

Recebido: 28-10-2015 Aceito: 11-11-2015

## Propriedades mecânicas e químicas da madeira de *Hovenia dulcis* Thunberg, tratada termicamente

Mágda Rosa Fontoura<sup>1</sup>, Vanessa Geraldi<sup>2</sup>, Edivane Francielli Rodrigues<sup>2</sup>, Caroline Cescon Moi<sup>2</sup>, Giovana Cláudia Cerutti<sup>2</sup>, Bruna Rossetto Thiel<sup>2</sup>, Rômulo Trevisan<sup>3\*</sup>, Arci Dirceu Wastowski<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia Agricultura e Ambiente da UFSM/Campus Frederico Westphalen, Engenharia Florestal.

<sup>2</sup> Acadêmicas do curso de Engenharia Florestal da UFSM/Campus Frederico Westphalen.

<sup>3</sup> Professor Dr. Departamento de Engenharia Florestal da UFSM/Campus Frederico Westphalen.

<sup>4</sup> Professor Dr., Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais da UFSM/Campus Frederico Westphalen

**RESUMO** Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da termorretificação nas propriedades mecânicas e químicas da madeira de *Hovenia dulcis* em diferentes temperaturas e tempos de tratamento. Para tanto, nove árvores ao acaso foram selecionadas para amostragem da primeira tora e confecção das amostras. Em seguida, após o condicionamento à temperatura de 100°C em estufa de circulação e renovação de ar, os mesmos foram submetidos aos tratamentos térmicos sob temperatura de 100, 120, 140, 160 e 180°C, durante duas e quatro horas. Ao final de cada período, os corpos de prova permaneceram na estufa por uma hora, à temperatura de 100°C, para então serem submetidos ao ensaio de flexão estática e determinação do módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR) e tensão no limite proporcional (TLP). Posteriormente, as amostras foram moídas, peneiradas e pesadas para determinação da solubilidade em NaOH 1%. Os resultados obtidos indicaram que houve uma tendência de diminuição da resistência e da rigidez da madeira até temperaturas de 120 a 140°C com posterior aumento a 160 e 180°C em duas e quatro horas de tratamento. Já a solubilidade em NaOH 1% apresentou uma tendência positiva com a elevação da temperatura e período de permanência na estufa.

**Palavras-chave:** tratamento térmico, flexão estática, solubilidade em NaOH a 1%.

## Mechanical and chemical properties of heat treated *Hovenia dulcis* Thunberg wood

**ABSTRACT** This study aimed to evaluate the effect of heat treatment on mechanical and chemical properties of *Hovenia dulcis* wood at different temperatures and treatment times. To this end, nine trees were randomly selected for sampling the first log and preparation of the samples. Then, after the conditioning at temperature of 100°C in a kiln with air circulation and air renewal, they were submitted to heat treated at temperatures of 100, 120, 140, 160 and 180°C for two and four hours. By the end of each period, the samples remained in the kiln for an hour at a temperature of 100°C, and then they were subjected to static bending tests to measure modulus of elasticity (MOE), modulus of rupture (MOR) and tension at the proportional limit (TLP). Posteriorly, wood samples were milled, sifted and weighed to determine 1% NaOH solubility. The results indicated a tendency of decreasing the strength and stiffness of the wood heat treated at 120 to 140°C with a subsequent increasing at 160 and 180°C in two and four hours. However, the 1% NaOH solubility presented a positive tendency with the increase of temperature and the period of permanence at kiln.

**Keywords:** thermal treatment, static bending, 1% NaOH solubility.

## Introdução

A utilização da madeira como matéria-prima em construções civis e fabricação de móveis vem crescendo cada vez mais, porém por se tratar de um material heterogêneo, de alta variabilidade dentre e entre espécies, torna-se fundamental o conhecimento de suas características, bem como a variação quando submetida a condições diferentes da sua ocorrência natural.

O potencial tecnológico de uma espécie florestal é determinado em função de uma série de variáveis que envolvem características físicas, mecânicas e químicas que, associadas a técnicas e processos de transformação, como a termorreificação, tem por objetivo melhorar as propriedades da madeira e agregar valor ao produto final (RAPP, 2001; BEKHTA; NIEMZ, 2003; METSÄ-KORTELAINEN et al., 2005; ESTEVES; PEREIRA, 2009; CADEMARTORI et al., 2012; GARCIA et al., 2012; POUBEL et al., 2013; ZANUNCIO et al., 2014).

A termorreificação consiste em aquecer o material gradualmente até temperaturas inferiores a torrefação, situada entre 260°C (BATISTA et al., 2011; CADEMARTORI et al., 2012) e 280°C (PESSOA et al., 2006; POUBEL et al., 2013), por períodos de tempo definidos entre 15 minutos e 24 horas (POUBEL et al., 2013), ocasionando alterações de variabilidade dimensional (STAMM, 1964; RAPP, 2001; MENEZES et al., 2014), de durabilidade natural (RAPP, 2001; PESSOA et al., 2006), de coloração (ZANUNCIO et al., 2014), de constituintes químicos (POUBEL et al., 2013) e de propriedades mecânicas (ESTEVES; PEREIRA, 2009; ARAÚJO, et al., 2012; CADEMARTORI et al., 2012; GARCIA et al., 2012).

