

RETIFICAÇÃO TÉRMICA DE UMA CONÍFERA DE RÁPIDO CRESCIMENTO

HENRIQUE VAHL RIBEIRO¹; KELVIN TECHERA BARBOSA²; WESLEY MUNHOZ RIBEIRO²; ANDREY PEREIRA ACOSTA³; DIONE PEREIRA DE CASTRO³; RAFAEL BELTRAME⁴

¹Universidade Federal de Pelotas – henrique.vahl.ribeiro@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – kelvintecherabarbosa@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – wesleymunhozribeiro@gmail.com

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul – andreysvp@gmail.com

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul – dione.castro@ufrgs.br

⁴Universidade Federal de Pelotas – beltrame.rafael@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

A madeira possui inúmeras aplicações e se destaca por ser um material ambientalmente correto, renovável, reciclável e biodegradável. Entretanto, o uso desenfreado deste material ocasionou uma escassez de madeiras de boa qualidade, tendo como alternativa a utilização de madeiras de reflorestamentos.

No cenário atual, a madeira de *Pinus* sp. se apresenta como uma alternativa potencial, pois apresenta fácil adaptação e crescimento, além da qualidade e inúmeras aplicações. No entanto, a espécie de *Pinus* exibe determinadas limitações nos parâmetros tecnológicos, as quais são destacados a resistência mecânica e estabilidade térmica. Em função destas características, se faz necessário a utilização de determinados tratamentos visando seu melhoramento de acordo com sua aplicação.

Nos últimos tempos, muitos tratamentos que visam o melhoramento da estrutura anatômica da madeira, apresentaram significativa relevância, sendo estes tratamentos elencados, dividem-se em três categorias: químico, de impregnação e térmico (ROWELL, 2012). Dentre estes tratamentos, o térmico tem se destacado por não conferir praticamente nenhum risco para o meio ambiente, sendo dispensável a utilização de qualquer produto químico. A termorretificação é um tratamento que expõe a madeira em altas temperaturas, normalmente (130, 150, 180 e 200 °C) por um determinado período de tempo, podendo variar entre 2, 6 e 10 horas, tendo como consequência a alteração de suas propriedades físicas e químicas (YILDIZ et al., 2006).

Visando melhorar às características da madeira, Modes et al., (2017) utilizou a técnica de retificação térmica, também conhecida como termorretificação, a fim de submeter os corpos de prova à uma temperatura de 120 e 200 °C, buscando ocasionar possíveis alterações químicas nos polímeros celulose, hemicelulose e lignina, desta forma, obtendo um material com propriedades e características diferentes de sua forma natural. Com isso, este estudo tem como objetivo avaliar a termorretificação da madeira de *Pinus elliottii* por meio da modificação térmica em três diferentes faixas de temperaturas em um mesmo intervalo de tempo.

2. METODOLOGIA

Utilizou-se a madeira de *Pinus elliottii*, proveniente de um reflorestamento de 22 anos de idade, oriundo do município de Piratini (latitude: -31.4421, Longitude: -53.1045 31° 26' 32" Sul, 53° 6' 16" Oeste), localizado no estado do Rio Grande do Sul. Foram confeccionados 28 corpos de prova, com medidas de 15 × 15 × 250 mm³ (planos radial, tangencial e longitudinal), respectivamente. Para cada

tratamento foram destinados sete corpos de prova, juntamente com o tratamento controle. Posteriormente, os mesmos foram encaminhados para câmara climática a 20 °C e 65 % de umidade relativa do ar, afim de se obter o equilíbrio higroscópico de 12 % de umidade.

Após estabilização dos corpos de prova foram termorretificados, utilizando três diferentes condições de temperatura (tratamento a 160 °C, tratamento a 200 °C e tratamento a 240 °C) durante duas horas em uma estufa com circulação de ar. Sucessivamente ao tratamento empregado os corpos de prova foram novamente recondicionadas na sala climatizada, onde atingiram o teor de umidade de equilíbrio.

