



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA E ZOOTECNIA - DFZ
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

VANIELE BENTO DOS SANTOS

**EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA SOBRE O COMPORTAMENTO FÍSICO
DA MADEIRA DE *Pinus caribaea* var. *hondurensis***

VITÓRIA DA CONQUISTA – BA
ABRIL – 2019



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA E ZOOTECNIA - DFZ
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

VANIELE BENTO DOS SANTOS

**EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA SOBRE O COMPORTAMENTO FÍSICO
DA MADEIRA DE *Pinus caribaea* var. *hondurensis***

Monografia apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, *campus* Vitória da Conquista – BA, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Gilmar Correia Silva

VITÓRIA DA CONQUISTA – BA
ABRIL – 2019



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA E ZOOTECNIA - DFZ
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: Efeito da modificação térmica sobre o comportamento físico da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Autor: Vaniele Bento dos Santos

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título em BACHAREL EM ENGENHARIA FLORESTAL pela Banca Examinadora.

Prof. Dr. Gilmar Correia Silva – UESB
(Orientador)

Prof. Dr. Joilson Silva Ferreira – UESB

Dr.^a Brunela Pollastrelli Rodrigues – PNPd/CAPES

Data de realização: 17 de abril de 2019.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por sempre estar presente em minha vida, pela perseverança, sabedoria e força durante toda a minha trajetória.

À minha família, especialmente aos meus pais, Venceslau e Marlene, sou e serei eternamente grata por todo auxílio, amor, compreensão e cuidados, estando sempre presentes mesmo quando distantes.

Aos meus irmãos, Romerito e Romério, por todo apoio e incentivo.

Aos meus amigos Ângela, Thaís, Carmela, Laerte, Juliana, Carol, Darlan, Kauanne, Ludmila, Tath e Iago, pela companhia e apoio de todos os dias durante esses anos, estando presente em todos os momentos.

A Fabiano por toda ajuda e trocas de conhecimentos para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Gilmar Correia Silva, agradeço imensamente, pela orientação, paciência, confiança e ensinamentos ao longo destes anos.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (Uesb), bem como, corpo docente e administração, por conceder a oportunidade de me formar em Engenharia Florestal e pelos momentos únicos dos quais nunca esquecerei e destes sentirei saudades.

À todos, minha eterna gratidão.

O presente trabalho segue a formatação do periódico CIÊNCIA DA MADEIRA (ISSN 2177-6830), em anexo.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	7
INTRODUÇÃO	8
MATERIAL E MÉTODOS	9
Obtenção do Material e Confecção dos Corpos de prova.....	9
Modificação Térmica.....	11
Determinação das Propriedades Físicas da Madeira.....	12
Análise Estatística.....	14
RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
CONCLUSÕES	21
REFERÊNCIAS	21

1 **EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA SOBRE O COMPORTAMENTO FÍSICO**
2 **DA MADEIRA DE *Pinus caribaea* var. *hondurensis***

3
4 **RESUMO**

5
6 A madeira do gênero *Pinus* apresenta características importantes para a indústria e desta
7 forma, é observado cada vez mais à busca por técnicas visando potencializar seu uso por meio
8 de suas propriedades. Considerando tais características, o presente trabalho teve como
9 objetivo avaliar o comportamento tecnológico do lenho de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* a
10 partir das suas propriedades físicas submetido aa modificação térmica com duas temperaturas
11 (160°C e 200°C). Para tanto, foram coletadas do campo experimental da Universidade
12 Estadual do Sudoeste da Bahia, em Vitória da Conquista - BA, três árvores desta espécie e a
13 partir delas foram confeccionados corpos de provas para serem avaliados a densidade
14 aparente, teor de umidade, perda de massa, taxa de absorção de água e variações
15 dimensionais. Posteriormente, foi realizada a análise dos dados, onde concluiu-se que a
16 modificação térmica promoveu alterações sobre as propriedades físicas da madeira, tornando-
17 a menos higroscópica e com uma maior estabilidade dimensional, sendo estes valores mais
18 evidentes na exposição a maior temperatura.

19
20 Palavras-chave: *Pinus*; propriedades físicas; modificação térmica; estabilidade dimensional.

21
22 **EFFECT OF THERMAL MODIFICATION ON THE PHYSICAL BEHAVIOR OF**
23 **WOOD *Pinus caribaea* var. *hondurensis***

24
25 **ABSTRACT**

26
27 The wood of the genus *Pinus* presents important characteristics for the industry and in this
28 way, it is observed more and more to the search for techniques aiming to potentiate its use
29 through its properties. Considering these characteristics, the present work had the objective to
30 evaluate the technological behavior of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* from its physical
31 properties submitted to the heat modification with two temperatures (160°C and 200°C). For
32 this purpose, three trees were collected from the experimental field of the Universidade
33 Estadual do Sudoeste da Bahia, in Vitória da Conquista - BA, and from these specimens were
34 made samples to evaluate the apparent density, moisture content, mass loss, rate of water
35 absorption and dimensional variations. Afterwards, the data analysis was performed, where it
36 was concluded that the heat modification promoted changes on the physical properties of the
37 wood, making it less hygroscopic and with greater dimensional stability, being these values
38 more evident in the exposure to higher temperature.

39
40 Keywords: *Pinus*; physical properties; heat treatment; dimensional stability.

