

Estudo da Higroscopичidade de madeira de *Pinus oocarpa* Termorretificada

Marina Przybysz e Gilmara de Oliveira Machado, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Centro-oeste – UNICENTRO, Iraty, PR. e-mail: marinaprz@hotmail.com e gilmaramachado@yahoo.com

André Luis Christóforo, Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Civil, São Carlos, SP. e-mail: alchristoforo@yahoo.com.br

Marcio Rogério da Silva, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – FZEA, Pirassununga, SP. e-mail: marciomr@sc.usp.br

Carlito Calil Junior, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP. e-mail: calil@sc.usp.br

Resumo: Esta pesquisa teve por principal objetivo avaliar o efeito da termorretificação na madeira de *Pinus oocarpa*; nas temperaturas de 200, 220 e 240 °C e nos tempos de 30, 60 e 90 minutos. As amostras foram caracterizadas por meio de propriedades físicas visando verificar variações na higroscopичidade da madeira tratada termicamente. A higroscopичidade foi avaliada por meio da taxa de absorção de água, efetividade de repelência, coeficiente de inchamento volumétrico e eficiência anti-inchamento. Observou-se uma tendência de diminuição na higroscopичidade da madeira termorretificada para as amostras que apresentaram menores valores de absorção de água (66,41%, no tempo de 30 minutos e temperatura de 240 °C) e também maiores valores de efetividade de repelência (17,28%, no tempo de 60 minutos e temperatura de 220 °C), coeficiente de inchamento (9,57%, no tempo de 60 minutos e temperatura de 200 °C) e eficiência anti-inchamento (184,90%, no tempo de 90 minutos e temperatura de 200 °C). O tratamento que apresentou menor higroscopичidade foi proveniente do tempo de 30 minutos e 240 °C.

Palavras-chave: madeira de reflorestamento, teor de umidade, resistência biológica.

Higroscopic properties of *Pinus oocarpa* wood to thermal treatment

Abstract: This research had the main objective to evaluate the termorretification treatment on *Pinus oocarpa* at temperatures of 200, 220 and 240 °C and times of 30, 60 and 90 minutes. The samples were characterized by means of physical tests in order to verify changes in hygroscopicity of heat- treated wood. The hygroscopicity was evaluated by water absorption rate, repellency effective, swelling volumetric coefficient and anti- swell efficiency. There was a tendency to decrease the hygroscopicity of termorrefied wood for samples with lower values of water absorption (66.41%, during 30 minutes and temperature at 240 °C) and also had higher repellency effectiveness (17, 28% in 60 minutes and temperature at 220 °C), swelling coefficient (9.57% in 60 minutes and at 200 °C) and anti-swell efficiency (184.90% at 90 minutes time, and temperature of 200 °C). The treatment that had lower hygroscopicity was from 30 minutes at 240°C.

Keywords: reforested wood, moisture content, biological resistance.

1. Introdução

Problemas decorrentes da biodeterioração da madeira podem assumir proporções muito graves, sendo que a adoção de medidas preventivas torna-se obrigatória quando existe a intenção de utilizar este material em uma edificação, com vistas a aumentar a resistência aos organismos xilófagos e sua vida útil (LEPAGE, 1986(1); CAVALCANTE, 1982(2); CASSENS, 1995(3)).

Tradicionalmente, os principais tratamentos utilizados para proteger a madeira se limitam a um recobrimento da superfície; sendo que os produtos utilizados (tintas, vernizes e lacas) apresentam o inconveniente de serem destruídos em condições externas (intemperismo), em alguns anos, devido à ação de raios ultravioletas, chuvas e ciclos de secagem e umedecimento. Isso implica na necessidade de renovar o tratamento periodicamente.

Uma alternativa mais aceitável, do ponto de vista ecológico, é a utilização do tratamento térmico da madeira, também conhecido como Termorretificação. A termorretificação é definida como o produto de uma pirólise controlada, interrompida antes de atingir o patamar das reações exotérmicas, à temperatura de aproximadamente 280 °C, quando se inicia a combustão espontânea da madeira (BORGES; QUIRINO, 2004(4)).

A termorretificação da madeira reduz o teor de umidade de equilíbrio, tornando-a menos higroscópica, por meio da degradação de seu constituinte mais hidrofílico, as hemiceluloses. Os fungos, que necessitam de um teor de umidade da madeira acima do ponto de saturação das fibras (acima de 25% de umidade), têm sua ação inibida pelo tratamento térmico. Desta forma, a madeira termorretificada pode ser usada como material de construção, pois a menor higroscopicidade proporciona maior resistência a fungos xilófagos.

