

Estudo do tratamento térmico e qualidade da madeira de *Hovenia dulcis*

Roberta Rodrigues Roubuste¹; Guilherme Valcorte¹; Darci Alberto Gatto²; Cristiane Pedrazzi¹; Rodrigo Coldebella¹; Alessandra Simon Hüller¹

¹Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria/RS, Brasil; ²Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Pelotas/RS, Brasil – robertaroubuste@gmail.com

Resumo: Objetivou-se avaliar o efeito dos tratamentos térmicos de aquecimento em estufa a 180 °C e congelamento por 12 e 24 horas nas propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Hovenia dulcis*. Para o ensaio físico foram utilizados corpos de prova de dimensões 2 x 3 x 5 cm e para o ensaio mecânico de flexão dinâmica corpos de prova de 2 x 2 x 30 cm. Os menores valores de trabalho absorvido, resistência ao impacto, coeficiente de resiliência e cota dinâmica foram observados para o tratamento congelamento por 12 horas que diferiu estatisticamente dos demais. O tratamento de congelamento por 24 horas apresentou as maiores médias dos parâmetros avaliados, embora não tenha diferido estatisticamente da testemunha e do tratamento em estufa. Foram encontrados efeitos positivos da aplicação dos tratamentos térmicos sobre a resistência e qualidade da madeira de *Hovenia dulcis*.

Palavras-chave: Massa específica, Propriedades mecânicas, Resistência ao impacto.

Study of heat treatment and quality of *Hovenia dulcis* wood

Abstract:

The aim was to evaluate the effect of heat treatment in an oven at 180 °C and freezing for 12 and 24 hours on the physical and mechanical properties of *Hovenia dulcis* wood. Specimens measuring 2 x 3 x 5 cm were used for the physical test and specimens measuring 2 x 2 x 30 cm were used for the mechanical dynamic bending test. The lowest values for work absorbed, impact resistance, coefficient of resilience and dynamic strain were observed for the 12-hour freezing treatment, which differed statistically from the others. The 24-hour freezing treatment had the highest mean values for the parameters evaluated, although it did not differ statistically from the control treatment or the greenhouse treatment. The application of heat treatments had positive effects on the strength and quality of *Hovenia dulcis* wood.

Keywords: Specific mass, Mechanical properties, Impact resistance.

1. INTRODUÇÃO

O potencial tecnológico de determinada madeira é obtido por algumas variáveis que levam em conta suas características físicas e mecânicas, que quando

associadas a alguns processos ou tratamentos térmicos, como a termorretificação e congelamento, podem melhorar as propriedades físicas, mecânicas e de qualidade da madeira (Freitas *et al.*, 2016).

Os tratamentos térmicos têm sido estudados com o objetivo de reduzir o tempo de secagem e a incidência de defeitos na madeira. Freitas (2019) menciona que a imersão em água quente para a remoção de alguns extrativos responsáveis pela alteração na estrutura interna da madeira, pode resultar no aumento na taxa de secagem.

A termorretificação caracteriza-se pelo aquecimento do material gradualmente até temperaturas situadas entre 180 °C e 260 °C, acarretando em alterações de variabilidade dimensional (Menezes *et al.*, 2014) e também de coloração da madeira (Zanuncio *et al.*, 2014). Em temperaturas inferiores a 140 °C, ocasionam alterações nas propriedades da madeira, e, quando muito elevadas, causam degradações, principalmente em relação as suas propriedades mecânicas.

Em relação ao processo de congelamento da madeira, consiste em submetê-la a temperaturas baixas, o que resulta na alteração da relação entre água e madeira, podendo acelerar o processo de secagem sem causar defeitos à peça (Gomes *et al.*, 2021). Segundo os mesmos autores, o processo de congelamento possui a vantagem de não alterar as estruturas químicas dos compostos da parede celular, sem haver a modificação dos grupos hidroxila e a conformação dos carboidratos de constituição.

