

## **EFEITO DAS VARIÁVEIS DO TRATAMENTO TÉRMICO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus* sp.**

**Déborah Nava Soratto<sup>1</sup>; Solange de Oliveira Araújo<sup>2</sup>; Benedito Rocha Vital<sup>1</sup>; Angélica de Cassia Oliveira Carneiro<sup>1</sup>; Maria Fernanda Vieira Rocha<sup>3</sup>; Emylle Veloso Santos Costa<sup>3</sup>**

1 Universidade Federal de Viçosa – UFV

2 Universidade Técnica de Lisboa

3 Universidade Federal de Lavras – UFLA

E-mail: deborahsoratto@gmail.com

### **RESUMO**

Termorretificação é um tratamento utilizado com diversos objetivos, como conferir maior estabilidade dimensional, resistência à degradação fúngica e dureza superficial. Os tratamentos térmicos tem como efeito a redução da higroscopicidade através da degradação do constituinte mais hidrófilo que são as hemiceluloses, ao reduzir a capacidade de trocar água com o meio, são minimizados também problemas de contração e inchamento. O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito das variáveis do tratamento térmico na umidade de equilíbrio higroscópico, densidade, e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus* sp.. As amostras foram termorretificadas em estufa com ambiente vácuo, nitrogênio e vácuo com nitrogênio, nesta última combinação, aquecida com patamares de temperatura. As temperaturas utilizadas foram 140, 180 e 220°C, e o tempo de tratamento foram seis horas. O experimento foi instalado segundo um delineamento inteiramente casualizado. Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando estabelecidas diferenças, aplicaram-se os testes Tukey e Dunnett. Os resultados indicaram que os tratamentos térmicos, foram eficientes na redução da umidade de equilíbrio higroscópico, principalmente na temperatura de 220°C, assim como aumentou a estabilidade dimensional da madeira.

**Palavras Chave:** termorretificação, higroscopicidade, estabilidade dimensional.

### **ABSTRACT**

The thermal treatments is used with various objectives, such as providing greater dimensional stability, greater resistance to fungal degradation and increased surface hardness. Thermal treatment have the effect of reducing the hygroscopicity of the wood through the degradation of its constituent which are more hydrophilic hemicelluloses, reducing the ability to exchange water with the environment, are also minimized the problems of shrinkage and swelling. The objective of this study was to investigate the effect of varying the thermal treatment in hygroscopic equilibrium moisture content, density and shrinkage of *Eucalyptus* sp. wood. The woods were heated in a vacuum in kiln, nitrogen and vacuum and nitrogen, the latter combination, heated with temperature levels. The temperatures used were 140, 180 and 220°C, and treatment time was six hours. The experiment was carried out according to a completely randomized design. Data were subjected to analysis of variance and, when established differences between them, were applied Tukey's and Dunnett's tests. The results indicated that thermal treatments employed, were effective in reducing the moisture equilibrium moisture mainly to the temperature of 220°C then with increased dimensional stability of wood.

**Keywords:** thermal treatment, hygroscopicity, dimensional stability.

## 1. INTRODUÇÃO

Existem alguns processos de modificação química, térmica e de superfície da madeira que podem amenizar problemas nas características físicas e mecânicas da madeira, dentre estes a modificação térmica possui algumas vantagens, como o baixo custo envolvido; a não utilização de produtos químicos; a melhoria nas propriedades físicas da madeira, o aumento da durabilidade a organismos xilófagos; e a mudança de coloração da madeira.

Em geral, os métodos utilizados têm em comum o aquecimento da madeira a temperaturas próximas à 200°C durante algumas horas ou dias, dependendo do processo utilizado (ROUSSET et al., 2004). As principais diferenças entre os tratamentos são a temperatura máxima, uso ou não de atmosfera inerte (nitrogênio ou vapor), uso de óleos, e processos para a madeira anidra ou úmida.

Segundo Moura et al. (2008), durante o processo de aquecimento, os polissacarídeos hidrofílicos da madeira (hemiceluloses) sofrem um processo de volatilização, reduzindo os grupos hidroxila livres (OH), aos quais as moléculas de água normalmente estão ligadas. Para Bourgois et al. (1989) a temperatura elevada e o tempo de exposição da amostra ao calor são os principais fatores de degradação das hemiceluloses na madeira termorretificada.

Rousset et al. (2004) afirmam que a madeira termorretificada é menos higroscópica e apresenta melhor estabilidade dimensional devido à degradação das hemiceluloses, à ruptura dos grupos hidroxílicos livres da região amorfa da celulose e à reticulação dos polímeros que compõem a madeira durante o seu tratamento.