INTRODUÇÃO

41
42 Os estudos sobre a modificação térmica da madeira teve início de forma científica por
43 Stamm e Hansen na Alemanha, sendo que, um dos trabalhos de pesquisa mais completo foi
44 conduzido pelo VTT - *Technical Research Centre* na Finlândia, onde a madeira foi aquecida a
45 temperaturas próximas de 200°C enquanto era protegida com vapor de água (ESTEVES et al.,
46 2008). No Brasil, os estudos envolvendo este processo teve início nos anos 80, utilizando,
47 principalmente, estufas elétricas, muflas e autoclaves. Atualmente, de acordo Rilling (2010),
48 existe um processo industrial de modificação térmica brasileiro, chamado VAP
49 HolzSysteme®, que consiste na aplicação de calor a elevadas temperaturas utilizando vapor
50 saturado, aliado a um sistema eficiente de eliminação de oxigênio, em que a madeira tratada
51 recebe o nome de *Thermally Modified Timber* (TMT).

52 A modificação térmica consiste em um processo no qual a madeira é exposta a altas
53 temperaturas, que resulta em alterações químicas em sua composição, conferindo assim
54 melhorias em sua estabilidade dimensional, higroscópica e durabilidade natural.
55 Normalmente é realizado com temperaturas de 150 à 240°C e durações variando entre 15
56 minutos e 24 horas, a depender das características do material, do processo utilizado e do
57 aspecto desejado ao produto final (KAMDEM et al., 2002).

58 As principais características da madeira tratada são: menor teor de umidade de
59 equilíbrio, maior durabilidade natural, maior estabilidade dimensional e alteração da cor
60 original (MILITZ, 2002). Além disso, a modificação térmica é um processo que não requer a
61 utilização de produtos químicos para a preservação da madeira, representando assim, uma
62 vantagem sob o ponto de vista ambiental.

63 A melhoria na estabilidade dimensional da madeira pode ser explicada pela alta
64 degradação das hemiceluloses, que é o seu o composto químico mais hidrofílico, e,
65 conseqüentemente, a redução dos sítios de sorção da madeira, principalmente as hidroxilas

66 (BRITO et al., 2006). Com a degradação das hemiceluloses, que servem como nutrientes para
67 bactérias e fungos, há uma maior durabilidade natural da madeira, tornando-a assim resistente
68 à degradação por organismos xilófagos (KANDEM et al., 2002).

69 De acordo Jämsa e Viitaniemi (2001), madeiras do gênero *Pinus* quando submetidas à
70 modificação térmica, apresentam reduções de 50% nos teores de umidade de equilíbrio
71 higroscópico, devido à diminuição dos sítios de adsorção da parede celular e,
72 conseqüentemente, uma melhoria na estabilidade dimensional. Por este gênero apresentar uma
73 madeira com baixa resistência natural, sendo designada na literatura internacional como
74 “*softwood*”, ou seja, madeira macia ou de baixa resistência mecânica; e por sua madeira ser
75 amplamente utilizada na construção civil, serraria, chapas compensadas, OSB (*Oriented*
76 *Strand Board*), MDF (*Medium Density Fiberboard*) e painel colado, o *Pinus* tem sido um dos
77 mais estudados no processo de modificação térmica.

78 Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência da
79 modificação térmica sobre o comportamento tecnológico da madeira de *Pinus caribaea* var.
80 *hondurensis* a partir das suas propriedades físicas, onde foram avaliados a densidade aparente,
81 teor de umidade, perda de massa, taxa de absorção de água e variações dimensionais.

82

83 MATERIAL E MÉTODOS

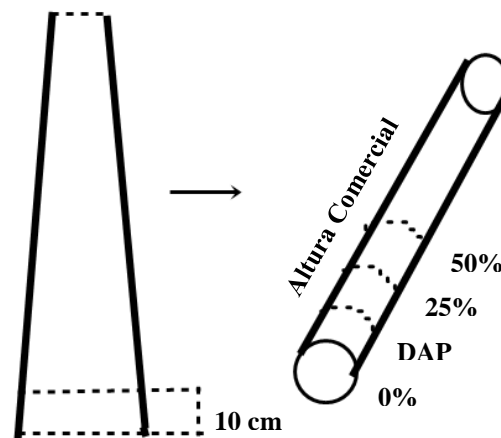
84 Obtenção do material e Confecção dos corpos de prova

85 Foram utilizadas três árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idades
86 aproximadamente de 14 anos, cultivadas no campo experimental da Universidade Estadual do
87 Sudoeste da Bahia (Uesb) em Vitória da Conquista - BA, com espaçamento de 3 x 3 m, nas
88 coordenadas geográficas de 14°53'12" S e 40°48'7" W.

89 A região de Vitória da Conquista apresenta uma altitude relativa de aproximadamente
90 900 m, caracteriza-se por apresentar um clima tropical de altitude (Cwb), segundo a

91 classificação de Köppen; e sua temperatura média anual é de 21°C, sendo a máxima média de
92 25°C e a mínima média de 16°C, com precipitação pluviométrica irregular, variando entre 700
93 e 1100 mm anuais (NOVAES et al., 2007).

94 As árvores selecionadas possuíam alturas e DAP (Diâmetro à Altura do Peito)
95 semelhantes, com altura média de 12,6 m e DAP médio de 17,80 cm. Estas foram abatidas,
96 seccionadas e retirados discos de dez centímetros de espessura a 0% (com 10 cm de altura do
97 solo), 25% e 50% da altura comercial e DAP (Figura 1). Foram utilizados discos até 50% da
98 altura comercial por se tratar de árvores relativamente jovens, e, por serem as alturas mais
99 utilizadas para serraria e construção civil.