Hovenia dulcis Thunberg, popularmente conhecida como uva-do-Japão, produz madeira de ótima qualidade, com massa específica entre 0,51 e 0,65 g/cm³, com classificação de média massa específica e boa estabilidade dimensional, o que ocasiona no seu elevado potencial na fabricação de móveis e pisos (Motta *et al.*, 2014). Na Argentina, a uva-do-Japão apresenta produção volumétrica anual de até 20 m³ ha⁻¹ em sítios com boa fertilidade química aos 10 anos de idade, enquanto que no Brasil seu crescimento anual é bastante variável, atingindo até 30 m³ ha⁻¹ (Andrade *et al.*, 2019).

Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho é avaliar o efeito dos tratamentos térmicos de aquecimento em estufa a 180 °C e congelamento por 12 e 24 horas em relação aos ensaios de massa específica a 12% de umidade e flexão dinâmica na qualidade da madeira de *Hovenia dulcis*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 *Obtenção e preparo do material*

Para a realização deste estudo foram utilizadas madeiras de *Hovenia dulcis*, provenientes do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA), pertencente a Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural (SEAPDR) localizada no município de Santa Maria, RS. Foram abatidas três árvores e transportadas para o Laboratório de Produtos Florestais da Universidade Federal de Santa Maria (LPF-UFSM) para serem desdobradas. Na serraria, foi realizado o desdobro primário das toras, sendo que cada tora gerou um pranchão central de 10 cm de espessura e 1,30 m de comprimento, dos quais foram descartadas a parte central da medula, para que fosse realizada a confecção dos corpos de prova conforme as normas de cada ensaio.

Posteriormente, utilizando a serra circular foram confeccionados 20 corpos de prova para o ensaio físico com as dimensões de 2 x 3 x 5 cm, nos sentidos tangencial, radial e longitudinal, respectivamente, com base na norma NBR 7190 (ABNT, 1997) e 80 corpos de prova (20 para testemunha, estufa, congelamento de 12 e 24 horas) para o ensaio mecânico nas dimensões de 2 x 2 x 30 cm, sendo a última dimensão no sentido paralelo à grã de acordo com a norma NF B51-009 da Association Francaise de Normalization (AFN, 1942). Após a confecção dos corpos de prova, os mesmos foram mantidos em câmara climatizada a 65% de umidade relativa e temperatura de 20 °C até a realização dos ensaios.

2.2 *Tratamentos térmicos*

O tratamento térmico de termorreificação foi conduzido de forma inicial com o aquecimento da estufa até chegar à temperatura de 100 °C (pré-aquecimento) durante 2 horas, para reduzir o teor de umidade e evitar problemas de expansão de vapor de água e rompimento da parede celular, e posteriormente elevou-se a temperatura a 180 °C, em que os corpos de prova permaneceram na estufa por quatro horas.

O tratamento de congelamento foi realizado com a distribuição dos corpos de prova horizontalmente dentro de um freezer a -18 °C durante os períodos de 12 e 24

horas. Depois de atingida a temperatura final e os determinados intervalos de tempo a tampa do freezer foi aberta para um processo natural de descongelamento.

2.3 Massa específica a 12%

A massa específica a 12% foi calculada através das amostras climatizadas em câmara com temperatura de 20 °C e umidade relativa controlada de 65%, até a estabilização da massa dos corpos de prova. Posteriormente, determinaram-se a massa dos corpos de prova e com auxílio de régua centimétrica e paquímetro digital foram realizadas as medições de espessura, largura e comprimento das amostras para a determinação do volume. A massa específica a 12% de umidade foi determinada pela Equação 1.

$$ME\ 12\% = \frac{M12\%}{V12\%}$$

Equação 1. ME 12% = massa específica a 12% de umidade (g/cm³); M12% = massa da amostra a 12% de umidade (g); V12% = volume da amostra a 12% de umidade (cm³).