Conforme Azevedo; Quirino (2006), os resultados encontrados para o efeito da termorreificação nas propriedades mecânicas da madeira por diversos autores encontram-se em divergência, ou seja, contraditórios no que diz respeito aos

danos e/ou benefícios. Nesse sentido, cabe ressaltar a importância sobre o conhecimento não só das propriedades mecânicas, mas também das químicas e físicas da madeira de folhosas e coníferas, pois dependendo do objetivo final, é possível adequar qual espécie é mais recomendável para determinada finalidade.

Dessa maneira, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da termorreificação nas propriedades mecânicas e químicas da madeira de *Hovenia dulcis* Thunberg, em diferentes temperaturas e tempos de exposição.

## Material e Métodos

O material utilizado no presente estudo foi amostrado em um fragmento florestal situado no município de Frederico Westphalen-RS, situado sob as coordenadas geográficas 27°23'46,85" S e 53°25'40,66" O, com altitude de 462 m. Para tanto, nove árvores de *Hovenia dulcis* ao acaso foram selecionadas e abatidas para a amostragem da primeira tora, com comprimento de 2 m que, posteriormente, foi desdobrada em um pranchão central, contendo a medula, com aproximadamente 8 cm de espessura. No material coletado foram realizadas as etapas de secagem, aplainamento e confecção de 80 corpos de prova com dimensões de 2,5 x 2,5 x 41 cm (radial, tangencial e longitudinal, respectivamente).

Em seguida, após o condicionamento à temperatura de 100°C em estufa de circulação e renovação de ar (peso constante), os corpos de prova foram submetidos aos tratamentos térmicos de 100, 120, 140, 160 e 180°C, durante duas e quatro horas de exposição. Ao final de cada período os mesmos permaneceram na estufa por mais uma hora, à temperatura de 100°C para arrefecimento e, posteriormente, foram encaminhados para determinação das propriedades mecânicas e químicas da madeira.

Para a realização do ensaio de flexão estática e determinação das propriedades mecânicas de módulo de elasticidade

(MOE), de módulo de ruptura (MOR) e da tensão no limite proporcional (TLP) utilizou-se uma máquina universal de ensaios dotada de sistema automático de aquisição dos dados seguindo as orientações da norma *American Society for Testing and Materials* - ASTM D143-94 (2000).

A preparação das amostras para a análise química foi realizada após o ensaio mecânico sendo efetuada a redução dos corpos de prova em cavacos, moagem em moinho de facas tipo Wiley e peneiragem para utilização da fração de serragem que passou a peneira de 40 e ficou retida na de 60 *mesh*. A obtenção da solubilidade em hidróxido de sódio a 1% (NaOH) ocorreu em duplicata e se estabeleceu a partir da pesagem de 2,0 g de amostras secas da serragem conforme norma T 212 om-98 (TAPPI, 1998).

Para a análise estatística do efeito da termorretificação na flexão estática (MOE, MOR e TLP) e na solubilidade em hidróxido de sódio a 1% (NaOH), os dados amostrados por temperatura foram submetidos à análise de regressão. Os dados foram processados pelo pacote *Statistical Analysis System* (SAS, 1993), no qual foi, primeiramente, aplicado o procedimento *Stepwise* de modelagem de regressão (Equação 1):

$$\text{MOE; MOR; TLP; NaOH} = f\left(t; \frac{1}{t}; t^2; \frac{1}{t^2}; \sqrt{t}\right) \quad (1)$$

Onde: MOE = Módulo de elasticidade, MPa; MOR = Módulo de ruptura, MPa; TLP = Tensão no limite proporcional, MPa; NaOH = Solubilidade em hidróxido de sódio a 1%, %; t = Temperatura, °C.

O melhor modelo foi selecionado com base no coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), erro padrão da estimativa ( $S_{xy}$ ), valor de F e análise da distribuição dos resíduos.

No modelo escolhido para descrever a variação do MOE, MOR, TLP e NaOH foram adicionadas variáveis *Dummy*, que assumiram valores de 0 e 1, conforme o tempo de exposição da madeira na estufa, da seguinte forma:  $D_i = 1$ , se o material

estivesse presente no tratamento com exposição  $i$ ; e  $D_i = 0$ , se o material estivesse ausente nesse tratamento com exposição  $i$  (onde  $i = 2$  e 4 horas).

Com esse método, foi possível expressar as regressões individuais ajustadas para os dois períodos de exposição em função de uma regressão linear múltipla (Equação 2):

$$\text{MOE; MOR; TLP; NaOH} = f(X; D_i; D_i.X) \quad (2)$$

Onde: MOE = Módulo de elasticidade, MPa; MOR = Módulo de ruptura, MPa; TLP = Tensão no limite proporcional, MPa; NaOH = Solubilidade em hidróxido de sódio a 1%, %; X = temperatura selecionada pelo procedimento *Stepwise* de regressão, °C;  $D_i = \textit{Dummy}$  (tempo de exposição, em que  $i = 2$  e 4 horas);  $D_i.X$  = interação variável  $D_i$  com a variável X.

## Resultados e Discussão

### *Propriedades mecânicas*

Os valores médios do módulo de elasticidade (MOE), do módulo de ruptura (MOR) e da tensão no limite proporcional (TLP) de flexão estática na espécie *Hovenia dulcis* evidenciaram, para a maioria das temperaturas, uma redução quando observado o tempo de exposição do material em estufa (Tabela 1).