O ataque de fungos ocorre quando a madeira apresenta umidade na faixa de 20 a 60%. As condições ótimas para o desenvolvimento de fungos ocorrem quando a umidade atinge o ponto de saturação das fibras. Neste ponto as paredes celulares se encontram completamente saturadas de umidade e o lúmen celular isento de água livre, favorecendo assim a penetração das hifas e difusão das enzimas digestivas em meio aquoso. Acima de 60% de umidade ocorre uma diminuição na concentração de oxigênio o que inibe a propagação dos fungos xilófagos, que são aeróbicos. (MENDES, 1988(5)).

A termorretificação aumenta a durabilidade natural e melhora a aparência de madeiras de menor valor econômico, alterando suas propriedades físicas. A madeira termorretificada adquire colorações semelhantes àquelas de madeiras tropicais de maior valor econômico agregado, considerável resistência a fungos xilófagos e à ação climática, alta estabilidade dimensional e baixa higroscopicidade (MOURA, 2012(6)).

Segundo Poncsák *et al.* (2006)(7) e Wahl *et al.* (2004)(8), o tratamento térmico da madeira aumenta a sua vida útil frente ao ataque de fungos, em ambientes úmidos, devido às mudanças na capacidade de absorção de água da madeira tratada termicamente. Quando a madeira absorve umidade do ambiente, as moléculas de água são encorpadas nos polissacarídeos da madeira (celulose e hemiceluloses) por meio de ligações de hidrogênio; tal fenômeno causa o inchamento da madeira. Durante o tratamento térmico, o número de grupos – OH é reduzido, o que reduz sua capacidade de absorção de água.

Nesta pesquisa, madeira termorretificada de *Pinus oocarpa* em combinações de tempo de 30, 60 e 90 min e temperatura de 200, 220 e 240 °C foram estudadas por meio das propriedades físicas de higroscopicidade. Para a construção civil, o melhor desempenho se observa em madeiras que apresentam menor teor de umidade de equilíbrio, o que conduz a uma maior resistência aos xilófagos.

2. Materiais e métodos

As árvores foram escolhidas aleatoriamente em uma floresta plantada no estado de São Paulo. Após o corte das árvores selecionadas, seus fustes foram divididos em toras. As toras extraídas foram desdobradas em peças de seção transversal nominal de 6 x 12 cm², utilizando o método simplificado de amostragem aleatório estabelecido pela NBR-7190/97 (ABNT, 1997)(9). Da madeira serrada, foram obtidos os corpos-de-prova isentos de defeito para serem utilizados. Os corpos-de-prova foram confeccionados com as dimensões de 2 cm (direção tangencial) por 3 cm (direção radial) e 5 cm (direção paralela às fibras).

Os corpos-de-prova isentos de umidade por meio de secagem em estufa foram submetidos aos ensaios de termorretificação em estufa da marca Ética, modelo 400.4. O delineamento consistiu em nove tratamentos, com três variações de temperaturas, três variações de tempo e 4 repetições por ensaio. Os corpos-de-prova foram submetidos a: 200 °C durante 30, 60 e 90 minutos; 220 °C durante 30, 60 e 90 minutos e 240 °C durante 30, 60 e 90 minutos.

Todas as peças, termorretificadas e não termorretificadas, foram submetidas a 7 ciclos de imersão em água e posterior secagem, sendo que a imersão total das amostras em água ocorreu por 24 horas, seguida por secagem do material em estufa a 60 °C até massa constante. Assim, determinou-se ao final de cada condição, a massa das amostras em balança semi-analítica e, com base nestes dados, avaliou-se o comportamento das amostras termorretificadas, através da comparação entre o primeiro e o próximo ciclo de imersão por meio da eq. 2.1:

$$t = 100 \times \frac{(m_u - m_s)}{m_s} \quad (2.1)$$

Onde t é taxa de absorção de água das amostras (%); m_u é a massa das amostras após imersão em água por 24 h (g) e m_s é a massa das amostras secas em estufa de circulação de ar a 60 °C (g).

Com base nos valores de taxa de absorção de água das amostras termorretificadas e não tratadas termicamente (testemunhas), calculou-se a efetividade de repelência à água (ERA) atribuída ao tratamento de termorretificação por meio da eq. 2.2:

$$ERA = 100 \times \frac{(t_1 - t_2)}{t_1} \quad (2.2)$$

Onde t_1 é a taxa de absorção de água das amostras não termorretificadas e t_2 é a taxa de absorção de água das amostras termorretificadas.