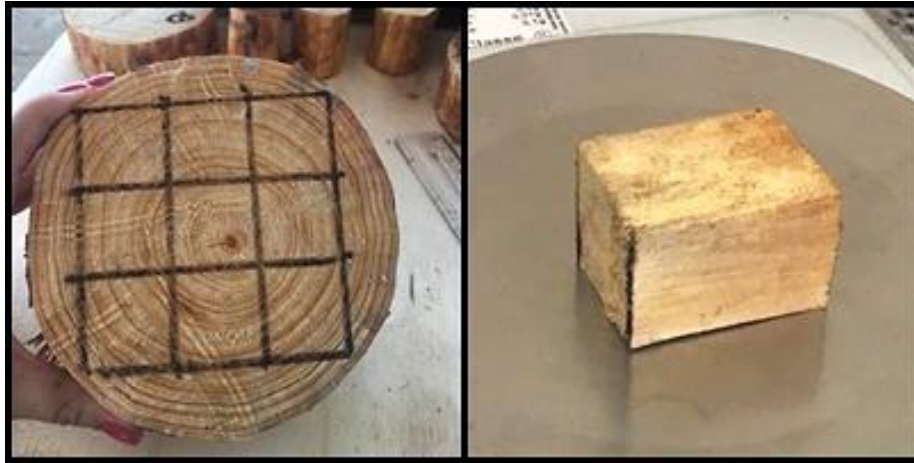
100

101 **Figura 1.** Distribuição dos discos na árvore

102 **Figure 1.** Disk distribution on the tree.

103

104 Os discos foram encaminhados para a marcenaria da Uesb, onde foram
105 confeccionados de acordo a recomendação e adaptação da norma NBR 7190 (ABNT, 1997),
106 em 135 corpos de prova com dimensões de 30 x 30 x 50 mm (espessura x largura x
107 comprimento), (Figura 2). Posteriormente, foram divididos em 45 amostras para cada
108 tratamento (testemunha, temperatura de 160°C e 200°C), previamente secos e determinados os
109 teores de umidade.



110

111 **Figura 2.** Confeção dos corpos de provas

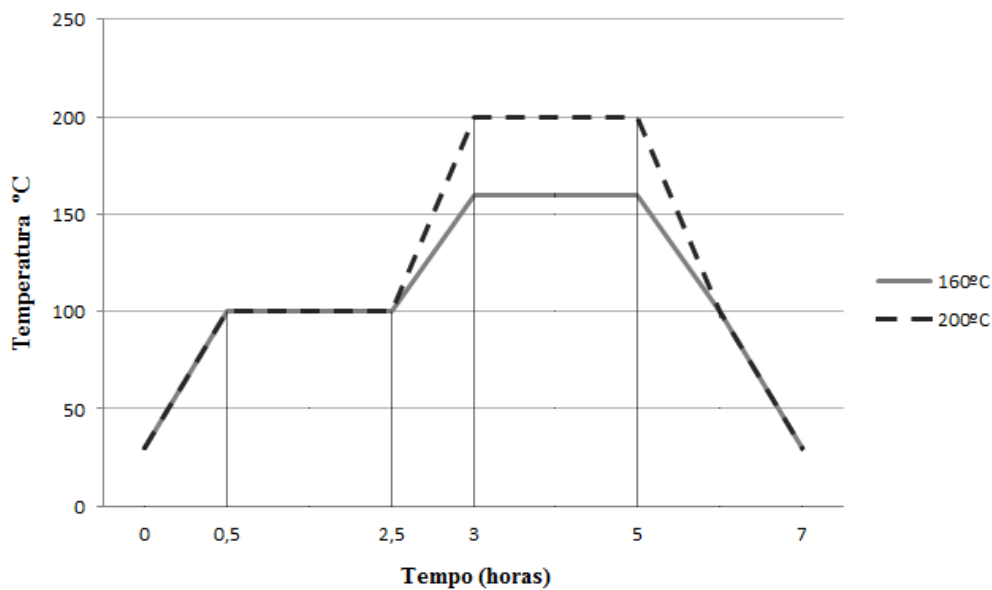
112 **Figure 2.** Confection of samples.

113

114 **Modificação térmica**

115 Os corpos de prova foram tratados sob duas diferentes condições de temperatura
116 (160°C e 200°C) em uma estufa com circulação e renovação de ar (SL- modelo 102),
117 disponível no Laboratório de Biotecnologia Florestal da Universidade Estadual do Sudoeste
118 da Bahia, em Vitória da Conquista - BA. Foram utilizadas 45 amostras para cada tratamento
119 (testemunha, temperatura de 160°C e 200°C), com teor de umidade aproximadamente de
120 $12\pm 2\%$.

121 A modificação térmica consistiu em cinco etapas: i) as amostras foram colocadas na estufa
122 à temperatura de 30°C, com o aumento até 100°C, num período de 30 minutos; ii)
123 permaneceram à 100°C durante 2 horas, com o intuito de reduzir o seu teor de umidade; iii)
124 aumento da temperatura de 100°C até a temperatura de tratamento (160 ou 200°C), durante 30
125 minutos; iv) tempo de tratamento na temperatura desejada durante 2 horas e v) resfriamento
126 do material durante, aproximadamente, 2 horas. O ciclo total da modificação térmica consistiu
127 em aproximadamente 7 horas (Figura 3), onde as condições de temperatura e tempo dos
128 tratamentos foram estipuladas com base na literatura (MODES, 2013; POUBEL et al., 2013;
129 NUNES et al., 2016; SANTOS et al., 2016).



130

131 **Figura 3.** Programa de temperatura vs. tempo do processo de modificação térmica

132 **Figure 3.** Temperature program vs. time of the thermal modification.