A redução dos valores médios com o tempo de exposição da madeira na estufa também foi citada por Gunduz et al. (2009) e Sundqvist et al. (2006) que, utilizando temperaturas mais elevadas e longos períodos de exposição, obtiveram uma diminuição no MOE e no MOR. Os mesmos autores afirmaram ainda a importância das características (temperatura e tempo) empregadas nos métodos, pois essas apresentaram influência nas propriedades mecânicas.

Da mesma forma como relatado no presente estudo, Kocafe et al. (2008) encontraram um acréscimo no MOE e MOR em flexão estática quando submetidos a temperaturas

de 160, 180 e 200°C atribuindo tais alterações, provavelmente, em decorrência da ramificação da lignina, o que resultou em um aumento na resistência e rigidez.

relação à temperatura (t), apresentou um valor de F calculado de 5,11 significativo ao nível de  $\alpha = 1\%$  de probabilidade de erro (prob. > F = 0,0083), coeficiente de variação igual a 20,7%, coeficiente de determinação ajustado de 0,12 e erro pa-

### Módulo de elasticidade

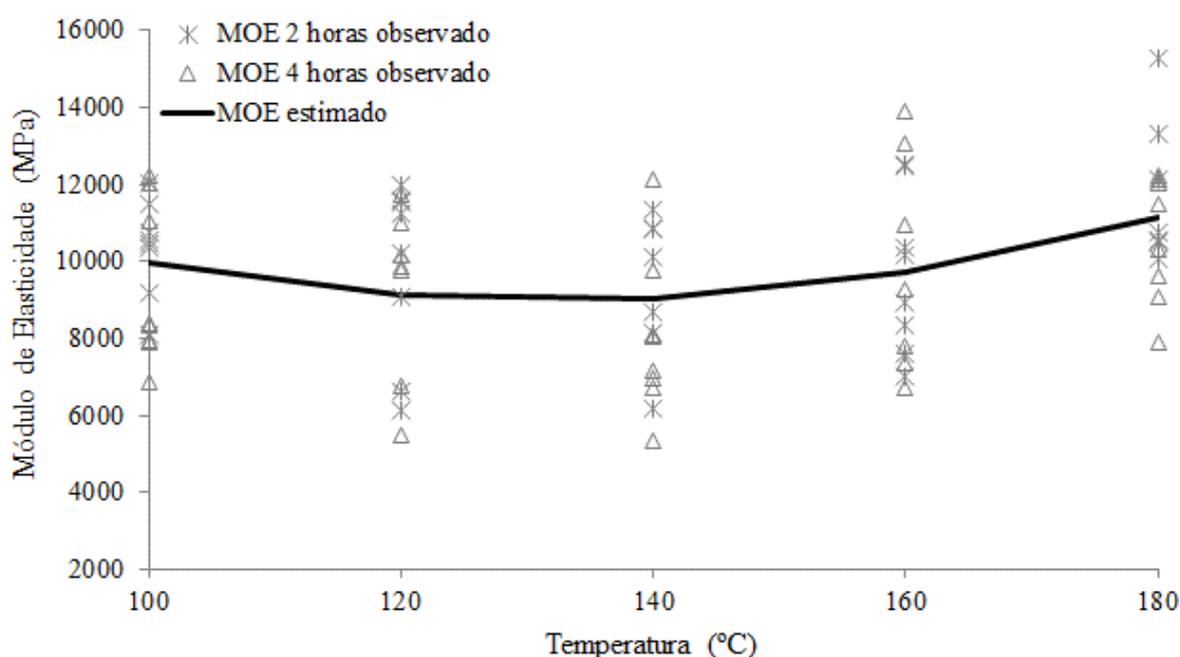
A equação de regressão selecionada para estimar o módulo de elasticidade (MOE) das árvores de *Hovenia dulcis* em

**Tabela 1.** Valores médios das propriedades mecânicas da madeira de *Hovenia dulcis* submetidas a diferentes temperaturas e tempos de exposição.

**Table 1.** Average values of mechanical properties of *Hovenia dulcis* wood subjected to different temperatures and treatment times.

Temperatura (°C)	MOE (MPa)		MOR (MPa)		TLP (MPa)	
	2 horas	4 horas	2 horas	4 horas	2 horas	4 horas
100	10363,8 (±1247,5)	9344,1 (±2081,9)	114,8 (±25,7)	109,7 (±14,9)	64,6 (±11,8)	56,1 (±13,8)
120	9814,0 (±2308,1)	9258,9 (±2285,9)	111,1 (±24,9)	99,5 (±26,2)	60,1 (±12,8)	43,4 (±10,3)
140	9460,0 (±1864,3)	8043,2 (±2094,7)	61,6 (±28,0)	51,0 (±36,5)	33,1 (±12,2)	28,7 (±18,5)
160	9687,4 (±2083,4)	9867,6 (±2840,9)	99,2 (±28,6)	99,8 (±28,5)	52,1 (±10,2)	47,5 (±13,5)
180	11811,1 (±1897,1)	10613,3 (±1618,1)	95,4 (±10,9)	111,8 (±26,6)	52,8 (±10,7)	74,4 (±11,5)

Em que: MOE = Módulo de elasticidade, MPa; MOR = Módulo de ruptura, MPa; TLP = Tensão no limite proporcional, MPa; Valores entre parênteses indicam o desvio padrão, MPa.



