

Propriedades mecânicas em duas espécies de bambu submetidas a tratamentos térmicos

Mayra Ferreira Alves de Oliveira Mbamu¹

Alexandre Miguel do Nascimento²

Rosilei Aparecida Garcia³

Daiana Souza de Jesus⁴

RESUMO

O bambu é um material muito versátil, que apresenta elevada resistência físico-mecânica, além de leveza e flexibilidade. Pode ser utilizado em diversas áreas, como alimentação, movelaria, construção civil, artesanato etc. O tratamento térmico pode ser aplicado ao bambu, para propiciar melhorias de estabilidade dimensional e modificar a cor e as propriedades mecânicas do material. O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades mecânicas de *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides*. O tratamento térmico foi aplicado em três temperaturas e durações de tempo: 160, 180 e 200°C, por 15, 30 e 45 min, respectivamente. Os ensaios mecânicos foram realizados com a utilização da máquina de ensaio universal Contenco. Houve redução da resistência à compressão, com o aumento das temperaturas de tratamento. A resistência ao cisalhamento reduziu-se 47% em *B. tuldoides*, em comparação ao controle, considerando-se o tempo de tratamento de 45 min, e 59%, considerando-se a temperatura de 200°C. Em *P. aurea*, houve redução de 31,5% de resistência ao cisalhamento, em comparação ao controle a 200°C. O módulo de elasticidade à flexão (MOE) apresentou discreta elevação com o incremento da temperatura de tratamento.

Termos para indexação: *Bambusa tuldoides*, *Phyllostachys aurea*, ensaios mecânicos, modificação térmica, módulo de elasticidade.

Ideias centrais

- Caracterização das propriedades mecânicas de duas espécies de bambu tratados termicamente
- Ensaios mecânicos comparativos em bambu antes e após tratamento térmico
- Avaliação da qualidade das propriedades de duas espécies de bambus destinadas a fins estruturais

Mechanical properties of two bamboo species subjected to heat treatments

ABSTRACT

Bamboo is a very versatile material that shows a high physicomaterial resistance, besides lightness and flexibility. It can be used in various areas such as food, furniture, construction, crafts etc. Heat treatment can be applied to bamboo, to improve its dimensional stability, and to change the color and the mechanical properties of the material. The objective of this work was to evaluate the mechanical properties of *Phyllostachys aurea* and *Bambusa tuldoides*. The heat treatment was applied at three temperatures and time durations: 160, 180, and 200°C, for 15, 30, and 45 min, respectively. The mechanical tests were performed using the Contenco universal testing machine. There was a reduction of the compressive strength, with the increase

Recebido em
28/08/2019

Aprovado em
16/10/2019

Publicado em
18/02/2020



This article is published in Open Access under the Creative Commons Attribution licence, which allows use, distribution, and reproduction in any medium, without restrictions, as long as the original work is correctly cited.

¹ Engenheira Florestal, mestra em Ciências Ambientais e Florestais pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. E-mail: mbamu.alves@gmail.com.

² Engenheiro Florestal, mestre em Ciência Florestal, doutorado em Ciência Florestal, Professor Titular, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. E-mail: alexmnasci@gmail.com.

³ Engenheira Florestal, mestre em Ciências da Madeira, doutora em Ciências da Madeira, Professora, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. E-mail: rosileigar@ufrj.br.

⁴ Engenheira Florestal, mestra em Ciências Florestais, doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. E-mail: daysouza9@hotmail.com.

of treatment temperatures. Shear strength decreased by 47% in *B. tuldooides*, in comparison to the control for the 45-min treatment time, and 59%, considering the temperature at 200°C. In *P. aurea* there was a 31.5% reduction of shear strength, in comparison to the control at 200°C. The modulus of elasticity to flexion (MOE) showed a slight increase, with the increment of the treatment temperatures.

Index terms: *Bambusa tuldooides*, *Phyllostachys aurea*, mechanical tests, thermal modification, modulus of elasticity.

INTRODUÇÃO

O bambu é um recurso florestal que apresenta desenvolvimento excepcional; pode ser utilizado na indústria da construção, por apresentar propriedades físico-mecânicas adequadas quando respeitadas suas melhores orientações estruturais, e alta durabilidade quando tratado com substâncias químicas preservativas ou a altas temperaturas, e pode portanto ser uma alternativa interessante à madeira nativa, ao concreto e ao aço.

