

Propriedades físicas e colorimétricas da madeira
termorretificada de *Pinus elliottii* var. *elliottii*Physical and colorimetric properties of
Pinus elliottii var. *elliottii* thermally treated woodBruno Conte¹, André L. Missio¹, Anderson Pertuzzatti¹,
Pedro H. G. de Cademartori² e Darci A. Gatto³**Resumo**

A termorretificação caracteriza-se como um método de modificação da madeira que visa, dentro de certos parâmetros adotados, a melhoria da qualidade do material. É um processo de baixo impacto ambiental, estudado com considerável atenção principalmente na Europa e América do Norte nos últimos anos. Nesse contexto, a presente pesquisa teve por objetivo avaliar as propriedades físicas e colorimétricas da madeira termorretificada de *Pinus elliottii* var. *elliottii*. Foram utilizadas cinco árvores selecionadas ao acaso de um plantio homogêneo com 20 anos. Dessas, foram confeccionados os corpos de prova que serviram de base para as análises físicas e colorimétricas. Uma estufa com circulação forçada de ar foi utilizada para realização dos tratamentos, que consistiram em temperaturas de 130°C, 170°C, 210°C por um período 3 horas, além das amostras controle. Os parâmetros colorimétricos foram mensurados conforme o sistema CIEL *a*b*. A termorretificação a 210°C foi responsável pelas modificações mais intensas, quanto à variação volumétrica, perda de massa e teor de umidade de equilíbrio. A cor também sofreu variações, e o parâmetro colorimétrico de claridade (L*) foi o mais representativo para caracterizar o comportamento frente à termorretificação. A cor da madeira de pinus passou de pálida/branca para marrom-escuro, o que denota/confirma a termorretificação como uma alternativa eco eficiente e viável para fins estéticos e não estruturais.

Palavras-chave: Tratamento térmico, estabilidade dimensional, CIEL *a*b*, histerese.

Abstract

Thermal treatment is a method to modify wood material and to improve its quality considering some parameters. It has low environmental impact and lately has been widely studied, mainly in Europe and North America. The present study aimed to evaluate physical and colorimetric properties of *Pinus elliottii* var. *elliottii* thermally treated wood. We randomly selected five trees from a homogeneous plantation aged 20 years and the samples for physical and colorimetric tests were prepared. An oven with forced air circulation was used in the thermal treatments at 130°C, 170°C and 210°C for 3 hours, beyond the control samples. Colorimetric analyses were performed according to the CIEL *a*b* system. Temperature of 210°C presented the highest changes in the volumetric variation, weight loss and equilibrium moisture content. Color also varied, in which lightness (L*) was the most representative parameter to characterize the behavior of thermally treated wood. Pine color wood was from pallid/white to dark brown, which denotes the thermal treatment as an eco-friendly and viable alternative for aesthetic and non-structural uses.

Keywords: Heat treatment, dimensional stability, CIEL *a*b, hysteresis.

INTRODUÇÃO

A madeira sólida oriunda de plantios homogêneos de rápido crescimento, vinculada a fins não estruturais, vem perdendo valor de mercado devido à características intrínsecas do material,

principalmente a alta higroscopicidade, anisotropia e cor esbranquiçada. A madeira do gênero *Pinus* é um exemplo, por apresentar um grande nicho comercial, sua madeira pode ser utilizada em diversos segmentos, como a produção de celulose, construção civil e indústria moveleira.

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria - Centro de Ciências Rurais. Laboratório de Produtos Florestais. Av. Roraima, 1000, 97105-900 Santa Maria – RS. E-mail: efl.brunoconte@gmail.com; andreluizmissio@gmail.com; anderson.pertuzzatti@gmail.com.

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. UFPR.- Universidade Federal do Paraná - Centro de Ciências Florestais e da Madeira. Av. Lothário Meissner, 900, 80210-170, Curitiba – PR. E-mail: pedrocademartori@gmail.com

³Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia dos Materiais. UFPel – Universidade Federal de Pelotas - Centro de Desenvolvimento Tecnológico. Félix da Cunha, 809, 96010-000, Pelotas – RS. E-mail: darciatto@yahoo.com

O aspecto estético, definido principalmente por desenhos naturais e a cor da madeira, pode delimitar o uso do material para fins com menor valor agregado. Espécies denominadas tropicais, por apresentarem em diversos casos uma coloração escura, possuem uma maior gama de aplicações, como por exemplo em painéis decorativos, molduras, divisórias e mobiliário. A madeira do gênero *Pinus* possui coloração clara, o que desvaloriza o material para os fins supracitados, entretanto, o seu escurecimento pode ser alcançado por meio de métodos de modificação da madeira, com a utilização de tratamentos térmicos.

A termorretrificação vem sendo estudada extensivamente, devido à crescente demanda por métodos que visem melhorar as características da madeira, sem a impregnação de produtos químicos (Rapp; Sailer, 2001). Caracteriza-se pelo processo no qual a madeira é submetida a altas temperaturas (100 à 220°C), causando modificações na composição química estrutural, com objetivo de aumentar o potencial tecnológico do material.