133

134 **Determinação das Propriedades Físicas da Madeira**

135 A densidade aparente (Da) das amostras, a aproximadamente $12\pm 2\%$ de umidade, foi
 136 determinada de acordo com a recomendação e adaptação da norma NBR 7190 (ABNT, 1997),
 137 onde a massa (M) foi obtida diretamente de uma balança de precisão e o volume (V) por meio
 138 das dimensões da amostra com o auxílio de um paquímetro digital. Desta forma, a densidade
 139 foi calculada de acordo com a equação:

140 (Equação 1)
$$Da = \frac{M}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

141 O teor de umidade (TU) foi determinado de acordo com a norma estabelecida pela
 142 NBR 14929 (ABNT, 2003), por meio da diferença de massa das amostras, antes (Mu) e
 143 depois (Ms) de passarem pelo processo de secagem em estufa a $103\pm 2^\circ\text{C}$ até peso constante,
 144 conforme a seguinte equação:

145 (Equação 2)
$$TU = \frac{Mu - Ms}{Ms} * 100 \text{ (\%)}$$

146 A perda de massa da amostra (PM) foi determinada pela relação entre a diferença do
147 peso da amostra antes ($M1$) e após ($M2$) a modificação térmica, expresso em porcentagem,
148 calculada pela seguinte equação:

149 (Equação 3)
$$PM = \frac{M1-M2}{M2} * 100 (\%)$$

150 A taxa de absorção de água foi realizada com 12 repetições para cada tratamento
151 (testemunha, temperatura a 160°C e 200°C), sendo determinada pela relação entre o peso da
152 amostra imersa em água por 24 horas (Mu) e após secagem em estufa a 103±2°C até peso
153 constante (Ms), calculada pela seguinte equação:

154 (Equação 4)
$$Th_{2o} = \frac{Mu-Ms}{Ms} * 100 (\%)$$

155 As variações dimensionais da madeira, a partir das contrações e inchamentos, foram
156 realizadas com 12 repetições para cada tratamento (testemunha, temperatura a 160°C e
157 200°C), de acordo com a norma NBR 15261 (ABNT, 2005), onde as amostras foram imersas
158 em água até saturação completa e as dimensões foram mensuradas com um paquímetro digital
159 nos três sentidos estruturais (longitudinal, tangencial e radial). As amostras então foram
160 conduzidas a estufa a 103±2°C durante 24 horas e as dimensões novamente mensuradas.
161 Posteriormente, foram determinadas as seguintes variações dimensionais: contração
162 volumétrica, contrações lineares (tangencial, radial e longitudinal), inchamento volumétrico,
163 inchamentos lineares (tangencial, radial e longitudinal) e coeficiente de anisotropia, as quais
164 foram calculadas por meio das seguintes equações:

165 (Equação 5)
$$\beta v = \frac{Vu-V0}{Vu} * 100 (\%)$$

166 (Equação 6)
$$\beta t, r, l = \frac{Lu-L0}{Lu} * 100 (\%)$$

167 (Equação 7)
$$\alpha v = \frac{Vu-V0}{V0} * 100 (\%)$$

168 (Equação 8)
$$\alpha t, r, l = \frac{Lu-L0}{L0} * 100 (\%)$$

169 (Equação 9)
$$AC = \frac{\beta t}{\beta r}$$

170 Onde: β_v = Coeficiente de contração volumétrica (%); $\beta(t,r,l)$ = Coeficiente de
 171 contração linear (%); α_v = Coeficiente de inchamento volumétrico (%); $\alpha(t,r,l)$ = Coeficiente
 172 de inchamento linear (%); AC = Anisotropia de Contração; L_u = dimensão no estado verde
 173 (mm); L_o = dimensão após secagem em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ (mm); V_u = volume do corpo de
 174 prova no estado verde (mm); V_o = volume do corpo de prova seco em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$.

175 Foi verificada também, visualmente, a diferença da cor original da madeira
 176 (testemunha) em relação às amostras que passaram pelo processo de modificação térmica.

177

178 **Análise Estatística**

179 Os resultados foram analisados em função dos tratamentos (testemunha, temperatura a
 180 160°C e 200°C) e das propriedades físicas da madeira, utilizando-se o programa Excel®, onde
 181 foram avaliados por meio da análise de variância e teste de Tukey ao nível de 5% de
 182 probabilidade.

183

184 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

185 **Tabela 1.** Valores médios do teor de umidade, densidade aparente, perda de massa e taxa de
 186 absorção de água em função do tratamento realizado

187 **Table 1.** Mean values of moisture content, apparent density, mass loss and water absorption
 188 rate according to the treatment performed

189

Tratamento	T.U. (%)	D_{ap} (g/cm³)	P. M. (%)	T_{H2O} (%)
Testemunha	12,69 a	0,4563 a	-	82,73 a
160°C	11,10 b	0,4127 b	8,91 a	76,17 b
200°C	8,81 c	0,4001 c	11,51 b	74,30 b

190 Médias seguidas por uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si (teste de
 191 Tukey, $p > 0,05$); T.U. = Teor de Umidade (%); D_{ap} = Densidade aparente (g/cm³); P.M. = Perda de Massa;
 192 T_{H2O} (%) = Taxa de Absorção de Água.

193 A modificação térmica foi eficiente na redução do teor de umidade final das amostras.
194 Os resultados foram estatisticamente menores aos obtidos para as testemunhas, sendo os
195 menores teores para as amostras modificadas a 200°C. Valores similares foram encontrados
196 por Poubel et al. (2013), com madeiras modificadas termicamente de *Pinus caribaea*; e por
197 Borges; Quirino (2004), que ao realizarem a modificação térmica a 160°C com madeiras de
198 *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, obtiveram um teor de umidade de 11,00%, sendo próximo
199 ao do presente trabalho.

200 De acordo Kocaefe et al. (2008), a redução no teor de umidade está ligada as
201 alterações químicas que ocorrem nos constituintes da parede celular, tornando a madeira
202 menos higroscópica, apresentando assim um menor teor de umidade de equilíbrio. Boonstra;
203 Tjeerdsma (2006), explicam que essa menor quantidade de água adsorvida pelas paredes da
204 célula em consequência da mudança química, é também devido à diminuição da
205 acessibilidade por aumento da cristalinidade da celulose e aumento das ligações cruzadas na
206 lignina que por sua vez levam a um aumento da estabilidade dimensional.

