 100°C com o intuito de diminuir o seu teor de umidade para cerca de 3% e evitar possíveis problemas de expansão de vapor de água e rompimento das paredes celulares. Após esse período, as cargas de madeira foram submetidas a uma taxa de elevação de temperatura de 1,34°C/min, em função das recomendações de Rousset et al. (2004), Alén et al. (2002) e Sundquist et al. (2006), até um conjunto de tempos e temperaturas finais, conforme mostra a Tabela 1.

Após os tratamentos de termorretificações, a estufa foi desligada e as peças de madeira permaneceram no seu interior em resfriamento natural até atingirem a temperatura de 30°C.

Tabela 1 - Temperaturas e tempos de termorretificação utilizados nas tábuas de *Eucalyptus grandis*.

Temperatura de Termorretificação (°C)		Tempo de Termorretificação (horas)	
Inicial	Máxima	na Taxa de Elevação (1,34°C/minuto)	na Temperatura Máxima
100	200	1,24	4,0
100	200	1,24	3,0
100	180	1,00	2,5

2.3 Avaliação da qualidade das tábuas termorretificadas

A avaliação das tábuas após os tratamentos de termorretificação indicou que não houve nenhum tipo de empenamento e/ou de rachaduras superficiais ou de topo. Assim, ao término dos tratamentos, a variação em espessura das tábuas de *Eucalyptus grandis* foi determinada.

Como mostra a Figura 1, todas as tábuas tiveram as suas espessuras mensuradas em pontos pré-determinados da região periférica do fuste com o auxílio de um micrômetro com precisão de 0,001mm.

Essas medições foram realizadas antes e após as termorretificações com 200°C de temperatura durante 4 horas, com 200°C de temperatura durante 3 horas e/ou com 180°C de temperatura por um período de 2,5 horas.