Entre os principais constituintes químicos estruturais da madeira, a hemicelulose é o mais instável termicamente. Quando submetida a altas temperaturas, ocorre a decomposição das hemiceluloses, o que reduz a acessibilidade dos grupos hidroxilas (região amorfa), responsáveis pela higroscopicidade da madeira (Hill, 2006). Os extrativos também são modificados durante o processo de termorretrificação, em que, muitos são totalmente degradados, bem como, novos compostos são formados a partir da decomposição dos polissacarídeos e da lignina (Esteves et al., 2008a; Hakkou et al., 2005).

Em razão das modificações na estrutura química, a termorretrificação é benéfica à madeira, devido ao aumento da estabilidade dimensional (Almeida et al., 2009; Priadi; Hiziroglu, 2013), diminuição da higroscopicidade (Hill, 2006; Aydemir et al., 2011), alterações colorimétricas (Pincelli et al., 2012; Tuong; LI, 2010) e aumento da resistência biológica (Calonego et al., 2012; Dubey et al., 2012).

Nesse contexto, o objetivo da pesquisa foi avaliar as propriedades físicas e colorimétricas da madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii* submetida a diferentes tratamentos de termorretrificação.

MATERIAL E MÉTODOS

Seleção do material e tratamentos de termorretrificação

As árvores utilizadas na presente pesquisa foram provenientes de um plantio homogêneo de *Pinus elliottii* com 20 anos de idade, situado

no município de Encruzilhada do Sul – RS, sob coordenadas 30°34'09"S e 52°32'13"O, a 359 metros de altitude. Segundo a classificação de Köppen, a região apresenta clima subtropical úmido Cfa, com precipitação anual variando de 1600 a 1900 mm (Alvares et al., 2013).

Cinco árvores foram selecionadas ao acaso, com fuste reto, sem a presença de defeitos, e diâmetro a altura do peito (DAP) superior a 30 cm (Astm, 2000). A partir da primeira tora de cada árvore, através do processo de desdobro, foram confeccionados 96 corpos de prova, orientados nos sentidos tangencial e radial, com dimensões de 25 x 25 x 60 mm (radial, tangencial e longitudinal).

Inicialmente, como padronização, os corpos de prova foram acondicionados em câmara de climatização sob as condições de 20±2°C de temperatura e 65±5% de umidade relativa do ar (UR), até atingirem o ponto de equilíbrio higroscópico para, posteriormente serem aplicados os tratamentos de termorretrificação. A cada etapa, os corpos de prova foram pesados e mensurados para futuros cálculos de variação dimensional, perda de massa e teor de umidade de equilíbrio.

O experimento foi composto de quatro tratamentos: *Pinus elliottii* - amostra controle (PE); 130°C (PE130); 170°C (PE170) e 210°C (PE210). Para a execução dos tratamentos, foi utilizada uma estufa laboratorial com circulação forçada de ar, em que adotou-se duas fases de aquecimento e uma de condicionamento durante a termorretrificação. A primeira fase correspondeu ao pré-aquecimento, intervalo de tempo para a estufa atingir a temperatura de cada tratamento pré-estabelecido, resultando uma taxa de aquecimento de 0,9°C/min, partindo-se da temperatura ambiente. A segunda fase correspondeu ao período de termorretrificação padronizado de 3 horas e a terceira fase referiu-se ao período de condicionamento das amostras, até 100°C.

Propriedades físicas

Após os tratamentos de termorretrificação, os corpos de prova foram novamente acondicionados em câmara climatizada até atingirem o equilíbrio higroscópico. Diferindo de métodos tradicionais que avaliam a variação dimensional em temperatura ambiente, foi proposto uma simulação de três condições adversas à madeira de *P. elliottii*: três dias submersos em água a uma temperatura média de 20°C (SB), seguido de três dias de condição seca em estufa a 35°C (ES) e um dia de congelamento a -20°C (CG), constituindo um ciclo de sete dias. Ao final de cada condição, foram mensuradas as dimensões dos corpos de prova, bem como sua massa. A

madeira foi submetida a três ciclos, totalizando 21 dias de avaliação.

A estabilidade dimensional foi mensurada através da variação volumétrica (Equação 1). Calculou-se também o teor de umidade de equilíbrio (Equação 2), a massa específica básica (Equação 3), a perda de massa (Equação 4) e a eficiência anti-inchamento (Equação 5).

$$\Delta V = \frac{V_u - V_s}{V_s} \cdot 100 \quad (1)$$

$$TU_{eq} = \frac{M_u - M_s}{M_s} \cdot 100 \quad (2)$$

$$ME_{básica} = \frac{M_s}{V_u} \quad (3)$$

$$PM = \frac{M_{nt} - M_t}{M_{nt}} \cdot 100 \quad (4)$$

$$ASE = \frac{\Delta V_c - \Delta V_t}{\Delta V_t} \cdot 100 \quad (5)$$

Em que: ΔV = variação volumétrica (%); V_u = volume úmido dos corpos de prova (cm^3); V_s = volume seco dos corpos de prova a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ (cm^3); TU_{eq} = teor de umidade de equilíbrio na condição de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ de UR (%); M_u = massa dos corpos de prova na condição $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ (g); M_s = massa seca dos corpos de prova a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ (g); $ME_{básica}$ = massa específica básica (g/cm^3); PM = perda de massa (%); M_{nt} = massa seca dos corpos de prova antes da termorreificação (g); M_t = massa seca dos corpos de prova depois da termorreificação (g); ASE = eficiência anti-inchamento (%); ΔV_c = variação volumétrica dos corpos de prova do tratamento controle (%); ΔV_t = variação volumétrica dos corpos de prova termorreificados (%).

