

Alteração da Cor da Madeira de Teca por Tratamento Térmico

Juliana de Oliveira Lopes¹, Rosilei Aparecida Garcia¹,
João Vicente de Figueiredo Latorraca¹, Alexandre Miguel do Nascimento¹

¹Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Seropédica/RJ, Brasil

RESUMO

O objetivo deste estudo foi determinar o efeito do tratamento térmico na alteração da cor da madeira de teca (*Tectona grandis* L. f.), proveniente de plantios de diferentes espaçamentos. Amostras de madeira de cerne e de albúrnio foram tratadas a 180 e 200°C durante 2h30min. As análises colorimétricas foram realizadas com o auxílio do espectrofotômetro CM 2600d no sistema CIE L*a*b*. Após o tratamento, a madeira teve perda de luminosidade, tornando-se mais escura, o que se mostrou mais acentuado para o tratamento a 200°C. As madeiras de cerne e albúrnio apresentaram comportamentos diferentes para as coordenadas a* e b*, dependendo do espaçamento, antes e após o tratamento. Ocorreu uma maior formação de pigmento vermelho e perda de pigmento amarelo nas madeiras de cerne e albúrnio tratadas a 200°C.

Palavras-chave: colorimetria, sistema CIE L*a*b*, *Tectona grandis*.

Color Change of Teak Wood by Heat Treatment

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the effect of heat treatment on color change of teak wood (*Tectona grandis* L. f.) from plantations of different spacings. Heartwood and sapwood samples were heat treated at 180 and 200°C for 2.5 hours. Colorimetric analyses were performed using a CM 2600d spectrophotometer in the CIE L*a*b* system. After heat treatment, the wood presented loss of light, becoming darker, which was more pronounced for the treatment at 200°C. Heartwood and sapwood showed different behaviors for the a* and b* coordinates, depending on the spacing, before and after heat treatments. There was an increase on red hue and a decrease on yellow hue of heartwood and sapwood treated at 200°C.

Keywords: colorimetry, CIE L*a*b* system, *Tectona grandis*.

1. INTRODUÇÃO

A teca (*Tectona grandis* L. f.) é uma espécie arbórea, nativa das zonas úmidas do subcontinente Índico e do Sudeste Asiático, podendo atingir entre 20 e 35 m de altura na idade adulta. Está presente também ao sul do Equador, em Java e em algumas ilhas do arquipélago indonésio (Sánchez, 2002).

No Brasil, os primeiros plantios de teca foram estabelecidos na região de Cáceres, Mato Grosso,

onde a espécie encontrou condições climáticas e edáficas favoráveis para o seu desenvolvimento. Essas condições, associadas a tratamentos silviculturais adequados, contribuíram para reduzir o ciclo de produção de 80 anos, na região de origem, para 25 anos, na região de Cáceres (Tsukamoto Filho et al., 2003). Segundo a FAO (2000), nos plantios mais rentáveis, já se encontram ciclos de 15 anos, sendo

estes já bem ocorrentes no Brasil. Entretanto, ciclos mais curtos implicam na obtenção de peças de madeira com maior proporção de alburno, as quais apresentam características bem distintas em termos de cor e de durabilidade, quando comparadas às peças de madeira com maior proporção de cerne, o que justifica a aplicação de tratamentos térmicos.

Apesar de o objetivo principal do tratamento térmico ser a melhoria da estabilidade dimensional e da resistência ao ataque de agentes biológicos, o tratamento também possibilita a alteração da cor da madeira, a qual pode ser controlada para a criação de novos padrões. De acordo com vários autores (Sundqvist & Morén, 2002; Bekhta & Niemz, 2003; Sehlstedt-Persson, 2005; Esteves et al., 2008), a alteração da cor original da madeira após o tratamento térmico pode ser causada por: 1) formação de produtos oxidativos (por exemplo, quinonas) e produtos da degradação das hemiceluloses e da lignina, os quais migram às superfícies da madeira; 2) remoção ou migração dos extrativos e compostos nutritivos, tais como açúcares de baixo peso molecular e aminoácidos, em direção às superfícies da madeira; 3) aumento no teor de lignina.

A madeira de teca é utilizada principalmente em aplicações externas (*decks*, móveis de jardins, construções de pontes, etc). Entretanto, algumas dessas aplicações requerem um material de alta estabilidade dimensional, cor atrativa e estável, e resistência à patógenos e às intempéries (Kokutse et al., 2006). Além disso, a uniformidade da cor da madeira também apresenta um impacto direto no estabelecimento do preço final do produto (Mononen et al., 2002).

Recentemente, a cor vem sendo considerada também como um indicador de qualidade da madeira, já que é uma característica tão importante quanto as propriedades físicas e mecânicas. A cor pode ser influenciada pelas características intrínsecas da madeira (físicas, químicas e anatômicas), assim como pelos fatores externos (condições climáticas e tratamentos silviculturais). No caso da teca, estudos têm demonstrado que a cor pode ser afetada pelos tratamentos silviculturais. Thulasidas et al. (2006) estudaram a variação da cor da madeira de teca proveniente de florestas naturais secas e úmidas, e

de florestas plantadas, tendo esses autores observado um valor menor na tonalidade amarela (b^*) para a madeira proveniente de regiões secas.

A análise final da cor de qualquer produto lhe garante um padrão de qualidade de mercado exigido mundialmente. De acordo com vários autores (Janin et al., 2001; Mononen et al., 2002; Mori et al., 2005), as características estéticas da madeira (superfície e desenho) e a homogeneidade da cor têm desempenhado um papel importante para estabelecer os preços da madeira serrada e a comercialização de diversos produtos, tais como móveis e laminados decorativos.

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do tratamento térmico na alteração da cor da madeira de teca. Adicionalmente, foi determinado o efeito do espaçamento na cor original da madeira.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material e tratamento térmico

Árvores de teca (*Tectona grandis* L. f.) com 12 anos de idade foram obtidas de um plantio localizado na área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso, localizado em Cáceres, Mato Grosso. Foram selecionadas nove árvores provenientes de três diferentes espaçamentos: 4×2 m, 5×2 m e 6×2 m, sendo consideradas três árvores para cada espaçamento.

As toras foram processadas e amostras de $150 \times 75 \times 20$ mm (comprimento \times largura \times espessura) foram preparadas e divididas em dois grupos: (1) amostras com predominância de madeira de cerne ($\geq 75\%$ de madeira de cerne em relação ao alburno) e (2) amostras com 100% de madeira de alburno. O material foi seco ao ar livre e, em seguida, acondicionado em câmara climática a 20°C e 65% de umidade relativa (UR), até atingir o teor de umidade de equilíbrio.

O tratamento térmico foi realizado em um forno mufla elétrico laboratorial, da marca Linn Elektro Therm, com dimensões de $600 \times 600 \times 700$ mm, equipado com um sistema de controle de temperatura e tempo. O tratamento foi realizado em quatro etapas, sendo selecionadas duas diferentes temperaturas: 180 e 200°C . As quatro etapas do tratamento

foram: (1) aquecimento do material até 100°C: período corresponde a duas horas; (2) aumento da temperatura de 100°C até a temperatura final (180 e 200°C): período correspondente a 30 minutos; (3) tempo de tratamento na temperatura final: duas horas e 30 minutos; e (4) resfriamento do material durante aproximadamente uma hora. O teor de umidade inicial das amostras foi de aproximadamente 8 a 10%. Após o tratamento, as amostras foram acondicionadas em câmara climática a 20°C e 65% de UR, até atingir o teor de umidade de equilíbrio.