Segundo Azzini et al. (1977), a planta apresenta elevada resistência físico-mecânica, além de leveza e flexibilidade. No entanto, o bambu é um material higroscópico, que perde e ganha umidade de acordo com a umidade relativa do ambiente até atingir sua umidade de equilíbrio higroscópico; é também suscetível ao ataque de fungos apodrecedores e insetos e de difícil tratamento com preservativos (Liese, 1998; Haojie et al., 1998).

Nos últimos anos, houve um crescente interesse em pesquisas sobre o processo de modificação térmica da madeira, em razão dos benefícios proporcionados ao produto e ao forte apelo ambiental, já que não são utilizados produtos químicos. O tratamento térmico é um processo em que o calor é aplicado ao material, provocando o início da degradação de seus componentes químicos fundamentais, sobretudo as hemiceluloses, que são mais sensíveis à ação do calor, o que resulta na obtenção de um produto sólido, com características diferenciadas, em comparação ao material em condições normais. Algumas dessas características podem-se tornar interessantes para determinadas aplicações (Brito et al., 2006).

Estudos sobre o efeito do tratamento térmico nas propriedades mecânicas, tanto em madeira quanto em bambu, mostram que há um decréscimo de sua resistência mecânica, em razão da perda de massa provocada pelo tratamento. Manalo & Acda (2009) estudaram o efeito do tratamento térmico pelo processo OHT sobre as propriedades mecânicas de três espécies de bambu filipino (*Bambusa blumeana*, *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus asper*) tratadas a 160 e 200°C, durante 30 e 120 min. Os autores observaram uma redução das propriedades mecânicas, ou seja, do módulo de elasticidade, módulo de ruptura e tenacidade.

A celulose do bambu é considerada o elemento que mais influencia a sua resistência. Sundqvist (2004) afirmou que a degradação da celulose pode contribuir para a perda de resistência mecânica em madeiras tratadas termicamente. Isso ocorre porque a estrutura da celulose é alterada, e a parte amorfa é provavelmente a primeira a ser hidrolisada, deixando um resíduo de celulose com um grau reduzido de polimerização e aumento da cristalinidade. Diferentes condições do processo de tratamento térmico, tais como temperatura e tempo, podem influenciar a taxa de degradação da celulose (Tjeerdsma et al., 2005; Boonstra, 2008).

Apesar de todas as vantagens, o uso do bambu fica comprometido pela sua baixa durabilidade natural. De acordo com Liese (1998), o bambu não produz substâncias tóxicas durante sua vida, diferentemente da maioria das árvores, o que favorece a sua degradação por agentes biológicos. Assim, o tratamento térmico surge como uma alternativa para melhorar a utilização de madeiras e materiais lignocelulósicos com características indesejáveis – do ponto de vista tecnológico –, diversificando seus usos e ampliando seu potencial econômico.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos do tratamento térmico sobre as propriedades mecânicas e a alteração da cor das espécies de bambu *P. aurea* e *B. tuldooides*.

MATERIAL E MÉTODOS

Material e tratamento térmico

Foram coletados 50 colmos, aparentemente maduros, de duas espécies de bambu *Phyllostachys aurea* Carrière ex Rivière & C. Rivière e *Bambusa tuldoides* Munro. As duas espécies foram coletadas dentro da área experimental da Embrapa Agrobiologia, em Seropédica, RJ. Os colmos considerados maduros foram os descritos a seguir: 1, aqueles que estavam localizados mais internamente nas touceiras, sem a bainha protetora do nó e sem a presença da coloração residual esbranquiçada onde se localizava a bainha; e 2, os colmos que perderam o brilho natural e que mostravam manchas de cores diversas. Após a coleta, os colmos foram seccionados em seções de aproximadamente 50 cm de comprimento, a partir da região mediana. De cada seção, retirou-se o diafragma, para facilitar a secagem em câmara climática a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa (UR).

Depois de climatizadas, as amostras foram identificadas e pesadas. Suas dimensões foram tomadas nas duas extremidades, com duas medições do diâmetro externo e diâmetro interno. Nas extremidades, a espessura foi medida em quatro pontos diametralmente opostos. Em seguida, calcularam-se o volume e a densidade aparente da amostra.

