

Distribuição espacial do teor de umidade de tábuas de pinus secas em estufa industrial¹

Winicius Augusto Schaeffer ² Linéia Roberta Zen ² Ricardo Jorge Klitzke ² Thiago Campos Monteiro ²

¹Selecionado a partir do IV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira.

²Universidade Federal do Paraná, Av. Pref. Lothário Meissner, 632, Jardim Botânico, Campus III, CEP 80210-170, Curitiba, PR, Brasil

Original Article

*Corresponding author:
tcmforest@gmail.com

Keywords:

Wood Drying.

Value-added products.

Conifers.

Location.

Variation.

Palavras-chave:

Secagem

Produtos de valor agregado.

Coníferas.

Localização.

Variação.

Received in

2020/02/19

Accepted on

2020/02/27

Published in

2020/04/03



DOI:<http://dx.doi.org/10.34062/afs.v7i1.9858>



RESUMO: O objetivo deste estudo foi avaliar a distribuição do teor de umidade das tábuas de pinus em câmaras de secagem. Foram analisadas a carga de madeira de pinus de duas estufas com capacidade de 100 m³ com espessuras das tábuas de 27 e 42 mm. O teor de umidade final (TUF) das tábuas após a secagem foi avaliado em diferentes regiões da pilha de secagem e regiões no interior da câmara. Os dados foram agrupados e avaliados conforme a distribuição nos eixos X, Y e Z da câmara. O TUF das tábuas foi igual a 13,46 e 10,59% respectivamente para as tábuas de 42 e 27 mm. O TUF apresentou diferença significativa, principalmente em relação ao eixo longitudinal das estufas. A maior variação do TUF foi nas peças de 27mm. Foi possível observar que o TUF das tábuas sofreu influência conforme o posicionamento no interior da estufa de secagem.

Influence of spatial distribution on final moisture content of kiln-dried pinus planks

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the moisture content distribution on kiln-dried pinus planks. Two wood drying kilns with 100 m³ of cargo capacity were analyzed, each one working on different plank thicknesses (27 and 42 mm). The final moisture content (FMC), was evaluated from different regions of the woodpiles, and kilns, after the drying process. The resulting data were grouped and evaluated according to the distribution on kiln's X, Y and Z axes. The average planks' FMC was equal to 13,46% and 10,59% respectively for 42 and 27 mm planks. FMC showed significantly different mainly on kiln's longitudinal axis. FMC's variation was more significant on 27 mm planks. It was possible to observe that the final moisture content of the planks was influenced according to the position inside the kiln.

Introdução

O gênero *Pinus* spp possui reflorestamentos no sul do Brasil ocupando atualmente cerca de 1,6 milhões de hectares, representando aproximadamente 20% das florestas plantadas no país (IBÁ 2019). Nos últimos anos este gênero tornou-se o principal fornecedor de madeira serrada no Brasil, superando a produção madeireira de espécies tropicais, principalmente da região Amazônica, produzindo 8 milhões de m³ em 2017 (FAO 2019).

Grandes produções de madeira serrada demandam diversos processos de beneficiamento para seu uso ou comercialização. Dentro destas etapas a secagem da madeira, é uma das etapas mais importantes do processamento primário na indústria madeireira (Batista et al. 2016). Sua realização permite aumento da resistência mecânica da madeira, diminuição da massa, facilita a usinagem das tábuas e minimiza o ataque de fungos (Kollmann e Côté 1968).

A grande demanda por madeira seca culmina na secagem artificial conduzida em estufas convencionais, tornando-se o método mais utilizado pela indústria madeireira. Atualmente as estufas convencionais possuem elevada automação e apresentam vantagens como a diminuição do tempo de condicionamento, a eliminação de fatores ambientais e o controle da velocidade de ventilação, temperatura e umidade relativa do ar (Wallace e Avramidis 2016).

