

## USO DE SECADOR SOLAR PARA SECAGEM DE *Pinus* sp.

Loci Alisson Busatto<sup>1</sup>, Rômulo Trevisan<sup>2</sup>, Nayan Luiz Martins<sup>3</sup>, Alex Haubert Pilger<sup>4</sup>

**Resumo:** Este estudo teve como objetivo comparar o uso do secador solar com a secagem ao ar livre em relação ao teor de umidade final e qualidade da madeira seca de *Pinus* sp. Para elaboração do trabalho, construiu-se um secador com coletor solar externo, sendo a câmara de secagem constituída basicamente de uma estrutura de madeira maciça e chapas de compensado e o coletor solar de arcos de ferro, pedra britada e plástico PVC (policloreto de vinila). Os dois métodos testados no estudo receberam uma carga com 36 tábuas cada, sendo o período de secagem de 39 dias para ambos. Para a avaliação da qualidade de secagem, os defeitos analisados e quantificados, antes e após a secagem, foram as rachaduras de topo e empenamentos (arqueamento, encanoamento e encurvamento). Os resultados obtidos mostraram que, quando comparado com a secagem ao ar livre, o secador solar não foi superior em eficiência, visto que a taxa de secagem foi semelhante para ambos os métodos. Quanto à qualidade, o defeito encurvamento na secagem ao ar livre e o arqueamento na estufa solar apresentaram diferença significativa entre as avaliações realizadas antes e após a secagem.

**Palavras-chave:** Teor de umidade; taxa de secagem; qualidade da madeira.

## USE OF SOLAR KILN FOR DRYING *Pinus* sp.

**Abstract:** This study aimed to compare the use of solar kiln with open air drying as regards the final moisture content and the quality of dry wood of *Pinus* sp. In order to do the experiment, an external solar collector dryer was built, having a drying chamber basically consisting of a frame of solid wood and plywood and with a solar collector made of iron arches, gravel and plastic PVC (polyvinyl chloride). Both methods tested in the study received a load of 36 boards and the drying time of 39 days each. To assess the quality of

---

<sup>1</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Florestal, Centro de Educação Superior Norte do RS, Universidade Federal de Santa Maria, BR386 Km40, Linha 7 de Setembro, CEP 98.400-000, Frederico Westphalen, (RS).

<sup>2</sup> Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal, Centro de Educação Superior Norte do RS, Universidade Federal de Santa Maria, BR386 Km40, Linha 7 de Setembro, CEP 98.400-000, Frederico Westphalen, (RS).

<sup>3</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Florestal, Centro de Educação Superior Norte do RS, Universidade Federal de Santa Maria, BR386 Km40, Linha 7 de Setembro, CEP 98.400-000, Frederico Westphalen, (RS).

<sup>4</sup> Engenheiro Florestal, Técnico Agropecuário na Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus de Laranjeiras do Sul, CEP 85303-160, Laranjeiras do Sul (PR).

drying, the defects of top cracks and warping (arching, cupping and bending) were analyzed and quantified before and after drying. The results showed that, when compared with open air, solar kiln drying was not that efficient, since the drying rate was similar for both methods. Concerning quality, the defects of bending in open air and of arching in solar kiln were significantly different when comparing the evaluations done before and after the drying.

**Keywords:** Moisture content; drying rate; wood quality.

## 1 INTRODUÇÃO

A madeira sempre ocupou lugar de destaque dentre os vários materiais utilizados pelo homem, justificando a constante busca de conhecimento e aprimoramento dos diversos processos que envolvem a industrialização desse material, com vistas a aperfeiçoar sua utilização e aproveitamento (ANDRADE et al., 2001; ROSSO, 2006)

Na industrialização da madeira, Jankowski; Henriquez (1983) e Severo (2000) descrevem a secagem como sendo um elemento essencial que deve ser associado ao processamento da madeira sólida, visto que a remoção de umidade até um teor adequado resultará em um produto final de qualidade. Para Andrade et al. (2001) e Batista (2009), a secagem proporciona, dentre outras vantagens, melhoria das características de trabalhabilidade e redução do risco de ataque de agentes biodeterioradores.