O tratamento térmico dos bambus foi realizado em um forno mufla elétrico laboratorial, com dimensões internas de 600 x 600 x 700 mm, equipado com sistema de controle de temperatura e tempo. O tratamento foi realizado em quatro etapas: 1, aquecimento do material até 100°C por 60 min; 2, aumento até a temperatura desejada (160, 180 ou 200°C) por 60 min; 3, tempo de permanência na temperatura de tratamento (15, 30 e 45 min); e 4, resfriamento do material. Após o tratamento, as amostras foram reacondicionadas em câmara climática, até atingir o teor de umidade de equilíbrio, e utilizadas para a determinação das propriedades mecânicas.

Ensaio das propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas determinadas no presente estudo foram: resistência à compressão; resistência ao cisalhamento; e módulo de elasticidade à flexão. As amostras para o ensaio mecânico de compressão foram confeccionadas com 10 e 15 cm; para o ensaio de cisalhamento, os comprimentos das amostras foram 3 e 5 cm e, para o ensaio de flexão, foram 32 e 47 cm, para *P. aurea* e *B. tuldoides*, respectivamente. Utilizou-se uma máquina universal de ensaios mecânicos (marca EMIC, modelo DL 10.000), a 23°C , com velocidade de $0,01 \text{ mm s}^{-1}$, com o auxílio de célula de carga 20 kN.

Resistência à compressão

A partir do registro do valor da carga de ruptura e da área de cada amostra ensaiada, foi possível calcular o limite de resistência por meio das Equações 1 e 2:

$$f_c = N_{\text{máx}}/A \dots\dots\dots (1) \text{ e}$$

$$\text{área} = (D^2 - d^2) \times \pi/4 \dots\dots\dots (2),$$

em que: f_c é o limite de resistência à compressão (kgf cm^{-2}); $N_{\text{máx}}$ é a carga máxima de ruptura do material (kgf); A é a área da seção da amostra (cm^2); D é o diâmetro externo da amostra (cm); e d é o diâmetro interno da amostra (cm).

Resistência ao cisalhamento

Para o ensaio de cisalhamento das espécies estudadas, confeccionaram-se amostras com 5 cm de altura para *B. tuldoides* e de 3 cm de altura para *P. aurea*. As medições das amostras foram estabelecidas de acordo com as condições dos equipamentos de ensaio. No total, foram ensaiadas 50 amostras para cada espécie, inclusive as amostras não tratadas (testemunha). O ensaio foi realizado na máquina universal de ensaios mecânicos, com o emprego de uma célula de carga de duas toneladas. O incremento de carga foi aplicado até a ruptura do material, tendo-se registrado a carga máxima. O limite de resistência ao cisalhamento foi calculado com base na área cisalhante, pela Equação 3.

$$f_v = N_{\text{máx}}/A \dots\dots\dots (3),$$

em que: f_v é o limite de resistência ao cisalhamento (kgf cm^{-2}); $N_{\text{máx}}$ é a carga máxima suportada pelas amostras (kgf); e A é a área da seção da amostra (cm^2).

Módulo de elasticidade à flexão

As amostras utilizadas no ensaio de elasticidade à flexão apresentavam comprimentos de 40 e 55 cm, e diâmetros aproximados de 3 e 5 cm para as espécies *P. aurea* e *B. tuldooides*, respectivamente. O ensaio foi realizado em duas etapas; a primeira consistiu da aplicação de carga às amostras, antes do tratamento térmico. As cargas usadas foram estabelecidas a partir de ensaios preliminares, e foram de 100 e 50 Kgf para as espécies *B. tuldooides* e *P. aurea*, respectivamente, que são cargas abaixo do limite de proporcionalidade. A segunda etapa consistiu da aplicação de carga até a ruptura das amostras tratadas termicamente e das amostras testemunhas. Com o registro dos dados, foi possível calcular o módulo de elasticidade, depois do tratamento térmico, e a variação desse módulo em comparação ao módulo de elasticidade anterior ao tratamento térmico.