**Figura 1.** Variação do módulo de elasticidade (MOE) da madeira de *Hovenia dulcis* em função das diferentes temperaturas e tempos de exposição.

**Figure 1.** Variation of modulus of elasticity (MOE) of *Hovenia dulcis* wood as a function of different temperatures and exposure times.

drão da estimativa de  $\pm 2038$  MPa, sendo expressa por:  $MOE = 25588,1 - 250,6t + 0,946t^2$ .

Após a determinação do padrão de variação do MOE, os dados dessa propriedade mecânica foram relacionados com os respectivos tempos de exposição do material na estufa e submetidos à análise de regressão com variáveis *Dummy*. Os resultados indicaram que a equação selecionada para descrever o MOE pode ser utilizada para ambos os períodos, pois as *Dummy's* correspondentes aos tempos de 2 e 4 horas (D1 e D2, respectivamente) e as interações entre os tempos e a temperatura (D1.t e D2.t), utilizadas no modelo, não foram significativas em nível máximo de  $\alpha = 5\%$  de probabilidade de erro (Figura 1).

Com relação a variação do MOE, os resultados evidenciaram uma redução de 9,4% até 140°C, seguido por um aumento de 23%, com a elevação da temperatura para 180°C, para ambos os tempos de exposição (Figura 1).

A elevação da temperatura e tempo de duração do processo pode resultar em um decréscimo no MOE (KOCAEFE et al., 2008; KORKUT; HIZIROGLU, 2009; CADEMARTORI et al., 2012; CALONEGO et al. 2012). Entretanto, Santos (2000), Shi et al., (2007), Boonstra et al., (2007); Kocaefe et al., (2008), Gunduz et al., (2009), em seus estudos com *Eucalyptus* sp.; *Abies* spp. e *Populus* spp.; *Pinus radiata*, *Pinus sylvestris* e *Picea abies*; *Populus tremuloides* e *Caroinus betulus*, respectivamente, na faixa de temperatura entre 160-200°C, relataram aumento dessa variável, bem como Sundqvist et al. (2006), obtiveram um aumento de 28% para a espécie de *Betula popyrifera*, com o tratamento à 160, 180 e 200°C, durante 1 hora. Com base nesses dados os autores argumentaram que tal fato se deve ao aumento de ligações cruzadas de lignina, degradação e modificação da hemicelulose e/ou cristalização

da celulose, além de mudanças nas propriedades termoplásticas da madeira.

O MOE é a propriedade menos afetada pela termorretificação (PONCSAK et al., 2006; ESTEVES et al., 2008; KOCAEFE et al., 2008; GUNDUZ et al., 2009), sendo essa variabilidade de resultados dependente da espécie em questão, da direção dos testes, do programa de tratamento térmico realizado, do tempo de exposição (SHI et al., 2007; PARYSEK; ZAKRZEWSKI, 2006; PONCSAK et al., 2006; GUNDUZ et al., 2009). Tais contradições foram encontradas por Bhuiyan et al., (2000), que relataram que esse comportamento está associado ao rearranjo ou reticulação dos componentes químicos desenvolvidos durante o procedimento.

#### **Módulo de ruptura**

Para o módulo de ruptura (MOR) a equação de regressão selecionada ( $MOR = -85,991 + 0,004t^2 + 1589878,5(1/t^2)$ ) para estimar essa propriedade mecânica em função da temperatura (t) apresentou um valor de F calculado de 7,48 significativo ao nível de  $\alpha = 1\%$  de probabilidade de erro (prob. > F = 0,0011), coeficiente de variação igual a 30,5%, coeficiente de determinação ajustado de 0,17 e erro padrão da estimativa de  $\pm 29,3$  MPa.

Da mesma forma como realizado com o MOE, os dados do MOR foram relacionados com os respectivos tempos de exposição do material na estufa e submetidos à análise de regressão com variáveis *Dummy*. Os resultados indicaram que a equação selecionada para descrever o MOR também pode ser utilizada para ambos os períodos, pois as *Dummy's* correspondentes aos tempos de 2 e 4 horas (D1 e D2, respectivamente) e as interações entre os tempos e a temperatura (D1.t<sup>2</sup> e D2.t<sup>2</sup>), utilizadas no modelo, não foram significativas em nível máximo de  $\alpha = 5\%$  de probabilidade de erro (Figura 2).

Os resultados observados para o MOR indicaram uma redução de 34,9% até 140°C seguido de um aumento de até 26% com a elevação da temperatura para 180°C, nos dois períodos de exposição.

Com relação a redução do MOR Akgul et al., (2007); Korkut; Hiziroglu (2009); Gunduz et al., (2009) e Shi et al., (2007) em madeira de *Pinus sylvestris*; *Carylus colurna*; *Pyrus elaeagnifolia*; *Picea* spp., e *Pinus* spp., respectivamente, afirmaram que o aumento da temperatura resultou em uma madeira mais friável, sendo, a diminuição do conteúdo de hemicelulose, uma das principais causas para a perda de resistência (ESTEVES et al., 2008; ARAÚJO et al., 2012).