Além do equipamento de secagem a complexidade da madeira também demanda atenção. Fatores inerentes as propriedades físicas, químicas e anatômicas da madeira afetam a secagem (Siau 1971; Engelund et al. 2013; Zanuncio et al. 2015; Monteiro et al. 2017). Além disso, a espessura da tábua, a posição da tábua dentro da pilha, a posição dentro da estufa e o tamanho da pilha podem afetar a velocidade de secagem, assim como a qualidade da

madeira (Liebl et al. 2017; Dittmann et al. 2017). Desta forma, o conhecimento sobre o sistema de secagem e da matéria prima são fundamentais para a correta secagem das tábuas e consequentemente maior agregação de valor nos produtos madeireiros. Tais medidas permitem a otimização do processo de secagem da madeira e consequentemente o máximo retorno do investimento (Oliveira et al. 2012).

Assim a boa gestão do processo de secagem é fundamental e deve seguir com base no conhecimento e controle dos parâmetros ali contidos, principalmente na homogeneidade do teor de umidade das tábuas no interior do equipamento. Visando este conhecimento na indústria madeireira, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência da localização espacial das tábuas no teor de umidade final da madeira após a secagem em estufa.

Material e Métodos

Localização espacial e obtenção de amostras

Foram avaliadas duas estufas de secagem de madeira atuantes sob tábuas de pinus com espessuras nominais de 27 mm e 42 mm, destinadas à confecção de molduras. As molduras serão produzidas por meio de peças clears (sem defeitos) unidas por meio de ligação finger joint. Cada estufa possui capacidade para secagem de 100 m³.

Após a condução do processo de secagem, foram retiradas três tábuas de cada pilha de madeira, amostradas na base, meio e topo da pilha. Cada estufa continha 45 pilhas (Figura 1A), sendo organizadas em código no formato “XYZ” onde “X” representa a profundidade da estufa, contendo três pilhas de profundidade. “Y” representa a distribuição lateral das pilhas, sob observação frontal da estufa, com as portas abertas, contendo cinco pilhas de largura (Figura 1B). Por fim, “Z” indica a posição longitudinal das pilhas, contendo três camadas de altura

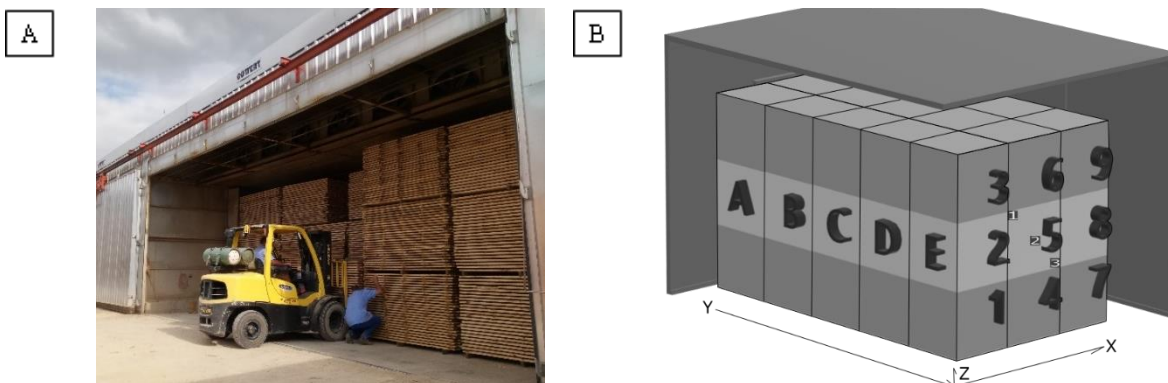


Figura 1. A: Equipamento utilizado para secar as tábuas de pinus e B: Amostragem realizada no interior da estufa de secagem. Em que: “X” representa a profundidade da estufa; “Y” representa a largura da estufa; “Z” a variação longitudinal da estufa; e “1, 2 e 3” representa a amostragem realizada nas tábuas para avaliar cada pilha de secagem.