Como o efeito do esforço cortante se torna significativo, para testes de flexão a três pontos, e como a relação entre o vão e o diâmetro não é maior do que 21 vezes, adotou-se para o cálculo dos módulos de elasticidade a Equação 4, a seguir, conforme Bodig & Jayne (1982):

$$\delta = PL^3/48EI + 1,2 PL/4 GA \dots\dots\dots (4),$$

em que: δ é a deformação total (cm); P é a variação de carga (kgf); L é o comprimento do vão (cm); E é o módulo de elasticidade (kgf cm^{-2}); I é a inércia (cm^4); G é o módulo de rigidez $=8500$ (kgf cm^{-2}); e A é a área da seção (cm^2).

Análises estatísticas

No delineamento experimental, as variáveis independentes estudadas foram: temperatura (controle, 160, 180 e 200°C); e tempo (15, 30 e 45 min) de tratamento.

Quando as variáveis dependentes apresentaram distribuição normal e variâncias homogêneas, aplicou-se a análise de variância, em delineamento experimental fatorial desbalanceado, com cinco repetições e 10 tratamentos. Quando os pressupostos do campo paramétrico não foram atendidos, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis. As comparações entre as médias, quando pertinentes, foram feitas pelo teste de Tukey, no campo paramétrico, e pelo de Dunn, no campo não paramétrico, a 5% de probabilidade. Transformações de variável (\log_{10}) permitiram a normalização de algumas variáveis e, deste modo, a aplicação da análise de variância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resistência à compressão

A resistência à compressão em *P. aurea* e *B. tuldooides*, considerando-se os fatores tempo e temperatura, não apresentou diferenças significativas entre os tempos de tratamento térmico, o que indica que o fator tempo não afetou a resistência à compressão (Tabela 1).

Tabela 1. Resultados obtidos para a resistência à compressão das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldooides*, em função do tempo e da temperatura de tratamento.

Resistência à compressão (kgf cm^{-2})	Tempo de tratamento (min)			
	Testemunha	15	30	45
⁽²⁾ $f_{c_{P.aurea}}$	484,27a [21,80]	507,17a [26,07]	474,68a [21,00]	515,06a [25,40]
⁽¹⁾ $f_{c_{B.tuldooides}}$	753,58a (108,21)	761,23a (105,98)	722,61a (159,87)	721,14a (129,90)
Resistência à compressão (kgf cm^{-2})	Temperatura de tratamento (°C)			
	Testemunha	160	180	200
⁽¹⁾ $f_{c_{P.aurea}}$	484,27ab (66,18)	523,18a (94,25)	558,81a (115,04)	409,71b (69,75)
⁽¹⁾ $f_{c_{B.tuldooides}}$	753,58ab (108,21)	830,83a (99,36)	742,71a (94,74)	620,62b (113,68)

⁽¹⁾Análise de variância. ⁽²⁾Método não paramétrico de Kruskal-Wallis. f_c : limite de resistência à compressão. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio-padrão dos dados. Os valores entre colchetes referem-se aos valores dos postos, ordenados pelo método não paramétrico de Kruskal-Wallis. Médias com letras iguais são estatisticamente iguais entre si, pelo teste de Tukey, a 95% de probabilidade.

Considerando-se a temperatura como fator principal, a resistência à compressão apresentou um comportamento diferenciado em relação ao tempo de tratamento; a análise estatística mostrou diferença significativa entre as temperaturas. Para as duas espécies, o comportamento foi semelhante. Observa-se que a resistência à compressão à temperatura de 200°C foi menor e estatisticamente diferente das temperaturas de 160 e 180°C.

Esses resultados corroboram os estudos de International Thermowood Association (2003), Brito et al. (2006), Pessoa et al. (2006), Boonstra (2008), Manalo & Acda (2009) e Colla et al. (2011), em que o aumento da temperatura de tratamento térmico causa reduções mais importantes da resistência mecânica do material. A redução das propriedades mecânicas da madeira termicamente tratada é atribuída, principalmente, à quebra das hemiceluloses, às rupturas nos pontos fracos da lignina e às reações de condensação entre a lignina e os subprodutos dos principais componentes das paredes celulares da madeira.

Resistência ao cisalhamento

A resistência ao cisalhamento foi determinada considerando-se os fatores tempo e temperatura de tratamento térmico para *P. aurea* e *B. tuldoides* (Tabela 2).