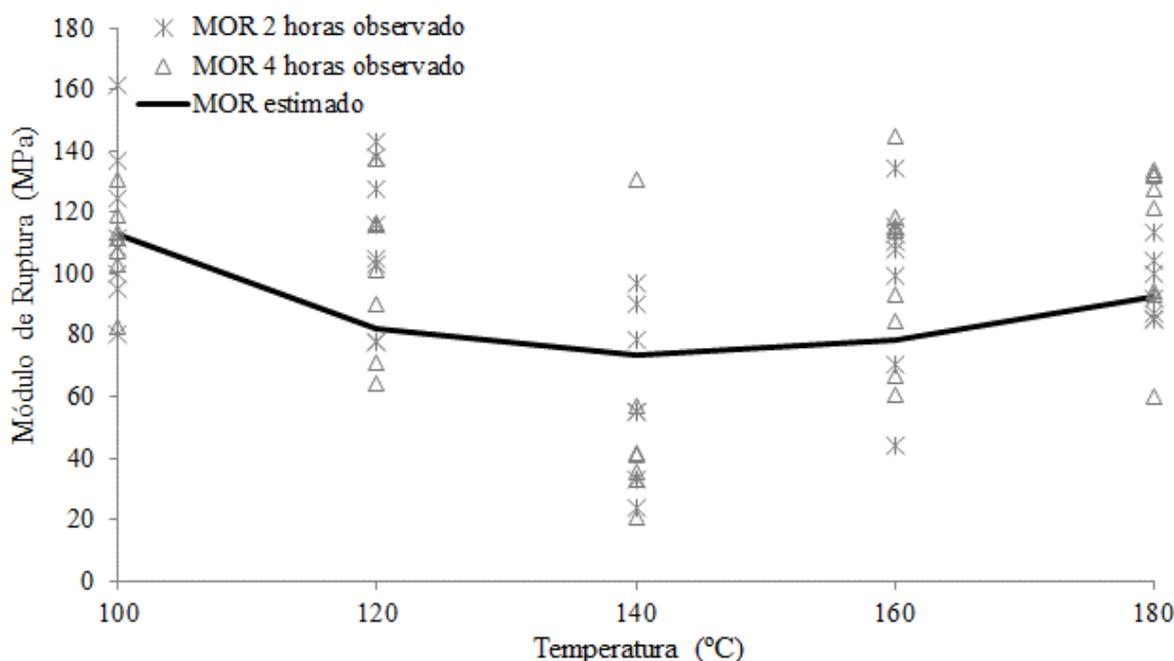
O aumento do MOR encontrado se assemelha aos apresentados por Shi et al., (2007) e Sudqvist et al., (2006), Kocaeffe et al., (2008) em estudos com *Betula* spp.; *Betula papyrifera* e *Populus tremuloides*, respectivamente, na faixa de 160-200°C. Nesse intervalo de temperatura, ocorre a ressolidificação da

lignina (SHAFFER, 1973), causando um entrecruzamento da mesma (KOCAEFE et al., 2008), o que proporciona uma melhora na resistência do material.

Assim, a variação do MOR está relacionada com a degradação das hemiceluloses e ressolidificação da lignina presentes na composição da madeira (CURLING et al., 2002; ESTEVES et al., 2008; ARAÚJO et al., 2012), bem como a espécie e temperaturas empregadas no processo (KOCAEFE et al., 2008).

### Tensão no limite proporcional

A equação de regressão selecionada para estimar a tensão limite proporcional ( $TLP = -92,658 + 0,004t^2 + 1196073,8(1/t^2)$ ) em relação à temperatura (t), apresentou um valor de F calculado de 15,5 significativo ao nível de  $\alpha=1\%$  de probabilidade de erro (prob. > F = 0,0001), coeficiente de variação igual



**Figura 2.** Variação do módulo de ruptura (MOR) da madeira de *Hovenia dulcis* em função das diferentes temperaturas e tempos de exposição.

**Figure 2.** Variation of modulus of rupture (MOR) of *Hovenia dulcis* wood as a function of different temperatures and exposure times.

a 29,2%, coeficiente de determinação ajustado de 0,31 e erro padrão da estimativa de  $\pm 15,1$  MPa.

Já a análise com variáveis *Dummy* indicou que a equação selecionada para descrever a TLP pode ser utilizada para os dois tempos de exposição, pois as *Dummy's* correspondentes aos tempos de 2 e 4 horas (D1 e D2, respectivamente) e as interações entre os tempos e a temperatura ( $D1.t^2$  e  $D2.t^2$ ), utilizadas no modelo, não foram significativas em nível máximo de  $\alpha = 5\%$  de probabilidade de erro. Com relação a variação da TLP, verificou-se o mesmo padrão observado para as demais variáveis, ou seja, com redução até  $140^\circ\text{C}$  e aumento a  $160$  e  $180^\circ\text{C}$  (Figura 3).

