

## Efeito da furfuração em propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Pinus elliottii*

### Effect of furfurylation on physical and mechanical properties of *Pinus elliottii* wood

Henrique Römer Schulz<sup>1</sup>, Ezequiel Gallio<sup>1</sup>, Andrey Pereira Acosta<sup>2</sup>,  
Kelvin Techera Barbosa<sup>2</sup>, Darci Alberto Gatto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UFPel – Universidade Federal de Pelotas, Centro de Desenvolvimento Tecnológico (CDTec), Rua Gomes Carneiro, n.1, CEP: 96010-610 – Campus Anglo, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

<sup>2</sup> UFPel – Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias (CEng), Rua Benjamin Constant – CEP: 96010-020 – Campus Cotada, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

e-mail: henriqueschulz09@hotmail.com, egeng.florestal@gmail.com, andreysvp@gmail.com, kelvintechera@hotmail.com, darcigatto@yahoo.com

#### RESUMO

As madeiras de *Pinus* apresentam características indesejáveis às quais podem ser atenuadas com a aplicação de tratamentos, no qual é destacado a furfuração. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da impregnação de álcool furfurílico nas propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Pinus elliottii*. Para tanto, foram utilizados 4 tratamentos: controle e com diferentes cargas de álcool furfurílico (10%, 25% e 50%). Determinaram-se às propriedades tecnológicas conforme descrito nas normas ASTM D 2395-17 (2017) e ASTM D 143-94 (2014). Verificou-se que para as propriedades mecânicas, a resistência à compressão paralela às fibras, em que o parâmetro MOE teve um acréscimo significativo para todos os tratamentos em relação ao grupo controle, em destaque especial para o tratamento (T<sub>F25%</sub>), para o MOR obteve-se valores superiores, porém sem diferenças significativas. Em relação a dureza Janka, a tensão máxima no plano anatómico transversal, constatou-se valores superiores se comparados ao controle, com destaque o tratamento (T<sub>F50%</sub>), o qual demonstrou maiores valores com diferença significativa. Para o plano tangencial não foram constatadas diferenças significativas, se mantendo praticamente constantes os valores médios entre os tratamentos e o controle. Para flexão estática, MOR e MOE, não se observaram diferenças significativas, sendo essas propriedades analisadas com testes ANOVA com significância de 5%. Com isso pode-se concluir que a impregnação com álcool furfurílico foi eficaz, devido às melhorias de desempenho mecânico observado. Visto o potencial da furfuração empregada na madeira com base nestes resultados, sugere-se mais pesquisar neste campo de modo a fomentar maiores informações sobre a utilização deste tratamento em madeira.

**Palavras-chave:** *Pinus elliottii*; álcool furfurílico; modificação de madeira; propriedades físicas; propriedades mecânicas.

#### ABSTRACT

*Pinus* wood presents undesirable characteristics that can be attenuated with the application of treatments, in which the furfurylation is highlighted. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effect of impregnation of furfuryl alcohol on the physical and mechanical properties of *Pinus elliottii* wood. For this, 4 treatments were used: control and with different loads of furfuryl alcohol (10%, 25% and 50%). The properties were determined as described in ASTM D 2395-17 (2017) and ASTM D 143-94 (2014). It was verified that, for the mechanical properties, the compression resistance parallel to the fibers, in which the MOE parameter had a significant increase for all the treatments in relation to the control group, especially for treatment (TF25%), for the MOR, higher values were obtained, but without significant differences. Regarding Janka hardness, the maximum tension in the transverse anatomical plane, higher values were observed when compared to the control, with emphasis on treatment (TF50%), which showed higher values with significant difference. For the tangential plane, no significant differences were observed, maintaining the average values between the treatments and the control practically constant. For static flexion, MOR and MOE, no significant

differences were observed, these properties being analyzed with ANOVA tests with significance of 5%. With this it can be concluded that the impregnation with furfuryl alcohol was effective, due to improvements in mechanical de-performance observed. Considering the potential of furfurylation employed in wood based on these results, it is suggested to do more research in this field in order to promote more information on the use of this wood treatment.

**Keywords:** *Pinus elliottii*; furfuryl alcohol; wood modification; colorimetry; physical properties; mechanical properties.