Colorimetria

Para o ensaio de colorimetria, foram utilizados dez corpos de prova por tratamento, sendo que para cada um desses foram realizadas seis medições colorimétricas, três na seção tangencial e outras três na seção radial. Foi utilizado um colorímetro portátil Konica Minolta, modelo CR-400, com abertura do sensor de 8 mm. O aparelho foi configurado para o uso de fonte de luz D65 e ângulo de observação de 2° no padrão descrito pela Commission Internationale de L'éclairage ($CIE L^*a^*b^*$).

Os parâmetros colorimétricos avaliados foram: claridade L^* (preto, 0 – branco, 100), coordenada cromática a^* (+ vermelho, - verde), coordenada cromática b^* (+ amarelo, - azul), sa-

turação de cor C^* e ângulo de tinta h . Já a variação de cor (ΔE) foi calculada conforme a Equação 6.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (6)$$

ΔE = variação de cor; ΔL^* = variação dos parâmetros de claridade; Δa^* = variação da coordenada cromática vermelho – verde; Δb^* = variação da coordenada cromática amarelo – azul. Variação dos parâmetros entre corpos de prova termorreificados em relação às amostras controle.

Análise estatística

A análise estatística procedeu-se com delineamento inteiramente casualizado, com três temperaturas (130°C , 170°C e 210°C) somando-se a amostra controle, bem como o tempo padronizado de três horas. Os dados foram interpretados através da análise de variância (ANOVA) por meio do teste F em 5% de probabilidade de erro. Primeiramente foram verificadas a normalidade e homogeneidade de variância dos dados, pressupostos antes de qualquer teste paramétrico. Em caso de rejeição da hipótese nula foi realizado teste de médias LSD (*Least Significant Difference*) de Fisher em nível de 5% de probabilidade de erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades físicas

O teor de umidade de equilíbrio (TU_{eq}) apresentou comportamento linear de decréscimo em função da temperatura dos tratamentos (Tabela 1). As maiores modificações foram observadas no tratamento mais severo (PE210), cerca de 42,9%, seguida de 24,1% (PE170) e 12,8% (PE130).

Tabela 1. Médias dos parâmetros que caracterizam as propriedades físicas da madeira termorreificada de *Pinus elliottii*.

Table 1. Summary of physical parameters of *Pinus elliottii* thermally treated wood.

Tratamentos	PE	PE130	PE170	PE210
TU_{eq} (%)	13,3 d (0,38)	11,6 c (0,31)	10,1 b (0,36)	7,6 a (0,52)
PM (%)	-	0,7 a (0,24)	1,06 a (0,31)	6,67 b (1,27)
$ME_{básica}$ (g/cm^3)	0,37 a (0,05)	0,38 a (0,03)	0,38 a (0,04)	0,39 a (0,03)
ΔV (%)	10,53 c (0,92)	10,11 bc (0,67)	9,85 b (0,67)	8,25 a (0,52)
ASE (%)	-	3,9	6,4	21,6

TU_{eq} = Teor de umidade de equilíbrio; PM = Perda de massa; $ME_{básica}$ = Massa específica básica; ΔV = Variação volumétrica; ASE = Eficiência anti-inchamento. Tratamentos = PE (*Pinus elliottii* – amostra controle), PE130 (130°C); PE170 (170°C) e PE210 (210°C). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Fisher. Valores entre parênteses indicam o desvio padrão.

Pesquisas anteriores encontraram resultados similares de decréscimos no teor de umidade de equilíbrio (ARAÚJO et al., 2012; Delucis et al., 2014; Severo et al., 2012; Welzbacher et al., 2007). Rowell et al. (2009) afirmaram que o decréscimo do TU_{eq} possivelmente esteja relacionado com a formação de hidroximetilfurfural (HMF) e furfural a partir da desidratação de hexoses e pentoses durante a termorretrificação, tornando a madeira menos higroscópica.

Conforme Esteves e Pereira (2009), no intervalo de 150 a 220 °C verifica-se um aumento de celulose cristalina devido à degradação de sua região amorfa, o que resulta na diminuição da acessibilidade aos grupos hidroxila e, consequentemente, a diminuição do teor de umidade da madeira. Nesse âmbito, a diminuição da umidade de equilíbrio pode ser explicada devido à redução de grupos OH e/ou clivagem das cadeias e perdas de substâncias após os tratamentos térmicos (Akyildiz; Ates, 2008).

A perda de massa variou entre 0,7% a 6,67%, havendo tendência de crescimento conforme o aumento da temperatura, resultado esse, semelhante ao relatado por outros autores (Borrega; Kärenlampi, 2008; Esteves et al., 2007; Surini et al., 2012). Resultados inferiores de perda de massa foram encontrados por Esteves et al. (2008b), 0,3% e 3% para temperatura de 170 °C e 200 °C, em estudo com madeira de *Pinus pinaster*. Corroboram com tal comportamento Moura et al. (2012), que evidenciaram a maior perda de massa no tratamento mais severo (180 °C) para a madeira de *Pinus caribaea*.