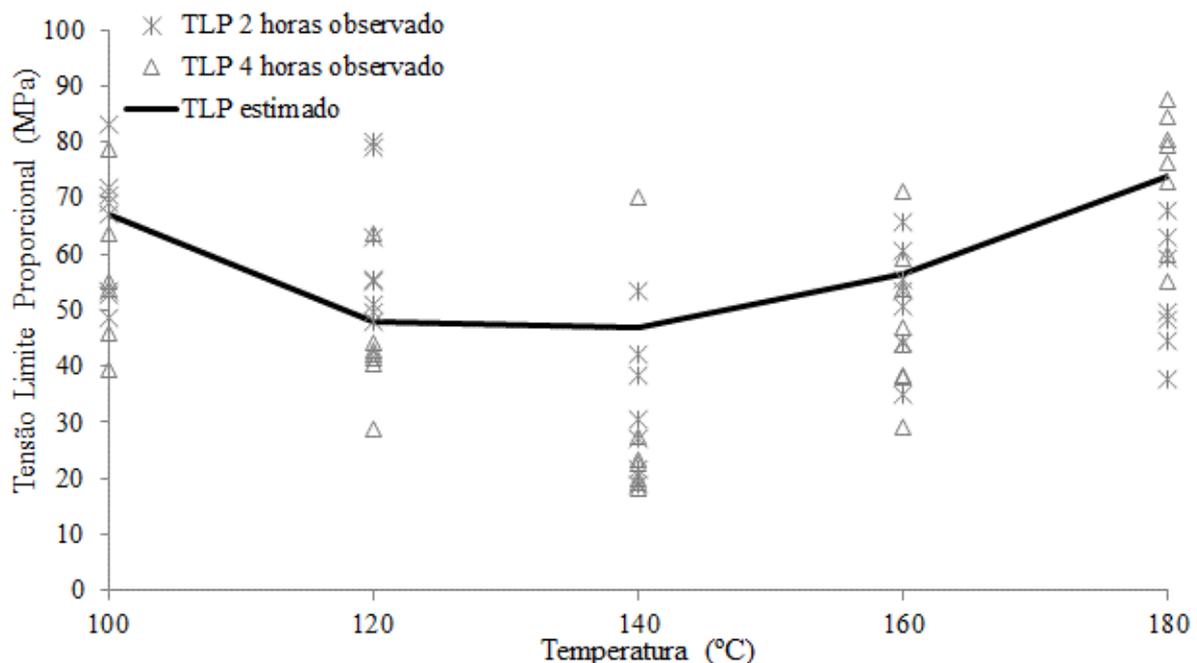
### Solubilidade em NaOH 1%

A equação de regressão selecionada para estimar a solubilidade em hidróxido de sódio a 1% (NaOH) em relação à tem-

peratura ( $t$ ), apresentou um valor de F calculado de 15,3 significativo ao nível de  $\alpha=1\%$  de probabilidade de erro (prob.  $> F = 0,0002$ ), coeficiente de variação igual a 6,6%, coeficiente de determinação ajustado de 0,15 e erro padrão da estimativa de  $\pm 1,9\%$ , sendo expressa por:  $\text{NaOH} = 26,83 + 0,000105t^2$ .

A análise com variáveis *Dummy* indicou que a equação selecionada para descrever a NaOH não pode ser utilizada para os dois tempos de exposição, pois a *Dummy* correspondente ao tempo de 2 horas (D1, com valor de F calculado de 4,52) foi significativa a  $\alpha=1\%$  de probabilidade de erro (prob.  $> F = 0,037$ ). Cabe ressaltar que as interações entre os tempos e a temperatura ( $D1.t^2$  e  $D2.t^2$ ), utilizadas no modelo, não foram significativas em nível máximo de  $\alpha=5\%$ .

Assim, os valores de solubilidade em hidróxido de sódio a 1% de *Hovenia dulcis*, estimados para os dois tempos de exposição utilizando o modelo  $\text{NaOH} = 27,27 + 0,000105t^2 -$



**Figura 3.** Variação da tensão no limite proporcional (TLP) da madeira de *Hovenia dulcis* em função das diferentes temperaturas e tempos de exposição.

**Figure 3.** Variation of the tension at the proportional limit (TLP) of *Hovenia dulcis* wood as a function of different temperatures and exposure times.

0,8962 D1, com coeficiente de determinação ajustado de 0,21, coeficiente de variação igual a 6,5% e erro padrão da estimativa de  $\pm 1,8\%$  (Figura 4).

Os resultados indicaram uma tendência de acréscimo gradativo do material solúvel em razão do aumento da temperatura em estufa e estão de acordo com os citados por Trugilho et al., (2007) e Brand et al., (2011). Resultados semelhantes foram encontrados por Mocelin et al., (2002) trabalhando com *Eucalyptus grandis* em temperaturas de 100°C e 140°C. Esse fato, segundo Esteves; Pereira (2009), ocorreu em função da solubilidade em NaOH ser responsável por solubilizar carboidratos de baixo peso molecular (hemiceluloses), onde se avalia o grau de degradação causado pelo calor.