---

## 1. INTRODUÇÃO

O gênero *Pinus* possui vantagens quando comparado a outras espécies arbóreas, tais como, boa adaptabilidade em distintos ambiente, como também alta capacidade produtiva, fornecendo madeira de boa qualidade, para as mais diversas finalidades, tais como, móveis, painéis, construções, embalagens. Segundo IBÁ [1], os plantios do gênero *Pinus* ocupam aproximadamente 1,6 milhão de hectares e concentram-se principalmente nos estados do Paraná (42%) e Santa Catarina (34%).

Devido a heterogeneidade da madeira, relacionada essa a composição química e disposição dos elementos anatômicos da madeira, faz-se necessária a determinação dos parâmetros tecnológicos desse material. O conhecimento dessas propriedades, sendo elas (físicas, químicas, mecânicas e anatômicas), fornecem informações importantes para as diversas fases de processamento industrial, bem como para a utilização do produto final [2], [3], [4].

Entretanto, algumas espécies do gênero *Pinus* apresentam algumas limitações no que tange às propriedades físicas e mecânicas, necessitando assim de tratamentos os quais visem a melhora de suas propriedades em função da finalidade à que se destina. Segundo Esteves et al. [5], a modificação da madeira pode se dividir em quatro tipos: modificação química, modificação térmica, modificação de superfície e modificação por impregnação.

Nesse contexto, o método por impregnação se destaca por ser um método eficiente. Este processo é o que mais evoluiu nos últimos anos, e junto dele o processo por furfurilação [6], o qual se dá por meio da impregnação de álcool furfurílico na madeira, empregando-se uma autoclave e posteriormente polimerizando in situ em função da aplicação de temperatura.

O álcool furfurílico é um composto orgânico com diferentes elementos químicos que podem ser precisamente obtidos a partir dos açúcares C5 e C6 presentes na biomassa [7]. O furfural foi isolado pela primeira vez pelo químico alemão Johann Wolfgang Döbereiner em 1832 [8].

Lande et al. [9], cita os benefícios da furfurilação da madeira como: a madeira furfurilada não é tóxica, os produtos de combustão da madeira furfurilada são semelhantes aos da madeira, o lixiviado de água da madeira furfurilada não é tóxico, sendo que a furfurilação melhora algumas propriedades físicas e mecânicas da madeira.

Logo, a impregnação utilizando álcool furfurílico se apresenta como um potencial tratamento para o reforço das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Pinus elliottii*. Sendo assim, o objetivo do trabalho foi a caracterização de propriedades da madeira impregnadas com álcool furfurílico, sendo elas físicas, massa específica básica e teor de umidade, e propriedades mecânicas, como dureza Janka, flexão estática e compressão paralela às fibras.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Seleção e Obtenção do Material

Para o desenvolvimento da pesquisa utilizou-se madeiras de *Pinus elliottii* com idade de 20 anos, aproximadamente. Foi confeccionado amostras com dimensões variáveis, sendo 40 corpos de prova por propriedade tecnológica avaliada, conforme exposto na Tabela 1.

**Tabela 1:** Caracterização das dimensões dos corpos de prova para à determinação das propriedades físicas e mecânicas de interesse

CARACTERIZAÇÃO	PLANO ANATÔMICO - DIMENSÕES (MM)		
	TANGENCIAL	RADIAL	LONGITUDINAL
Flexão Estática	15	15	240
Compressão Paralela	25	25	100
Dureza Janka	30	30	60
Massa específica básica	25	25	100

Após confeccionadas, as amostras foram encaminhadas á um ambiente climatizado, com temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $65 \pm 3\%$  de umidade relativa do ar, até atingir massa constante, com um teor de umidade de equilíbrio de 12%.

## 2.2 Furfurilação da madeira de *Pinus elliottii*

O estudo foi desenvolvido com 4 tratamentos, sendo dividido em grupo controle e os demais, com diferentes cargas de furfural (Tabela 2).