Medidas de coeficiente de inchamento volumétrico ocorreu na seguinte ordem: comprimento (direção tangencial), largura (direção radial) e altura dos corpos-de-prova (direção paralela às fibras), da menor para a maior dimensão, em torno de 2, 3 e 5 cm cada, de modo que, ao final de cada etapa de mergulho das amostras em água, bem como, ao final da secagem em estufa a 60 °C, foram tomadas as medições sobre a mesma posição, com auxílio de paquímetro digital. O coeficiente de inchamento volumétrico (I) é dado pela eq. 2.3:

$$I = 100 \times \frac{(V_2 - V_1)}{V_1} \quad (2.3)$$

Onde V_2 é o volume da madeira tratada depois de imersa em água por 24 h (cm³) e V_1 é o volume da madeira após secagem a 60 °C (cm³).

Com base no cálculo anterior foi determinada a ocorrência de redução do inchamento das peças atribuído ao tratamento térmico (eficiência anti-inchamento) por meio da eq. 2.4:

$$EIA = 100 \times \frac{(I_2 - I_1)}{I_1} \quad (2.4)$$

Onde EIA é a eficiência anti-inchamento (%); I_1 é o coeficiente de inchamento volumétrico da madeira tratada (%) e I_2 é o coeficiente de inchamento volumétrico da madeira não tratada (%).

Para avaliação dos resultados, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para verificar se houve diferença estatisticamente significativa entre as médias, seguida pelo teste de Tukey, delineado com auxílio do software Minitab® versão 14.

Os fatores e níveis experimentais investigados foram: tempo - To (30; 60; 90 min), temperatura - Ta (200; 220; 240 °C) e número de ciclos - Nc (1; 2; 3; 4; 5; 6; 7), conduzindo a um planejamento fatorial completo do tipo 3²7¹, fornecendo 56 tratamentos distintos.

As variáveis respostas avaliadas neste trabalho foram: taxa de absorção (TxAbs), efetividade de repelência (EfRep), coeficiente de inchamento (CI) e eficiência anti-inchamento (EfAnti).

Com o intuito de encontrar uma solução ótima da combinação dos três fatores (To , Ta , Nc) por resposta (Y), foi utilizada a equação de regressão polinomial quadrática (Eq. 2.5). Nos modelos de regressão, a análise de variância permite identificar a significância do fator assim como dos efeitos de interação sobre a variável explicativa de interesse, possibilitando aceitar ou rejeitar coeficientes obtidos da equação de regressão completa.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot Ta + \beta_2 \cdot To + \beta_3 \cdot Nc + \beta_4 \cdot Ta \cdot To + \beta_5 \cdot Ta \cdot Nc + \beta_6 \cdot To \cdot Nc + \beta_7 \cdot Ta^2 + \beta_8 \cdot To^2 + \beta_9 \cdot Nc^2 + \varepsilon \quad (2.5)$$

Os p-valores obtidos do teste de normalidade de Anderson Darling e de equivalência entre variâncias de Bartlett para as respostas investigadas variaram no intervalo de [0,106; 0,743] e [0,183; 0,851] respectivamente, implicando na normalidade e homogeneidade entre variâncias em todos os casos, validando o modelo de ANOVA.

3. Resultados e discussões

Nos ensaios de higroscopidade das amostras provenientes do processo de termorretificação, a tab. 1 apresenta os resultados da análise de variância referente ao planejamento experimental, estando sublinhados os p-valores considerados significativos pela ANOVA (p-valor <0,05) e sendo ns não significativo.

Tabela 1 - Resultados da análise de variância para taxa de absorção (TxAbs), efetividade de repelência (EfRep), coeficiente de inchamento (CI) e eficiência anti-inchamento (EfAnti).