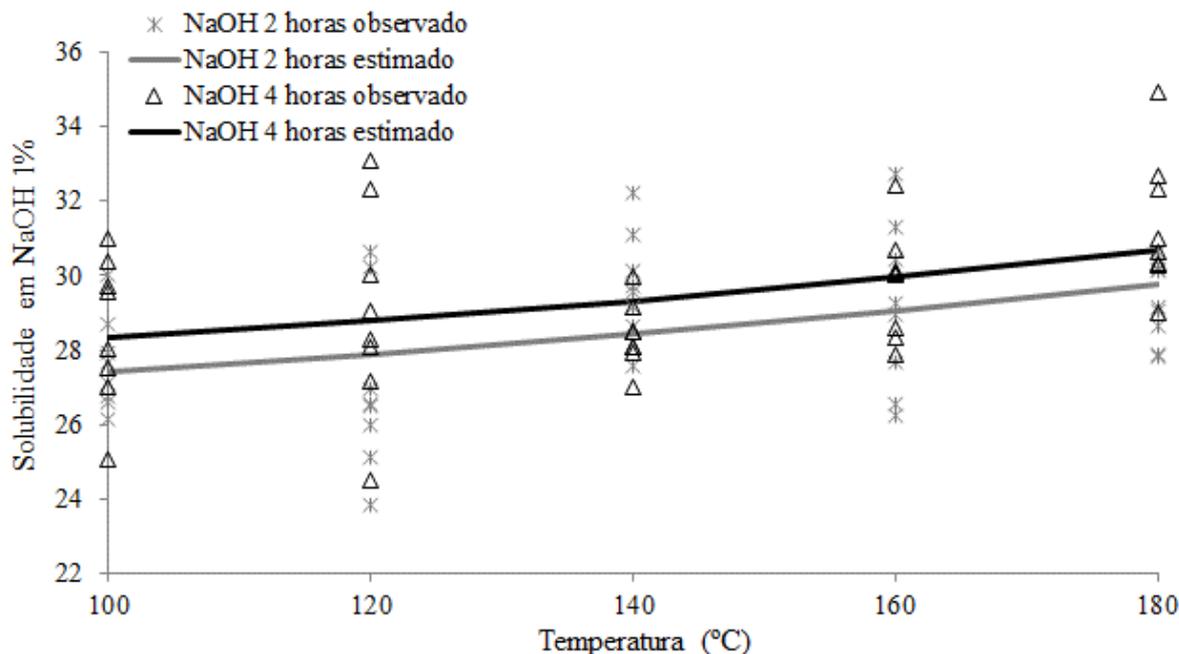
Com relação ao tempo de exposição Hill (2006) e Araújo et al., (2012) também relataram uma maior solubilidade em NaOH quanto maior o período de permanência do material

em estufa. Hill (2006) atribuiu tais resultados a maior degradação das hemiceluloses, o que ocasionou um aumento do grau de cristalinidade da madeira.

## Conclusões

De acordo com os resultados obtidos conclui-se que o tempo de exposição do material em estufa (2 e 4 horas) não modificou as propriedades mecânicas de módulo de elasticidade (MOE), de módulo de ruptura (MOR) e de tensão no limite proporcional (TLP) da madeira de *Hovenia dulcis* submetida ao ensaio de flexão estática. Entretanto, a elevação da temperatura na termorretificação alterou essas características, com tendência de diminuição até 140°C e posterior aumento até 180°C.

Para a propriedade química, verificou-se uma maior solubilidade em hidróxido de sódio no material quando submeti-



**Figura 4.** Solubilidade em hidróxido de sódio a 1% (NaOH) da madeira de *Hovenia dulcis* submetidas à estufa em diferentes temperaturas e tempos de exposição.

**Figure 4.** Solubility in 1% sodium hydroxide (NaOH) *Hovenia dulcis* wood subjected to oven at different temperatures and exposure times.

do a temperaturas mais elevadas e maior tempo de exposição.

## Referências

- AKGUL, M.; GUMUSKAYA, E.; KORKUT, S. Crystalline structure of heat-treated Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and *Uludağ fir* [*Abies nordmanniana* (Stev.) subsp. *bornmuelleriana* (Mattf.)]. **Wood Science and Technology**, v. 41, p. 281-289. 2007.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 143-94**: Standard methods of testing small clear specimens of timber. Philadelphia, 2000. 31p.
- ARAÚJO, S. O.; VITAL, B. R.; MENDONZA, Z. M. S. H.; VIEIRA, T. A.; CARNEIRO, A. C. O. Propriedades de madeiras termorretrificadas de *Eucalyptus grandis* e sp. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 95, p. 327-336. 2012.
- AZEVEDO, A. C. S.; QUIRINO, W. F. Aumento da estabilidade na madeira de eucalipto através de tratamento térmico. **Revista da Madeira**, v. 16, n. 98, p. 50-58. 2006.
- BATISTA, D. C.; TOMASELLI, I.; KLITZKE, R. J. Efeito do tempo e da temperatura de modificação térmica na redução do inchamento máximo da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 3, p. 533-540. 2011.
- BEKHTA, P.; NIEMZ, P. Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. **Holzforschung**, v. 57, p. 539-546. 2003.
- BHUIYAN, M. T. R.; HIRAI, N.; SOBUE, N. Changes of crystallinity in wood cellulose by heat treatment under dried and moist conditions. **Journal of Wood Science**, v. 46, p. 431-436. 2000.
- BOONSTRA, M.J.; ACKER, J.V.; TJEERDSMA, B.F.; KEGEL, E.V. Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents. **Ann. Forest Scientia**, v.64, p. 679-690. 2007.
- BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B.; QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O. Storage as a tool to improve wood fuel quality. **Biomass & Bioenergy**, v. 35, n. 7, p. 2581-2588. 2011.
- CADEMARTORI, P. H. G.; SCHNEID, E.; GATTO, D. A.; BELTRAME, R.; STAGERLIN, D. M. Modification of static bending strength properties of *Eucalyptus grandis* heat-treated wood. **Materials Research**, v. 15, n. 6, p. 922-927. 2012.
- CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D.; BALLARIN, A. W. Physical and mechanical properties of thermally modified wood from *Eucalyptus grandis*. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 70, n. 4, p. 453-460. 2012.
- CURLING, S.F.; CLAUSEN, C.A. WINANDY, J. E. Relationships between mechanical properties, weight loss, and chemical composition of wood during incipient brown-rot decay. **Forest Products Journal**, v. 52, n. 5, p. 34-39. 2002.
- ESTEVES, B. M.; PEREIRA, H. M. Wood modification by heat treatment: a review. **BioResources**, v. 4, n. 1, p. 370-404. 2009.
- ESTEVES, B.; GRAÇA, J.; PEREIRA, H. Extractive composition and summative chemical analysis of thermally treated eucalyptus wood. **Holzforschung**, v. 62, p. 344-351. 2008.
- GARCIA, R. A.; CARVALHO, A. M.; LATORRACA, J. V. F.; MATOS, J. L. M.; SANTOS, W. A.; SILVA, R. F. M. Nondestructive evaluation of heat-treated *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden wood using stress wave method. **Wood Science Technology**, v. 46, p. 41-56. 2012.
- GUNDUZ, G.; KORKUT, S.; AYDEMIR, D.; BEKAR, I. The density, compression strength and surface hardness of heat treated hornbeam (*Caroinus betulus*) wood. **Maderas: Ciencia y Tecnologia**, v. 11, n. 1, p. 61-70. 2009.
- HILL, C. **Wood Modification - Chemical, Thermal and Other Processes**. Wiley Series in Renewable Resources, John Wiley & Sons, Ltd, 2006. 260p.
- KOCAEFE, D.; PONCSAK, S.; BOLUK, Y. Effect of thermal treatment on the chemical composition and mechanical properties of birch and aspen. **BioResources**, v. 3, n. 2, p. 517-537. 2008.
- KORKUT, S.; HIZIROGLU, S. Effect of heat treatment on mechanical properties of hazelnut wood (*Corylus coluna* L.). **Materials and Design**, v. 30, p. 1858-1858. 2009.
- MENEZES, W. M.; SANTINI, E. J.; SOUSA, J. T. GATTO, D. A. HASELEIN, C. R. Modificação térmica nas propriedades físicas da madeira. **Ciência Rural**, v.44, n.6, p.1019-1024. 2014.