2.4 Ensaio de flexão dinâmica

Para o referido ensaio utilizou-se o Pêndulo de Charpy, com impacto instantâneo de um pêndulo com a amostra, obtendo-se o trabalho absorvido (W) em Joule, na escala graduada da máquina. Os dados obtidos no ensaio de flexão dinâmica foram convertidos de Joule para kgm utilizando a relação 1 Joule = 0,101972 Kgm.

Posteriormente, de acordo com a Association Francaise de Normalization (AFN, 1942), determinou-se o coeficiente de resiliência (K) e a cota dinâmica (CD), utilizando as Equações 2 e 3, respectivamente. Após, aferiu-se a resistência da madeira à flexão dinâmica (F_{bw}) de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997) por meio da Equação 4.

$$K = \frac{W}{(b.h^{10/6})}$$

Equação 2. K = coeficiente de resiliência (Kgm/cm²); W = trabalho absorvido para romper o corpo de prova (kgm); b e h = dimensões transversais do corpo de prova (cm).

$$CD = \frac{K}{D^2}$$

Equação 3. CD = cota dinâmica; K = coeficiente de resiliência (Kgm/cm²); D = massa específica aparente a 12% (g/cm³).

$$F_{bw} = \frac{1000.W}{b.h}$$

Equação 4. F_{bw} = resistência ao impacto (KJ/m²); W = trabalho absorvido para romper o corpo de prova (J); b e h = dimensões transversais do corpo de prova (mm).

Os dados foram submetidos ao teste de Bartlett e Kolmogorov-Smirnov para verificar a homogeneidade das variâncias e a normalidade dos erros, respectivamente. Contudo, foram atendidas todas as pressuposições, não sendo necessário a transformação dos dados. Posteriormente os mesmos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e, quando significativo, foram comparados pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro para comparação das médias, empregando-se o software estatístico Sisvar 5.6 (Ferreira, 2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes a massa específica aparente (ME 12%), trabalho absorvido (W), resistência ao impacto (F_{bw}), coeficiente de resiliência (K) e cota dinâmica (CD) de *Hovenia dulcis* estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Comparação dos valores médios do ensaio mecânico com a madeira de *Hovenia dulcis* submetida ao tratamento térmico de estufa e congelamento por 12 e 24 horas.

Tratamentos	ME 12% (g/cm ³)	W (Kgm)	F _{bw} (KJ/m ²)	K (Kgm/cm ²)	CD
Testemunha	0,75 a	2,76 a	66,10 a	0,42 a	0,74 a
Estufa	0,74 a	2,71 a	67,10 a	0,43 a	0,77 a
12 horas	0,74 a	2,51 b	59,31 b	0,37 b	0,65 b
24 horas	0,75 a	2,99 a	71,73 a	0,45 a	0,79 a

*Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Constatou-se que o tratamento de congelamento por 12 horas diferiu estatisticamente dos demais, com os menores valores em relação aos parâmetros W, Fbw, K e CD, sendo as maiores médias, para os mesmos parâmetros, observadas pelo tratamento congelamento por 24 horas que não diferiu estatisticamente dos demais.

Os valores médios de massa específica a 12% de umidade não diferiam estatisticamente entre os tratamentos. Talgatti *et al.* (2016) em estudo com a madeira de *H. dulcis*, encontraram massa específica aparente média entre 0,59 a 0,70 g/cm³, corroborando com os valores encontrados.

Os valores médios de trabalho absorvido (W) variaram de 2,51 a 2,99 Kgm para os diferentes tratamentos, sendo que o tratamento com congelamento em freezer por 24 horas apresentou a maior média de trabalho absorvido (2,99 Kgm), seguido da testemunha e dos tratamentos em estufa e congelamento a 12h.

Para a resistência ao impacto (F_{bw}) das peças observou-se um aumento da resistência da madeira de *H. dulcis* quando submetida ao tratamento de congelamento em freezer por 24 horas (71,73 KJ/m²), seguido do tratamento em estufa.