207 A modificação térmica também causou uma redução significativa na densidade
208 aparente das amostras, sendo os menores valores para as modificadas à 200°C. Resultados
209 semelhantes foram encontrados por Lengowski et al. (2016) e Bellon (2013).

210 A perda de massa durante a modificação térmica é uma das principais causas da
211 redução da densidade da madeira. De acordo Esteves; Pereira (2009), esta redução tem como
212 razões a degradação da hemicelulose em produtos voláteis, bem como, a evaporação dos seus
213 extrativos, sendo que, maiores perdas são observadas à medida que se utilizam maiores
214 temperaturas no processo. Além da degradação das hemiceluloses, Brito et al. (2006),
215 observaram que a redução da densidade da madeira também está relacionada com o processo
216 de decomposição térmica de parte da lignina pelo rompimento de algumas das suas ligações

217 químicas e pela eliminação de água resultante, principalmente, da degradação das hidroxilas
218 presentes na madeira.

219 Os resultados também indicaram perdas de massa significativas após a modificação
220 térmica, sendo que, os maiores valores encontrados foram para as amostras modificadas a
221 200°C, indicando assim, um acréscimo da perda de massa conforme o aumento da
222 temperatura de tratamento. Valores similares foram encontrados por Poubel et al. (2013), que
223 ao modificarem termicamente madeiras de *Pinus caribaea* a 200°C, encontraram uma redução
224 de 10,41% de massa..

225 De acordo o mesmo autor, a perda de massa se deve, principalmente, pela perda de
226 água livre e higroscópica presente nas paredes celulares da madeira, sendo que, em teores de
227 umidade abaixo do Ponto de Saturação das Fibras – PSF, a resistência mecânica da madeira
228 tende a aumentar gradativamente com essa perda de água. A degradação das hemiceluloses
229 também influencia na redução de massa, pois são os componentes estruturais mais afetados
230 pelo calor. Segundo Brito et al. (2008), temperaturas acima de 140°C já interferem na
231 decomposição das hemiceluloses, sendo pronunciado acima de 180°C.

232 Os valores médios para a taxa de absorção de água demonstraram que os tratamentos
233 térmicos apresentaram diferença significativa em relação ao tratamento testemunha,
234 entretanto, os tratamentos de 160°C e 200°C não diferiram estatisticamente entre si. De acordo
235 os resultados, verificou-se que a taxa de absorção de água é inversamente proporcional à
236 temperatura, apresentando assim um decréscimo conforme o aumento da temperatura de
237 tratamento. Valores similares foram encontrados por Modes (2013).

238 De acordo Kamdem et al. (2002), com a degradação das hemiceluloses, que têm
239 caráter hidrofílico, são vaporizados os radicais aos quais a água normalmente se une;
240 simultaneamente, há um acréscimo porcentual do teor de lignina, que possui caráter
241 hidrofóbico. Esteves et al. (2008) explica que esse acréscimo não indica a formação de lignina

242 durante o processo de aquecimento, mas a degradação de outros compostos químicos,
243 principalmente das hemiceluloses, reduzindo assim a higroscopicidade da madeira e
244 melhorando a sua estabilidade dimensional.

245

246 **Tabela 2.** Valores médios dos coeficientes de contração volumétrica e lineares em função do
247 tratamento realizado

248 **Table 2.** Mean values of the volumetric and linear contraction coefficients as a function of the
249 treatment performed

250

Tratamento	β_V (%)	β_T (%)	β_R (%)	β_L (%)
Testemunha	13,41 a	7,33 a	5,99 a	0,43 a
160°C	10,51 b	4,63 b	4,11 b	0,37 b
200°C	8,64 b	4,16 b	3,79 b	0,33 c

251 Médias seguidas por uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si (teste de
252 Tukey, $p > 0,05$); β_V = Contração Volumétrica (%); β_T = Contração Tangencial (%); β_R = Contração Radial
253 (%); β_L = Contração Longitudinal (%).

254

255 Os resultados para a contração volumétrica demonstraram que os tratamentos térmicos
256 apresentaram valores significativamente menores que aqueles obtidos para o tratamento de
257 testemunha, entretanto, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos
258 térmicos. Valores semelhantes foram encontrados por Poubel et al. (2013), que ao
259 modificarem termicamente madeiras de *Pinus caribaea* a 220°C, encontraram um valor de
260 8,39% para a contração volumétrica.

261 Os resultados obtidos para a contração tangencial e para a contração radial
262 demonstraram que os tratamentos térmicos apresentaram valores significativamente menores
263 em relação ao tratamento de testemunha, porém, não houve diferença significativa entre os
264 tratamentos térmicos. Já os valores médios obtidos para a contração longitudinal,
265 demonstraram que houve diferença significativa para todos os tratamentos, sendo que, os
266 menores valores encontrados foram para as amostras modificadas a 200°C.

267 Moreschi (2014), explica que a contração que ocorre na madeira, é provocada por
268 causa da perda de água da parede celular, enquanto que o aumento de água provoca o seu

269 inchamento; estas variações dimensionais da madeira, contração e inchamento, somente
 270 ocorrem com teores de umidade abaixo do Ponto de Saturação das Fibras – PSF, isso porque,
 271 acima deste ponto ocorre apenas ganho de água pela madeira sem, com isto, haver alteração
 272 nas suas dimensões.

273 De acordo Neto Kaskantzis (2015), a contração da madeira é considerada uma
 274 propriedade física complexa, pois, ela é acompanhada por empenamentos, rachaduras, fendas,
 275 etc., sendo assim, de grande importância o seu conhecimento, bem como, o de inchamento,
 276 para que se possa contornar estes efeitos prejudiciais ou reduzir suas magnitudes.