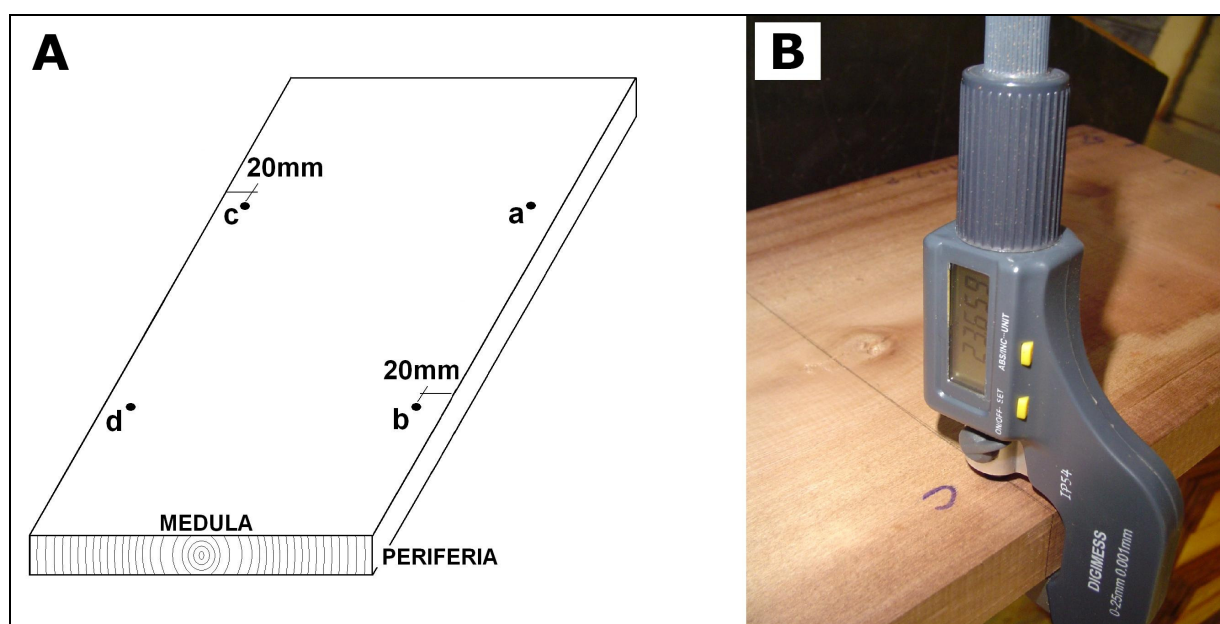


Figura 1 - Esquema sobre a posição dos pontos de medição da espessura das tábuas (A) e tábua de *E. grandis* com demarcação dos pontos de medição da espessura (B).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para cada uma das condições empregadas na termorretificação da madeira de *Eucalyptus grandis* determinou-se a influência dos tratamentos na variação da espessura das tábuas.

Salienta-se que todas as tábuas de *Eucalyptus grandis* utilizadas no experimento foram obtidas de pranchas centrais. Então, em cada tábua foram realizadas medições das espessuras nas regiões próximas à periferia do fuste.

A normalidade dos dados, da variação da espessura das tábuas após a termorretificação, recomendou a adoção de métodos de análise paramétrica (ANOVA) para análise de variância e a aplicação do teste de Tukey para comparação múltipla.

Assim, verifica-se, pela Tabela 2, que houve uma variação significativa ao nível de 5% de significância na diferença da espessura com a diminuição das condições de termorretificação. Nos tratamentos com maiores condições de tempo e de temperatura houve um aumento médio da espessura das tábuas entre 0,698 mm e 0,874 mm.

Tabela 2 - Efeito da condição da termorretificação na variação da espessura das tábuas de *Eucalyptus grandis*, com 30 anos de idade e massa específica básica de $0,599 \pm 0,031 \text{ g/cm}^3$.

Termorretificação		Variação da espessura da tábua		
Temperatura (°C)	Tempo (h)	N	Δ e Média (mm)	Tukey
200	4,0	10	0,698	a
200	3,0	16	0,874	a
180	2,5	14	-0,177	b

Sendo: N - número de repetições; Δ e média - diferença média da espessura das tábuas; letras diferentes - indicam diferença significativa ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Era esperado, com base na literatura, uma redução mais pronunciada da espessura da tábua com o aumento do tempo e da temperatura do tratamento, pois a diminuição das dimensões está associada com a perda de massa e Alén et al. (2002), Juodeikienė e Minelga (2003), Hakkou et al. (2005a), Hakkou et al. (2005b), Metsä-Kortelainen et al. (2005), Unsal e Ayrilmis (2005) e Sundqvist et al. (2006) salientaram que as perdas de massa são mais pronunciadas com o aumento das condições do tratamento térmico.

Contudo, o aumento da espessura das tábuas com o aumento do tempo e da temperatura de termorretificação da madeira pode ser explicado pela presença de rachaduras internas no material termorretificado com temperatura de 200°C, durante 3 a 4 horas. Verifica-se, que o aumento em espessura (0,698 mm) nas tábuas termorretificadas à 200°C, durante 4 horas, apresentou-se ligeiramente menor do que nas tábuas termorretificadas na mesma temperatura por 3 horas (0,874 mm). Uma das prováveis explicações para esse comportamento é que a madeira termorretificada por uma hora mais, apresentou uma maior degradação térmica o que, conseqüentemente, minimizou o aumento em espessura das tábuas mas, não impediu a expansão das rachaduras no interior das peças de madeira.

A realização de cortes longitudinais ao longo dos pontos de medição de espessura das tábuas mostra que todo o lote do material termorretificado a 200°C, durante 3 a 4 horas, apresentou rachaduras internas, e conseqüentemente, aumento nas suas espessuras (Figura 2).



Figura 2 - Rachaduras internas ao longo de uma tábua de *Eucalyptus grandis* termorretificada com temperatura de 200°C, durante 3 horas.