2.2. Análises colorimétricas

As análises colorimétricas foram realizadas no espaço de cor CIE $L^*a^*b^*$, antes e após os tratamentos térmicos, com o auxílio do espectrofotômetro portátil CM 2600d, versão 1.41, da Konica Minolta Sensing Inc. As medições de cor foram feitas pelo contato direto da área de iluminação do aparelho, com diâmetro de abertura de 3 mm (SAV «small area view»), com a superfície da amostra, em pontos pré-determinados. Utilizou-se o iluminante padrão D_{65} , ângulo de observação de 10° e luz especular incluída. Para efetuar as medições, o aparelho foi calibrado com o padrão preto e branco, sendo que, para a calibração do branco, utilizou-se a placa CM-A145.

Antes das medições, as superfícies das amostras foram polidas com uma sequência de lixas de granulometria de 80 e 120, a fim de eliminar as irregularidades e obter uma superfície lisa.

Foram obtidos valores para as três coordenadas do sistema CIE- $L^*a^*b^*$: L^* (luminosidade), a^* e b^* (variáveis cromáticas nos eixos verde-vermelho e azul-amarelo, respectivamente). Os dados coletados pelo espectrofotômetro foram transferidos para o *software* SpectraMagic™ NX (CM-S100w), versão 1.9, da Konica Minolta, e exportados para o *software* Microsoft Office EXCEL.

A partir dos dados obtidos para as três variáveis de cor antes (L^* , a^* e b^*) e após (L^* -termo, a^* -termo e b^* -termo) os tratamentos térmicos, foram calculadas as variações de cada coordenada após o tratamento, sendo estas: ΔL^* -termo, Δa^* -termo e Δb^* -termo. A variação de cada coordenada foi determinada pela diferença entre o valor da coordenada da madeira original (não tratada) e o valor da coordenada da

madeira tratada, tal como realizado por outros autores (Sundqvist & Morén, 2002; Oyarce, 2006; González-Pena & Hale, 2009; Dubey et al., 2011).

A variação total da cor da madeira após os tratamentos térmicos também foi determinada pela Equação 1:

$$\Delta E^*_{ab\text{-termo}} = \sqrt{(\Delta L^*_{\text{-termo}})^2 + (\Delta a^*_{\text{-termo}})^2 + (\Delta b^*_{\text{-termo}})^2} \quad (1)$$

Em que:

$\Delta E^*_{ab\text{-termo}}$ = variação total da cor da madeira após o tratamento térmico;

ΔL^* -termo, Δa^* -termo e Δb^* -termo = variação individual de cada coordenada (L^* , a^* e b^*) após o tratamento térmico.

Esta variável foi calculada de acordo com a definição dada pela Konica Minolta (1998), conforme a norma CIE (*Commission Internationale de L'Éclairage*) (1976).

2.3. Análises estatísticas

Os dados obtidos para as variáveis colorimétricas (ΔL^* -termo, a^* , a^* -termo, Δa^* -termo, b^* , b^* -termo, Δb^* -termo e $\Delta E^*_{ab\text{-termo}}$) foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) com o auxílio do programa STATISTIC 6.0, a fim de determinar o efeito das variáveis independentes (espaçamento de plantio, temperatura e grupo de madeira). Quando o valor F foi significativo ($\alpha = 0,05$), aplicou-se o teste de Tukey a 95% de probabilidade, a fim de determinar as diferenças entre as médias das variáveis estudadas.

Antes da análise de variância, as distribuições das variáveis citadas foram analisadas pelo teste Kolmogorov-Smirnov, a 95% de probabilidade, para verificar a normalidade das suas distribuições.

Para as variáveis L^* e L^* -termo, as análises indicaram não normalidade dos dados, mesmo após a transformação dos dados; portanto, foi realizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. Este teste foi aplicado quando o número de tratamentos foi igual ou maior a três ($K=3$), ou seja, para determinar o efeito do espaçamento (4×2 m, 5×2 m e 6×2 m). Quando o teste indicou significância, realizou-se o teste de média, a fim de determinar as diferenças entre as médias dos postos das variáveis estudadas, a 95% de probabilidade. O teste de Wilcoxon-Mann-Whitney também foi utilizado para as variáveis L^*

e L*-termo quando o número de tratamentos foi igual a dois ($K=2$), ou seja, para determinar o efeito do grupo (cerne e alborno) e da temperatura (180 e 200°C).

Para avaliar a alteração da cor da madeira após os tratamentos térmicos, foram consideradas as seguintes variáveis independentes: espaçamento de plantio (3 níveis: 4×2 m, 5×2 m e 6×2 m), grupo de madeira (2 níveis: cerne e alborno) e temperatura (2 níveis: 180 e 200°C). Este delineamento experimental resultou em 12 tratamentos com cinco repetições, resultando em um total de 60 observações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises estatísticas das variáveis de cor com distribuição normal dos dados são apresentados na Tabela 1. Os valores médios obtidos para todas as variáveis de cor da madeira antes e após os tratamentos térmicos são apresentados na Tabela 2.

De acordo com os resultados obtidos para a cor original da madeira de teca, o alborno está classificado no grupo branco acizentado, segundo a classificação proposta por Camargos (1999), devido ao alto valor encontrado para as coordenadas colorimétricas L* (72,01-75,80) e b* (20,03-22,09), e baixos valores encontrados para a coordenada a* (5,15-10,39) (Tabela 2). É importante observar que a tonalidade amarela (b*) é determinante para a coloração final da madeira do alborno, pois se a mesma apresentasse valores superiores a 27, poderia

ser classificada em outro grupo de cor, como amarelo-claro. Já a madeira original de cerne pode ser classificada no grupo das madeiras marrons (Camargos, 1999). Os valores de a* estão acima de oito, o que justifica o fato de a tonalidade vermelha (a*) se sobressair e caracterizar a cor marrom do cerne, mesmo com valores superiores a 15 para a coordenada b*. Portanto, a tonalidade vermelha (a*) define a cor do cerne e o classifica no grupo marrom-oliva, apresentando valores entre 8,65 e 9,19.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para as análises estatísticas da luminosidade antes e após o tratamento térmico (L* e L*-termo, respectivamente), considerando-se a média dos postos de Kruskal-Wallis, para determinar o efeito do espaçamento. A coordenada L* apresentou um comportamento similar nos três espaçamentos, não havendo diferenças significativas entre estes, isto é, todos apresentam o mesmo padrão de luminosidade. A variável L*-termo também apresentou um comportamento similar para os três espaçamentos, não apresentando diferenças significativas entre os mesmos.

O teste de Wilcoxon-Mann-Whitney (valor de Z) indicou diferenças significativas entre cerne e alborno para a coordenada L*, em que o *ranking* dos somatórios dos postos do alborno foi superior ao do cerne, com valores de 11.870 e 4.420, respectivamente ($Z = -0,65$, $p < 0,05$). Na Tabela 2, observa-se que o cerne apresentou valores menores para a luminosidade (entre 58,63 e 60,23), quando comparado ao alborno (entre 72,01 e 75,46).

Tabela 1. Análise de variância (valor de F) das variáveis de cor da madeira de teca, antes e após o tratamento térmico.
Table 1. Analysis of variance (F value) of the color variables of the teak wood, before and after heat treatment.