Os métodos tradicionais de secagem apresentam vantagens e desvantagens particulares que os caracterizam. A secagem ao ar livre, por exemplo, possui baixo custo inicial, mas se processa em um período de tempo relativamente longo e o teor de umidade final dificilmente atinge índices abaixo da umidade de equilíbrio do ambiente (BOND, 2006; PLUMPTRE, 1979). Já as estufas convencionais reduzem significativamente o tempo de secagem por apresentarem controle total das variáveis ambientais, porém possuem custos elevados de implantação e manutenção o que, em certos casos, restringe o seu emprego para a produção em pequena e média escala (SANTINI, 1981; STANGERLIN, 2009).

Na tentativa de minimizar a problemática dos métodos tradicionais de secagem, por volta de 1958, alguns cientistas do Laboratório de Produtos Florestais de Madison nos Estados Unidos se mostraram otimistas com a possibilidade de empregar a energia solar para a secagem de madeira em estufa (SANTINI, 1981). Atualmente, várias pesquisas estão sendo realizadas em todo o mundo, inclusive no Brasil, principalmente na região Norte, com objetivo de aperfeiçoar essa metodologia quanto aos processos construtivos e de funcionamento (STANGERLIN, 2009).

Dessa forma, os secadores solares podem ser classificados em duas categorias: modelos com coletor solar interno ou externo à câmara de secagem (BAUER, 2003). Os secadores com coletor externo são constituídos basicamente de uma câmara de secagem e de um sistema de aquecimento do ar com energia solar, o qual fica separado da estrutura da estufa, sendo que a conexão entre as partes ocorre por meio de dutos que transferem o ar aquecido do coletor para o interior da câmara.

A literatura apresenta alguns estudos com utilização de secador solar na região sul do Brasil. Santini (1981) avaliou a secagem de canela preta (*Ocotea catharinensis* Mez) e Stangerlin (2009) a secagem de três espécies do gênero *Eucalyptus*, sendo que ambos os autores obtiveram resultados satisfatórios na comparação dessa metodologia com a secagem ao ar livre. Entretanto, cabe ressaltar que não foram encontrados estudos referentes ao secador solar com coletor externo na secagem de *Pinus* sp.

Sendo assim, o objetivo do estudo foi desenvolver um secador solar para a secagem de *Pinus* sp., com base em modelos já existentes, comparando os resultados com aqueles obtidos na secagem ao ar livre no que se refere ao teor de umidade final, taxa de secagem e qualidade da madeira seca.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Coleta e preparo das tábuas**

A madeira utilizada neste estudo foi cedida pela empresa Madeireira Irmãos Klein, localizada na RS 150 Km 10, no município de Caiçara - RS. As tábuas foram obtidas por meio do desdobro de toras de *Pinus* sp. em serra-fita, utilizando o sistema de cortes tangenciais, sendo que as peças apresentaram dimensões nominais de 2,5 cm x 25,0 cm x 275 cm (espessura, largura e comprimento, respectivamente).

### **2.2 Construção do secador solar**

Para a realização da secagem foi construído, um secador solar modelo coletor externo, com capacidade para aproximadamente 0,8 m<sup>3</sup> de madeira serrada (Figura 1), nas dependências do Centro de Educação Superior Norte – RS (CESNORS/UFSM) campus de Frederico Westphalen.



**Figura 1.** Secador solar utilizado no estudo (A); vista interna do coletor (B); vista interna do secador (C).

**Figure 1.** Solar kiln used in the study (A); internal view of the collector (B); internal view of the dryer (C).

A confecção da câmara de secagem iniciou-se com a construção de uma estrutura em madeira com as seguintes dimensões: 3,0 m de comprimento, 1,2 m de largura e 1,0 m de altura, apoiada sobre oito moirões, com elevação de 70,0 cm do solo, a qual foi revestida por chapas de compensado com 1,0 cm de espessura, com exceção do assoalho que foi confeccionado com chapas de 3,0 cm de espessura.

Objetivando um isolamento térmico eficiente, as paredes e o teto da câmara de secagem foram revestidos de isopor com 5,0 cm de espessura e, posteriormente, uma camada de lona preta foi aplicada em todo o interior da câmara, inclusive no assoalho, que por ser confeccionado com chapa compensada de grande espessura, não foi revestido com isopor.

Para o processo de carga e descarga, bem como para a retirada das amostras de controle para pesagem, foi construída uma abertura em uma das laterais da câmara de secagem, a qual possuía a dimensão de 1 m x 3 m (altura x largura).