Nesse contexto, a perda de massa relaciona-se diretamente com o aumento da temperatura, resultante da degradação e/ou pirólise dos constituintes químicos da madeira, principalmente a hemicelulose que, devido a sua estrutura amorfa, é o menos estável termicamente (Borges; Quirino, 2004; Mohebbi; Sanaei, 2005).

A massa específica básica não apresentou diferença estatística entre os tratamentos. Conforme Hill (2006), isso ocorre em função da relação da perda de massa e do volume após os tratamentos. Desse modo, em tratamentos que a variação de massa e do volume acontece de maneira semelhante, não acontecerá alteração da massa específica básica da madeira.

Com relação à variação volumétrica, o tratamento mais severo (PE210) resultou em um decréscimo de 21,6% com relação às amostras controle, isto é, mais estável dimensionalmente. A eficiência anti-inchamento apresentou

aumento proporcional ao aumento da temperatura, sendo no tratamento PE210 verificado os melhores resultados (Tabela 1). Trabalhos anteriores com os gêneros *Picea*, *Eucalyptus* e *Abies* apresentaram resultados similares a esta pesquisa (Almeida et al., 2009; Aydemir et al., 2011; Welzbacher et al., 2007;).

Analisando a variação volumétrica da madeira de *P. elliottii* nas diferentes condições impostas, percebe-se que o tratamento mais severo (PE210) contribuiu para o decréscimo da amplitude entre inchamento e contração, resultando em 25,6%, 29,7% e 21,4%, respectivamente para os três ciclos em comparação com a amostra controle (Figura 1).

A explicação para o aumento da estabilidade dimensional está associada à redução das hemiceluloses, bem como, de parte da região amorfa da celulose, que em decorrência disso ocorre a diminuição dos grupos hidroxilas e dos sítios de absorção de água (Hillis; Rozsa, 1985; Jämsä; Viitaniemi, 2001).

O tratamento controle (PE) diminuiu ligeiramente sua amplitude de inchamento no ciclo 3 (Figura 1). Supõe-se que esse comportamento refere-se ao fenômeno de histerese, típico em materiais higroscópicos. Com relação à amplitude de inchamento/contração, as amostras tratadas não demonstraram comportamento diferenciado entre os ciclos, mantendo-se em um certo nível de variação volumétrica, no entanto, deve-se ressaltar que nessas também ocorre a histerese, porém, em menor proporção. Almeida et al. (2009) apresentaram resultados semelhantes, evidenciando a diminuição de sorção de histerese com o aumento da temperatura dos tratamentos.

Conforme Patera et al. (2013), esse fenômeno pode ser entendido como resultado de diferentes mecanismos, entre eles, a condensação capilar, interações fluido-fluido ou interações fluido-sólido. O inchaço da madeira, claramente pertence a este último caso, com interações de fluidos-sólidos que está na origem do comportamento de inchamento de histerese.

Com o aumento da temperatura de termorretrificação, observa-se a diminuição da higroscopicidade da madeira de *P. elliottii*, resultado da redução dos grupos OH livres. Homan et al. (2000) relataram que na estrutura polimérica da madeira todos os componentes contêm grupos hidroxilos, esses por sua vez desempenham papel chave na interação da água com a madeira. Quando ocorre a entrada de água, essa acaba