Fonte de variação	a*	a*- termo	b*	b*- termo	ΔL^* - termo	Δa^* - termo	Δb^* - termo	ΔE^*_{ab} - termo
Espaçamento	1,17ns	0,86ns	5,81**	2,36ns	11,57**	5,46**	5,16**	8,64**
Grupo	415,19*	1,36ns	141,97**	45,72**	162,60**	212,39**	0,0040ns	172,29**
Temperatura	-	40,74**	-	216,85**	603,41**	25,92**	11,11**	523,28**
Espaçamento \times Grupo	2,82ns	3,22*	9,67**	4,47*	5,50**	0,60ns	1,90ns	4,28*
Espaçamento \times Temperatura	-	6,28**	-	7,16**	4,07*	3,22*	10,47**	7,33**
Grupo \times Temperatura	-	18,17**	-	126,24**	74,52**	3,63ns	1,87ns	72,35**
Espaçamento \times Grupo \times Temperatura	-	0,30ns	-	4,00*	7,75**	6,23**	1,97ns	6,67**

L*, L*-termo: luminosidade da madeira antes e após o tratamento térmico, respectivamente; a*, a*-termo: variável cromática no eixo verde-vermelho antes e após o tratamento térmico, respectivamente; b*, b*-termo: variável cromática no eixo azul-amarelo antes e após o tratamento térmico, respectivamente; ΔL^* -termo, Δa^* -termo, Δb^* -termo: variação das coordenadas L*, a* e b* após o tratamento térmico; ΔE^*_{ab} -termo: variação total da cor após o tratamento térmico; *Significativo a 95% de probabilidade; **Significativo a 99% de probabilidade; ns Não significativo.

Tabela 2. Resultados obtidos para as análises estatísticas descritivas (média e desvio padrão) das variáveis de cor da madeira de teca, antes e após o tratamento térmico.
Table 2. Results obtained to descriptive statistic analysis (means and standard deviation) of the color variables of the teak wood, before and after heat treatment.

Espaçamento (m)	Grupo	Temperatura (°C)	L*	L*-termo	ΔL*-termo	a*	a*-termo	Δa*-termo	b*	b*-termo	Δb*-termo	ΔE* _{ab} -termo
4 × 2	Cerne	180	60,23 (3,78)	52,68 (3,32)	7,39 a (4,76)	8,65 a (1,21)	8,55 ab (0,80)	1,24 ab (0,74)	26,61 c (2,33)	21,99 c (1,97)	5,31 a (2,51)	9,73 a (4,87)
		200		41,13 (1,24)	19,28 d (2,54)		10,26 bc (0,84)	1,97 bc (1,19)		19,70 bc (2,02)	6,55 ab (2,50)	20,58 e (3,04)
	Alburno	180	75,80 (5,31)	62,08 (3,64)	15,29 bc (4,33)	10,39 c (0,95)	9,52 de (0,76)	3,87 de (0,98)	20,12 a (2,72)	26,36 d (1,14)	5,68 c (1,56)	17,02 bcd (3,58)
		200		42,94 (1,33)	32,57 ef (4,13)		9,99 e (1,36)	5,25 e (1,74)		18,95 b (3,12)	4,48 d (2,18)	33,42 fg (3,99)
5 × 2	Cerne	180	60,75 (2,65)	49,76 (2,28)	11,26 ab (3,75)	8,65 a (0,82)	9,03 a (0,47)	0,49 a (0,29)	24,16 b (1,96)	21,44 bc (2,04)	3,58 ab (3,22)	11,97 a (4,56)
		200		40,21 (1,99)	20,28 d (3,31)		10,09 bc (0,89)	1,90 bc (0,66)		18,83 ab (2,10)	4,61 bc (2,57)	21,07 de (3,52)
	Alburno	180	75,46 (6,13)	62,40 (3,47)	12,14 ab (5,59)	5,56 d (1,40)	9,48 de (0,24)	3,22 cd (1,29)	22,09 a (2,01)	26,99 d (0,78)	4,89 d (1,570)	13,93 abc (473)
		200		40,97 (2,05)	36,85 g (2,08)		8,94 cd (1,27)	4,17 de (1,47)		16,09 a (2,73)	4,09 e (3,04)	37,45 g (2,16)
6 × 2	Cerne	180	58,63 (4,29)	47,48 (3,42)	10,88 ab (3,19)	9,19 a (0,90)	8,05 bd (1,57)	2,27 bc (1,05)	23,8 b (2,53)	18,70 ab (4,15)	6,56 ab (92,83)	13,26 abc (3,08)
		200		41,36 (1,64)	17,54 cd (4,85)		10,13 ab (0,64)	1,40 ab (0,84)		20,00 bc (1,25)	2,75 bc (2,29)	17,89 cde (95,07)
	Alburno	180	72,01 (4,78)	64,88 (3,32)	9,67 a (3,31)	5,15 b (1,45)	9,11 d (1,23)	3,76 d (1,70)	20,03 a (3,12)	27,35 d (1,46)	6,44 d (2,34)	12,41 ab (3,75)
		200		40,74 (1,24)	28,74 e (5,24)		10,15 e (1,26)	5,22 e (1,60)		18,87 b (2,71)	3,31 e (2,15)	29,51 f (5,19)

L*, L*-termo: luminosidade da madeira antes e após o tratamento térmico, respectivamente; a*, a*-termo: variável cromática no eixo verde-vermelho antes e após o tratamento térmico, respectivamente; b*, b*-termo: variável cromática no eixo azul-amarelo antes e após o tratamento térmico, respectivamente; ΔL*-termo, Δa*-termo, Δb*-termo: variação das coordenadas L*, a* e b* após o tratamento térmico; ΔE*_{ab}-termo: variação total da cor após o tratamento térmico; Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão; Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si, segundo o teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Nas Tabelas 4 e 5, estão indicados os resultados obtidos para as análises estatísticas de L^* -termo, considerando-se o *ranking* dos somatórios dos postos das temperaturas e dos grupos, assim como seus respectivos valores de Z de Wilcoxon-Mann-Whitney.

A coordenada L^* -termo apresentou diferenças significativas entre as temperaturas para ambos os grupos (Tabela 4), nos quais o *ranking* dos somatórios dos postos foi superior para o tratamento a 180°C, quando comparado ao tratamento a 200°C. Isso mostra que ocorreu menor perda de luminosidade para as madeiras de cerne e alburno após o tratamento menos agressivo, enquanto que, no tratamento mais agressivo, a madeira tornou-se mais escura (menor valor de L^* -termo).

Na Tabela 5, observa-se que as coordenadas L^* -termo da madeira de cerne e alburno diferiram significativamente dentro do tratamento a 180°C, no qual a madeira de cerne sofreu um efeito maior em relação ao alburno, pois apresentou um menor valor para o *ranking* dos somatórios dos postos. Isso mostra que o cerne escureceu mais que o alburno sob o tratamento menos agressivo (Tabela 5). Entretanto, no tratamento a 200°C, os valores dos *rankings* da coordenada L^* -termo não apresentaram diferenças significativas entre cerne e alburno.

A variação da coordenada L^* após o tratamento térmico (ΔL^* -termo), em função dos espaçamentos, grupos e temperaturas, pode ser observada na Tabela 2. As análises estatísticas indicaram uma interação tripla (espaçamento \times grupo \times temperatura) para ΔL^* -termo (Tabela 1). A variável ΔL^* -termo obedeceu, para ambos os grupos, ao padrão relatado na literatura, ou seja, quanto maior a temperatura empregada pelo tratamento térmico, maior a degradação provocada. Neste caso, à medida que os tratamentos tornaram-se mais agressivos, a madeira tornou-se mais escura, resultando em um maior ΔL^* -termo (Figura 1).