Com base no modelo utilizado por Martins et al. (2002), o coletor solar foi construído com plástico PVC (policloreto de vinila) de 100  $\mu$ , apoiado sobre uma estrutura confeccionada com arcos de ferro presos ao solo, sendo colocado sobre o leito de dimensão 10,0 m x 0,8 m (comprimento x largura) uma camada de pedra britada e lona preta para atuarem como absorvedores de energia solar.

O coletor solar foi conectado à câmara de secagem por tubulação de PVC com 100 mm de diâmetro, sendo que para forçar a condução do ar quente foi utilizado um ventilador centrífugo com 30,0 cm de diâmetro, movido por um motor elétrico monofásico de 1 CV e 1745

RPM, o qual estava fixado na extremidade do coletor. Para permitir a retirada do ar saturado do interior da câmara de secagem, foram abertas três saídas com 10 cm de diâmetro cada.

No acionamento do ventilador foi utilizado um controlador de temperatura, o qual ligava o equipamento quando o interior do coletor atingia 54°C, desligando-o quando a temperatura baixava para 51,5°C. A temperatura de controle utilizada foi alta devido ao fato do experimento ter sido realizado durante o verão, período em que, facilmente, o interior do coletor ultrapassava os 55°C, sendo assim o ventilador permanecia ligado por, aproximadamente, 10 horas por dia.

### 2.3 Secagem em secador solar e ao ar livre

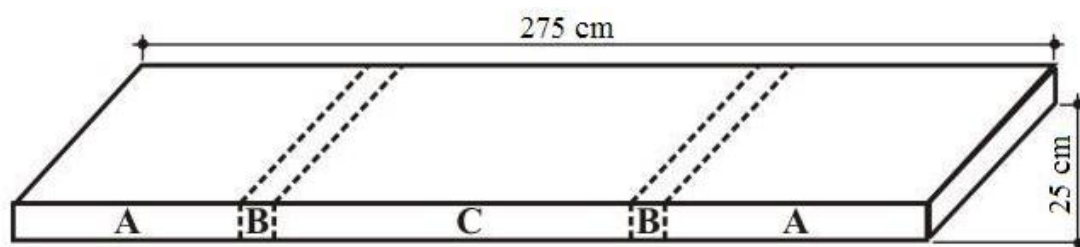
As secagens em secador solar e ao ar livre das tábuas de *Pinus* sp. tiveram início no dia 25 de novembro de 2011 e término no dia 04 de janeiro de 2012. Cada método de secagem utilizou uma carga de madeira formada por 36 tábuas, totalizando 72 tábuas em estudo.

Para ambos os métodos de secagem as tábuas foram dispostas de maneira a formarem uma pilha constituída de três colunas e doze camadas, inclusas as amostras de controle que foram alocadas na sétima camada. Para a separação de cada camada foram utilizados cinco tabiques, com dimensões de 2,5 x 2,5 x 100,0 cm (espessura, largura e comprimento, respectivamente), dispostos a uma distância de 63,0 cm.

A secagem ao ar livre foi realizada a uma distância aproximada de 12,0 m do secador solar, sendo o local escolhido sem obstáculos à ventilação e com boa drenagem. Nesse método as tábuas foram empilhadas sobre uma estrutura de madeira com elevação de 40,0 cm do solo. Para minimizar a incidência de raios solares e precipitações a pilha de madeira foi coberta com duas telhas de fibrocimento com 6,0 mm de espessura.

### 2.4 Determinação do teor de umidade inicial e corrente

Para a determinação do teor de umidade foram selecionadas, aleatoriamente, seis tábuas (três em cada processo de secagem), sendo cada peça seccionada transversalmente em cinco partes, conforme a Figura 2.



A = Descarte

B = Subamostras para determinação do teor de umidade inicial

C = Amostra de controle para determinação do TU durante a secagem

**Figura 2.** Confecção das subamostras e amostras de controle.  
**Figure 2.** Making the control samples and subsamples.

O procedimento de secção das tábuas gerou um total de doze subamostras de 150,0 cm de comprimento, as quais foram imediatamente pesadas em balança de precisão de 0,01 g e submetidas à secagem em secador à 103°C até peso constante. Utilizando a Equação 1 determinou-se o teor de umidade inicial de cada amostra de controle, mediante a média aritmética das duas subamostras (SEVERO, 2000).

$$TU_i = \frac{P_i - P_o}{P_o} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:  $TU_i$  = teor de umidade inicial da subamostra (%);  $P_i$  = peso inicial da subamostra (g);  $P_o$  = peso seco da subamostra em secador a 103 °C (g).