Para a determinação das propriedades mecânicas, foi realizado o ensaio de flexão estática, seguindo as normas da ASTM D 143-94 (2014), realizado na máquina universal de ensaios EMIC (DL -30000), com capacidade de carga de 3 toneladas. Após o ensaio mecânico, obteve-se os valores para os parâmetros de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR).

Com a finalidade de determinar a tenacidade da madeira, utilizou-se uma adaptação da norma ASTM D6110 com auxílio do pêndulo de charpy para relacionar a resistência ao impacto na flexão dinâmica. Os corpos de prova foram apoiados no equipamento em um vão de 140 mm e submetidos ao impacto do pêndulo no sentido tangencial, bem na região central do corpo de prova. Com a queda do pêndulo acontece um impacto no corpo-de-prova, causando uma fratura e registrando o trabalho absorvido em kgf/cm², este registrado em uma escala graduada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação às propriedades mecânicas estudadas, nota-se um decréscimo conforme o aumento da temperatura, (tratamento T200 °C e T240 °C) tanto para o módulo de ruptura, quanto para o módulo de elasticidade e tenacidade.

Tabela 1: Estatística descritiva para o módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE) e a tenacidade da madeira de *Pinus elliottii* em diferentes faixas de temperaturas.

TRATAMENTO	MOR (MPa)	MOE (MPa)	TENACIDADE (Kg/Cm)
Controle	84,50 ^(5,3) b	11265,5 ^(1396,4) b	234,5 ^(36,2) d
T 160°C	90,81 ^(10,2) c	11569,1 ^(1114,2) b	163,2 ^(22,6) c
T 200°C	63,58 ^(4,3) a	10944,5 ^(762,3) b	110,1 ^(28,5) b
T 240°C	43,12 ^(9,9) a	8973,35 ^(751,6) a	46,5 ^(13,17) a

Em que: Os valores das medias apresentam-se nas colunas, entre parênteses e sobrescritos apresenta-se o desvio padrão, seguidas pelas letras, que se forem iguais, não apresentam diferença significativa entre si com 1% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey.

Para ao módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE), ambos provenientes do ensaio de flexão estática, foi observado que a menor faixa de temperatura utilizada neste estudo (160 °C) ocasionou um aumento nos valores de MOR e MOE, sendo de 7,4 % e 2,6 % respectivamente, quando comparados ao

grupo controle. Entretanto as faixas de temperatura mais altas (200 °C e 240 °C) ocasionaram uma redução dessas propriedades, sendo cerca de 24,7 % e 48,9 % menor para o MOR e 2,8 % e 20,3 % para o MOE. Tanto o incremento quanto a redução do MOR e MOE encontram-se de acordo com os observados em outros estudos feitos por Cademartori et al. (2014), Todorovic et al. (2012).

Com base nos dados, inicialmente obteve-se um aumento no MOR e MOE nas faixas de temperaturas menos agressivas, em relação ao grupo controle, porem houve tendência de redução destas propriedades conforme o aumento de temperatura do tratamento, indo de acordo com observado por Cademartori et al. (2013). Este aumento inicial pode ser explicado pela redução do teor de umidade em que a madeira se encontra em equilíbrio, em função da diminuição das hidroxilas (grupos OH) (BOONSTRA et al., 2007). Já a redução da resistência mecânica é dada em função do aumento de agressividade do tratamento que causa a degradação dos constituintes químicos da madeira, tendo em vista que este aumento de temperatura pode transformar celulose amorfa em cristalina e degradar hemiceluloses (CALONEGO et. al., 2012 e ESTEVES et. al., 2009).