Estes resultados são similares aos encontrados por Gouveia (2008), que, ao analisar o comportamento da cor da madeira de três espécies tratadas a 150 e 200°C, verificou que as madeiras tornaram-se mais escuras com a aplicação de tratamentos mais agressivos. Estes resultados também corroboram com estudos realizados por outros autores (Ahajji et al., 2009;

Esteves et al., 2008). Segundo Ahajji et al. (2009), a alteração da cor original é causada pela modificação química dos grupos cromóforos responsáveis pela caracterização da cor da madeira.

Para a madeira de cerne, ΔL^* -termo não apresentou diferenças significativas entre os espaçamentos, dentro da mesma temperatura (Tabela 2). Entretanto, para o alburno, o tratamento

Tabela 3. Valores médios obtidos para a luminosidade da madeira de teca antes e após o tratamento térmico.
Table 3. Means values obtained to lightness of teak wood before and after heat treatment.

Espaçamento (m)	L^*	L^* -termo
4 x 2	68,01 (97,93)	23,36 (97,19)
5 x 2	68,10 (95,95)	23,12 (86,04)
6 x 2	65,32 (77,63)	21,91 (88,27)
	NS	NS

L^* , L^* -termo: luminosidade antes e após o tratamento térmico, respectivamente; Os valores entre parênteses referem-se às médias dos postos feitos pelo teste de Kruskal-Wallis; NS: não significativo.

Tabela 4. Resultados obtidos para os *rankings* dos somatórios dos postos e valores de Z da luminosidade da madeira de teca tratada termicamente (L^* -termo), comparando as temperaturas dentro de cada grupo.

Table 4. Results obtained to the rank sums and Z value of the lightness of the heat-treated teak wood (L^* -termo), to compare the temperatures within each group.

Grupo	Temperatura (°C)		Z	p
	180	200		
Cerne	3015 a	1080 b	7,80*	0,000
Alburno	3060 a	1035 b	8,17*	0,000

*Significativo a 95% de probabilidade pelo teste de Wilcoxon-Mann-Whitney.

Tabela 5. Resultados obtidos para os *rankings* dos somatórios dos postos e valores de Z da luminosidade da madeira de teca tratada termicamente (L^* -termo), comparando os grupos dentro de cada temperatura.

Table 5. Results obtained to the rank sums and Z value of the lightness of the heat-treated teak wood (L^* -termo), to compare the groups within each temperature.

Temperatura	Grupo		Z	p
	Cerne	Alburno		
180°C	1035 b	3060 a	-8,17*	0,000
200°C	1894 a	2201 a	-1,23ns	0,215

*Significativo a 95% de probabilidade pelo teste de Wilcoxon-Mann-Whitney; ns Não significativo.

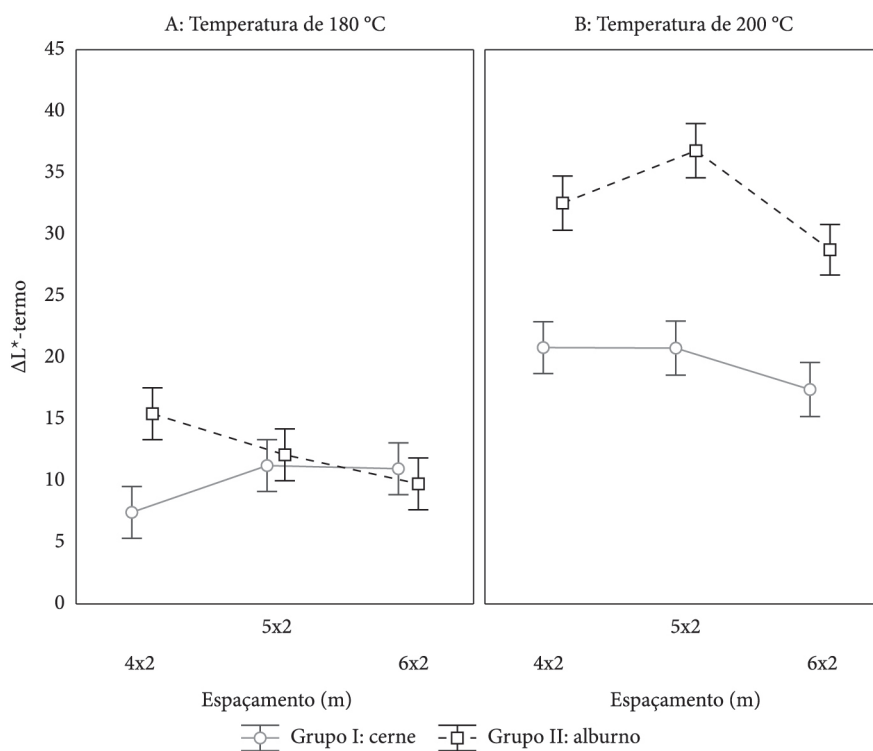


Figura 1. Interação tripla (espaçamento \times grupo \times temperatura) para a variação da luminosidade após o tratamento térmico (ΔL^* -termo) da madeira de teca.

Figure 1. Triple interaction (spacing \times group \times temperature) of the lightness variation after heat treatment (ΔL^* -termo) of the teak wood.

causou efeitos diferentes sobre ΔL^* -termo, dependendo do espaçamento. O alburno tratado a 180°C apresentou um comportamento diferente entre os espaçamentos de 4 \times 2 m e 6 \times 2 m, sendo que, no espaçamento de 4 \times 2 m, ΔL^* -termo foi maior (15,29) que no espaçamento de 6 \times 2 m (9,67). Portanto, a madeira de alburno do espaçamento de 4 \times 2 m escureceu mais após o tratamento a 180°C.

Para a temperatura de 200°C, a variável ΔL^* -termo do alburno do espaçamento de 5 \times 2 m apresentou comportamento diferenciado dos demais espaçamentos, apresentando o maior valor (36,85); assim, as madeiras desse espaçamento escureceram mais após o tratamento a 200°C (Tabela 2).

Ao analisarmos os grupos (cerne e alburno) dentro de cada espaçamento, verifica-se que, no espaçamento de 4 \times 2 m, ΔL^* -termo do alburno tratado a 180°C ou 200°C foi bem maior em relação à variação sofrida pelo cerne; portanto, o alburno escureceu em maior proporção que o cerne em ambas as temperaturas (Figura 2). Já nos espaçamentos

de 5 \times 2 m e 6 \times 2 m, os valores de ΔL^* -termo do cerne e do alburno na temperatura de 180°C não apresentaram diferenças significativas, isto é, ambos escureceram na mesma intensidade. Entretanto, sob o tratamento de 200°C, ΔL^* -termo do alburno foi bem maior que a variação sofrida pelo cerne; dessa forma, o tratamento a 200°C teve um efeito mais agressivo na variação de L^* do alburno e este sofreu um escurecimento maior.

Para a coordenada a^* , as análises estatísticas indicaram diferenças significativas entre os grupos (Tabela 1). O cerne apresentou um comportamento semelhante para os três espaçamentos, apresentando, assim, uma mesma intensidade de pigmento vermelho (a^*). Já para o alburno, a coordenada a^* apresentou um comportamento diferente entre os espaçamentos, sendo que o espaçamento mais adensado (4 \times 2 m) apresentou o maior valor de a^* (10,39); assim, pode-se afirmar que o alburno nesse espaçamento tende a apresentar uma maior tonalidade vermelha.