Determinação do teor de umidade da madeira

Cada pilha contribuiu com 3 tábuas para a amostragem, destas foram retiradas duas amostras, com cinco cm cada, desprezando 30 cm dos topos, conforme metodologia descrita por Wallis (1970). Assim cada estufa forneceu cerca de 270 amostras para a análise, preparadas e medidas no Laboratório de Secagem da Madeira DETF-UFPR. A massa das amostras foi obtida em balança eletrônica digital, com precisão de 0,01g. Em seguida essas foram secas em estufa a $103 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, até massa constante, possibilitando nova medição de massa e consequente determinação do teor de umidade conforme Equação (1).

$$TU = \frac{(Mu - Ms)}{Ms} * 100 \quad (1)$$

Onde: TU = Teor de umidade (%); Mu = Massa úmida da amostra (g); Ms = Massa seca da amostra (g)

Tabela 1. Distribuição do teor de umidade das tábuas de pinus nos diferentes eixos da estufa e nas pilhas de secagem.

Eixo da estufa	Espessura (mm)	Posição na estufa				
		Frente		Meio	Fundo	
X	27	10,52 ^{ns}		10,73 ^{ns}	10,50 ^{ns}	
	42	13,19 ^{ns}		13,56 ^{ns}	13,58 ^{ns}	
Y	27	A	B	C	D	E
	42	9,96 ^c	10,09 ^c	10,63 ^{bc}	10,8 ^{ab}	11,45 ^a
Z	27	Base		Meio	Topo	
	42	10,40 ^b		10,45 ^{ab}	10,92 ^a	
		Pilha de Secagem				
Variação Longitudinal	27	Base		Meio	Topo	
	42	10,32 ^b		10,92 ^a	10,52 ^{ab}	
		13,02 ^b		14,24 ^a	13,06 ^b	

Em que: X representa a profundidade da estufa; Y a largura da estufa; e Z a variação longitudinal da estufa. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente à 5% significado pelo teste de Tukey. ns: não significativo.

Discussão

Os teores médios de umidade das tábuas de pinus após a secagem variaram entre 9 e 14% (Tabela 1). Aparentemente é uma baixa variação para a produção de tábuas de pinus. No entanto, a variação obtida na secagem das tábuas é um problema para a industrialização, principalmente na posterior ligação dos *clears*, formando as junções dentadas ou *fingerjoint* entre peças. Estas variações entre *clears* podem resultar em instabilidade dimensional e possivelmente em empenamentos nos produtos finais.

Grupamentos e análise

O teor de umidade final (TUF) de cada tábua refere-se à média do valor das duas amostras oriundas da mesma peça, assim o TUF médio da pilha refere-se à média das 3 tábuas nela contidas. Os dados de TUF médio da secagem foram agrupados distintamente para os equipamentos, conforme espessura das tábuas sob secagem. A distribuição do TUF das pilhas, nos três eixos da estufa foi avaliada bem como a variação do TUF das tábuas nas diferentes posições dentro das pilhas. Os resultados foram analisados conforme os agrupamentos via software estatístico *PAST*, gerando as médias e suas diferenças estatísticas através do teste de Tukey.

Resultados

Os resultados da distribuição espacial do teor de umidade das pilhas com tábuas de pinus, com as espessuras de 27 e 42 mm, estão apresentados na Tabela 1.

Os valores do teor de umidade das tábuas, em geral estão abaixo da umidade de equilíbrio da madeira na maioria das cidades no Brasil e refletem uma boa condução da secagem nos equipamentos. Elustondo et al. (2010) aponta que estes podem variar entre 5 e 25% conforme a composição das cargas, reiterando a importância da uniformidade destas.

A distribuição do teor de umidade final (TUF) no interior do equipamento demonstrou homogeneidade na distribuição das pilhas entre as diferentes camadas de profundidade (Eixo X), não diferindo significativamente nas duas classes de

espessura das tábuas avaliadas. (Tabela 1). Estes valores demonstram boa condição de secagem, com adequada passagem do ar entre as pilhas e conseqüentemente retirada da água liberada da madeira. Resultado diferente é relatado por Zadin et al. (2015), sugerindo que haja uma verificação de gradiente crescente de TUF no sentido do fluxo de ar. Este comportamento não foi observado provavelmente por conta do fluxo reversível da circulação de ar, presente nos equipamentos avaliados. Assegurando, nesse estudo, a não ocorrência de variações estatisticamente significativas do TUF entre as pilhas de secagem localizadas na frente, meio ou fundo das estufas de secagem.