**Tabela 2:** Descrição dos tratamentos e cargas de furfurilação empregados na pesquisa.

TRATAMENTOS		ÁLCOOL	ÁLCOOL	ÁGUA (%)	ÁCIDO CÍTRICO (%)
CARGAS	NOMENCLATURA	FURFURÍLICO (%)	ETÍLICO (%)		
Controle	-	-	-	-	-
Furfural 10%	$T_{F10\%}$	10	80	5	5
Furfural 25%	$T_{F25\%}$	25	65	5	5
Furfural 50%	$T_{F50\%}$	50	40	5	5

As soluções foram feitas com diferentes cargas, sendo o álcool etílico utilizado com a função de catalisador, o ácido cítrico como agente anti lixiviante e água para melhor homogeneização. Foram impregnadas na madeira por meio do processo Bethell, sendo um método de célula cheia. Para tanto, utilizou-se uma autoclave laboratorial, aonde inicialmente as amostras foram submetidas à um vácuo inicial de 20 minutos.

Na sequência, inseriu-se no interior da autoclave (por meio de diferença de pressão) as soluções de furfural, com diferentes cargas, sendo feito separadamente os tratamentos. Após o preenchimento da autoclave com a solução, aplicou-se durante 90 minutos, uma pressão de  $8\text{kgf/cm}^2$ . Finalizada a etapa de impregnação, as amostras foram então encaminhadas a uma estufa de escala laboratorial, ajustada com uma temperatura de  $70^\circ\text{C}$ , visando o processo de polimerização *in situ* do furfural no interior da madeira, permanecendo nesta condição até massa constante.

Concluída a etapa de polimerização, as amostras foram encaminhadas novamente à sala climatizada.

## 2.3 Caracterização de propriedades físicas da madeira furfurilada

Para os percentuais de ganhos de massa (Equação 1) foram pesadas as amostras antes e após o tratamento de impregnação com furfural.

$$\text{PGM} = \left( \frac{\text{mb}-\text{ma}}{\text{ma}} \right) * 100 \quad (1)$$

Em que: PGM = percentual de ganho de massa em %,  $m_b$  = massa da amostra após a impregnação em g,  $m_a$  = massa da amostra antes da impregnação em g.

A massa específica básica foi determinada por meio da adaptação da normatização da ASTM D 2395 [10], com auxílio de um paquímetro digital (com resolução de 0,01mm) e balança analítica (com resolução de 0,001g), sendo que a massa na amostra em estado seco e o volume no estado saturado. Mensurou-se as dimensões e massa dos corpos de prova e por meio da equação (2), caracterizou-se a mesma.

$$\rho_{Bás} = \left( \frac{M_0}{V_{Saturado}} \right) \quad (2)$$

Em que:  $M_0$  = massa seca em estufa a 100°C ( $\pm 3^\circ\text{C}$ ) (g);  $V_{Saturado}$  = volume com a amostra saturada ( $\text{cm}^3$ );  $\rho_{Bás}$  = massa específica básica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

O teor de umidade de equilíbrio foi mensurado, com auxílio de uma balança analítica (com resolução de 0,001g), utilizada a adaptação da normatização ASTM D 2395 [10]. Mensurou-se massa dos corpos de prova com teor de umidade de aproximadamente 12% e nas condições de amostras secas, por meio da equação (3), caracterizou-se a mesma.

$$TU_{Equilíbrio} = \left( \frac{M_{12\%} - M_0}{M_0} \right) * 100 \quad (3)$$

Em que:  $M_{12\%}$  = massa na condição de 12% de Teor de Umidade (g);  $M_0$  = massa seca em estufa a 100°C ( $\pm 3^\circ\text{C}$ ) (g);  $TU_{Equilíbrio}$  = Teor de umidade de equilíbrio (%).

### 2.3 Caracterização de propriedades mecânicas da madeira furfurilada

A caracterização das propriedades mecânicas das madeiras foi realizada em uma máquina universal de ensaios (EMIC), com capacidade de carga máxima de 300kN e com sistema computadorizado de aquisição de dados. Os ensaios de flexão estática, dureza Janka e compressão paralela às fibras foram conduzidos por meio da normatização ASTM D 143-94 [11].

Para o ensaio de compressão paralela às fibras, as amostras foram submetidas a uma força uniaxial, onde foram determinados os valores do módulo de elasticidade ( $E_C$ ) e da resistência à compressão ( $F_C$ ). A dureza Janka foi verificada por meio da inserção de uma semiesfera de 1,13  $\text{cm}^2$  de área à uma profundidade de metade do seu diâmetro nos planos anatômicos transversal e tangencial. Para o ensaio de flexão estática, obtiveram-se os valores para os parâmetros de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR). Para esse ensaio em específico, acoplou-se à máquina universal de ensaios uma célula de carga com capacidade de 3 toneladas.