Fatores e Interações	P-valor			
	TxAbs	EfRep	CI	EfAnti
To	0,313 ^{ns}	0,315 ^{ns}	0,834 ^{ns}	0,586 ^{ns}
Ta	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>	<u>0,041</u>	0,371 ^{ns}
Nc	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>	<u>0,004</u>	0,842 ^{ns}
To*Ta	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>	<u>0,017</u>
To*Nc	0,832 ^{ns}	0,678 ^{ns}	0,970 ^{ns}	0,320 ^{ns}
Ta*Nc	0,899 ^{ns}	0,945 ^{ns}	0,836 ^{ns}	0,189 ^{ns}
To*Ta*Nc	0,931 ^{ns}	0,960 ^{ns}	0,915 ^{ns}	0,911 ^{ns}

Observa-se pela tab. 1, que houve uma variação nas propriedades higroscópicas da madeira com o processo de termorretificação. A madeira de *P.oocarpa* apresentou uma grande quantidade de rachaduras já no final do 7º ciclo de umidificação e secagem, o que impossibilitou a continuidade do experimento para ciclos maiores. Os resultados da ANOVA, para a taxa de absorção revelaram significância apenas para a temperatura, número de ciclos e interação entre tempo e temperatura (tab. 1).

A fig. 1 apresenta os gráficos de efeitos principais (figs. 1 a e 1 b) e de interação entre os fatores considerados significativos pela ANOVA (fig. 1c), e a tab. 2 os resultados do agrupamento pelo teste de Tukey.

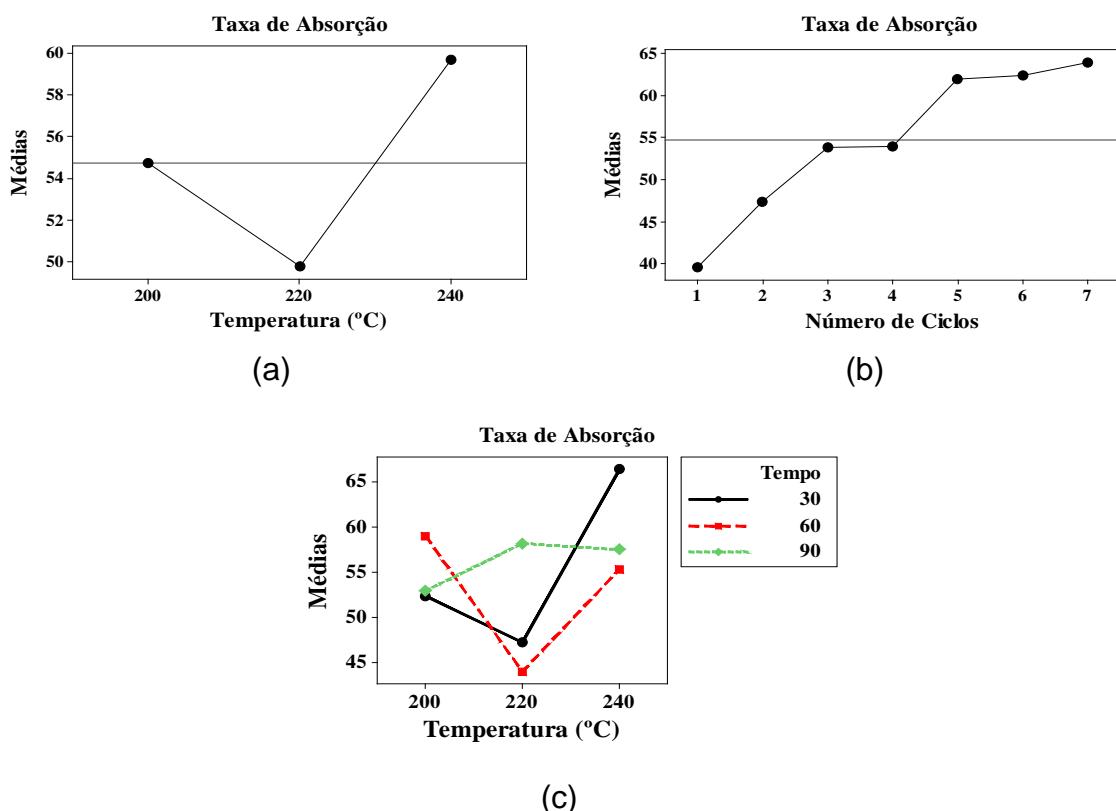


Figura 1 - Gráficos de efeitos principais [Temperatura (a), Número de ciclos (b)] e de interação entre os fatores (c) para a taxa de absorção.

Tabela 2 - Agrupamentos do teste de Tukey para taxa de absorção.