277

278 **Tabela 3.** Valores médios dos coeficientes de inchamento volumétrico e lineares em função
 279 do tratamento realizado

280 **Table 3.** Mean values of the volumetric and linear swelling coefficients as a function of the
 281 treatment performed

282

Tratamento	α_V (%)	α_T (%)	α_R (%)	α_L (%)
Testemunha	15,16 a	7,92 a	6,38 a	0,44 a
160°C	11,63 b	4,86 b	4,31 b	0,38 b
200°C	9,53 b	4,52 b	3,77 b	0,33 c

283 Médias seguidas por uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si (teste de
 284 Tukey, $p > 0,05$); α_V = Inchamento Volumétrico (%); α_T = Inchamento Tangencial (%); α_R = Inchamento
 285 Radial (%); α_L = Inchamento Longitudinal (%).

286

287 Os resultados obtidos para o inchamento volumétrico demonstraram que os
 288 tratamentos térmicos apresentaram valores significativamente menores que aqueles obtidos
 289 para o tratamento de testemunha, entretanto, não foram observadas diferenças significativas
 290 entre os tratamentos térmicos. Valores similares foram encontrados por Poubel et al. (2013),
 291 que ao modificarem termicamente madeiras de *Pinus caribaea* a 220°C, encontraram um
 292 valor de 9,31% para o inchamento volumétrico.

293 A modificação térmica também causou uma redução nos valores médios para o
 294 inchamento tangencial e para o inchamento radial, onde seus resultados foram
 295 significativamente menores em relação ao tratamento de testemunha, porém, não houve

296 diferença significativa entre os tratamentos térmicos. Já os resultados obtidos para o
297 inchamento longitudinal, demonstraram que houve diferença significativa para todos os
298 tratamentos, sendo que, os menores valores médios encontrados foram para as amostras
299 modificadas a 200°C. Valores semelhantes foram encontrados por Bellon (2013) e por Poubel
300 et al. (2013).

301 De acordo Moreschi (2014), as hemiceluloses, que são altamente higroscópicas, são
302 responsáveis por grande parte dos fenômenos de adsorção e inchamento da madeira, sendo
303 que, estes fenômenos influenciam diretamente nos seus processos tecnológicos. Desse modo,
304 Bellon (2013) explica que há uma relação direta entre o teor de umidade e o inchamento
305 volumétrico da madeira, onde, com o aumento da temperatura de tratamento e, conseqüente
306 degradação da hemicelulose, ocorre uma redução da higroscopicidade da madeira, que por sua
307 vez diminui o seu inchamento, melhorando assim sua estabilidade dimensional.

308 De acordo com os resultados apresentados nas Tabelas 2 e 3 para as variações
309 dimensionais da madeira, foi possível evidenciar que os valores médios de contração e
310 inchamento volumétrico e linear são inversamente proporcionais à temperatura, apresentando
311 assim um decréscimo conforme o aumento da temperatura de tratamento. Observou-se
312 também que os valores de inchamento e contração linear na direção tangencial são maiores
313 que na direção radial, os quais por sua vez, são maiores que na direção longitudinal.

314 Skaar (1988), explica que as variações dimensionais no sentido transversal (tangencial
315 e radial) são maiores que no sentido longitudinal, porque a maioria das células estão
316 orientadas longitudinalmente. Já as variações dimensionais no sentido tangencial são maiores
317 que no sentido radial, porque à orientação transversal dos raios e à presença de pontoações
318 areoladas, predominante nas paredes radiais dos traqueídeos, causam um desvio das
319 microfibrilas de celulose na camada S2, as quais restringem as variações neste sentido.

320 **Tabela 4.** Valores médios do coeficiente de anisotropia em função do tratamento realizado
 321 **Table 4.** Mean values of the anisotropy coefficient as a function of the treatment performed
 322

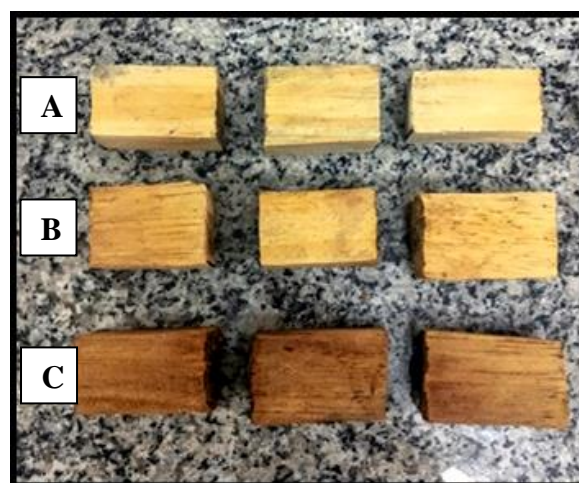
Tratamento	A.C.
Testemunha	1,27 a
160°C	1,25 a
200°C	1,15 a

323 Médias seguidas por uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si
 324 (teste de Tukey, $p > 0,05$); A.C. = Anisotropia de Contração; C.V = Coeficiente de Variação.
 325

326 Os resultados obtidos para a anisotropia de contração demonstraram que,
 327 estatisticamente, não houve diferença entre a anisotropia da madeira natural em relação às
 328 madeiras modificadas termicamente. Entretanto, é notável que com a modificação térmica, a
 329 tendência é que ocorra uma redução nos valores da anisotropia. Valores similares foram
 330 encontrados por Lengowski et al. (2016) e por Bellon (2013).

331 Verificou-se também, visualmente, que a modificação térmica influenciou na
 332 coloração da madeira, deixando-a mais escura, onde as amostras que mais sofreram alterações
 333 foram às modificadas à 200°C (Figura 4).