### 2.4 Análise estatística dos resultados das propriedades

Efetou-se análise estatística e processamento dos dados no software Statgraphics Centurion. Para tanto, os parâmetros foram submetidos a análise de variância (ANOVA) simples visando verificar a existência de diferenças significativas, e posterior teste de comparação de médias, ambas por meio do teste LSD Fisher, ao nível de significância de 5%.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando a massa específica básica ( $\rho_b$ ) e percentual de ganho de massa (PGM), pode-se perceber que desde o grupo controle até os tratamentos de impregnação com álcool furfurílico, não foram observadas diferenças significativas (Tabela 3).

**Tabela 3:** Resumo estatístico e valores médios para os parâmetros relacionados à massa específica básica ( $\rho_b$ ) e percentual de ganho de massa (PGM) das madeiras de *Pinus elliottii* dos grupos controle e furfuriladas

TRATAMENTO	PB (G/CM <sup>3</sup> )	PGM (%)
Controle	0,555 a <sup>(0,126)</sup>	-
T <sub>F10%</sub>	0,434 a <sup>(0,030)</sup>	4,28 a <sup>(3,87)</sup>
T <sub>F25%</sub>	0,537 a <sup>(0,075)</sup>	8,55 a <sup>(6,17)</sup>
T <sub>F50%</sub>	0,536 a <sup>(0,103)</sup>	7,01 a <sup>(7,40)</sup>
CV	18,65%	90,78 %
DP	0,097g/cm <sup>3</sup>	6,15 %
F	1,47 ns	1,08 ns

Em que: valores entre parênteses e sobescritos representam o desvio padrão da média do tratamento e letras diferentes, nas colunas, indicam diferenças significativas conforme o teste LSD Fisher, ao nível de significância de 5%;  $\rho_b$  – Massa específica básica; PGM(%) – percentual de ganho de massa; CV – coeficiente de variação dos tratamentos; DP – desvio padrão dos tratamentos; \* – apresenta diferença significativa ( $p < 0,05$ ); ns – não apresenta diferença significativa ( $p \geq 0,05$ ), pelo teste ANOVA.

Mattos et al. [12] e Alves et al. [13], constataram como valor médio para massa específica básica aproximadamente 0,45 e 0,46 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente, para a madeira de *Pinus elliottii* sem tratamento, com idade de 13 anos aproximadamente, que são valores próximos aos constatados nesse estudo.

Analisando a propriedade de percentual de ganho de massa constata-se que houve um acréscimo das amostras furfuriladas em relação ao grupo controle, porém não foi significativa a variância entre os tratamentos com diferentes cargas de furfural. Segundo Mantanis et al. [14], o tratamento de furfurilação acarretou o ganho de massa devido ao processo de polimerização do furfural no interior da madeira e fixação na parede celular desse material.

Entretanto, neste estudo, o aumento não significativo de massa pode estar associado com a grande proporção de lenho adulto das amostras submetidas ao tratamento, podendo influenciar na eficácia da impregnação do furfural no interior da madeira. Lande et al. [15] diz que é possível se obter um percentual significativo de percentual de ganho de massa para madeiras de baixa densidade, pois as mesmas apresentam um caráter poroso, resultando assim em uma impregnação eficaz.

Percebe-se que para o ensaio de compressão paralela às fibras (Tabela4), a resistência a compressão ( $F_c$ ) não houve diferença significativa, apesar dos tratamentos com álcool furfúrico terem mostrado resultados superiores ao controle. Para o módulo de elasticidade ( $E_c$ ), obteve-se diferenças significativas para todos os tratamentos em relação ao controle, sendo o tratamento (T<sub>F25%</sub>) com valor superior aos outros tratamentos.

**Tabela 4:** Resumo estatístico e valores médios para os parâmetros relacionados ao ensaio de Compressão paralela das madeiras de *Pinus elliottii* dos grupos controle e furfuriladas.