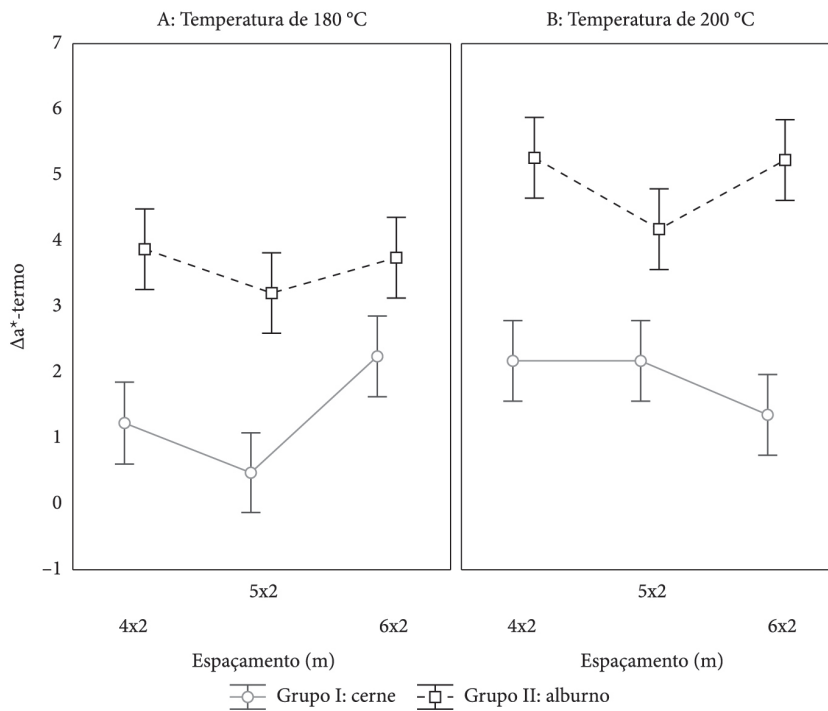


Figura 2. Interação tripla (espaçamento × grupo × temperatura) para a variação do pigmento vermelho após o tratamento térmico (Δa^* -termo) da madeira de teca.

Figure 2. Triple interaction (spacing x group x temperature) of the red hue variation after heat treatment (Δa^* -termo) of the teak wood.

Para a coordenada a^* -termo, foram observadas interações significativas entre espaçamento × grupo, espaçamento × temperatura e grupo × temperatura (Tabela 1). Para o cerne tratado a 180°C, a coordenada a^* -termo do espaçamento de 5 × 2 m foi diferente do espaçamento de 6 × 2 m, enquanto que, para o tratamento a 200°C, não foram observadas diferenças significativas entre os espaçamentos.

Ao compararmos o comportamento da coordenada a^* -termo dentro dos grupos de cada espaçamento, podemos afirmar que, no espaçamento mais adensado (4 × 2 m), a temperatura não teve efeito para ambos os grupos. A madeira do cerne apresentou uma maior formação de pigmento vermelho que o alburno, independentemente da temperatura do tratamento.

A coordenada a^* -termo do alburno do espaçamento de 5 × 2 m e do cerne do espaçamento de 6 × 2 m também não sofreu efeito da temperatura. O alburno apresentou uma maior tonalidade vermelha após os tratamentos térmicos, independentemente da temperatura, enquanto que o cerne apresentou um

aumento na tonalidade vermelha, quando tratado a 180°C, e uma redução no vermelho, quando tratado a 200°C.

A coordenada a^* -termo do cerne no espaçamento de 5 × 2 m e do alburno no espaçamento de 6 × 2 m sofreu efeito da temperatura, sendo que, para ambos os casos, o tratamento mais agressivo apresentou uma maior tonalidade vermelha.

Esses resultados indicam a seguinte relação: quanto mais agressivo for o tratamento térmico, maior será a formação de pigmento vermelho na composição da cor da madeira, pois os valores de a^* -termo a 200°C tiveram um acréscimo médio de 33% quando comparados a esses valores do tratamento a 180°C.

As análises estatísticas indicaram uma interação tripla (espaçamento × grupo × temperatura) para Δa^* -termo (Tabela 1). Para o cerne, Δa^* -termo aumentou ou diminuiu com a temperatura, dependendo do espaçamento, sendo que, somente no espaçamento de 4 × 2 m, a temperatura não apresentou diferenças (Tabela 2 e Figura 2). No

espaçamento de 5 × 2 m, o aumento da temperatura de 180°C para 200°C causou um aumento em Δa^* -termo, enquanto que, no espaçamento de 6 × 2 m, o aumento da temperatura causou uma redução em Δa^* -termo.

Os maiores valores de Δa^* -termo foram encontrados para o alburno, sendo que, nos espaçamentos de 4 × 2 m e 5 × 2 m, esta variável não foi afetada pela temperatura. Entretanto, no espaçamento de 6 × 2 m, o aumento da temperatura causou um aumento em Δa^* -termo (Figura 2).

As variações observadas no pigmento vermelho devem-se provavelmente à alteração dos teores de extrativos na madeira após o tratamento térmico. Poubel (2011) observou que a coordenada a^* da madeira de *Pinus caribaea* tratada a 180°C e 200°C durante duas horas foi diretamente proporcional ao teor de extrativos. Segundo o Thermowood® Handbook (2003), o teor de extrativos da madeira aumenta quando o tratamento é realizado a temperaturas de até 180°C e diminui a temperaturas próximas a 230°C. Isso ocorre porque, a baixas temperaturas, há uma degradação dos compostos da madeira, principalmente hemiceluloses, enquanto

que, a altas temperaturas, ocorre a volatilização dos extrativos.

Para a coordenada b^* , as análises estatísticas indicaram um efeito significativo do espaçamento e do grupo, assim como uma interação entre esses fatores (Tabela 1). Para o alburno, a coordenada b^* apresentou um comportamento semelhante nos três espaçamentos; dessa forma, o alburno apresentou a mesma intensidade de pigmentação amarela. Entretanto, para o cerne, os valores de b^* apresentam um comportamento diferenciado em um dos espaçamentos, sendo que, no espaçamento de 4 × 2 m, b^* foi maior (26,61) quando comparado ao dos espaçamentos de 5 × 2 m (24,16) e 6 × 2 m (23,80). Portanto, o cerne do espaçamento de 4 × 2 m tende a ser mais claro que dos demais espaçamentos.