To (min)	30	60	90				
A	A	A					
Ta (°C)	200	220	240				
B	C	A					
Nc	1	2	3	4	5	6	7
D	C	B	B	A	A	A	

Da tab. 2, os níveis do fator tempo não foram significativos em nenhuma das propriedades investigadas. A temperatura de 220 °C conferiu o menor valor para a taxa de absorção, e com relação ao número de ciclos, os menores valores foram provenientes do primeiro, sendo os maiores equivalentemente advindos dos ciclos 5, 6 e 7. Desta forma, há uma tendência de aumento da taxa de absorção de água com o aumento da temperatura de termorretificação e do número de ciclos de secagem e umedecimento. Este resultado indica que há uma maior absorção de água pelas madeiras tratadas termicamente e provavelmente, seja decorrente de um aumento da porosidade ou das dimensões dos poros da madeira, o que conduziria a um maior espaço livre na estrutura do material, comportando assim um maior teor de água. Resultados similares foram obtidos por Modes (2010)(10).

Esta conclusão, porém, está incompleta, pois de acordo com a tab. 2, o tempo e a temperatura interagem. Da interação entre estes fatores (fig. 1), o maior valor da taxa de absorção (66,41%) foi proveniente da combinação entre o tempo de 30 minutos e temperatura de 240 °C, e o menor (53,95%) oriundo da combinação entre tempo de 60 minutos e temperatura de 220 °C. Desta forma, percebe-se um efeito mais claro dos benefícios do tratamento de termorretificação, sobre a redução da higroscopidade da madeira.

A fig. 2 apresenta os gráficos de efeitos principais (figs. 2a e 2b) e de interação entre os fatores considerados significativos pela ANOVA (fig. 2c) para o coeficiente de inchamento, e a tab. 3 os resultados do agrupamento pelo teste de Tukey.

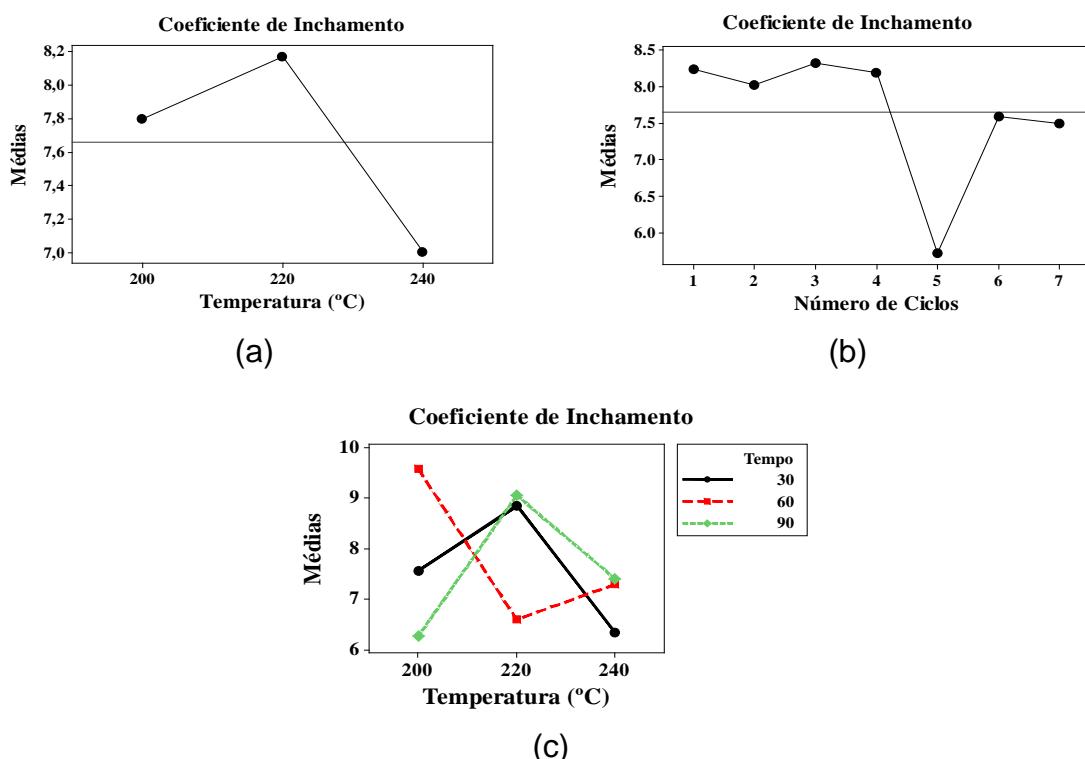


Figura 2 - Gráficos de efeitos principais [Temperatura (a), Número de ciclos (b)] e de interação entre fatores (c) para o coeficiente de inchamento volumétrico.