TRATAMENTO	TU (%)	$F_c$ (MPa)	$E_c$ (MPa)
Controle	9,97c <sup>(0,376)</sup>	41,16a <sup>(3,985)</sup>	13699,7a <sup>(3039,41)</sup>
T <sub>F10%</sub>	9,59bc <sup>(0,614)</sup>	43,02a <sup>(6,82)</sup>	27263,3b <sup>(5384,60)</sup>
T <sub>F25%</sub>	9,44b <sup>(0,700)</sup>	46,44a <sup>(7,17)</sup>	33652,2c <sup>(6536,72)</sup>
T <sub>F50%</sub>	8,01a <sup>(0,407)</sup>	41,36a <sup>(7,97)</sup>	24576,5b <sup>(8519,10)</sup>
CV	9,89 %	15,69%	37,09%
DP	0,917 %	6,748MPa	9311,25MPa

F	23,20*	1,35 ns	14,39*
---	--------	---------	--------

Em que: valores entre parênteses junto às médias representam o desvio padrão do tratamento e letras diferentes, nas colunas, indicam diferenças significativas conforme o teste LSD Fisher, ao nível de significância de 5%; TU (%) – Teor de umidade;  $E_C$  – módulo de elasticidade;  $F_C$  – resistência à compressão; CV (%) – coeficiente de variação dos tratamentos; DP – desvio padrão dos tratamentos; \* – apresenta diferença significativa ( $p < 0,05$ ); ns – não apresenta diferença significativa ( $p \geq 0,05$ ), pelo teste ANOVA.

Para os tratamentos ( $T_{F10\%}$ ,  $T_{F25\%}$  e  $T_{F50\%}$ ), analisando o EC para o teste de compressão paralela às fibras, obteve um aumento significativo de 99,00%, 145,64% e 79,39%, respectivamente, em relação ao grupo controle. Tal valor se correlaciona com a aplicação do álcool furfurílico na madeira, onde Lande et al. [9], relata em seus estudos sobre propriedades tecnológicas da madeira furfurilada, que determinadas propriedades mecânicas, exceto resistência ao impacto, são melhoradas quando a madeira é submetida a impregnação com álcool furfurílico.

Em relação a comparação entre outros tratamentos da madeira, a furfurilação se destaca para parâmetros de compressão, Modes et al. [16] e Korkut et al. [17], analisando amostras de *Pinus* submetida ao tratamento térmico, em estufa, observou que em relação à resistência a compressão ( $F_C$ ), reduziu as propriedades em 7,97% e 8,02%, respectivamente, em relação ao grupo controle. Ferro et al. [18], constatou valores médios de módulo de elasticidade ( $E_C$ ) de 11550 Mpa para a madeira de *Pinus* sem tratamento.

Nota-se que, ao analisar estatisticamente o teste de dureza Janka (Tabela 5), apresentou diferença significativa no plano transversal, houve um acréscimo significativo em todos os tratamentos, com destaque principalmente ao tratamento de furfurilação ( $T_{F50\%}$ ) que se sobressaiu em relação aos tratamentos Controle, ( $T_{F10\%}$ ) e ( $T_{F25\%}$ ). Pode-se afirmar pelas médias observadas, dentre as 6 espécies, que as madeiras de *Eucalyptus tereticornis* apresentou o maior valor de perda de massa a 50°C e 100°C, sendo de 9,15% e 10,88%, essa perda de massa está ligada a água que é evaporada quando a madeira é submetida a calor.

**Tabela 5:** Resumo estatístico e valores médios para os parâmetros relacionados ao ensaio de dureza Janka nos planos anômicos tangencial e transversal da madeira furfurilada de *Pinus elliottii* dos grupos controle e furfurilados

TRATAMENTO	TU (%)	TENSÃO MÁXIMA (MPa)	
		TANGENCIAL	TRANSVERSAL
Controle	11,77 bc <sup>(0,283)</sup>	47,38 a <sup>(10,716)</sup>	37,72 a <sup>(10,946)</sup>
$T_{F10\%}$	13,30 c <sup>(3,659)</sup>	45,21 a <sup>(7,154)</sup>	41,60 ab <sup>(5,033)</sup>
$T_{F25\%}$	10,97 b <sup>(1,772)</sup>	42,46 a <sup>(9,494)</sup>	41,99 ab <sup>(11,756)</sup>
$T_{F50\%}$	8,84 a <sup>(0,425)</sup>	45,46 a <sup>(8,379)</sup>	50,78 b <sup>(9,154)</sup>
CV	23,16 %	19,55%	24,61%
DP	2,607 %	8,890MPa	10,607Mpa
F	0,0018*	0,59 ns	3,17*