O teor de umidade corrente da carga foi determinado com base na Equação 2, sendo que o peso atual foi obtido através da pesagem, a cada dois dias, das seis amostras produzidas a partir do processo de secção das tábuas.

$$TU_c = \frac{P_a(TU_i + 100)}{P_u} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:  $TU_c$  = teor de umidade corrente da carga (%);  $TU_i$  = teor de umidade inicial da amostra (%);  $P_a$  = peso atual da amostra (g);  $P_u$  = peso inicial da amostra (g).

## 2.5 Determinação da taxa de secagem

A determinação da taxa média de secagem para cada método foi calculada por meio da Equação 3, conforme descrito por Stangerlin et al. (2009).

$$T_s = \frac{TU_i - TU_f}{t} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:  $T_s$  = taxa de secagem (%/dia);  $TU_i$  = teor de umidade inicial (%);  $TU_f$  = teor de umidade final (%);  $t$  = tempo de secagem (dias)

## 2.6 Avaliação dos defeitos

As tábuas foram analisadas e quantificadas quanto à presença de defeitos em duas fases distintas, a primeira logo após o desdobro, e a segunda após o término da secagem, sendo

avaliados os seguintes defeitos: rachaduras de topo e empenamentos (arqueamento, encanoamento e encurvamento).

A análise dos defeitos foi realizada individualmente em todas as tábuas, utilizando uma régua graduada de precisão milimétrica para a mensuração das rachaduras de topo e um paquímetro analógico para medir os empenamentos. Para quantificação dos defeitos foi utilizada a metodologia apresentada por Rocha (2000) e Stangerlin (2009), sendo que os defeitos avaliados foram:

#### a) *Empenamentos*

O encurvamento e arqueamento foram quantificados em relação ao comprimento total da tábua utilizando a Equação 4.

$$I_{ea} = \frac{X}{L} \quad \text{(Equação 4)}$$

Em que:  $I_{ea}$  = Índice de encurvamento ou arqueamento (mm/m);  $x$  = flecha de curvatura da peça (mm);  $L$  = comprimento da tábua (m).

Da mesma forma, o índice de encanoamento (mm/m) foi calculado pela equação anterior, porém utilizando o  $L$ , nesse caso, como sendo a largura da tábua (m).

#### b) *Rachaduras*

As rachaduras de topo foram quantificadas considerando-se o somatório do comprimento de cada rachadura da peça, sendo definida pela Equação 5:

$$IRT = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{L} \times 100 \quad \text{(Equação 5)}$$

Em que:  $IRT$  = índice de rachaduras de topo (%);  $l_1 + l_2 + \dots + l_n$  = comprimento individual das rachaduras (mm);  $L$  = comprimento total da peça (mm).

## 2.7 Análise estatística dos dados

Para a análise do efeito do método de secagem na ocorrência de defeitos, os dados amostrados em cada tábua foram submetidos à análise de variância pelo delineamento inteiramente casualizado (DIC) e, no caso de rejeição da hipótese de igualdade entre tratamentos, ao teste de médias (Diferença Mínima Significativa – DMS,  $\alpha = 5\%$ ) utilizando o pacote estatístico *Statgraphics Plus*.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Taxa e curva de secagem

Devido ao fato da espécie utilizada no estudo ser uma conífera de fácil secagem e do experimento ter sido realizado no verão, período em que as condições atmosféricas são mais favoráveis à secagem, foi possível obter baixo teor de umidade final. A Tabela 1 apresenta o teor de umidade inicial e final, tempo e taxa média de secagem para a espécie de *Pinus* sp. submetida à secagem em secador solar e ao ar livre.