Tabela 3 - Agrupamentos do teste de Tukey para o coeficiente de inchamento volumétrico.

	T	30	60	90	
°(min)	A	A	A		
Ta (°C)	200	220	240		
Nc	1	2	3	4	5 6 7
	A	A	A	A	B C C

Observa-se que o aumento da taxa de absorção de água foi acompanhado por uma correspondente diminuição do inchamento volumétrico das peças. Dos efeitos de interação, a combinação entre tempo de 60 minutos e temperatura de 200 °C forneceram os maiores valores para o coeficiente de inchamento (9,57%), sendo os menores (6,33%) oriundos da combinação entre tempo de 30 minutos e temperatura de 240 °C. De acordo com Brito *et al.* (2006)(11), Esteves; Graça e Pereira (2008)(12) e Silva (2012)(13) a hemicelulose é o constituinte mais hidrófilo da madeira, sendo também o mais sensível termicamente e o primeiro componente da madeira a ser destruído, levando ao desaparecimento dos sítios de adsorção de água (principalmente os grupos hidroxilas), o que induz a redução no PSF, no inchamento, menor higroscopidade e melhor estabilidade dimensional da madeira.

Com relação às alterações promovidas pela termorretificação, em comparação com as amostras testemunha, os efeitos sobre a higroscopidade da madeira podem ser mais claramente compreendidos pelos resultados de efetividade de repelência à água e eficiência anti-inchamento.

Os valores de efetividade de repelência e eficiência anti-inchamento variam em torno de 0 a 100%. De acordo com Del Menezzi (2006)(14) e Modes (2010)(10), um valor de 0% destas variáveis significa que o tratamento térmico não teve qualquer efeito sobre a estabilização dimensional da madeira, um valor negativo representa um efeito deletério do tratamento (aumento da movimentação dimensional), enquanto um valor de 100% ou mais significa madeira estabilizada dimensionalmente e, portanto, uma alta eficiência do tratamento aplicado.

A fig. 3 apresenta os gráficos de efeitos principais (figs. 3a e 3b) e de interação entre os fatores (fig. 3c) para a efetividade de repelência, e a tab. 4 os resultados do agrupamento pelo teste de Tukey. Observa-se um antagonismo no comportamento entre Taxa de Absorção e Efetividade de Repelência (figs. 3a e 3b) com o tratamento de termorretificação.