Para b^* -termo, as análises estatísticas indicaram uma interação tripla (espaçamento × grupo × temperatura) (Tabela 1). A coordenada b^* -termo do cerne apresentou um comportamento diferenciado entre os espaçamentos somente no tratamento a 180°C, em que o espaçamento de 4 × 2 m foi estatisticamente diferente do espaçamento de 6 × 2 m (Figura 3). O cerne do espaçamento de

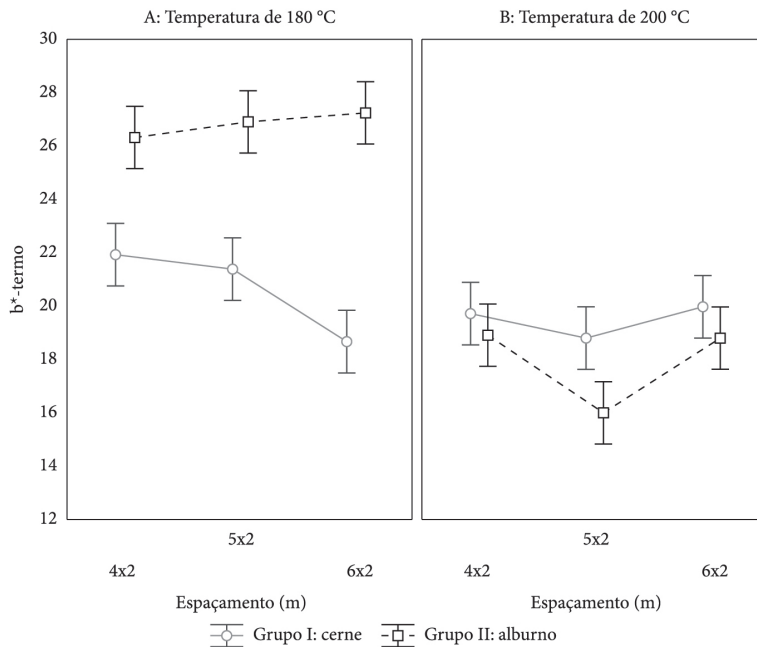


Figura 3. Interação tripla (espaçamento × grupo × temperatura) para o pigmento amarelo após o tratamento térmico (b^* -termo) da madeira de teca.

Figure 3. Triple interaction (spacing x group x temperature) of the yellow hue after heat treatment (b^* -termo) of the teak wood.

4 × 2 m apresentou mais pigmentação amarela (21,99) que do espaçamento de 6 × 2 m (18,70); entretanto, em ambos os casos, os valores médios de b^* -termo foram inferiores aos valores de b^* da madeira original (antes do tratamento), indicando perda de pigmento amarelo após o tratamento térmico. Após o tratamento a 200°C, o cerne perdeu pigmentação amarela na mesma intensidade para os três espaçamentos.

A coordenada b^* -termo do alburno apresentou comportamentos diferentes, dependendo da temperatura. Para o tratamento a 180°C, não foram observadas diferenças significativas entre os espaçamentos, ou seja, todos tiveram um ganho de pigmento amarelo na mesma intensidade quando comparados aos valores de b^* da madeira original. No tratamento a 200°C, os valores de b^* -termo do alburno foram inferiores aos valores de b^* da madeira original. Além disso, b^* -termo do alburno do espaçamento de 5 × 2 m tratado a 200°C apresentou o menor valor (16,09) quando comparado ao dos demais espaçamentos (Figura 3). O fato de a pigmentação amarela do alburno aumentar e diminuir, dependendo da temperatura, também foi

observado para outras madeiras por outros autores. Schnabel et al. (2007) observaram que o valor de b^* aumentou lentamente para tratamentos de baixa intensidade e diminuiu para tratamentos em que foram aplicadas altas temperaturas. Estes resultados podem ser explicados pelas modificações químicas ocorridas a diferentes temperaturas.

Esses resultados mostram a seguinte relação: quanto mais agressivo for o tratamento térmico, menor será a tonalidade amarela na cor da madeira de teca, pois os valores de b^* -termo tendem a diminuir. Isso corrobora com os resultados obtidos por Ahajji et al. (2009), que apontam que o tratamento ocasionou uma redução de b^* na madeira de faia (*Fagus sylvatica*).

Para a variável Δb^* -termo, as análises estatísticas indicaram um efeito significativo do espaçamento e da temperatura, assim como uma interação entre esses fatores (Tabela 1). Não foram encontradas diferenças significativas de Δb^* -termo entre as temperaturas para o cerne (Tabela 2). Entretanto, para o alburno, os valores de Δb^* -termo foram menores no tratamento a 200°C que no tratamento menos agressivo (Figura 4). O alburno tratado a

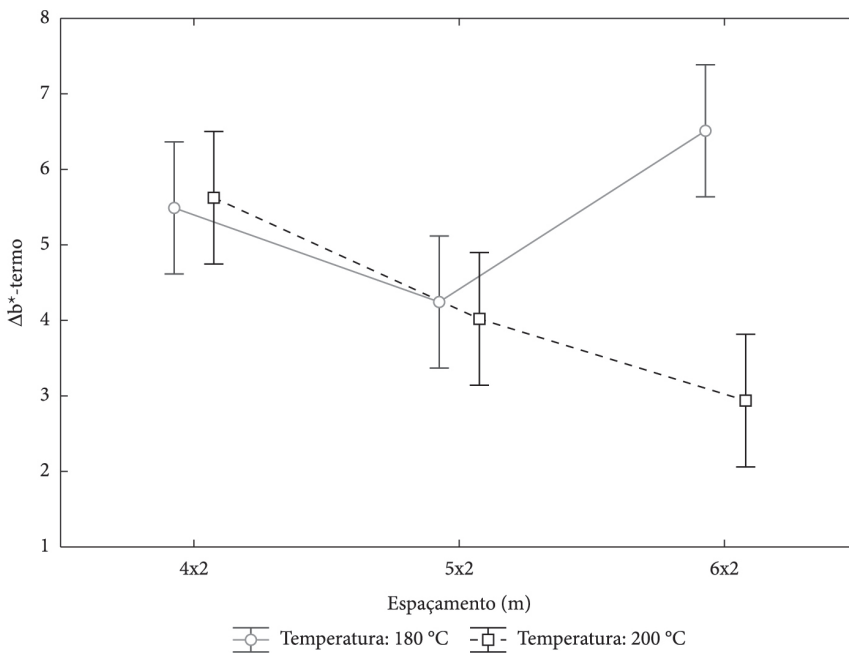


Figura 4. Interação entre espaçamento e temperatura para a variação do pigmento amarelo após o tratamento térmico (Δb^* -termo) da madeira de teca.

Figure 4. Interaction between spacing and temperature of the yellow hue variation after heat treatment (Δb^* -termo) of the teak wood.

180°C teve um ganho médio de 27,5% de pigmento amarelo, enquanto que, a 200°C, houve uma perda do mesmo pigmento correspondente a 11,2%.

A variação total da cor da madeira após os tratamentos térmicos (ΔE^*_{ab} -termo) apresentou uma interação tripla (espaçamento \times grupo \times temperatura) (Tabela 1). Para ΔE^*_{ab} -termo, verifica-se que, para o cerne, não foram encontradas diferenças significativas entre os espaçamentos (Tabela 2). Entretanto, foram observadas diferenças significativas entre as temperaturas, em que ΔE^*_{ab} -termo foi maior na temperatura de 200°C (Figura 5). Para o alburno tratado a 180°C, ΔE^*_{ab} -termo apresentou o mesmo comportamento para os três espaçamentos, não havendo diferenças significativas entre estes (Tabela 2). Entretanto, quando tratado a 200°C, ΔE^*_{ab} -termo apresentou diferenças entre os espaçamentos de 5 \times 2 m e 6 \times 2 m, sendo ΔE^*_{ab} -termo maior no espaçamento de 5 \times 2 m (37,45) que no espaçamento de 6 \times 2 m (29,51) (Figura 5).

Ao observar os valores de ΔE^*_{ab} -termo de cada grupo dentro de cada espaçamento, verifica-se que, no tratamento térmico mais agressivo, os valores foram maiores devido à maior degradação da madeira a temperaturas mais altas.