**Tabela 1.** Teor de umidade, tempo e taxa média de secagem para *Pinus* sp.

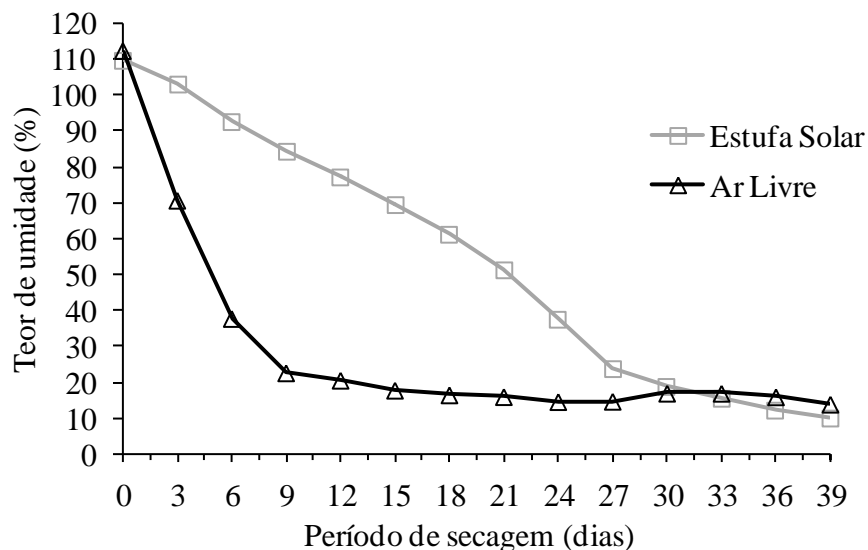
**Table 1.** Moisture content, time and the average drying rate for *Pinus* sp.

Método de secagem	TU <sub>i</sub> (%)	TU <sub>f</sub> (%)	Ts (%/dia)	t (dias)
Ar Livre	112,0	13,8	2,52	39
Secador Solar	109,7	9,9	2,56	39

Em que: TU<sub>i</sub> = teor de umidade inicial; TU<sub>f</sub> = teor de umidade final; Ts = taxa média de secagem; t = tempo de secagem.

A taxa média de secagem foi semelhante para as duas metodologias avaliadas, sendo de 2,52 %/dia ao ar livre e de 2,56 %/dia em secador solar. Deve-se salientar que essa variação não corrobora com a literatura, pois autores como Santini (1981) e Stangerlin (2009) destacaram que por mais simples que seja a construção do secador solar o mesmo deveria apresentar uma taxa de secagem no mínimo duas vezes mais rápida que a verificada ao ar livre.

A Figura 3 apresenta a variação da secagem para ambos os métodos avaliados na qual se observa uma rápida redução no teor de umidade no início da secagem ao ar livre.



**Figura 3.** Curva de secagem em secador solar e ao ar livre para *Pinus* sp.



**Figure 3.** Drying curve in solar kiln and outdoors for *Pinus* sp.

Ao analisar as curvas de secagem para *Pinus* sp. (Figura 3), verifica-se que a perda de umidade em secador solar ocorreu de maneira quase que linear, variação diferente ao verificado na secagem ao ar livre, que ao nono dia já apresentava teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras (30%). É interessante observar que a tendência de decréscimo do teor de umidade das tábuas no secador solar apresentou uma aceleração a partir do décimo oitavo dia de secagem, devido ao aumento da temperatura do ambiente nesse período e, conseqüentemente, no coletor solar.

Entretanto, com base na análise da curva de secagem apresentada na Figura 3, pode-se observar que o secador solar teve problemas na construção, principalmente com a retirada de umidade do interior da câmara de secagem, visto que no início da secagem foi observada a existência de água condensada nas paredes internas da câmara. Conforme Santini (1981) a eliminação da umidade que evapora da madeira é um ponto crítico a ser considerado no planejamento de um secador solar, visto que as aberturas confeccionadas para esta finalidade não têm se mostrado muito eficiente.

Outro fator que possui influência na secagem e retirada da umidade do interior da câmara de secagem é o sistema de ventilação, o qual faz com que o ar aquecido circule pela pilha de madeira de maneira uniforme e posteriormente seja eliminado pelas aberturas de renovação de ar. O dimensionamento do sistema de ventilação exige alguns cuidados, pois a circulação excessiva do ar gera desperdício de energia e resulta em temperaturas frias, ocasionando uma secagem lenta, e, quando insuficiente, pode resultar em baixa uniformidade no teor de umidade da pilha, além de aumentar o tempo de secagem.

Outros fatores, tais como o dimensionamento dos dumpers para saída do ar saturado e a ausência de defletores para homogeneizar a distribuição do ar quente através das pilhas, também podem ter contribuído para a baixa eficiência do secador.