Tabela 2. Resistência ao cisalhamento em *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides*, em função do tempo e da temperatura de tratamento térmico.

(kgf cm ⁻²)	Tempo de tratamento (min)			
	Testemunha	15	30	45
⁽¹⁾ f _v _{P. aurea}	105,00a (14,19)	100,97a (31,67)	93,77a (30,37)	87,49a (24,23)
⁽¹⁾ f _v _{B. tuldoides}	113,56a (27,90)	84,09ab (34,69)	69,34bc (24,13)	59,08c (29,67)
(kgf cm ⁻²)	Temperatura de tratamento (°C)			
	Testemunha	160	180	200
⁽¹⁾ f _v _{P. aurea}	105,00a (14,19)	114,90a (20,16)	95,48a (28,38)	71,84b (20,05)
⁽²⁾ f _v _{B. tuldoides}	113,56a [41,20]	93,97a [33,20]	71,99ab [25,60]	46,55b [12,46]

⁽¹⁾Análise de variância. ⁽²⁾Método não paramétrico de Kruskal-Wallis. f_v, limite de resistência ao cisalhamento. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio-padrão dos dados. Os valores entre colchetes referem-se às médias dos postos, ordenados pelo método não paramétrico de Kruskal-Wallis. Médias com letras iguais são estatisticamente iguais entre si, pelo teste de Tukey, à 95% de probabilidade, e de Kruskal-Wallis.

A resistência ao cisalhamento em *P. aurea* apresentou médias estatisticamente iguais entre si, quando se considera o efeito do tempo de tratamento térmico; no entanto, nota-se uma tendência à redução da resistência ao cisalhamento com o aumento do tempo de tratamento térmico.

Considerando-se o fator temperatura para *P. aurea*, o controle apresentou-se estatisticamente igual às temperaturas de 160 e 180°C, mas estatisticamente diferente da temperatura de 200°C. A resistência ao cisalhamento a 200°C mostrou-se menor do que a das demais temperaturas de tratamento, e correspondeu a 31,5% de redução da resistência em relação ao controle. Nota-se a tendência à redução da resistência ao cisalhamento, com a elevação da temperatura de tratamento.

O tempo de tratamento térmico reduziu significativamente a resistência ao cisalhamento em *B. tuldoides*. A resistência ao cisalhamento do controle apresentou-se estatisticamente igual ao tratamento de 15 min, no entanto, foi diferente resistência nos tempos de 30 e de 45 min, enquanto os tempos de 15 e 30 min são estatisticamente iguais. Destaca-se a resistência no tempo de 45 min, que foi menor e diferente estatisticamente da dos demais, com exceção da do tempo de 30 min, que correspondeu à redução de 47% na resistência ao cisalhamento em relação ao controle.

A temperatura também influenciou a redução da resistência ao cisalhamento em *B. tuldoides*. Segundo as análises estatísticas, o menor valor de resistência ao cisalhamento foi de 46,55 kgf cm⁻²

para a temperatura mais agressiva, o que corresponde à redução de 59% em comparação ao controle. O efeito do tempo e da temperatura de tratamento sobre a resistência ao cisalhamento de *P. aurea* e *B. tuldooides* pode ser visualizado na Figura 20.

Módulo de elasticidade à flexão

Os resultados obtidos para o módulo de elasticidade (MOE) à , após os tratamentos térmicos das espécies *P. aurea* e *B. tuldooides* encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Módulo de elasticidade de *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldooides*, em função do tempo e da temperatura de tratamento.

(kgf cm ⁻²)	Tempo de tratamento (min)			
	Testemunha	15	30	45
⁽¹⁾ MOE _{P.aurea}	67.069,11a (13.166,54)	81.847ab (18.816)	102.144b (11.786)	97.277ab (16.474)
⁽¹⁾ MOE _{B.tuldooides}	81.162,1a (14.368,58)	101.096,6ab (24.905,68)	94.226,1ab (25.533,82)	106.164,5b (19.228,13)
(kgf cm ⁻²)	Temperaturadetratamento(°C)			
	Testemunha	160	180	200
⁽¹⁾ MOE _{P.aurea}	67.069,11a (13.166,54)	91.439,66a (21.302,95)	96.823,06a (9.642,75)	88.094,65a (21.397,32)
⁽¹⁾ MOE _{B.tuldooides}	81.162,1a (14.368,58)	93.746a (16.962,09)	118.456,6b (18.200,9)	81.521,3a (17.609,66)

⁽¹⁾Análise de variância. ⁽²⁾Método não paramétrico de Kruskal-Wallis. MOE_d, módulo de elasticidade à flexão após o tratamento térmico. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio-padrão dos dados. Os valores entre colchetes referem-se aos valores dos postos, ordenados pelo método não paramétrico de Kruskal-Wallis. Médias com letras iguais não são estatisticamente diferentes entre si, pelo teste de Tukey, a 95% de probabilidade.