Assim, em virtude da gama de variáveis que podem ser modificadas nos tratamentos térmicos, por exemplo, diferentes temperaturas e atmosfera, neste trabalho, as amostras de *Eucalyptus* sp. foram submetidas a termorretificação em condições de vácuo; nitrogênio; e vácuo com nitrogênio, nas temperaturas de 140, 180 e 220°C, com o objetivo verificar o efeito das variáveis do tratamento térmico na umidade de equilíbrio higroscópico, densidade, e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus* sp..

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A madeira de *Eucalyptus* sp. foi adquirida de uma serraria no município de Viçosa, estado de Minas Gerais, com dimensões de 3 x 0,15 x 0,025 m (comprimento x largura x espessura). Ao atingirem a umidade de equilíbrio higroscópico as tábuas foram cortadas em peças de 60 x 7,5 x 2 cm (comprimento x largura x espessura).

Os tratamentos foram realizados em uma estufa com controle de temperatura, vácuo e pressão com seis tábuas para cada tratamento. Foram utilizadas três temperaturas (140, 180 e 220°C) nos métodos a seguir:

- Vácuo (**método 1**): aplicou-se o vácuo com duração de seis horas.
- Nitrogênio (**método 2**): a câmara foi preenchida com nitrogênio até uma pressão máxima de 0,6 kgf/cm<sup>2</sup>. A duração do tratamento foi de seis horas.
- Vácuo + Nitrogênio com patamares de temperatura (**método 3**): o material foi inserido na estufa a uma temperatura de 25°C, então a câmara era evacuada assim permanecendo por uma hora. A seguir a temperatura foi elevada a 140°C e a câmara preenchida com nitrogênio, por mais uma hora. A estufa foi aquecida a 140 ou 180 ou 220°C, que permaneceram por quatro horas.

Para determinar as propriedades foram preparados corpos de prova, climatizados conforme a Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 7190 (1997). Amostras não tratadas de madeira (testemunha) foram preparadas para comparação dos resultados.

O teor de umidade de equilíbrio higroscópico, a retratibilidade tangencial, radial, axial e volumétrica, coeficiente de anisotropia, foram determinados de acordo com os procedimentos estabelecidos na norma NBR 7190 da ABNT (1997) e a densidade básica foi determinada pelo método de imersão em água, com os corpos de prova saturados e secos, conforme descrito por Vital (1984).

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em fatorial, com os fatores temperatura e atmosfera de tratamento. Utilizou-se de análise de variância (ANOVA) e, quando observadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelos testes de Dunnett e Tukey a 5% de significância. As análises estatísticas foram feitas nos softwares R Development Core Team (2012) e STATISTICA 8.0 (2008).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Densidade básica

A Tabela 1 mostra o efeito dos métodos e das temperaturas de tratamento na densidade básica da madeira.

Tabela 1. Efeito dos métodos e das temperaturas de tratamento na densidade básica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) da madeira de *Eucalyptus* sp.

| Método                            | Temperatura [ $^{\circ}\text{C}$ ] |          |         |
|-----------------------------------|------------------------------------|----------|---------|
|                                   | 140                                | 180      | 220     |
| Vácuo (1)                         | 0,53 Aa                            | 0,52 Aab | 0,47 Ab |
| N <sub>2</sub> (2)                | 0,50 Aa                            | 0,47 Aa  | 0,52 Aa |
| Patamares (V+N <sub>2</sub> ) (3) | 0,53 Aa                            | 0,52 Aab | 0,48 Ab |
| <b>Testemunha</b>                 | <b>0,49</b>                        |          |         |

Médias na vertical seguidas das mesmas letras maiúsculas, e horizontal seguidas de mesmas letras minúsculas, não diferem significativamente entre si, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade. V – Vácuo, N<sub>2</sub> – Nitrogênio, V+N<sub>2</sub> – Vácuo+Nitrogênio.

As médias de densidade básica obtidas para a temperatura de 220 $^{\circ}\text{C}$  nos métodos 1 e 3 foram as mais afetadas negativamente pelo tratamento térmico. A redução na densidade pode estar relacionada a perda de massa, que ocorreu durante o tratamento térmico, ocasionada pela degradação dos constituintes químicos da madeira, principalmente as hemiceluloses, que são mais instáveis e se degradam mais facilmente.

Brito et al. (2006) encontraram um aumento na densidade básica, o que pode ser explicado, segundo os autores, pela retração da madeira no tratamento, onde a perda de massa não ocorreu na mesma proporção. Ao contrário, Calonego (2009) utilizando temperaturas de 140, 180 e 220 $^{\circ}\text{C}$  por 2,5 horas, verificou uma redução significativa na densidade básica.

#### 3.2 Umidade de equilíbrio higroscópico

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios da umidade de equilíbrio higroscópico das madeiras em função da temperatura e método de tratamento.