### **3.2 Qualidade da madeira**

#### *3.2.1 Rachaduras de topo*

A Tabela 2 apresenta o percentual de peças defeituosas e o índice de rachaduras de topo médio nas duas fases de avaliação (após o desdobro e após a secagem) para a madeira de *Pinus* sp. submetida aos dois diferentes métodos de secagem.

**Tabela 2.** Percentual de peças defeituosas e índice de rachaduras de topo médio para *Pinus* sp.

**Table 2.** Percentage of defective parts and index of crack of medium top for *Pinus* sp.

Interação	Método de secagem	Avaliação	% defeito	IRT médio
1	Ar Livre	Após desdobro	3,0	0,99 a <sup>1</sup>
	Ar Livre	Após secagem	18,2	2,53 a
2	Secador Solar	Após desdobro	6,1	1,74 a
	Secador Solar	Após secagem	12,1	1,97 a
3	Ar Livre	Após secagem	15,2	1,54 a
	Secador Solar	Após secagem	6,0	0,23 a

Em que: IRT= Índice de rachaduras de topo (%); <sup>1</sup> Médias seguidas por letras iguais, dentro de cada interação, não diferem significativamente entre si (DMS,  $\alpha = 5\%$ ).

Na primeira interação verificou-se que as tábuas submetidas à secagem ao ar livre apresentavam apenas 3,0% de defeito após o desdobro, percentual que passou para 18,2% ao término da secagem. Já na segunda interação o aumento de peças defeituosas foi menor, sendo de 6,1% após o desdobro e de 12,1% após a secagem.

Na terceira interação testou-se a ocorrência de rachaduras de topo após a secagem, sendo possível verificar que entre os métodos estudados, o secador solar foi o que apresentou menor percentagem de peças defeituosas, sendo de 12,1%, contra 18,2% da secagem ao ar livre.

Além de um maior percentual de tábuas defeituosas, a secagem ao ar livre também ocasionou um maior índice de rachadura de topo médio (IRT). Porém, mediante as análises de variância, não houve diferença ao nível de 5% de probabilidade de erro quanto ao acréscimo do IRT em função dos métodos de secagem para a espécie de *Pinus* sp (Tabela 2).

A possível explicação para a maior porcentagem de peças com rachaduras de topo no método ar livre está relacionada com a elevada taxa de secagem no início do processo, fato que causa a rápida secagem da superfície em relação ao centro das peças favorecendo o surgimento de rachaduras. Uma alternativa para reduzir o IRT é a impermeabilização dos topos das peças, para que a retirada de água seja mais lenta, reduzindo, assim, o gradiente de umidade entre o centro e a extremidade das tábuas (SIMPSON, 1991).

A quantificação de defeitos provenientes da secagem ao ar livre de *Pinus* sp. também foi realizada por Gatto et al. (2003) os quais encontraram, em três diferentes serrarias, a percentagem de 30%; 33% e 22% de peças com rachaduras de topo em cada uma das empresas estudadas, sendo que as duas primeiras utilizavam o empilhamento tipo tesoura e a terceira utilizava o tipo gaiola. A maior ocorrência de rachaduras nas empresas que utilizavam o empilhamento do tipo tesoura se deve possivelmente ao fato de que nesse método a parte superior da peça seca mais rápido que a inferior, sendo que a maior velocidade de secagem pode causar rachaduras (MARTINS, 1988).

### 3.2.2 Arqueamento

A Tabela 3 apresenta o percentual de peças arqueadas, bem como o índice de arqueamento médio (A) resultante do processo de secagem em secador solar e ao ar livre.

**Tabela 3.** Percentual de peças defeituosas e índice de arqueamento médio para *Pinus* sp.  
**Table 3.** Percentage of defective parts and arching medium index for *Pinus* sp.

Interação	Método de secagem	Avaliação	% defeito	A médio
1	Ar Livre	Após desdobro	57,6	0,25 a <sup>1</sup>
	Ar Livre	Após secagem	66,7	0,42 a
2	Secador Solar	Após desdobro	60,6	0,37 a
	Secador Solar	Após secagem	55,5	0,17 b
3	Ar Livre	Após secagem	9,1	0,17 a
	Secador Solar	Após secagem	5,1	0,20 b

Em que: A= Índice de arqueamento (mm/m); <sup>1</sup> Médias seguidas por letras iguais, dentro de cada interação, não diferem significativamente entre si (DMS,  $\alpha = 5\%$ ).