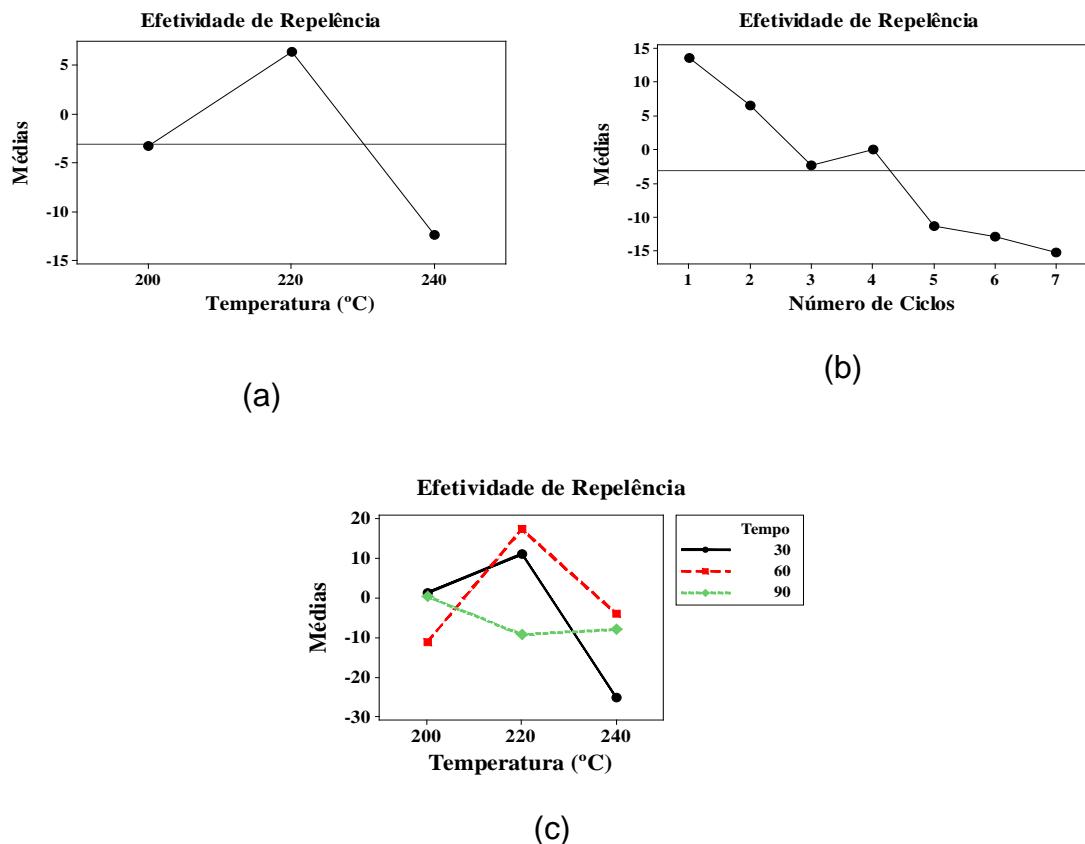


Figura 3 - Gráficos de efeitos principais [Temperatura (a), Número de ciclos (b)] e de interação entre fatores (c) para a efetividade de repelência.

De acordo com a fig 3a e fig. 3b e tab. 4, os melhores resultados de efetividade de repelência, refletidos pelos valores positivos apresentados pela variável, foram obtidos para até dois ciclos de umidificação e secagem, na temperatura de 220 °C. Valores negativos, em maiores números de ciclos e temperaturas de 200 °C e 240 °C, indicam um aumento da instabilidade dimensional e da absorção de água pela madeira tratada termicamente.

Tabela 4 - Agrupamentos do teste de Tukey para efetividade de repelência.

To (min)	30	60	90				
A	A	A					
Ta (°C)	200	220	240				
B	A	C					
Nc	1	2	3	4	5	6	7
A	B	C	C	D	D	D	

Dos efeitos de interação, os maiores valores da efetividade de repelência (17,28%) foram provenientes da combinação entre tempo de 60 minutos e temperatura de 220 °C, e os menores (-25,10%) da combinação 30 minutos e 240 °C.

Com relação à eficiência anti-inchamento, apenas a interação entre os fatores tempo e temperatura mostraram ser significativos. A fig. 4 apresenta o gráfico de interação entre os fatores para a eficiência anti-inchamento.

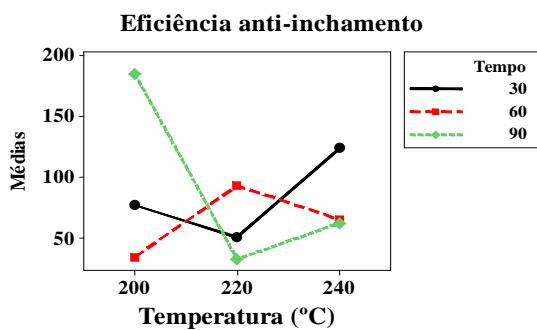


Figura 4 - Gráficos de interação entre fatores para a eficiência anti-inchamento.

Os valores positivos de eficiência anti-inchamento da madeira termorretificada deixa claro que o tratamento térmico agregou maior estabilização dimensional das peças de madeira. Os maiores valores (184,90%) foram provenientes da combinação entre tempo de 90 minutos e temperatura de 200 °C, e os menores (32,80%) da combinação entre tempo de 90 minutos e temperatura de 220 °C.

A tab. 5 apresenta os resultados dos modelos de regressão por mínimos quadrados e os respectivos valores dos coeficientes de determinação ajustados ($R^2(\text{Adj.})$).

Tabela 5 - Modelos de regressão por mínimos quadrados.

Regressões Quadráticas	$R^2(\text{Adj.})$
$TxABs = 917,28 - 8,0927 \cdot Ta + 0,0187 \cdot Ta^2 + 0,4497 \cdot Nc^2$	28,64%
$EfRep = -1656,69 + 13,35 \cdot Ta - 0,0354 \cdot Ta^2$	17,23%
$CI = 9,8718 + 4,98 \cdot 10^{-6} \cdot Ta \cdot To - 4,67 \cdot 10^{-5} \cdot Ta^2$	6,36%
$EfAnti = 79,1984 + 0,0001 \cdot Ta \cdot To$	0,46%

Por serem inferiores a 70% os valores obtidos do $R^2(\text{Adj.})$, os modelos quadráticos, utilizados como tentativa de se encontrar uma solução ótima por resposta, revelaram não serem explicativos (MONTGOMERY, 2005(15)), implicando na impossibilidade de obtenção das soluções ótimas.