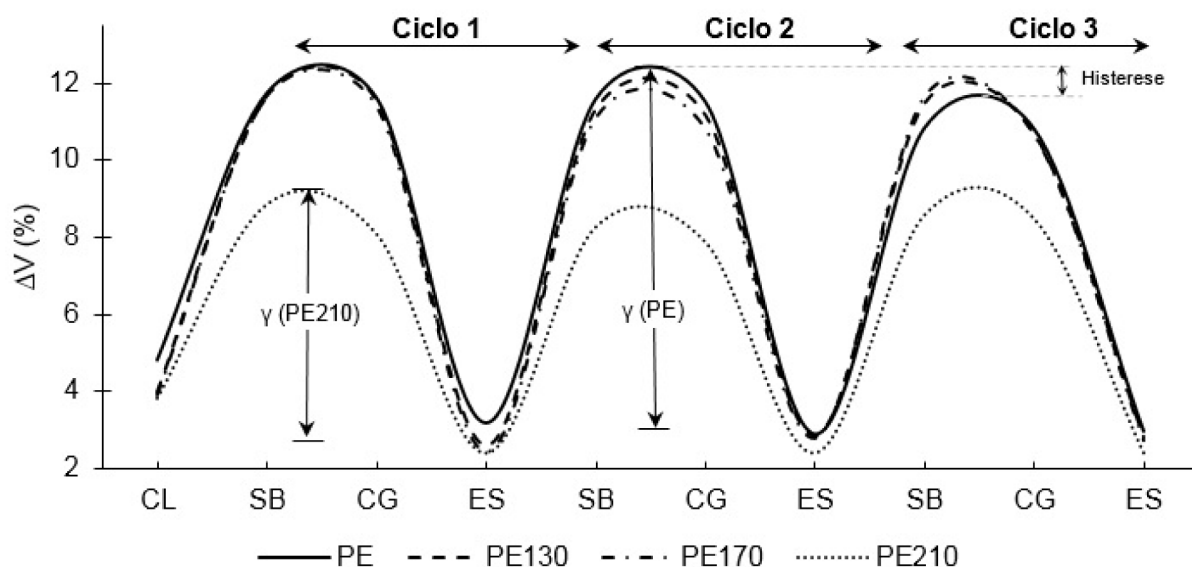


Figura 1. ΔV = Variação volumétrica em função da condição aplicada. CL = Climatizado a 20°C e 65% de umidade relativa do ar; SB = Submerso em água por 3 dias; CG = Congelamento por 24 horas; ES = Estufa a 35°C durante 3 dias; γ = Amplitude (inchamento e contração); Tratamentos = PE (*Pinus elliottii* – amostra controle), PE130 (130°C); PE170 (170°C) e PE210 (210°C). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Fisher.

Figure 1. ΔV = Volumetric variation related to treatment. CL = Conditioned at 20°C and 65% of relative humidity; SB = Immersed in water for 3 days; CG = Freezing for 24 hours; ES = Oven at 35°C for 3 days; γ = Amplitude (swelling and shrinkage); Treatments = PE (*Pinus elliottii* – control sample), PE130 (130°C); PE170 (170°C) and PE210 (210°C). Average values followed by the same letter did not differ statistically at 5% of probability of error using Fisher test.

se instalando entre os polímeros da madeira, formando ligações de hidrogênio. Essa água necessita de um espaço entre os componentes da parede celular, o que resulta em aumento de volume da madeira.

Colorimetria

A claridade (L^*) diminuiu conforme a severidade dos tratamentos, resultando no escurecimento da madeira. Observa-se significativa variação do parâmetro L^* em ambas as seções analisadas. Nas seções radial e tangencial, o PE210 causou redução na L^* em 48% e 48,8% em relação a amostra controle, respectivamente (Figura 2). A redução da L^* foi observada em outras pesquisas (Cademartori et al., 2014; Cademartori et al., 2013a; Dubey et al., 2012; Pincelli et al., 2012; Srinivas; Pandey, 2012) e, para esses autores, o decréscimo da claridade está associado à degradação das hemiceluloses, bem como da alteração do conteúdo de extrativos na madeira termorretificada.

A coordenada cromática vermelho-verde (a^*) aumentou gradativamente conforme a temperatura dos tratamentos, em ambas as seções, predominando tons de vermelho na madeira termorretificada. Conforme Gierlinger et al. (2004), a cromática a^* é influenciada diretamente pelo teor de extrativos presente na

madeira. Os autores complementaram que o acréscimo da cromática a^* , além de indicar a modificação estética da madeira, trata-se de um parâmetro colorimétrico que possui correlação positiva com a presença de fenóis na madeira. Desse modo, a cromática a^* contribui para o aumento da resistência da madeira a deterioração.

Em relação a cromática b^* , observou-se um aumento até o tratamento PE170, o qual diferiu significativamente dos demais tratamentos, em ambas as seções estudadas. Já para o tratamento PE210, observou-se o decréscimo da cromática b^* , em virtude da perda do aspecto amarelado da madeira de *P. elliottii*. A coloração amarela, predominante na madeira de pinus não tratada, está relacionada essencialmente com a fotoquímica dos principais componentes estruturais da madeira, principalmente a lignina (Gierlinger et al., 2004; Harju et al., 2003; Pincelli et al., 2012). Resultados de decréscimos na cromática b^* , em tratamentos acima de 200°C, foram relatados por outros pesquisadores (Cademartori et al., 2014; Pincelli et al., 2012; Srinivas; Pandey, 2012).

A variação de cor (ΔE) aumentou em função da temperatura do tratamento, em que o PE210 variou aproximadamente 10 vezes mais que o PE130 e três vezes mais em relação ao PE170. Portanto, quanto maior a temperatura de tratamento, maior são as alterações colorimétricas

da madeira. Esses resultados corroboram com os encontrados na literatura para diferentes processos de termorretrificação (Cademartori et al., 2014; Cademartori et al., 2013b); Chen et al., 2012; Srinivas; Pandey, 2012;).

O ângulo de tinta (h) decresceu conforme a severidade dos tratamentos, sendo no PE210 a maior redução, 21,8% e 23%, respectivamente, para a

seção radial e tangencial, em comparação com a amostra controle. Conforme Pincelli et al. (2012), a diminuição do h implica na homogeneização da cor da madeira após a termorretrificação.