Em que: valores entre parênteses junto às médias representam o desvio padrão do tratamento e letras diferentes, nas colunas, indicam diferenças significativas conforme o teste LSD Fisher, ao nível de significância de 5%; TU (%) – Teor de umidade; CV (%) – coeficiente de variação dos tratamentos; DP – desvio padrão dos tratamentos; \* – apresenta diferença significativa ( $p < 0,05$ ); ns – não apresenta diferença significativa ( $p \geq 0,05$ ), pelo teste ANOVA.

Essa diferença de valores entre os planos se relaciona a madeira ser um material heterogêneo e anisotrópico, possuindo assim diferentes estruturas anômicas nos diferentes planos. Analisando-se o plano tangencial não constatou-se tal diferença. Segundo Moreschi [19] e Valle et al. [20], determinados planos anômicos e regiões do tronco da árvore, favorecem a impregnação devido a estruturas microscópicas e macroscópicas das madeiras analisadas.

Para o tratamento ( $T_{F50\%}$ ), analisando a dureza Janka para o plano transversal, obteve um aumento significativo de 34,72 % em relação ao grupo controle. Tal valor se correlaciona com a aplicação do álcool furfurílico na madeira.

Analisando a madeira de *Pinus taeda*, submetida a termorreificação em estufa, Modes et al. [16], ao avaliar a dureza de topo da madeira observou valores de acréscimo nas propriedades de 7,74% em relação ao controle. Porém o tratamento de furfuralização em relação a dureza de topo se mostra mais eficaz mostrando maiores valores médios para todos os níveis de carga em relação ao controle, como também quando comparado a termorreificação.

Quando se analisa o teste de flexão estática em relação ao Módulo de elasticidade (MOE) e Módulo de ruptura (MOR), pode-se constatar que não houve diferença significativa para os valores médios, somente para o teor de umidade no tratamento (TF50%), (Tabela 6).

**Tabela 6:** Resumo estatístico e valores médios para os parâmetros relacionados ao ensaio de flexão estática das madeiras de *Pinus elliottii* dos grupos controle e furfuriladas

TRATAMENTO	TU (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
Controle	10,94 b <sup>(0,139)</sup>	62,45 a <sup>(8,244)</sup>	6730,22 a <sup>(1672,02)</sup>
T <sub>F10%</sub>	10,86 b <sup>(0,578)</sup>	55,75 a <sup>(9,899)</sup>	5924,18 a <sup>(1561,95)</sup>
T <sub>F25%</sub>	10,53 b <sup>(0,391)</sup>	59,75 a <sup>(14,736)</sup>	6350,0 a <sup>(2173,9)</sup>
T <sub>F50%</sub>	7,35 a <sup>(0,804)</sup>	57,50 a <sup>(11,885)</sup>	6029,0 a <sup>(1305,32)</sup>
CV	15,93 %	20,15 %	26,91 %
DP	1,588 %	11,885 MPa	1690,31 MPa
F	88,33*	0,55 ns	0,41 ns

Em que: valores entre parênteses junto às médias representam o desvio padrão do tratamento e letras diferentes, nas colunas, indicam diferenças significativas conforme o teste LSD Fisher, ao nível de significância de 5%; TU (%) – Teor de umidade; MOR (MPa) – Módulo de ruptura; MOE (MPa) – Módulo de elasticidade; CV (%) – coeficiente de variação dos tratamentos; DP – desvio padrão dos tratamentos; \* – apresenta diferença significativa ( $p < 0,05$ ); ns – não apresenta diferença significativa ( $p \geq 0,05$ ), pelo teste ANOVA.

Essa diferença significativa no tratamento (T<sub>F50%</sub>) quando comparado aos outros tratamentos, está ligado à impregnação do álcool furfúrico ocupar os espaços vazios dificultando a absorção de água. De acordo com Esteves et al. [21], a modificação baseia-se na inserção de um ou vários compostos químicos na parede das células da madeira que, ao reagirem, formam um composto que bloqueia o acesso aos grupos hidroxilo, subtraindo desta forma a higroscopicidade da madeira.