Dentre os métodos de secagem estudados, a maior percentagem do defeito arqueamento foi obtida na secagem ao ar livre ao final do processo, a qual apresentou 66,7% das peças com defeito, sendo verificada nessa fase uma elevação da percentagem inicial que era de 57,6%. Resultado semelhante foi verificado por Goulart et al. (2003) na secagem de *Pinus taeda* ao ar livre, os quais verificaram 62,5% de peças arqueadas ao final do processo.

No secador solar houve uma redução de tábuas arqueadas, sendo a percentagem inicial de 60,6%, reduzindo para 55,5% ao término do processo de secagem. A flecha de arqueamento também apresentou redução, a qual, inicialmente, era de 0,37 mm/m, diminuindo para 0,17 mm/m após a secagem.

Cabe ressaltar ainda, na Tabela 3, a diferença ao nível de 5% de probabilidade de erro quanto à redução do índice de arqueamento, em função do período de avaliação e também quanto ao método de secagem utilizado, sendo que o secador solar ocasionou menor percentagem de arqueamento ao final do processo quando comparada à secagem ao ar livre.

### 3.2.3 Encanoamento

A Tabela 4 apresenta o percentual de peças encanoadas, bem como o índice de encanoamento médio (E) resultante do processo de secagem em secador solar e ao ar livre.

**Tabela 4.** Percentual de peças defeituosas e índice de encanoamento médio para a *Pinus* sp.  
**Table 4.** Percentage of defective parts and cupping medium index for *Pinus* sp.

Interação	Método de secagem	Avaliação	% defeito	E médio
1	Ar Livre	Após desdobro	18,2	0,05 a <sup>1</sup>
	Ar Livre	Após secagem	24,2	0,06 a
2	Secador Solar	Após desdobro	18,2	0,04 a
	Secador Solar	Após secagem	27,3	0,07 a
3	Ar Livre	Após secagem	6	0,01 a
	Secador Solar	Após secagem	9,1	0,03 a

Em que: E= Índice de encanoamento (mm/m); <sup>1</sup> Médias seguidas por letras iguais, dentro de cada interação, não diferem significativamente entre si (DMS,  $\alpha = 5\%$ ).

Inicialmente verificou-se, em ambas as cargas, a percentagem de 18,2% de peças defeituosas. No entanto, a madeira seca no secador solar obteve, ao término da secagem, 27,3% de peças encanoadas, valor superior ao verificado na secagem ao ar livre que obteve 24,2%. Porém, mediante a análise de variância, não houve diferença ao nível de 5% de probabilidade de erro quanto ao acréscimo no índice de encanoamento em função dos métodos de secagem para a espécie de *Pinus* sp (Tabela 4).

Para reduzir a ocorrência desse defeito são necessários alguns cuidados na elaboração da pilha de madeira, pois fatores como separadores de dimensões adequadas, uniformidade na espessura das tábuas, fundação firme e plana garantem um bom apoio das peças sobre os separadores durante o empilhamento e ajudam a reduzir a ocorrência de encanoamento, bem como outros tipos de empenos (MARTINS, 1988).

#### 3.2.4 Encurvamento

A Tabela 5 apresenta o percentual de peças encurvadas, bem como o índice de encurvamento médio (EV) resultante do processo de secagem em secador solar e ao ar livre.

**Tabela 5.** Percentual de peças defeituosas e índice de encurvamento médio para *Pinus* sp.  
**Table 5.** Percentage of defective parts and in curve medium index for *Pinus* sp.

Interação	Método de secagem	Avaliação	% defeito	EV médio
1	Ar Livre	Após desdobro	33,3	0,18 a <sup>1</sup>
	Ar Livre	Após secagem	15,2	0,05 b
2	Secador Solar	Após desdobro	36,4	0,17 a
	Secador Solar	Após secagem	21,2	0,07 a
3	Ar Livre	Após secagem	18,1	0,13 a
	Secador Solar	Após secagem	15,2	0,10 a

Em que: EV= Índice de encurvamento (mm/m); <sup>1</sup> Médias seguidas por letras iguais, dentro de cada interação, não diferem significativamente entre si (DMS,  $\alpha = 5\%$ ).