334



335 **Figura 4.** Corpos de prova da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. A= Testemunha;
 336 B = Modificadas à 160°C; C = Modificadas à 200°C
 337 **Figure 4.** Wood specimens of *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. A = Witness; B = Modified at
 338 160 ° C; C = Modified at 200 ° C.
 339
 340

341 De acordo Quirino (2003), espécies de baixa densidade, como do gênero *Pinus*,
342 adquirem maior dureza superficial quando modificada termicamente e uma maior alteração na
343 cor original da madeira. Para Esteves et al. (2008), a alteração da cor da madeira pode ser
344 explicada pela combinação de vários fatores, como a formação de produtos oxidativos e
345 produtos da degradação das hemiceluloses e lignina, os quais migram às superfícies da
346 madeira; a volatilização e/ou migração dos extrativos e compostos nutritivos em direção às
347 superfícies da madeira e o aumento relativo no teor de lignina.

348

349 CONCLUSÕES

350 Conclui-se que a modificação térmica promoveu alterações sobre as propriedades
351 físicas da madeira de *Pinus caribaea var. hondurensis*, tornando-a menos higroscópica e com
352 uma maior estabilidade dimensional. Em função da diminuição dos valores da umidade de
353 equilíbrio associada a uma maior perda de massa, conclui-se que o emprego de temperatura
354 mais elevada no tratamento diminui a retratibilidade do material estudado. O tratamento
355 também influenciou, visualmente, na tonalidade de cor da madeira em relação a sua aparência
356 natural.

357

358 REFERÊNCIAS

359

360 ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7190: Projeto de Estruturas de**
361 **Madeira**. Rio de Janeiro, 1997.

362

363 ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14929: Determinação do teor de**
364 **umidade da madeira**. Rio de Janeiro, 2003.

365

366 ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15261: Determinação da**
367 **variação dimensional da madeira**. Rio de Janeiro, 2005.

- 368 BELLON, K. R. R.; **Modificação térmica da madeira de três espécies de florestas**
369 **plantadas pelo processo VAP HolzSysteme®**; Dissertação (mestrado) - Universidade
370 Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
371 Florestal. Curitiba, 2013.
372
- 373 BOONSTRA, M. J.; TJEERDSMA, B. F. Chemical analysis of heat-treated softwoods. **Holz**
374 **Roh-Werkst**, v. 64, n. 1, p. 204-211, 2006.
375
- 376 BORGES, M. B.; QUIRINO, W. F. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var.
377 *hondurensis* tratado termicamente. **Revista Biomassa & Energia**, v. 1, n. 2, p. 173-182,
378 2004.
379
- 380 BRITO, J. O.; GARCIA JUNIOR, B.; PESSOA, A. M. C.; SILVA, P. H. M. Densidade
381 básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* submetida a diferentes temperaturas
382 de termorreificação. **Cerne**, v. 12, n. 2, p. 182-188, 2006.
383
- 384 BRITO, J. O.; SILVA, F. G.; LEÃO, M. M.; ALMEIDA, G. Chemical composition changes
385 in *eucalyptus* and *pinus* woods submitted to heat treatment. **Bioresource Technology**, v. 99,
386 n. 18, p. 8545-8548, 2008.
387
- 388 ESTEVES, B.; VELEZ, M. A.; DOMINGOS, I.; PEREIRA, H. Heatinduced colour changes
389 of pine (*Pinus pinaster*) and eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) wood. **Wood Science and**
390 **Technology**, v. 42, n. 5, p. 369-384, 2008.
391
- 392 ESTEVES, B. M.; PEREIRA, H. M. Wood modification by heat treatment: a review.
393 **BioResources**, v. 4, n. 1, p. 370-404, 2009.
394
- 395 JÄMSA, S.; VIITANIEMI, P. Heat treatment of wood: better durability with out chemicals.
396 In: RAPP, A. O. **Review on heat treatments of wood**, 2001.
397
- 398 KAMDEM, D. P.; PIZZI, A.; JERMANNAUD, A. Durability of heat-treated Wood. **Holz als**
399 **Roh-und Werkstoff**. Berlin: Springer-Verlag. p.1-6, 2002.
400
- 401 KOCAEFE, D.; PONCSÁK, S.; DORÉ, G.; YOUNSI, R. Effect of heat treatment on the
402 wettability of white ash and softmaple by water. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v. 66, n. 5, p.
403 355-361, 2008.
404
- 405 LENGOWSKI, E. C.; MUNIZ, G. I. B.; Qualidade da madeira de *Pinus taeda* após
406 termorreificação. In: **XV EBRAMEM** - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de
407 Madeira, Curitiba, 2016.