A distribuição entre as diferentes alturas das camadas de pilhas de tábuas (Eixo Z) apresentou homogeneidade na distribuição do TUF para as peças com 42 mm. Por outro lado, as tábuas de 27 mm apresentaram diferença significativa no TUF, tendo as pilhas localizadas nas alturas mais elevadas maiores valores. Este fato pode refletir a maior sensibilidade das tábuas mais finas com a aplicação do programa de secagem, como, por exemplo, durante a aspersão da água, que ocorre em maior intensidade exatamente na região alta da estufa e a troca no direcionamento da velocidade do ar, que transporta a água retirada da madeira.

O eixo horizontal da estufa (Y) apresentou variação significativa entre as camadas de pilhas (Tabela 1). Na secagem das tábuas de 27 e de 42 mm as pilhas localizadas próximas da parede da estufa, no lado “E”, apresentaram maiores TUF. Estes resultados podem indicar inadequada ventilação na região e conseqüentemente não arraste da água retirada na secagem. Sob a ótica da dinâmica do transporte de massa e transferências de calor, estes resultados provavelmente expressam regiões onde o ar circulou com menor velocidade ou temperatura. Dentre os fatores causadores prováveis dentro de uma estufa de secagem, podem-se cogitar, o fechamento inadequado dos defletores, a ocorrência de espaço excessivo entre as pilhas de madeira, bem como, espaços inadequados entre pilhas e paredes. Ao observar o lado “A”, local igualmente próximo à parede da estufa e oposto ao “E”, tal comportamento não foi verificado, apresentando secagem homogênea e semelhante ao centro da estufa, principalmente nas tábuas de 27 mm.

A distribuição média do TUF das tábuas dentro das pilhas demonstrou variação significativa conforme sua inserção longitudinal (Tabela 1). Para ambas as espessuras de tábuas os menores TUF foram encontrados nas tábuas localizadas na base das pilhas de secagem, enquanto os maiores teores de umidade final foram observados no meio das pilhas de secagem. Este comportamento pode mais uma vez estar fortemente atrelado com o fluxo do ar, uma vez que as maiores velocidades de circulação

estarão presentes nos maiores espaços (Vikberg et al. 2015). Estes maiores espaços são decorrência da inserção de pontaletes ou separadores de carga, utilizados para separar as pilhas e facilitar o processo de carregamento. Por conseqüência, as tábuas do topo e da base das pilhas apresentaram menores teores de umidade final. Todavia, conforme as particularidades dos programas de secagem, essa menor umidade pode não ser um fator positivo, uma vez que as condições mais severas às quais estão submetidas podem favorecer o aparecimento de defeitos

Os TUF médios encontrados nas tábuas refletem uma secagem adequada para utilização em produtos de maior valor agregado, porém ainda podem ser tomadas medidas para obter maior homogeneidade no TUF das tábuas. Tais medidas podem evitar a secagem excessiva ou insuficiente das peças e estão relacionadas ao dimensionamento adequado dos tabiques e pontaletes, a melhor distribuição das pilhas no interior da estufa, a melhor precisão na coleta de dados dos sensores de umidade e a melhor disposição dos defletores, principalmente nas paredes laterais

Conclusões

A partir dos dados obtidos nas estufas estudadas conclui-se que:

- As estufas realizaram a secagem das tábuas de maneira adequada.
- A disposição espacial das pilhas e tábuas afetou a umidade final, principalmente no sentido horizontal paralelo a porta (eixo y) para pilhas, e no sentido longitudinal em relação à localização das tábuas.
- Não foi observada diferença significativa do TUF conforme a profundidade de inserção das pilhas nas estufas.
- Ocorreu influência do posicionamento vertical das pilhas no TUF das peças de pinus.
- Existe influência do posicionamento horizontal das pilhas no TUF das tábuas.
- A diferença de valores de TUF, conforme suas localizações, se mostrou mais significativa em peças de menor dimensão.