Somente a madeira de *Eucalyptus grandis*, com 30 anos e massa específica básica de 0,600 g/cm³, quando termorretificada com temperatura de 180°C e durante um período de 2,5 horas é que apresentou uma redução na espessura média das suas peças em torno de 0,177 mm. Após a realização de cortes ao longo dessas peças ficou constatado a ausência de rachaduras internas visíveis. Resultado semelhante foi apresentado por Rousset et al. (2004) que na termorretificação da madeira de *Populus robusta* à 200°C, durante 1 hora, não houve alterações na permeabilidade da madeira e na morfologia dos poros e não ocorreram rachaduras internas.

4 CONCLUSÕES

Sobre o efeito do tempo e da temperatura de termorretificação sobre a espessura das tábuas de *Eucalyptus grandis*, concluiu-se que:

- a) o material termorretificado com 200°C durante 3,0 a 4,0 horas apresentou aumento da espessura entre 0,698 e 0,874 mm devido ao surgimento de rachaduras internas;
- b) o material termorretificado com 180°C durante 2,5 horas apresentou diminuição de 0,177 mm na sua espessura e não ocorreu presença de rachaduras internas.

5 REFERÊNCIAS

ALÉN, R.; KOTILAINEN, R.; ZAMAN, A. Thermochemical behavior of Norway spruce (*Picea abies*) at 180-225°C. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 36, n. 2, p. 163-171, 2002.

BEKHTA, P.; NIEMZ, P. Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. Holzforschung, Berlin, v. 57, p. 539-546, 2003.

BRITO, J.O.; GARCIA, J.N.; BORTOLETTO JUNIOR, G. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* submetida a diferentes temperaturas de termorretrificação. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 182-188, 2006.

HAKKOU, M.; PÉTRISSANS, M.; EL BAKALI, I.; GÉRARDIN, P.; ZOULALIAN, A. Wettability changes and mass loss during heat treatment of wood. **Holzforschung**, Berlin, v. 59, p. 35-37, 2005b.

HAKKOU, M.; PÉTRISSANS, M.; ZOULALIAN, A.; GÉRARDIN, P. Investigations of wood wettability changes during heat treatment on the basis of chemical analysis. **Polymer Degradation and Stability**, Amsterdam, v. 89, n. 1, p. 1-5, 2005a.

JUODEIKIENĖ, I.; MINELGA, D. The influence of heating on wood hygroscopicity and dimensional stability. **Materials Science (Medziagotyra)**, Kaunas, v. 9, n. 2, p. 209-212, 2003.

METSÄ-KORTELAINE, S.; ANTIKAINEN, T.; VIITANIEMI, P. The water absorption of sapwood and heartwood of Scots pines and Norway spruce heat-treated at 170°C, 190°C, 210°C and 230°C. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, v. 64, n. 3, p. 192-197, 2005.

POPPER, R.; NIEMZ, P.; EBERLE, G. Untersuchungen zum Sorptions- und Quellungsverhalten von thermisch behandeltem Holz. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, v. 63, n. 2, p. 135-148, 2005.

RAPP, A. O. Review on heat treatments of wood. In: SPECIAL SEMINAR ENVIRONMENTAL OPTIMISATION OF WOOD PROTECTION, 1, 2001. Antibes, FRA. **Proceedings...** Antibes, FRA: COST ACTION E 22, 2001. 68p.

ROUSSET, P.; PERRÉ, P.; GIRARD, P. Modification of mass transfer properties in poplar wood (*P. robusta*) by thermal treatment at high temperature. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, v. 62, n. 2, p. 113-119, 2004.

SUNDQVIST, B.; KARLSSON, O.; WESTERMARK, U. Determination of formic-acid and acetic acid concentrations formed during hydrothermal treatment of birch wood and its relation to colour, strength and hardness. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 40, n. 7, p. 549-561, 2006.

UNSAL, O; AYRILMIS, N. Variations in compression strength and surface roughness of heat-treated Turkish river red gum (*Eucalyptus camaldulensis*) wood. **Journal Wood Science**, Tóquio, v. 51, n. 4, p. 405-409, 2005.

WASKETT, P.; SELMES, R. E. **Opportunities for UK grown timber:** wood modification state of the art review. Garston/Watford. Building Research Establishment, 2001. 83 p. Projeto n. 203-343.