Em ambos os métodos estudados houve uma redução na percentagem de peças encurvadas após a secagem. Na secagem ao ar livre a quantidade de peças encurvadas após o desdobro representava 33,3% do total, reduzindo para 15,2% ao final do processo de secagem, sendo que, mediante a análise de variância para a primeira interação, houve diferença ao nível de 5% de probabilidade de erro quanto à redução no índice de encurvamento, em função dos métodos de secagem para a espécie de *Pinus* sp (Tabela 5).

Fatores como uniformidade nas dimensões das tábuas e o correto espaçamento e perfeito alinhamento dos tabiques, um verticalmente posicionado sobre o outro, colaboraram para a redução no percentual de peças encurvadas e no índice médio de encurvamento em ambos os métodos de secagem estudados.

#### 4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesse trabalho permitem as seguintes conclusões:

- O secador solar possui grande potencial para a secagem de madeiras, sendo que a construção e a operação do mesmo são relativamente simples. Entretanto, neste estudo o modelo confeccionado não se mostrou eficiente, uma vez que os resultados foram próximos aos verificados ao ar livre.
- A secagem ao ar livre apresentou teor de umidade final superior ao registrado no secador solar, porém a taxa média de secagem foi semelhante para as duas metodologias.
- Em ambos os métodos obteve-se tábuas de boa qualidade, visto que nas avaliações de defeitos realizadas antes e após as secagens foi verificada redução significativa no índice médio de encurvamento para a secagem ao ar livre e no defeito arqueamento no secador solar.

#### 5 REFERÊNCIAS

ANDRADE, A; JANKOWSKY, I.P.; DUCATTI, M.A. Grupamento de madeiras para secagem convencional. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 59, p. 89-99, jun. 2001.

BATISTA, D. C. **Qualidade da secagem convencional conjunta da madeira de nove clones do gênero *Eucalyptus***. 2009, 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

BAUER, K. **Development and optimisation of a low-temperature drying schedule for *Eucalyptus grandis* (Hill) ex Maiden in a solar-assisted timber dryer.** 2003. 178 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Fakultät Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim, Hohenheim, 2003.

BOND, B. **Design and Operation of a Solar-Heated Dry Kiln.** Virginia Tech, 2006. 10 p.

GATTO, D. A. Qualidade da madeira serrada na região da quarta colônia de imigração italiana do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 223-233, 2003.

GOULART, D. M.; ELEOTÉRIO, E. S. R.; VOIGTLAENDER, M.; LIMA, M. P.; ELEOTÉRIO, J. R. Comparação entre dois métodos de empilhamento na secagem ao ar de *Pinus taeda*. In: ENCONTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, II., 2003, Lages, Santa Catarina. **Anais...** Lages: UNIPLAC, 2003.

JANKOWSKY, I. P.; HENRIQUEZ E. Z. Gradiente de umidade e desenvolvimento de tensões da secagem artificial da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **IPEF**, Piracicaba, n.24, p.27-32, ago.1983.

MARTINS, R.R.; FRANCO, J.B.R.; OLIVEIRA, P.A.V.; GOMES, J.R.S.; FRANZOZI, C.D P. Secador de grãos com uso de energia solar. **Revista Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v.3, n.1, p. 29-35, 2002.

MARTINS, V. A. **Secagem de madeira serrada.** Brasília: Ministério da Agricultura, IBDF, Laboratório de Produtos Florestais, 1988. 52 p.

PLUMPTRE, R. A. Simple solar heated timber dryers: design, performance and commercial viability. **Commonwealth Forestry Review**, v. 58, n. 4, p. 243-251, 1979.

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como Fontes de Matéria Prima para Serraria.** 2000. 186f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

ROSSO, S. **Qualidade da madeira de três espécies de *Eucalyptus* resultante da combinação dos métodos de secagem ao ar livre e convencional.** 2006, 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

SANTINI, E. J. **Secagem de madeira serrada em estufa solar e sua comparação com os métodos convencionais.** 1981. 185f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1981.

SEVERO, E. T. D. Qualidade da secagem de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.10, n. 1, p. 109-124, 2000.

SIMPSON, W.T. **Dry kiln operator's manual.** Madison: U.S. Department of Agriculture, 1991. 274p.

STANGERLIN, D.M. **Avaliação do uso de estufa solar para secagem de madeira serrada de eucalipto.** 2009, 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

STANGERLIN, D.M.; SANTINI, E. J.; SUSIN, F.; MELO, R. R.; GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R. Uso de estufa solar para secagem de madeira serrada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 461-472, 2009.