Os resultados mostram que os tratamentos térmicos causaram um efeito maior na alteração da cor do alburno que do cerne. O alburno apresentou uma alteração de cor média de 23,92%, enquanto que o cerne foi de 15,73%.

Com o tratamento térmico, a cor da madeira é modificada, adquirindo uma tonalidade mais escura que é, muitas vezes, justificada pela formação de produtos resultantes da degradação das hemiceluloses (Sehlstedt-Persson, 2003; Sundqvist, 2004) e dos extrativos, que parecem participar na formação de cor da madeira tratada hidrotermicamente (McDonald et al., 1997; Sundqvist & Morén, 2002). A formação de produtos oxidantes, tais como quinonas, é também referida como a razão da mudança de cor

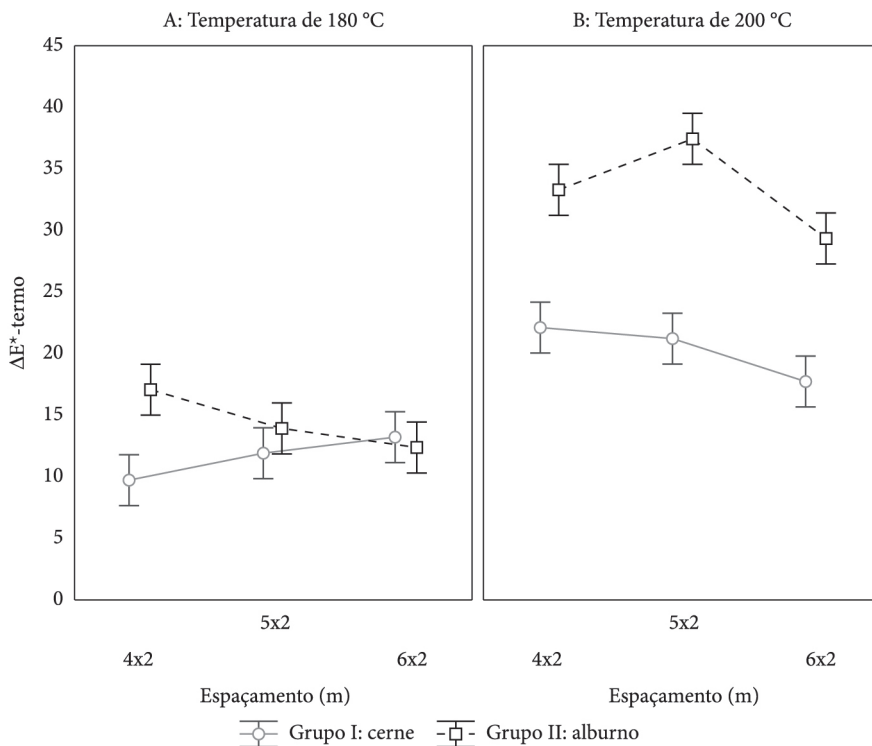


Figura 5. Interação tripla (espaçamento \times grupo \times temperatura) para a variação total da cor da madeira de teca após o tratamento térmico (ΔE^*_{ab} -termo).

Figure 5. Triple interaction (spacing \times group \times temperature) of the total color variation of the teak wood after heat treatment (ΔE^*_{ab} -termo).

(Tjeerdsma et al., 1998; Mitsui et al., 2001; Bekhta & Niemz, 2003).

Gouveia (2008), através da técnica de reflectância difusa no infravermelho, observou o comportamento de componentes químicos de três espécies de folhosas tratadas sob duas condições de temperatura (150 e 200°C) e tempo (1h e 2 h). O autor verificou que as madeiras submetidas ao tratamento mais agressivo tiveram um aumento de 50% em suas ligações C=C presentes nos anéis aromáticos, que representam o padrão de intensidade de lignina e extrativos; porém, o tratamento provocou uma maior degradação de compostos, como carbonilas ligadas ao anel benzênico. Todos os tratamentos apresentaram a formação de cromóforos, a qual foi relativamente maior no tratamento de maior temperatura e tempo.

O comportamento diferenciado na alteração da cor da madeira de cerne e alburno de teca, após a aplicação dos tratamentos térmicos, pode ser explicado pelos diferentes teores e/ou natureza química de cada tipo de madeira. Os resultados de variação de cor encontrados para a madeira de cerne de teca podem se assemelhar ao resultado obtido por Gouveia (2008) para a espécie de louro-vermelho, cuja madeira também é escura, sendo classificada no grupo das madeiras marrons, tal como o cerne da teca. Segundo Gouveia (2008), a madeira de louro-vermelho apresentou uma elevada formação de grupos cromóforos após o tratamento térmico mais agressivo, provavelmente devido ao alto teor de extrativos existente nessa espécie.

No entanto, Gouveia (2008) encontrou comportamento diferenciado para a madeira de marupá, a qual, por sua vez, se assemelha à coloração da madeira de alburno de teca; esse autor referiu também que a madeira de marupá apresentou uma resposta não significativa quanto à formação de grupos cromóforos após o tratamento térmico, já que é uma madeira clara e possui baixo teor de extrativos, o que reduz a formação de cromóforos. O autor observou que, para a madeira de marupá, houve a formação de compostos aromáticos e a degradação de polioses.

O maior ou menor escurecimento do cerne e alburno na teca poderá ser eventualmente explicado pela volatilização de substâncias extrativas e sua deposição nas superfícies da madeira,

recomendando-se, portanto, a realização de estudos sobre as alterações químicas.

Pelo que foi apresentado neste estudo, o espaçamento tem efeito sobre a formação da cor original da madeira de teca, ocorrendo variações entre cerne e alburno. A variação da cor original da madeira pode estar relacionada às condições de crescimento, as quais afetam a taxa de crescimento da árvore. Esses resultados corroboram com o estudo de Thulasidas et al. (2006), os quais avaliaram o comportamento de árvores de teca de regiões secas e úmidas, de crescimento lento e rápido, e concluíram que a madeira mostrou diferenças significativas em seus principais atributos de qualidade, tal como a cor.

Os extrativos apresentam uma estrutura heterogênea entre as espécies e um número altamente variável de componentes químicos. Além disso, os extrativos não se distribuem homogeneamente pela árvore, aumentando em direção à medula e diminuindo em relação ao topo (Lepage, 1986). Portanto, estudos específicos para cada espécie são necessários, a fim de se determinar o efeito dos extrativos na alteração da cor da madeira tratada termicamente.

Marinonio (2011) observou que árvores de plantios menos densos (6 × 2 m) produziram madeiras de cerne e alburno mais densas e com maiores teores de extrativos. O autor também observou um maior teor de extrativos para o cerne quando comparado ao do alburno. O teor de extrativos apresentou uma correlação significativa com a luminosidade (L^*) e a tonalidade vermelha (a^*), indicando que as madeiras mais escuras (menor L^*) e com mais pigmento vermelho apresentam um maior teor de extrativos (Marinonio, 2011). Estes resultados são similares àqueles encontrados por Gierlinger et al. (2004), os quais observaram que a^* e L^* da madeira de *Larix decidua* Mill apresentaram uma correlação com o teor de extrativos.

Varga & Van Der Zee (2008) avaliaram o efeito do tratamento térmico nos parâmetros colorimétricos da madeira de *Robinia pseudoacacia* e *Intsia bijuga*, e observaram que a alteração da cor é altamente dependente da espécie. Esses autores encontraram uma importante variação nas coordenadas L^* e b^* dessas espécies, as quais apresentaram numerosas substâncias solúveis que afetaram sua cor natural e seu comportamento durante o tratamento.