Para a saturação de cor (C^*), da mesma forma que a cromática b^* , verificou-se aumento até o PE170, diferindo significativamente dos demais tratamentos. Com relação ao PE210, houve decrés-

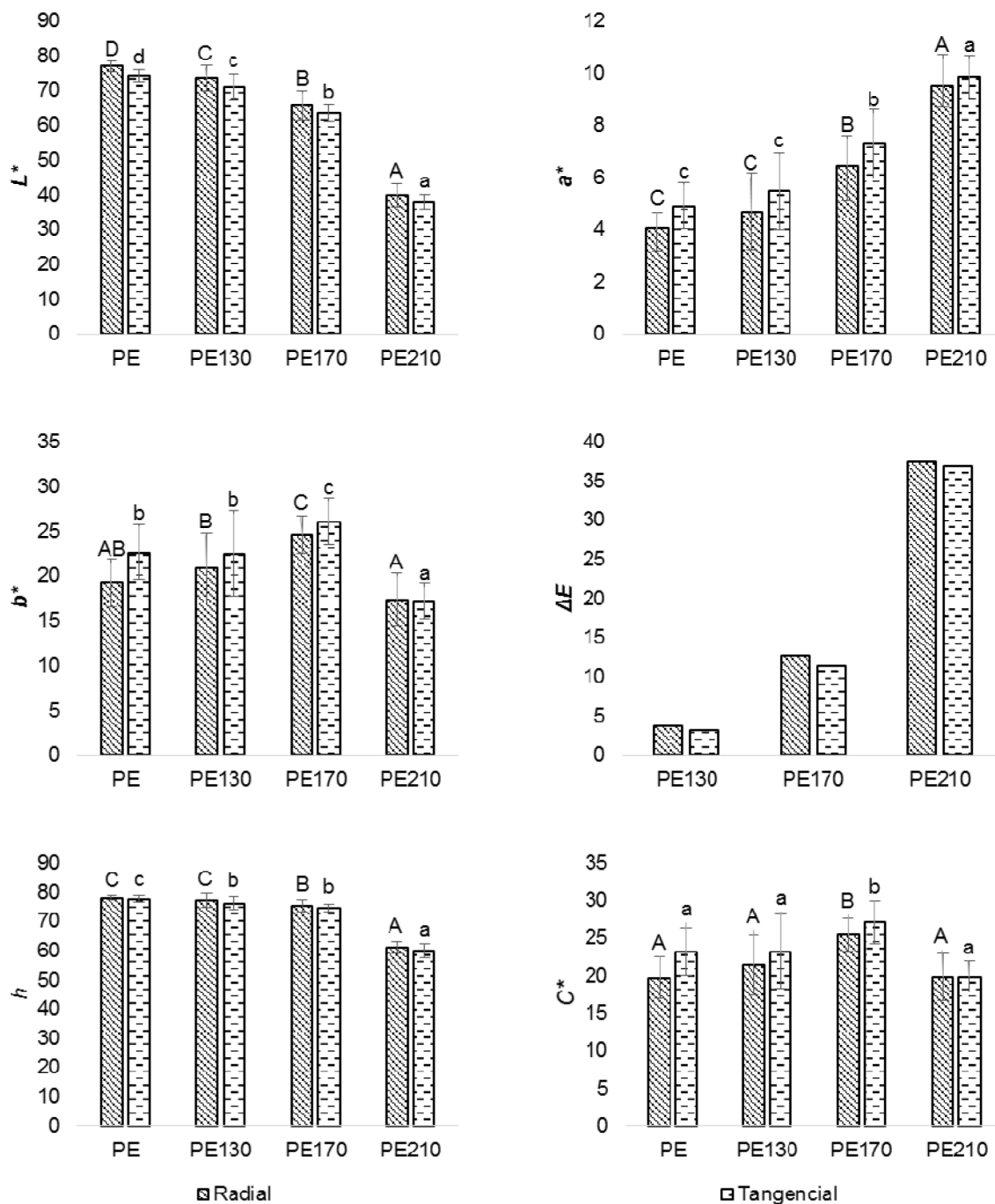


Figura 2. Parâmetros colorimétricos: L^* (Clareza), a^* (coordenada cromática vermelho-verde), b^* (coordenada cromática azul-amarelo), ΔE (Variação de cor em relação a amostra controle). Letras seguidas da mesma letra, maiúsculo (sentido radial) e minúsculo (sentido tangencial), não apresentam diferença significativa em 5% de probabilidade de erro. Tratamentos: PE (*Pinus elliottii* – amostra controle), PE130 (130°C); PE170 (170°C) e PE210 (210°C).

Figure 2. Colorimetric parameters: L^* (Lightness), a^* (chromatic coordinate red-green), b^* (chromatic coordinate blue-yellow), ΔE (color variation in relation to the control sample). Mean values followed by the same capital letter (radial direction) and lower case letter (tangential direction) did not differ statistically at 5% of probability of error. Treatments: PE (*Pinus elliottii* – control sample), PE130 (130°C); PE170 (170°C) and PE210 (210°C).

cimo de 22,2% e 26,7%, respectivamente para a seção radial e tangencial, em comparação com o PE170. Para Cademartori et al. (2013b) os decréscimos na saturação estão relacionadas com a maior influência de tons de cinza escuro nas seções tangenciais e radial após as termorretificações.

Conforme o agrupamento de Cluster (Camargos; Gonçalves, 2001), que utiliza as variáveis cromáticas L^* , a^* , b^* e h , tanto na posição radial como na tangencial, a amostra controle e o PE130 se enquadram na coloração branca, o PE170 amarelo-claro e o PE210 como marrom-escuro. Essa mudança de cor na madeira é resultado da quantidade de extrativos presentes na parede celular, que faz com que a madeira, quando exposta à luz, ar, calor ou mesmo, ao longo do tempo, escureça ou clareie. (Desch; Dinwoodie, 1993).