4. Conclusões

A pesquisa realizada para avaliar o efeito da termorretificação na qualidade da madeira de *P.oocarpa*, por meio de medidas que indicam variações na higroscopidez da madeira, mostrou que esta técnica possui grande potencial para melhorar a resistência natural do material.

Nos ensaios de higroscopidez, observa-se uma tendência de aumento da taxa de absorção de água com o aumento da temperatura de termorretificação e do número de ciclos de umedecimento e secagem. Para o coeficiente de inchamento há redução no inchamento volumétrico das amostras, em que com os efeitos de interação, a combinação entre tempo de 60 minutos e temperatura de 200 °C forneceram os maiores valores (9,57%), sendo os menores (6,33%) oriundos da combinação entre tempo de 30 minutos e temperatura de 240 °C. A efetividade de repelência apresentou valores positivos para até dois ciclos de umidificação e secagem, na temperatura de 220 °C. Na eficiência anti-inchamento, os maiores valores (184,90%) foram provenientes da combinação entre tempo

de 90 minutos e temperatura de 200 °C, e os menores (32,80%) da combinação entre tempo de 90 minutos e temperatura de 220 °C.

Baseando-se nos valores indicativos de uma menor higroscopicidade da madeira, as amostras tratadas no tempo de 30 minutos e temperatura de 240 °C são as que apresentaram melhor potencial de tratamento.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO) e ao LaMEM (Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira), da Universidade de São Paulo (USP).

6. Referências

- (1) LEPAGE, E. S. (1986). *Manual de preservação de madeiras*. São Paulo, IPT, v.2.
- (2) CAVALCANTE, M.S. (1982). *Deterioração biológica e preservação de madeiras*. São Paulo, IPT, 40p.
- (3) CASSENS, D.L. (1995). *Selection and use of preservative: treated wood*. Madison, Forest Products Society, 104p.
- (4) BORGES, L.M.; QUIRINO, W.F. (2004). *Higroscopicidade da madeira de Pinus caribaea var.hondurensis tratado térmicamente*. Revista Biomassa & Energia, v.1, n.2, p.173-182.
- (5) MENDES, A. S. (1988). *A degradação da madeira e sua preservação*. Brasília, IBDF/DPq-LPF.
- (6) MOURA, L.F.; BRITO, J.O.; BORTOLETTO JÚNIOR, G. (2012). *Efeitos da termorretificação na perda de massa e propriedades mecânicas de Eucalyptus grandis e Pinus caribaea var. hondurensis*. Floresta, Curitiba, PR, v. 42, n. 2, p.305-314.
- (7) PONCSÁK, S.; KOCAEFE, D.; BOUAZARA, M.; PICHETTE, A.. (2006). *Effect of high temperature treatment on the mechanical properties of birch (Betula papyrifera)*. Wood Science Technology, v.40, p.647–663.
- (8) WAHL, P.; SIMONAHO, T.; PAKARINEN, R.; SILVENNOINEN. (2004). *Effect of heat-treatment on scattering of laser light from wood grains*. Holz Roh-Werkstoff. v.62, n.5, p.343–345.
- (9) Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997). NBR 7190 - Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT.
- (10) MODES, K.S. (2010). *Efeito da retificação térmica nas propriedades físico-mecânicas e biológica das madeiras de Pinus taeda e Eucalyptus grandis*. 2010. 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade de Santa Maria, Santa Maria.
- (11) BRITO, J.O. et al.(2006). *Densidade básica e retratibilidade da madeira de Eucalyptus grandis, submetida a diferentes temperaturas de termorretificação*. Cerne, Lavras, v. 12, n. 2, p. 182-188.
- (12) ESTEVES, B.; GRAÇA, J.; PEREIRA, H. (2008). *Extractive composition and summative chemical analysis of thermally treated eucalypt wood*. Holzforschung, v.62, p. 344–351.
- (13) SILVA, M. R. (2012) *Efeito do tratamento térmico nas propriedades químicas, físicas e mecânicas em elementos estruturais de Eucalipto citriodora e Pinus taeda*. 222p. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo. São Carlos.
- (14) DEL MENEZZI, C.H.S. (2006). *Instabilidade dimensional da madeira e de seus subprodutos: causas, consequências e prevenção*. Brasília: Comunicações Técnicas Florestais, 37p.
- (15) MONTGOMERY, D. C. (2005). *Design and analysis of experiments*. 6.ed., John Wiley & Sons Inc., Arizona.