Tabela 2. Médias de umidade de equilíbrio higroscópico (%) da madeira de *Eucalyptus* sp. em função do método e da temperatura de termorretificação

| Método                            | Temperatura [°C] |       |       |
|-----------------------------------|------------------|-------|-------|
|                                   | 140              | 180   | 220   |
| Vácuo (1)                         | 12,14            | 9,86* | 8,25* |
| N <sub>2</sub> (2)                | 11,25            | 9,21* | 6,99* |
| Patamares (V+N <sub>2</sub> ) (3) | 11,10            | 8,60* | 6,12* |
| <b>Testemunha</b>                 | 13,00            |       |       |

Médias seguidas de \* diferem significativamente da testemunha, a 5% de significância, pelo teste Dunnett. V – Vácuo, N<sub>2</sub> – Nitrogênio, V+N<sub>2</sub> – Vácuo+Nitrogênio.

No método 3 e temperatura de 220°C houve uma redução de aproximadamente 53% em relação a testemunha. A redução da umidade de equilíbrio deve-se à menor quantidade de água adsorvida pelas paredes da célula em consequência da mudança química, com uma diminuição de grupos hidroxílicos, mas também devido à redução da acessibilidade por aumento da cristalinidade da celulose e aumento das ligações cruzadas na lignina que por sua vez também levam a um aumento da estabilidade dimensional (BOONSTRA e TJEERDSMA, 2006).

Araújo (2010), verificou redução de umidade de equilíbrio higroscópico para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus* sp. com o aumento da temperatura de tratamento e, segundo Borges e Quirino (2004), a temperatura de 120°C não diferiu significativamente da testemunha.

### 3.3 Coeficiente de anisotropia, retratibilidade e inchamento da madeira

Os valores médios das retrações que ocorreram na madeira de *Eucalyptus* sp., tratada termicamente, estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Médias de retratibilidade (%) da madeira de *Eucalyptus* sp. em função do método e da temperatura de termorretificação

| Método                       | Temperatura [°C] | Retração axial [%] | Retração radial [%] | Retração tangencial [%] | Retração volumétrica [%] | Coefficiente de anisotropia [adm] <sup>1</sup> |
|------------------------------|------------------|--------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|--|
| (1) Vácuo                    | Testemunha       | 0,12               | 8,29                | 10,13                   | 17,43                    | 1,27   |
|                              | 140              | 0,04               | 8,54                | 9,18                    | 18,10                    | 1,13   |
|                              | 180              | 0,06               | 7,67                | 7,63*                   | 14,76                    | 1,04   |
|                              | 220              | 0,02               | 5,54*               | 4,94*                   | 10,13*                   | 0,92*  |
| (2) N <sub>2</sub>           | Testemunha       | 0,12               | 8,29                | 10,13                   | 17,43                    | 1,27   |
|                              | 140              | 0,05               | 7,10                | 8,48                    | 14,95                    | 1,27   |
|                              | 180              | 0,04               | 5,97*               | 6,73*                   | 12,19*                   | 1,17   |
|                              | 220              | 0,06               | 4,15*               | 4,23*                   | 8,19*                    | 1,07   |
| (3) Patamar V+N <sub>2</sub> | Testemunha       | 0,12               | 8,29                | 10,13                   | 17,43                    | 1,27   |
|                              | 140              | 0,03               | 7,92                | 8,62                    | 15,77                    | 1,12   |
|                              | 180              | 0,11               | 7,12                | 7,95                    | 14,67                    | 1,19   |
|                              | 220              | 0,10               | 4,88*               | 4,67*                   | 9,31*                    | 1,01   |

<sup>1</sup>Adm. = adimensional

Médias seguidas de \* diferem significativamente da testemunha, a 5% de probabilidade, pelo teste Dunnett. V – Vácuo, N<sub>2</sub> – Nitrogênio, V+N<sub>2</sub> – Vácuo+Nitrogênio.

Nas Tabelas 4 e 5 estão apresentadas as médias de retração em função dos métodos ou temperaturas isoladamente.

Tabela 4. Médias da retração radial, tangencial, volumétrica (%) e coeficiente de anisotropia da madeira de *Eucalyptus* sp. em função do método de termorretificação

| Métodos                          | Retração radial [%] | Retração tangencial [%] | Retração volumétrica [%] | Coefficiente de anisotropia [adm] <sup>1</sup> |
|----------------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|--|
| Vácuo (1)                        | 7,25 a              | 7,25 a                  | 14,33 a                  | 1,03 a   |
| N <sub>2</sub> (2)               | 5,74 b              | 6,48 a                  | 11,78 b                  | 1,17 a   |
| Patamares V + N <sub>2</sub> (3) | 6,64 a              | 7,08 a                  | 13,25 ab                 | 1,10 a   |

Médias seguidas de mesma letra, ao longo das colunas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste Tukey. V – Vácuo, N<sub>2</sub> – Nitrogênio, V+N<sub>2</sub> – Vácuo+Nitrogênio.