CONCLUSÕES

A temperatura de 210°C foi responsável pelas modificações mais intensas quanto a variação volumétrica, eficiência anti-inchamento, perda de massa e teor de umidade de equilíbrio.

A coloração foi afetada significativamente, em que o parâmetro L^* foi o mais representativo para caracterizar o comportamento frente à termorretificação. A coloração da madeira de pinus passou de pálida/branca para marrom-escuro, o que denota/confirma que a termorretificação pode ser uma alternativa de modificação da madeira viável para fins estéticos e não estruturais.

Para fins decorativos, o uso da temperatura de 170°C evidencia os desenhos e nuances da madeira de *Pinus elliotti*, já 210°C fornece maior homogeneidade de coloração nas peças tratadas termicamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKYILDIZ, M. H.; ATES, S. Effect of heat treatment on equilibrium moisture content (EMC) of some wood species in turkey. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, v. 4, n. 6, p.660-665, 2008.

ALMEIDA, G.; BRITO, J. O.; PERRÉ, P. Changes in wood-water relationship due to heat treatment assessed on micro-samples of three *Eucalyptus* species. *Holzforschung*, Berlin, v. 63, n. 1, p.80, 2009.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p.721-728, 2013.

ARAÚJO, S. O.; VITAL, B. R.; MENDOZA, Z. M. S. H.; VIEIRA, T. A.; CARNEIRO, A. C. O. Propriedades de madeiras termorretificadas de *Eucalyptus grandis* e SP. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 40, n. 95, p.327-336, 2012.

ASTM - American Society for Testing and Materials. **D143-94- Standards methods of testing small clear specimens of timber**. West Conshohocken, 2000.

AYDEMIR, D.; GUNDUZ, G.; ALTUNTAS, E.; ERTAS, M.; SAHIN, H. T.; ALMA, M. H. Investigating changes in the chemical constituents and dimensional stability of heat-treated hornbeam and uludag fir wood. *BioResource*, Raleigh, v. 6, n. 2, p.1308-1321, 2011.

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

BORREGA, M.; KÄRENLAMPI, P. Mechanical behavior of heat-treated spruce (*Picea abies*) wood at constant moisture content and ambient humidity. *European Journal of Wood and Wood Products*, Berlin, v. 66, n. 1, p.63-69, 2008.

CADEMARTORI, P. H. G.; MATTOS, B. D.; MISSIO, A. L.; GATTO, D. A. Colour responses of two fast-growing hardwoods to two-step steam-heat treatments. *Materials Research*, São Carlos, v. 17, n.2, p. 487-493, 2014.

CADEMARTORI, P. H. G.; MISSIO, A. L.; MATTOS, B. D.; SCHNEID, E.; GATTO, D. A. Physical and mechanical properties and colour changes of fast-growing gypie messmate wood subjected to two-step steam-heat treatments. *Wood Material Science & Engineering*, v. 9, n. 1, p.40-48, 2013a.

CADEMARTORI, P. H. G.; SCHNEID, E.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M.; BELTRAME, R. Thermal modification of *Eucalyptus grandis* wood: variation of colorimetric parameters. *Maderas, Ciencia y tecnología*, Concepcion, v. 15, n. 1, p.57-64, 2013b.

CALONEGO, F.; SEVERO, E.; BALLARIN, A. Physical and mechanical properties of thermally modified wood from *E. grandis*. *European Journal of Wood and Wood Products*, Berlin, v. 70, n. 4, p.453-460, 2012.

CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. *Brasil Florestal*, Brasília, n. 71, p. 30-41, 2001.