Quanto ao ensaio de flexão dinâmica, pode-se verificar diferenças significativas entre os tratamentos empregados, sendo que todos os tratamentos apresentaram uma redução nesse parâmetro tecnológico em relação ao grupo controle: 30,4 % (T 160 °C), 53 % (T 200 °C) e 80,2 % (T 220 °C). Esses valores encontrados no estudo corroboram com os valores do estudo de Boonstra et al. (2007) sobre termorretificação das espécies pinheiro silvestre, pinheiro radiata e da Noruega espécimes de abetos, o qual encontrou resultados semelhantes para resistência ao impacto, tendo uma diminuição após o tratamento térmico. A alta diferença na tenacidade entre os corpos de prova tratados e o grupo controle pode ser devido a diminuição da densidade, ocasionada pelo aumento na quantidade de celulose cristalina devido a degradação e / ou cristalização de celulose amorfa em função do aumento de temperatura.

A termorretificação das amostras apresentaram uma diminuição significativa na resistência ao impacto principalmente quando comparada à redução da resistência à flexão. Segundo Davis e Thompson (1964) a degradação das hemiceluloses está diretamente ligada a redução da tenacidade, tendo em vista há interação entre celulose e hemiceluloses, pode ser que a frequência de oscilação dessas ligações secundárias que determine a resistência ao impacto. Além disso, a alta redução da resistência ao impacto pode estar relacionada a frequência de oscilação das ligações covalentes entre hemiceluloses e lignina ou a frequência de oscilação das ligações covalentes dentro das microfibrilas / fibrilas de celulose (despolimerização). (BOONSTRA et al., 2007).

4. CONCLUSÕES

Ao analisar a aplicação do tratamento de termorretificação, constata-se modificações nas propriedades mecânicas analisadas da madeira de *Pinus elliotti*. Em relação ao MOR e MOE o T160 °C apresentou um aumento de resistência em ambos ensaios, sendo recomendado o tratamento nesta faixa de temperatura. Já os tratamentos T200 °C e T240 °C apresentaram uma diminuição considerável e indesejável em ambos testes. A análise de flexão dinâmica demonstrou uma redução na resistência ao impacto após o tratamento térmico devido a degradação causada pelo tratamento.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D143-94: standard test methods for small clear specimens of timber. Philadelphia, 2014.

ASTM - American Society for Testing Materials. ASTM D6110 - 04 - Standard Test Methods for Determining the Charpy Pendulum Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics. Annual Book of ASTM, 2004.

BOONSTRA, M. J., VAN ACKER, J., TJEERDSMA, B. F., et al., "Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents", **Annals of Forest Science**, v. 64, n. 7, pp. 679-690, 2007.

CALONEGO, F. W., SEVERO, E. T. D., BALLARIN, A. W., "Physical and mechanical properties of thermally modified wood from *E. grandis*", **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 70, n. 4, pp. 453-460, 2012.

DE CADEMARTORI, Pedro Henrique G. et al. Physical and mechanical properties and colour changes of fast-growing Gympie messmate wood subjected to two-step steam-heat treatments. *Wood Material Science & Engineering*, v. 9, n. 1, p. 40-48, 2014.

Davis W.H., Thompson W.S., Influence of thermal treatments of short duration on the toughness and chemical composition of wood, **For. Prod. J.** 14 (1964) 350–356.

ESTEVEZ, B., PEREIRA, H. M., "Wood modification by heat treatment: a review", **BioResources**, v. 4, n. 1, pp. 370-404, 2009.

MODES, Karina Soares et al. Efeito da termorretificação nas propriedades mecânicas das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 291-302, 2017.

ROWELL, Roger. Chemical modification of wood to produce stable and durable composites. **Cellulose Chemistry and Technology**, v. 46, n. 7-8, p. 443-448, 2012.

TODOROVIC, Nebojsa Vljako et al. Estimation of heat-treated beechwood properties by color change. **BioResources**, v. 7, n. 1, p. 0799-0815, 2012.

YILDIZ, Sibel; GEZER, Engin D.; YILDIZ, Umit C. Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat. **Building and environment**, v. 41, n. 12, p. 1762-1766, 2006.