Em estudos realizados por Korkut e Budakçi (2009) com *Sorbus aucuparia*, no processo de termorretificação, a resistência ao impacto da madeira é uma das propriedades mecânicas mais afetadas, uma vez que a diminuição dessa variável é diretamente proporcional ao aumento da temperatura e duração do tratamento. No presente trabalho os parâmetros avaliados não diferiram entre as amostras controle

(testemunha) e o tratamento em estufa, portanto, é possível afirmar que essa relação poderia ocorrer se fossem utilizadas temperaturas superiores a 180 °C.

Os valores médios do coeficiente de resiliência (K) variaram de 0,37 a 0,45 Kgm/cm² para os diferentes tratamentos, com maior média observada no tratamento de congelamento 24 horas em freezer, seguido respectivamente dos tratamentos em estufa e congelamento 12 horas, mesma tendência observada em relação aos resultados da cota dinâmica (CD).

4. CONCLUSÃO

- Foram encontrados efeitos positivos da aplicação dos tratamentos térmicos sobre a resistência e qualidade da madeira de *Hovenia dulcis*, tanto para a termorretificação como também para o congelamento da madeira, uma vez que influenciou na melhoria das propriedades físicas e mecânicas da madeira em estudo. Houve diferença significativa para o tratamento de congelamento por 12 horas com os demais, em que propiciou menores valores em relação aos parâmetros avaliados.
- Além disso, é importante salientar que o tratamento de congelamento da madeira em freezer por 24 horas, proporcionou médias elevadas para as diferentes variáveis analisadas em comparação aos demais tratamentos, embora sem diferença estatística em relação à testemunha.

5. REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. de.; MAYER, S. L. S.; FERRAZ, F. A. *et al.* Propriedades energéticas da madeira e do carvão de *Hovenia dulcis* Thunberg. **Ciência da Madeira**. v. 10, n. 2, p. 166-175, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIATION FRANCAISE DE NORMALIZATION. **NF B51-009**: Norme Francaise, bois essai de choc ou flexion dynamique. Paris: AFN, 1942.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**. v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FREITAS, Fabiana Paiva de. **Efeito do tratamento hidrotérmico e congelamento nas propriedades da madeira de eucalipto**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

FREITAS, Thaís Pereira. **Colagem e soldagem de madeira termorretificada de *Fraxinus excelsior***. 2019. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

GOMES, M. F.; CARNEIRO, A. de. C. O.; PAULA, M. O. de. *et al.* Influência do congelamento nas propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith. In: VANGELISTA, W. V. (ed.). **Madeiras nativas e plantadas do Brasil: qualidade, pesquisas e atualidades**. Guarujá: São Paulo, 2021. p. 162-176.

KORKUT, S.; BUDAKÇI, M. Effect of high-temperature treatments on the mechanical properties of Rowan (*Sorbus aucuparia* L.) wood. **Drying Technology**. v. 27, n. 11, p. 1240-1247, 2009.

MENEZES, W. M.; SANTINI, E. J.; SOUSA, J. T. *et al.* Modificação térmica nas propriedades físicas da madeira. **Ciência Rural**. v. 44, n. 6, p. 1019-1024, 2014.

MOTTA, J. P.; OLIVEIRA, J. T. da. S.; BRAZ, R. L. *et al.* Caracterização da madeira de quatro espécies florestais. **Ciência Rural**. v. 44, n. 12, p. 2186-2192, 2014.

TALGATTI, M.; SUSIN, F.; CARVALHO, D. E. *et al.* Massa específica aparente e suas implicações na flexão dinâmica da madeira de *Hovenia dulcis* Thunb. **Scientia Agraria Paranaensis**. v. 16, n. 1, p. 21-26, 2017.

ZANUNCIO, A. J. V.; FARIAS, E. S.; SILVEIRA, T. A. Termorretificação e colorimetria da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Floresta e Ambiente**. v. 21, n. 1, p. 85-90, 2014.