Quando se analisa as propriedades mecânicas (MOE) e (MOR) para o teste de flexão estática, não houve redução ou acréscimo significativo para tais propriedades. Klock et al. [22], valores que são importantes e indicam a resistência e deformação do material, é o módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) que são parâmetros determinados no teste de flexão estática, sendo que madeiras com altos valores de MOE e MOR indicam alta resistência e baixa capacidade de deformação do material, o que torna a madeira apta para ser utilizada para fins estruturais.

Autores como Missio et al. [23], em sua pesquisa com madeira de *Pinus elliottii* constatou valores de MOE (6822,32 Mpa) e MOR (67,59 Mpa) para amostras com idade de aproximadamente 28 anos. Epmeier et al. [24] e Lande et al. [9], afirmam, que as propriedades mecânicas da madeira submetida ao tratamento com furfural, tendo um ganho de propriedades significativo.

#### 4. CONCLUSÕES

Os tratamentos com álcool furfúrico acarretou em mudanças nas propriedades tecnológicas, sendo estas físicas e mecânicas, para a madeira de *Pinus elliottii*.

Para as propriedades físicas, verificou-se que o teor de umidade reduziu significativamente em função da maior concentração de carga de furfural com destaque para o tratamento com 50%. Analisando a massa específica básica e percentual de ganho de massa, não houve diferenças significativas.

Verificando-se as propriedades mecânicas, nota-se que o ensaio de compressão paralela as fibras, o parâmetro (Ec) teve um acréscimo significativo para todos os tratamentos em relação ao grupo controle, em

destaque especial para o tratamento (TF25%), para o (Fc) se obteve valores superiores, porém sem diferenças significativas. Em relação a dureza Janka, o parâmetro de tensão máxima no plano anatômico transversal obteve-se valores superiores se comparados ao controle, com destaque o tratamento (TF50%), o qual mostrou maiores valores com diferença significativa, para o plano tangencial este não mostrou diferenças significativas, se mantendo praticamente constante entre os tratamentos. Para o teste de flexão estática para os parâmetros MOR e MOE, não se obteve diferenças significativas.