Agradecimentos

Sinceros agradecimentos às instituições: Moldurarte, Fundação Araucária, FUPEF e UFPR pelo fornecimento de estrutura, recursos e acesso à informação. Os autores gostariam de agradecer também aos integrantes do Laboratório de Secagem da madeira DETF-UFPR.

Referências

- Batista DC, Klitzke RJ, Da Rocha MP, Batista TR (2016) Ensaio de taxa de secagem e escore de defeitos para a predição da qualidade da secagem convencional da madeira de *Eucalyptus* sp.–parte 2. *Floresta e Ambiente*, 23(1): 135-141. doi: 10.1590/2179-8087.046613
- Dittmann RL, Souza JT, Talgatti, M, Baldin T, Menezes WM (2017) Métodos de empilhamento e qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus dunnii* e *Araucaria angustifolia* após secagem ao ar livre. *Scientia Agraria Paranaensis*, 16(2): 260–264. doi: 10.18188/1983-1471/sap.v16n1p260-264
- Elustondo DM, Oliveira L, Avramidis S (2010) New methodology to optimize sorting in wood drying. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 12(2): 79-91. doi: 10.4067/S0718-221X2010000200003
- Engelund ET, Thygesen LG, Svensson S, Hill CAS (2013) A critical discussion of the physics of wood–water interactions. *Wood Science and Technology*, 47(1): 141-161. doi: 10.1007/s00226-012-0514-7
- FAO. Visualize data on FAOSTAT; Roundwood & Sawnwood. [cited 2019 mai. 20]. Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO/visualize>.
- Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1): 9pp.
- IBÁ. Relatório Indústria Brasileira de Árvores 2017. [cited 2019 mai. 20]. Available from: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/pdf/iba-relatorioanual2017.pdf>.
- Kollmann FFP, Côté WA (1968) *Principles of Wood Science and Technology*. 1st Edition. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 592p.
- Liebl OA, Loiola PL, Zen LR, Klitzke RJ, Rocha MP da (2017) Influência dos Parâmetros Dimensionais da Pilha na Qualidade da Madeira de *Eucalyptus* spp. Submetida à Secagem ao Ar. *Floresta e Ambiente*, 24 (e00105514): 1-10. doi: 10.1590/2179-8087.105514
- Monteiro TC, Lima JT, Hein PRG, Silva JRM, Trugilho, PF, Andrade HB (2017) Efeito dos elementos anatômicos da madeira na secagem das toras de *Eucalyptus* e *Corymbia*. *Scientia Forestalis*, 45(115): 493-505. doi: 10.18671/scifor.v45n115.07
- Oliveira L, Elustondo D, Mujundar A, Ananias R. (2012) Canadian developments in kiln drying. *Drying Technology*, 30(15): 1792-1799. doi: 10.1080/07373937.2012.708003
- Siau JF (1971). *Flow in wood*. 1st Edition. New York: Syracuse University Press. 131p.
- Vikberg T, Hägg L, Elustondo D (2015). Influence of fan speed on airflow distribution in a batch kiln. *Wood Material Science & Engineering*, 10(2): 197–204. doi: 10.1080/17480272.2014.995703
- Wallace J, Avramidis S (2016) Impact of airflow on hem-fir kiln drying. *Drying Technology*, 34 (11): 1354–1358. doi: 10.1080/07373937.2015.1114950
- Wallis NK (1970) *Australian timber handbook*. 3rd Edition. Sydney: Halstead Press. 407p.
- Zadin V, Kasemägi H, Valdna V, Vigonski S, Veske M, Aabloo A (2015) Application of multiphysics and multiscale simulations to optimize industrial wood drying kilns. *Applied Mathematics and Computation*, (26): 465–475. doi: 10.1016/j.amc.2015.01.104
- Zanuncio AJV, Carvalho AG, Silva LF, Lima JT, Trugilho PF, Silva JRM. (2015) Predicting moisture content from basic density and diameter during air drying of *Eucalyptus* and *Corymbia* logs. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 17 (2): 335-344. doi: 10.4067/S0718-221X2015005000031