Para *P. aurea*, considerando-se o fator tempo, o MOE apresentou diferenças significativas entre os tratamentos. Os resultados nos tempos de 15, 30 e 45 min foram iguais entre si, enquanto o controle foi diferente do tratamento a 30 min. O tempo de tratamento térmico de 30 min destacou-se por apresentar o maior MOE à flexão.

Para a espécie *B. tuldooides*, o MOE à flexão também apresentou diferenças estatísticas entre as médias, em que o controle se diferenciou somente do tratamento por 45 min. Este último resultado apresentou-se superior aos demais.

Considerando-se o fator temperatura, o resultado do MOE à flexão em *P. aurea*, depois do tratamento térmico, não apresentou diferenças significativas entre as temperaturas de tratamento (Tabela 3). No entanto, em *B. tuldooides*, as diferenças estatísticas puderam ser observadas. Destaque para a temperatura de 180°C, que se mostrou maior do que as demais.

Manalo & Acda (2009) notaram um comportamento diferente, ao estudar três espécies de bambu tratado termicamente com óleo quente. Os autores constataram que os valores de MOE em *B. blumeana*, *B. vulgaris* e *Dendrocalamus asper* apresentaram a redução média de 22% quanto à rigidez, com o aumento da temperatura de tratamento, em relação às amostras-controle. Eles observaram que a temperatura de 200°C mostrou-se estatisticamente diferente da de 160°C em *B. vulgaris* e, em *B. blumeana* e *Dendrocalamus asper*, foram similares, o que indica dificuldades em generalizar os resultados por gênero, uma vez que as diferenças encontradas foram entre espécies de mesmo gênero.

Vale ressaltar que as dimensões das amostras apresentadas pelos autores foram diferentes das usadas no presente estudo. Manalo & Acda (2009) utilizaram amostras de colmos seccionados longitudinalmente em quatro partes e sem nó e, para o ensaio de flexão estática, as amostras foram posicionadas com a epiderme voltada para o lado que sofre compressão.

No entanto, outros estudos mostraram um leve acréscimo do MOE, quando a madeira foi tratada termicamente por curtos períodos de tempo, como é o caso do presente estudo. A redução do MOE se torna significativo quando a perda de massa excede 8%, e o MOE apresenta um aumento nas temperaturas de tratamento de 115 e 175°C, conforme afirmado por Rusche (1973), Millett &

Gerhars (1972), citados por Hill (2006). Outros autores observaram também que, além do tempo de tratamento, a atmosfera também influencia o MOE. Kubojima et al. (2000), citado por Hill (2006), notaram que em curtos períodos de tempo de tratamento, há um acréscimo do MOE, e que em uma atmosfera com nitrogênio, o MOE apresentou-se constante e, em presença de ar, o MOE diminuiu.

Com base nos resultados da variação do módulo de elasticidade, antes e depois do tratamento térmico (MOE%), pode-se observar que não há diferenças estatísticas entre os tempos de tratamento nas espécies estudadas (Tabela 4).

Tabela 4. Variação do módulo de elasticidade em *P. aurea* e *B. tuldoides*, em função do tempo e da temperatura de tratamento.

MOE (%)	Tempo de tratamento (min)		
	15	30	45
MOE% _{P. aurea}	26,39a (17,23)	34,57a (22,44)	36,93a (23,00)
MOE% _{B. tuldoides}	28,10a (23,63)	20,73a (19,38)	31,02a (25,27)
	Temperatura de tratamento (°C)		
	160	180	200
MOE% _{P. aurea}	32,09a (20,25)	36,29a (23,56)	26,43a (17,22)
MOE% _{B. tuldoides}	27,98b (23,63)	36,85b (28,86)	9,61a (12,60)

MOE%, variação do módulo de elasticidade à flexão, antes e depois de tratamento térmico. Os valores entre parênteses referem-se aos valores dos postos, ordenados pelo método não paramétrico de Kruskal-Wallis. Médias com letras iguais são estatisticamente iguais entre si, pelo método não paramétrico de Kruskal-Wallis, a 95% de probabilidade.