- METSÄ-KORTELAINEN, S.; ANTIKAINEN, T.; VII-TANIEMI, 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**, v. 64, n. 3, p. 192-197. 2005.
- MOCELIN, E. Z.; ANDRADE, A. S.; SILVA, J. R. M.; MUNIZ, G. I. B.; KLOCK, U. Caracterização química da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. In: ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11, Maringá. **Anais...** Universidade Estadual de Maringá, 2002.
- PARYSEK, M.; ZAKRZEWSKI, R. Investigations on the chemical composition of pine wood subjected to hydrothermal modification. **Folia Forestalia Polonica**, n. 37, p. 23-31. 2006.
- PESSOA, A. M. C.; FILHO, E. B.; BRITO, J. O. Avaliação da madeira termorretrificada de *Eucalyptus grandis*, submetida ao ataque de cupim de madeira seca, *Cryptotermes brevis*. **Scientia Forestalis**, n. 72, p. 11-16. 2006.
- PONCSÁK, S.; KOCAEFE, D.; BOUAZARA, M.; PICHETTE, A. Effect of high temperature treatment on the mechanical properties of birch (*Betula papyrifera*). **Wood Science and Technology**, v. 40, p. 647-663. 2006.
- POUBEL, D. S.; GARCIA, R. A.; SANTOS, W. A.; OLIVEIRA, G. L.; ABREU, H. S. Efeito da termorretrificação nas propriedades físicas e químicas da madeira de *Pinus caribaea*. **Cerne**, v. 19, n. 3, p. 391-398. 2013.
- RAPP, A. O. **Review on heat treatments of wood**. BFH Germany, 2001. 66p.
- SANTOS, J. A. Mechanical behavior of *Eucalyptus* wood modified by heat. **Wood Science and Technology**, v. 34, n. 1, p. 39-43. 2000.
- SAS – STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM: **Programa de computador**, ambiente VM. Cary, 1993. Versão 6.08.
- SCHAFFER, E. L. Effect of pyrolytic temperatures on the longitudinal strength of dry Douglas fir. **Journal of Testing and Evaluation**, v. 1, n. 4, p. 319-329. 1973.
- SHI, J. L.; KOCAEFE, D.; ZHANG, J. Mechanical behavior of Québec wood species heat-treated using Thermo Wood process. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v. 65, n. 4, p. 255-259. 2007.
- STAMM, A.J. **Wood and cellulose science**. New York: The Ronald Press, 1964. 549p.
- SUNDQVIST, B.; KARLSSON, O.; WESTERMARKU, U. Determination of formic acid and acetic acid concentration formed during hydrothermal treatment of birch wood and its relation to colour, strength and hardness. **Wood Science and Technology**, v. 40, n. 7, p. 549-561. 2006.
- TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **T212 om-98: one percent sodium hydroxide solubility of wood and pulp**. Atlanta: TAPPI Press, 1998. 4 p.
- TRUGILHO, P. F.; BIANCHI, M. L.; ROSADO, S. C. S.; LIMA, J. T. Qualidade da madeira de clones de espécies e híbridos naturais de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, n. 73, p. 55-62. 2007.
- ZANUNCIO, A. J. V.; FARIAS, E. S.; SILVEIRA, T. A. Termorretrificação e colorimetria da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 1, p. 85-90. 2014.