O método 2 de termorretificação que utilizou nitrogênio, foi o que mais reduziu a retratibilidade tangencial da madeira, onde obteve uma redução de 36% quando comparado com a testemunha.

Tabela 5. Médias da retração radial, tangencial, volumétrica (%) e coeficiente de anisotropia da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da temperatura de termorretificação

| Temperatura (°C) | Retração radial [%] | Retração tangencial [%] | Retração volumétrica [%] | Coefficiente de anisotropia [adm] <sup>1</sup> |
|------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|--|
| 140              | 7,85 a              | 8,76 a                  | 16,28 a                  | 1,17 a   |
| 180              | 6,92 b              | 7,44 b                  | 13,88 b                  | 1,13 ab  |
| 220              | 4,86 c              | 4,62 c                  | 9,21 c                   | 1,00 b   |

Médias seguidas de mesma letra, ao longo das colunas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste Tukey.

Houve uma redução da retração tangencial em 220°C, isso pode ocorrer em virtude das temperaturas mais elevadas possibilita a formação de ácido acético que ocasiona substituição dos grupamentos hidroxílicos por acetil. Assim, o ácido acético liberado serve como um catalisador na hidrólise de hemiceluloses. Essa reação altera as propriedades físicas da madeira por torna-la menos higroscópica.

De modo geral, foi observada uma redução de 53% de retração volumétrica, utilizando o método 2 e a temperatura de 220°C, comparando-se com a testemunha. Estes valores são superiores quando comparados com aqueles observados por Araújo (2010), que obteve valores médios de 13,79 e 13,83% para madeiras tratadas termicamente a 220°C por 1 hora, utilizando vácuo e nitrogênio, respectivamente.

Com relação ao inchamento, de modo geral, independentemente do método, a madeira termorretificada tornou-se dimensionalmente mais estável, provavelmente devido à redução dos sítios de sorção da madeira, sobretudo das hidroxilas, porém, não ocorreram diferenças significativas em função dos métodos e temperaturas.

#### 4. CONCLUSÕES

A madeira de *Eucalyptus* sp., termorretificada a à 220°C, foi a que obteve os melhores resultados. Como consequência, a se tornou mais estável.

O trabalho utilizou diferentes variáveis como as atmosferas e as temperaturas nas termorretificações, porém, foi possível verificar que houve um maior efeito da temperatura de tratamento sobre os resultados encontrados.

Sugere-se analisar qual a finalidade da madeira termorretificada, pois é possível que se faça uso da madeira tratada termicamente em uma infinidade de produtos que necessitem melhores propriedades higroscópicas. Além disso, ainda tem a vantagem da cor da madeira, que é modificada para tons mais escuros, agregar valor à madeira termorretificada.

#### 5. AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e aos funcionários do Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM/UFV).

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, S. O. Propriedades de Madeiras Termorretificadas. Viçosa: UFV, 2010. 93 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

BRITO, J.O.; GARCIA, J.N.; BORTOLETTO JUNIOR, G.; PESSOA, A.M.C.; SILVA, P.H.M. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, submetida a diferentes temperaturas de termorretificação. *Cerne*, v. 12, p.182-188, 2006.

BOONSTRA, M. J.; TJEERDSMA, B. F. Chemical analysis of heat-treated softwoods. *Holz Roh-Werkst*, v. 64, n. 1, p. 204-211, 2006.

BORGES, L. M.; QUIRINO, W. F. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tratado termicamente. *Revista Biomassa & Energia*, v. 1, n.2, p. 173-182, 2004.

BOURGOIS, J.; BARTHOLIN, M.C.; GUYONNET, R. Thermal treatment of Wood: analysis of the obtained product. *Wood Science and Technology*, v. 23, n. 4, p. 303-310, 1989.

CALONEGO, F. W. Efeito da termorretificação nas propriedades físicas, mecânicas e na resistência a fungos deterioradores da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. 149 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu.

## II CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Belo Horizonte - 2015



II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira  
Belo Horizonte - 20 a 22 set 2015



MOURA, L. F. de; BRITO, J. O.; NOLASCO, A. M.; ULIANA, L. R. Efeito da termorreificação sobre como propriedades de usinagem de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. In: Simpósio DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 1, 2008, Seropédica.. Anais ... Seropédica: UFRJ, p. 7-8. 2008.

R Development Core Team (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. Disponível em: <http://www.R-project.org/>

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.

STATSOFT INC. Statistic data analysis system version 8.0. Tulsa: Statsoft Inc., 2008

VITAL, B. R. Métodos de determinação de densidade da madeira. Viçosa, MG: SIF, 1984. 21 p. (Boletim Técnico, 1).