Observando-se os resultados de MOE% e, *P. aurea*, nota-se uma tendência ao aumento da variação do MOE à flexão, que indica maiores alterações com a elevação dos tempos de tratamentos; comportamento diferente foi observado para a espécie *B. tuldoides*.

Considerando-se o fator temperatura, nota-se uma redução da variação do MOE, com a elevação da temperatura de tratamento em *B. tuldoides*. Esses resultados corroboram os encontrados para o MOE à flexão, pois, para o fator tempo, a variação apresenta aumento com a elevação do tempo, o que faz com o MOE à flexão tenda a aumentar. Para o fator temperatura, ocorre o mesmo fato, no entanto apenas até a temperatura de 180°C; a partir dessa temperatura, nota-se que as alterações são mais agressivas e intensas, principalmente, quanto à degradação das hemiceluloses, o que causa a redução do módulo de elasticidade.

CONCLUSÕES

Os tratamentos térmicos não afetam a resistência à compressão das espécies de bambu *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides*.

Os tratamentos térmicos afetam a resistência ao cisalhamento em ambas as espécies, causando reduções significativas.

O módulo de elasticidade à flexão aumenta com o aumento no tempo de tratamento, enquanto com a temperatura, o módulo de elasticidade à flexão apresenta um aumento com a elevação da temperatura até 180°C, seguida de uma queda a 200°C.

REFERÊNCIAS

AZZINI, A.; CIARAMELLO, D.; NAGAI, V. Densidade básica e dimensões das fibras em bambus do gênero *Guadua*. **Bragantia**, v.36, p.1-5, 1977. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87051977000100031>.

- BODIG, J.; JAYNE, B.A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1982. 712p.
- BOONSTRA, M. **A two-stage thermal modification of wood**. 2008. 297p. Thesis (Doctor) – Ghent University and Université Henry Poincaré, Nancy.
- BRITO, J.O.; GARCIA, J.N.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; PESSOA, A.M. das C.; SILVA, P.H.M. da. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* submetida a diferentes temperaturas de termorretificação. **Cerne**, v.12, p.182-188, 2006.
- COLLA, W.A.; BERALDO, A.L.; BRITO, J.O. Effects of thermal treatment on the physicochemical characteristics of giant bamboo. **Cerne**, v.17, p.361-367, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-77602011000300010>.
- HAOJIE, W.; VARMA, R.V.; TIANSEN, X. **Insect pests of bamboos in Asia: an illustrated manual**. Beijing: INBAR, 1998.
- HILL, C.A.S. **Wood modification: chemical, thermal and other processes**. [New York]: J. Wiley & Sons, 2006.
- INTERNATIONAL THERMOWOOD ASSOCIATION. **ThermoWood® Handbook**. Helsinki, 2003.
- LIESE, W. **Anatomy of Bamboo Culms**. Beijing: INBAR, 1998.
- MANALO, R.D.; ACDA, M.N. Effects of hot oil treatment on physical and mechanical properties of three species of Philippine bamboo. **Journal of Tropical Forest Science**, v.21, p.19-24, 2009.
- PESSOA, A.M. das C.; BERTI FILHO, E.; BRITO, J.O. Avaliação da madeira termorretificada de *Eucalyptus grandis*, submetida ao ataque de cupim de madeira seca, *Cryptotermes brevis*. **Scientia Forestalis**, n.72, p.11-16, 2006.
- SUNDQVIST, B. **Colour changes and acid formation in wood during heating**. 2004. 50p. Thesis (Doctoral) - Lulea University of Technology, Skellefteå.
- TJEERDSMA, B.F.; BOONSTRA, M.; MILITZ, H. **Thermal modification of non-durable wood species 2. Improved wood properties of thermally treated wood**. Stockholm: International Research Group on Wood Preservation, 1998. (IRG/WP 98-40124).
-