- 408 MILITZ, R. Heat treatment technologies in Europe: Scientific background and technological
409 state-of-art. **Proceedings...** Conference on Enhancing the durability of lumber and
410 engineered wood products. Kissimmee, Orlando, For. Prod. Soc., Madison, US, 2002.
411
- 412 MODES, K. S. Hygroscopicity of wood from *Eucalyptus grandis* and *Pinus taeda* subjected
413 to thermal treatment. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 19-25, jan./mar. 2013
414
- 415 MORESCHI, J. C.; **Relação água – madeira e sua secagem.** Departamento de Engenharia e
416 Tecnologia Florestal da UFPR, Curitiba, Paraná. 2ª ed., nov. 2014.
417
- 418 NETO KASKANTZIS, G.; **Modificação térmica de Toras de Madeira.** Universidade
419 Federal do Paraná, Curitiba, abr. 2015.
420
- 421 NOVAES, A.B.; LONGUINHOS, M.A.A.; RODRIGUES, J.; SANTOS, I.F.; GUSMÃO, J.
422 C. Caracterização e demanda florestal da Região Sudoeste da Bahia. In: SANTOS, A. F.;
423 NOVAES, A.B.; SANTOS, I.F.; LONGUINHOS, M.A.A. (Org.). **Memórias do II Simpósio**
424 **sobre Reflorestamento na Região Sudoeste da Bahia.** 1ª ed. Colombo: Embrapa Florestas,
425 2007, 1: p. 25-43.
426
- 427 NUNES, C. S.; NASCIMENTO, A. M.; GARCIA, R. A.; LELIS, R. C. C.; Qualidade de
428 adesão das madeiras de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus pellita* modificadas termicamente.
429 **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 109, p. 41-56, mar. 2016.
430
- 431 POULBEL, D. S.; GARCIA, R. A.; SANTOS, W. A.; OLIVEIRA, G. L.; ABREU, H. S.
432 Efeito da termorredificação nas propriedades físicas e químicas da madeira de *Pinus caribae*;
433 **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 391-398, jul./set. 2013.
434
- 435 QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais.** Brasília: IBAMA/LPF, 2003.
436
- 437 RILLING, E. A. G. **Madeira modificada com calor: TMT – Thermally modified timber.**
438 Ponta Grossa, 2010.
439
- 440 SANTOS, P. V.; SILVA, M. S.; JÚNIOR, A. F. D.; CARVALHO, A. M.; NASCIMENTO, A.
441 M.; Qualidade tecnológica da madeira de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S.
442 Johnson submetida ao processo de termorretificação. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n.
443 110, p. 343-350, jun. 2016.
444
- 445 SKAAR, C. **Wood-water relations.** New York: Springer-Verlag, 1988.

ANEXO

NORMAS PARA SUBMISSÃO REVISTA CIÊNCIA DA MADEIRA (BRAZILIAN JOURNAL OF WOOD SCIENCE) <<http://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/cienciadamadeira/>>

Estas normas são válidas para submissões a partir do dia 24 de junho de 2014 no novo sistema. Este pode ser acessado por meio do link: <<http://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/cienciadamadeira/>>

Estrutura do manuscrito

Páginas tamanho A4; numeradas na parte inferior direita; número de linha contínuo; espaçamento duplo; fonte Times New Roman ou Arial; tamanho 12 pontos; margens superior, inferior, esquerda e direita de 2,5 cm.

O manuscrito deve ser estruturado em: Título, resumo, palavras-chave, título em inglês, abstract, keywords, introdução, material e métodos, resultados e discussão, conclusões, agradecimentos (opcional) e referências.

O resumo/abstract deve ser redigido com no máximo 200 palavras. O número de palavras-chave/keywords deve variar entre 3 e 5 termos, separadas por ponto e vírgula (;).

Os nomes completos de todos os autores com sua titulação, vínculo institucional, endereço postal e eletrônico (e-mail) NÃO devem aparecer no arquivo de texto. Tais informações devem ser preenchidas apenas no formulário de submissão do manuscrito; Caso o manuscrito esteja escrito em inglês ou espanhol, o resumo em língua portuguesa é opcional.

Tabelas e Figuras

As tabelas e figuras devem ser autoexplicativas e possuir estritamente dimensões de 9 cm ou 18 cm. Seus títulos devem ser redigidos em dois idiomas, preferencialmente em português e em inglês. Quando citada no texto, a palavra deve ser escrita somente com a letra inicial maiúscula (Figura 1/Tabela 1), e no seu título da mesma forma, seguido de um ponto.

Serão aceitas figuras com resolução mínima de 300 dpi e com extensão *.PNG, *.JPEG e *.EPS. Gráficos em *.DOCX e *.XLSX também são aceitos. Caso as figuras não possuam a qualidade mínima exigida, o manuscrito será devolvido aos autores para posterior resubmissão. As figuras deverão ser alocadas ao longo do texto e os arquivos originais anexados ao sistema de submissão como documentos complementares.

Referências

Todas as citações deverão ter suas referências completas incluídas na lista de Referências, organizadas em ordem alfabética e de acordo com os modelos listados abaixo. Maiores informações podem ser obtidas na norma NBR 6023 da ABNT.

A citação de páginas de internet, monografias, dissertações e teses são proibidas. Solicita-se aos autores que busquem citações similares ou, em caso de existência, os manuscritos científicos publicados a partir das dissertações e teses. Dê preferência para manuscritos publicados em periódicos nacionais e internacionais com ISSN, livros e documentos com ISSBN.

As referências citadas no texto devem obedecer o sistema “autor-data”, conforme exemplos listados abaixo:

- Um ou dois autores:

Silva (2010) ou Kollmann; Côtê (1968) para citações ao longo do parágrafo.

(SILVA, 2010) ou (KOLLMANN; CÔTÊ, 1968) para citações no final do parágrafo.

- Três ou mais autores:

Schilling et al. (1988) para citações ao longo do parágrafo.

(SCHILLING et al., 1998) para citações no final do parágrafo.

Siglas

IBAMA (2000); EMBRAPA (1998) para citações ao longo do parágrafo.

(IBAMA, 2000); (EMBRAPA, 1998) para citações no final do parágrafo.

Quando citadas pela primeira vez, o significado deve ser escrito por extenso: American Society for Testing and Materials - ASTM (1995); Laboratório de Produtos Florestais - LPF (1998).

Documentos de um mesmo autor, publicados no mesmo ano:

Calegari (1999a); Calegari (1999b) ou (CALEGARI, 1999a); (CALEGARI, 1999b).

Outras regras

Nomes científicos devem ser escritos na íntegra (Ex: *Carya illinoensis* e não *C. illinoensis*) e somente em itálico. Quando em títulos, ou subtítulos, observar como ele é escrito, acrescido do itálico;

Equações citadas no texto devem ser indicadas e postas em sequência (Equação 1), alinhadas a direita e com a chamada da equação entre parênteses. Símbolos e abreviações presentes nas fórmulas devem ser identificados logo após a apresentação da equação. As equações devem ser editáveis, de maneira a permitir possível diagramação do manuscrito.