- CHEN, Y.; FAN, Y.; GAO, J.; STARK, N. M. The effect of heat treatment on the chemical and color change of black locust (*Robinia pseudocacia*) wood flour. **BioResources**, Raleigh, v. 7, n. 1, p. 1157-1170, 2012.
- DELUCIS, R. A.; GATTO, D. A.; CADEMARTORI, P. H. G.; MISSIO, A. L.; SCHNEID, E. Propriedades físicas da madeira termorretrificada de quatro folhosas. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 1, p.99-107, 2014.
- DESCH, H. E.; DINWOODIE, J. M. **Timber-its structure, properties and utilization**. Hampshire: Palgrave Macmillan, 1993.
- DUBEY, M., K; PANG, S.; WALKER, J. Changes in chemistry, color, dimensional stability and fungal resistance of *Pinus radiata* D. Don wood with oil heat-treatment. **Holzforschung**, Berlin, v. 66, n. 1, p.49, 2012.
- ESTEVEES, B. M.; PEREIRA, H. M. Wood modification by heat treatment: A Review. **Bioresources**, Raleigh, v. 4, n. 1, p.370-404, 2009.
- ESTEVEES, B.; GRAÇA, J.; PEREIRA, H. Extractive composition and summative chemical analysis of thermally treated *Eucalyptus* wood. **Holzforschung**, Berlin, v. 62, n. 3, p.344-351, 2008a.
- ESTEVEES, B.; VELEZ MARQUES, A.; DOMINGOS, I.; PEREIRA, H. Heat-induced colour changes of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood. **Wood Science and Technology**, New York, v. 42, n. 5, p.369-384, 2008b.
- ESTEVEES, B.; MARQUES, A.; DOMINGOS, I.; PEREIRA, H. Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood. **Wood Science and Technology**, New York, v. 41, n. 3, p.193-207, 2007.
- GIERLINGER, N.; JACQUES, D.; GRABNER, M.; WIMMER, R.; SCHWANNINGER, M.; ROZENBERG, P.; PÂQUES, L. Colour of larch heartwood and relationships to extractives and brown-rot decay resistance. **Trees**, Danvers, v. 18, n. 1, p.102-108, 2004.
- HAKKOU, M.; PÉTRISSANS, M.; ZOULALIAN, A.; GÉRARDIN, P. Investigation of wood wettability changes during heat treatment on the basis of chemical analysis. **Polymer Degradation and Stability**, v. 89, n. 1, p.1-5, 2005.
- HARJU, A.; VENÄLÄINEN, M.; ANTTONEN, S.; VIITANEN, H.; KAINULAINEN, P.; SARANPÄÄ, P.; VAPAAVUORI, E. Chemical factors affecting the brown-rot decay resistance of Scots pine heartwood. **Trees**, Danvers, v. 17, n. 3, p.263-268, 2003.
- HILL, C. A. S. **Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes**. Chichester: John Wiley & Sons, 2006. 260 p.
- HILLIS, W. E.; ROZSA, A. N. High temperature and chemical effects on wood stability. **Wood Science and Technology**, New York, v. 19, n. 1, p.57-66, 1985.
- HOMAN, W.; TJEERDSMA, B.; BECKERS, E.; JORISSEN, A. Structural and other properties of modified wood. In: World Conference on Timber Engineering, 2000, British Columbia. **Proceedings...** British Columbia: WSU, 2000. p.8.
- JÄMSÄ, S.; VIITANIEMI, P. Heat treatment of wood - Better durability without chemicals In: special seminar. 2001, Antibes. **Proceedings...** Antibes: Cost Action, 2001. p.21 - 26.
- MOHEBBY, B.; SANAEL, I. Influences of the hydro-thermal treatment on physical properties of beech Wood (*Fagus orientalis*). In: ANNUAL MEETING OF THE INTERNATIONAL RESEARCH GROUP ON WOOD PROTECTION. 36., 2005, Bangalore. **Proceedings...** Bangalore: IRG/WP, 2005.
- MOURA, L. F.; BRITO, J. O.; JÚNIOR, G. B. Efeitos da termorretrificação na perda de massa e propriedades mecânicas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* VAR. *hondurensis*. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 2, p.305-314, 2012.
- PATERA, A.; DEROME, D.; GRIFFA, M.; CARMELIET, J. Hysteresis in swelling and in sorption of wood tissue. **Journal of Structural Biology**, v. 182, n. 3, p.226-234, 2013.
- PINCELLI, A. L. P. S. M.; MOURA, L. F.; BRITO, J. O. Effect of thermal rectification on colors of *Eucalyptus saligna* and *Pinus caribaea* woods. **Maderas. Ciencia y tecnología**, Concepcion, v. 14, n. 2, p.239 - 249, 2012.
- PRIADI, T.; HIZIROGLU, S. Characterization of heat treated wood species. **Materials & Design**, Amsterdã, v. 49, n. 7, p. 575-582, 2013.

- RAPP, A. O.; SAILER, M. **Heat treatment of wood in Germany - state of the art**: Hamburg: Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, 2001. 15 p. Disponível em: < <http://woodwestwood.com/Worldwide/Germany.pdf> >. Acesso em 10 jun. 2014.
- ROWELL, R., M; IBACH, R., E; MCSWEENEY, J.; NILSSON, T. Understanding decay resistance, dimensional stability and strength changes in heat-treated and acetylated wood. **Wood Material Science & Engineering**, Berlin, v. 4, n. 1-2, p.14-22, 2009.
- SEVERO, E. T. D.; CALONEGO, F. W.; SANSÍGOLO, C. A. Physical and chemical changes in juvenile and mature woods of *Pinus elliottii* var. *elliottii* by thermal modification. **European Journal of Wood and Wood Products**, Berlin, v. 70, n. 5, p.741-747, 2012.
- SRINIVAS, K.; PANDEY, K. K. Effect of Heat Treatment on Color Changes, Dimensional Stability, and Mechanical Properties of Wood. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, Philadelphia, v. 32, n. 4, p. 304-316, 2012.
- SURINI, T.; CHARRIER, E; MALVESTIO, J.; CHARRIER, B.; MOUBARIK, A.; CASTÉRA, P.; GRELIER, S. Physical properties and termite durability of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) heat-treated under vacuum pressure. **Wood Science and Technology**, New York, v. 46, n. 1, p.487-501, 2012.
- TUONG, V. M.; LI, J. Effect of heat treatment on the change in color and dimensional stability of acacia hybrid wood. **BioResources**, Raleigh, v. 5, n. 2, p.1257-1267, 2010.
- WELZBACHER, C., R; BRISCHKE, C.; OTTO, R., A. Influence of treatment temperature and duration on selected biological, mechanical, physical and optical properties of thermally modified timber. **Wood Material Science & Engineering**, Vantaa v. 2, n. 2, p.66-76, 2007.

Recebido em 09/04/2014

Aceito para publicação em 08/07/2014