4. CONCLUSÕES

O espaçamento afetou a cor original da madeira de teca antes e após o tratamento térmico.

O aumento da temperatura intensificou a alteração da cor da madeira de teca.

A madeira do alburno sofreu maior alteração da cor que a madeira do cerne, frente ao tratamento térmico.

STATUS DA SUBMISSÃO

Recebido: 02 set., 2012

Aceito: 28 jul., 2014

Publicado: 21 nov., 2014

AUTOR(ES) PARA CORRESPONDÊNCIA

Rosilei Aparecida Garcia

Departamento de Produtos Florestais,
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro –
UFRRJ, CEP 23890-000, Seropédica, RJ, Brasil
e-mail: rosileigar@gmail.com

REFERÊNCIAS

- Ahajji A, Diouf PN, Aloui F, Elbakali I, Perrin D, Merlin A, et al. Influence of heat treatment on antioxidant properties and colour stability of beech and spruce wood and their extractives. *Wood Science and Technology* 2009; 43(1-2): 69-83. <http://dx.doi.org/10.1007/s00226-008-0208-3>.
- Bekhta P, Niemz P. Effect of high temperature on change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce. *Holzforschung* 2003; 57(5): 539-546. <http://dx.doi.org/10.1515/HE.2003.080>.
- Camargos JAA. *Colorimetria quantitativa aplicada na elaboração de um catálogo de cores de madeiras tropicais* [tese]. Brasília: Universidade de Brasília; 1999.
- Commission Internationale de l'Éclairage - CIE. Colorimetry. Part 4: CIE 1976 (L*a*b*) System. 2nd ed. Vienna; 1986. CIE no. 15.2.
- Dubey MK, Pang S, Walker J. Effect of oil heating age on colour and dimensional stability of heat treated Pinus radiata. *European Journal of Wood and Wood Products* 2011; 69(2): 255-262. <http://dx.doi.org/10.1007/s00107-010-0431-0>.
- Esteves B, Domingos I, Pereira H. Pine wood modification by heat treatment in air. *BioResources* 2008; 3(1): 142-154.
- Finnish Thermowood Association. *ThermoWood® Handbook*. Helsinki; 2003.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. *Reforestación y plantaciones forestales*. 2000. Available from: http://www.fao.org/montes/foda/wforcong/PUBLI/PDF/V3S_T12.PDF.
- Gierlinger N, Jacques D, Grabner M, Wimmer R, Schwanninger M, Rozenberg P, et al. Colour of larch heartwood and relationships to extractives and brown-rot decay resistance. *Trees (Berlin)* 2004; 18(1): 102-108. <http://dx.doi.org/10.1007/s00468-003-0290-y>.
- González-Pena MM, Hale MDC. Colour in thermally modified wood of beech, Norway spruce and Scots pine Part 1: Colour evolution and colour changes. *Holzforschung* 2009; 63: 385-393.
- Gouveia FN. *Aplicação de tratamentos térmicos para estabilização colorimétrica de madeiras tropicais* [tese]. Brasília: Universidade de Brasília; 2008.
- Janin G, Gonzalez J, Ananias R, Charrier B, Fernandes G, Dilem A. Aesthetics appreciation of wood colour and patterns by colorimetry. Part 1: Colorimetry theory for the CIELab System. *Maderas: Ciencia y Tecnología* 2001; 3(1-2): 3-13.
- Kokutse AD, Stokes A, Baillères H, Kokou K, Baudasse C. Decay resistance of Togolese teak (*Tectona grandis* L. f.) heartwood and relationship with colour. *Trees (Berlin)* 2006; 20(2): 219-223. <http://dx.doi.org/10.1007/s00468-005-0028-0>.
- Konica Minolta. *Comunicação precisa da cor*. Sakai; 1998.
- Lepage ES. *Manual de Preservação de Madeiras*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Divisão de Madeiras; Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo; 1986.
- Marinonio GB. *Efeito da densidade e do teor de extrativos na variação da cor da madeira de Tectona grandis L. f.* [monografia]. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; 2011.
- Mcdonald A, Fernandez M, Kreber B. Chemical and UV-VIS spectroscopic study on kiln brown stain formation in Radiata pine. In: *9th International Symposium of Wood and Pulping Chemistry*; 1997; Montréal. Montréal: ISWPC; 1997. p. 1-5.
- Mitsui K, Takada K, Sugiyama M, Hasegawa R. Changes in the properties of light-irradiated wood with heat treatment. Part 1: Effect of treatment conditions on the change in color. *Holzforschung* 2001; 55(6): 601-605. <http://dx.doi.org/10.1515/HE.2001.098>.
- Mori CLSO, Lima JT, Mori FA, Trugilho PF, Gonçalves JC. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de Eucalyptus spp. *Cerne* 2005; 11(2): 137-146.
- Mononen K, Alvila L, Pakkanen T. CIEL*a*b* Measurements to determine the role of felling

- season, log storage and kiln drying on coloration of silver birch wood. *Scandinavian Journal of Forest Research* 2002; 17(2): 179-191. <http://dx.doi.org/10.1080/028275802753626827>.
- Oyarce CDB. *Modification of wood color via electroheating technology* [dissertação]. Idaho: University of Idaho; 2006.
- Poubel DS. *Efeito da termorretrificação nas propriedades tecnológicas da madeira normal e de compressão de Pinus caribaea Morelet* [monografia]. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; 2011.
- Sánchez DS. *Estúdio físico de suelos de dos sitios para determinar la factibilidad del establecimiento de Coboia (Swietenia humilis Zucc.) y Teca (Tectona grandis L.f)*. [tese]. Honduras: Zamorano; 2002.
- Schnabel T, Zimmer B, Petutschnigg AJ, Schönberger S. An approach to classify thermally modified hardwoods by color. *Forest Products Journal* 2007; 57(9): 105-110.
- Sehlstedt-Persson M. *Properties of solid wood: responses to drying and heat treatment* [tese]. Skellefteå: Luleå University of Technology; 2005.
- Sundqvist B. *Colour Changes and acid formation in wood during heating* [tese]. Skellefteå: Luleå University of Technology; 2004.
- Sundqvist B, Morén T. The influence of wood polymers and extractives on wood colour induced by hydrothermal treatment. *Holz als Roh- und Werkstoff* 2002; 60(5): 375-376. <http://dx.doi.org/10.1007/s00107-002-0320-2>.
- Thulasidas PK, Bhat KM, Okuyama T. Heartwood colour variation in home garden teak (*Tectona grandis*) from wet and dry localities of Kerala, India. *Journal of Tropical Forest Science* 2006; 18(1): 51-54.
- Tjeerdsma B, Boonstra M, Pizzi A, Tekely P, Militiz A. Characterisation of thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvement. *Holz als Roh- und Werkstoff* 1998; 56(3): 149-153. <http://dx.doi.org/10.1007/s001070050287>
- Tsukamoto Filho AA, Silva ML, Couto L, Müller MD. Análise econômica de um plantio de teca submetido a desbastes. *Revista Árvore* 2003; 27(4): 487-494. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622003000400009>.
- Varga D, Van Der Zee ME. Influence of steaming on selected wood properties of four hardwood species. *Holz als Roh- und Werkstoff* 2008; 66(1): 11-18. <http://dx.doi.org/10.1007/s00107-007-0205-5>.