Com isso pode-se concluir que o tratamento de impregnação com álcool furfúrico se mostrou eficaz em relação a determinadas propriedades tecnológicas analisadas. Visto o potencial da furfurilação da madeira com estes resultados, recomenda-se mais pesquisas testando diferentes propriedades, diferentes espécies e gêneros madeireiros, a fim de determinar com uma maior confiabilidade a utilização do álcool furfúrico em tratamentos para a madeira.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] ALMEIDA, D. H., SCALIANTE, R. M., CHRISTOFORO, A. L., “Tenacidade da madeira como função da densidade aparente”, *Revista Árvore*, Viçosa, v. jan./fev, n. 1, pp. 203-207, 2014.
- [2] ALVES, M. C. D. S., SANTIAGO, L. F. F., GONÇALVES, M. T. T., *et al.*, “Effects of belt speed, pressure and grit size on the sanding of *Pinus elliottii* wood”, *Cerne*, v. 21, n. 1, pp. 45-50, 2015.
- [3] ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D143-94: “Standard test methods for small clear specimens of timber”, Philadelphia, 2014.
- [4] ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D2395-17. “Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials”, Philadelphia, 2017.
- [5] EPMEIER, H., WESTIN, M., RAPP, A. “Differently modified wood: comparison of some selected properties”, *Scandinavian Journal of Forest Research*, v. 19, n. 5, pp. 31-37, 2004.
- [6] ESTEVES, B. M., PEREIRA, H. M. “Wood modification by heat treatment”, *Bioresources*, v. 4, n. 1, pp. 370-404, 2009.
- [7] ESTEVES, B., PEREIRA, H. “Novos métodos de protecção da madeira”, *Congresso Florestal Nacional, 6ª-A Floresta num Mundo Globalizado*. SPCF, pp. 421-428, 2009.
- [8] FERRO, F. S., ICIMOTO, F. H., ALMEIDA, D. H., *et al.*, “Influência da posição dos instrumentos de medida na determinação do módulo de elasticidade da madeira na compressão paralela às fibras (Ec0)”, *Revista Árvore*, v. 39, n. 4, pp. 743-749, 2015.
- [9] GONÇALVES, F. G., OLIVEIRA, J. T. S., LUCIA, R. M. D., *et al.*, “Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*”, *Revista Árvore*, Viçosa, v. 33, n. 3, pp. 501-509, 2009.
- [10] HADI, Y. S., WESTIN, M., RASYID, E. “Resistance of furfurylated wood to termite attack”, *Forest Products Journal*, v. 55, n. 11, pp. 85-88, 2005.
- [11] IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. “Relatório Ibá 2017: ano base 2016”, pp. 64, 2017.
- [12] KAMM, B., GERHARDT, M. D., DAUTZENBERG, G. “Catalytic processes of lignocellulosic feedstock conversion for production of furfural, levulinic acid, and formic acid-based fuel components”, *New and Future Developments in Catalysis: Catalytic Biomass Conversion; Suib*, SL, Ed, pp. 91-113, 2013.
- [13] KLOCK, U., MUÑIZ, G. I. B., HERNANDEZ, J. A., *et al.*, *Química da Madeira*, Paraná, Universidade Federal do Paraná (Setor de Ciências Agrárias), v. 3, pp. 86, 2005.
- [14] KORKUT, D. S., KORKUT, S., BEKAR, I., *et al.*, “The effects of heat treatment on the physical properties and surface roughness of Turkish hazel (*Corylus colurna* L.) wood”, *International Journal of Molecular Sciences*, v. 9, n. 9, pp. 1772-1783, 2008.
- [15] LANDE, S., EIKENES, M., WESTIN, M., *et al.*, “Furfurylation of wood: chemistry, properties, and commercialization”, *ACS symposium series*, pp. 337-355, 2008.
- [16] LANDE, S., WESTIN, M., SCHNEIDER, M. H. “Properties of furfurylated wood”, *Journal of Forest Research*, v. 19, n. sup. 5, pp. 22-30, 2004.
- [17] MANTANIS, G., LYKIDIS, C., “Evaluation of weathering of furfurylated wood decks after a 3-year outdoor exposure in Greece”, *Drvna Industrija*, v. 66, n. 2, pp. 115-122, 2015.
- [18] MATTOS, B. D., GATTO, D. A., STANGERLIN, D. M., *et al.*, “Variação axial da densidade básica da



madeira de três espécies de gimnospermas”, *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 6, n. 1, pp. 121-126, 2011.

[19] MISSIO, A. L., DE CADEMARTORI, P. H. G., MATTOS, B. D., WEILER, M., & GATTO, D. A. “Propriedades mecânicas da madeira resinada de *Pinus elliottii*”, *Ciência Rural*, v. 45, n. 8, pp. 1432-1438, 2015.

[20] MODES, K. S., SANTINI, E. J., VIVIAN, M. A., & HASELEIN, C. R.. “Efeito da termorreificação nas propriedades mecânicas das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*”, *Ciência Florestal*, v. 27, n.117, pp. 291-302, 2017.

[21] MORESCHI, J. C. *Propriedades tecnológicas da madeira*, Paraná, Universidade Federal do Paraná. pp. 167, 2005.

[22] SHELDON, R. A. “Green and sustainable manufacture of chemicals from biomass: state of the art”, *Green Chemistry*, v. 16, n. 3, pp. 950-963, 2014.

[23] TRIANOSKI, R., MATOS, J. D., IWAKIRI, S., *et al.*, “Avaliação da estabilidade dimensional de espécies de *Pinus* tropicais”, *Floresta e Ambiente, Seropédica*, v. 20, n. 3, pp. 398-406, 2013.

[24] VALLE M, L. A., SILVA, J. C., DELLA LUCIA, R. M., *et al.*, “Retenção e penetração de cca em madeira de primeira e segunda rotação de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake”, *Ciência Florestal*, v. 23, n. 2, pp. 481-490, 2013.

## ORCID

Henrique Römer Schulz <https://orcid.org/0000-0002-8162-7723>

Ezequiel Gallio <https://orcid.org/0000-0002-0603-1065>

Andrey Pereira Acosta <https://orcid.org/0000-0002-5074-3772>

Kelvin Techera Barbosa <https://orcid.org/0000-0001-9894-703X>

Darci Alberto Gatto <https://orcid.org/0000-0002-6805-3243>