

# **SECAGEM DE MADEIRA SERRADA EM ESTUFA SOLAR E SUA COMPARAÇÃO COM OS MÉTODOS CONVENCIONAIS.\***

Elio José Santini\*\*

## **SUMMARY**

*In this study was developed a solar kiln to dry sawn timber, built using a wooden structure covered with transparent plastic. The equipment performance was compared with the conventional drying kiln and air drying. It was observed the drying time, defects and drying costs.*

*Although a direct comparison of the results obtained in the solar kiln with those obtained in the other two systems is difficult, the solar drying time can be considered to be roughly 3 times shorter than air drying and 3 times longer than conventional kiln drying. In spite of the fact that drying seems to induce more degrade to the material, no significant difference was observed in the wood quality comparing the three drying conditions. The drying costs for the solar kiln was 60% lower than the air drying costs and 42% lower than that for the conventional kiln.*

*The results obtained in this study shown that solar drying is an good option, nevertheless there are still areas that it should be better investigated in order to maximize the efficiency of the equipment.*

## **1. INTRODUÇÃO**

Os métodos tradicionais de secagem apresentam indiscutivelmente vantagens e desvantagens. A secagem ao ar livre, apesar do baixo custo inicial, se processa num período de tempo relativamente longo e o teor de umidade final dificilmente atinge os níveis desejados. As estufas convencionais reduzem significativamente o tempo de secagem, porém com custos elevados, o que em certos casos restringe o seu emprego para a produção em pequena e média escala.

Na tentativa de minimizar estes inconvenientes, por volta de 1958 surgiram os primeiros estudos visando a utilização da energia solar para secar madeira em estufa. Desde então, as pesquisas sobre o assunto foram intensificadas em diferentes partes do mundo, inclusive no Brasil. Os resultados desses estudos indicam que o método poderia ser um meio eficiente particularmente em regiões onde, por razões climáticas, a secagem ao ar livre não é uma alternativa factível. Atualmente as investigações visam principalmente o aperfeiçoamento do método que utiliza uma fonte de energia natural e ilimitada.

O objetivo do presente estudo foi desenvolver uma estufa solar a partir de outras já existentes, e comparar os resultados da secagem com aqueles obtidos pelos métodos tradicionais — secagem ao ar livre e convencional — no que tange a tempo de secagem, teor de umidade final, qualidade da madeira seca e custos de secagem.

## **2. REVISAO DE LITERATURA**

Os estudos sobre o emprego da energia solar para a secagem de madeira em ambientes fechados são relativamente recentes. TROXELL & MUELLER<sup>28</sup> registram que o trabalho pioneiro sobre o desenvolvimento de secadores solar começou nos Estados Unidos, no US Forest Products Laboratory. Contudo, segundo PLUMPTRE<sup>16</sup>, as primeiras pesquisas sobre o assunto iniciaram simultaneamente em dois locais diferentes, com os trabalhos de REHMAN & CHAWLA<sup>18</sup> na Índia, e os de JOHNSON<sup>9</sup> e PECK<sup>13</sup>, ambos nos Estados Unidos. Nos últimos 10 anos, o desenvolvimento de estufas solar teve um impulso muito grande, e hoje existem aproximadamente

\* O presente artigo foi publicado no n.º 1 do Vol. XIV da Revista Floresta. Lamentavelmente, a prova não foi revisada e com isso o trabalho apresentou diversos erros que comprometem seu conteúdo. Por esta razão, pedindo desculpa pelo acidente, voltamos a reproduzir o artigo. A Redação.

\*\* Engenheiro Florestal, M.Sc., Professor Assistente do Departamento de Ciências Florestais da UFSM.

40 modelos espalhados pelo mundo (YANG<sup>33</sup>).

A secagem em estufa solar é um processo intermediário entre a secagem ao ar livre, em que os fatores de secagem não são controlados, e a secagem em estufa convencional onde o aquecimento é artificial e os fatores de secagem podem ser perfeitamente controlados (VITAL & COLLOM<sup>31</sup>). Consiste basicamente de uma estrutura de madeira e uma cobertura translúcida ou transparente, a qual permite a passagem da energia solar incidente para o seu interior e minimiza as perdas de calor por irradiação (WENGERT<sup>32</sup>). As superfícies internas da câmara, pintadas de preto, absorvem esta energia de ondas curtas, transforma-a em calor, o qual é transferido para o ar principalmente por convecção (SHARMA<sup>22</sup>, WENGERT<sup>32</sup>). Segundo BANKS<sup>1</sup>, a estufa solar exige basicamente um sistema de aquecimento de ar e um método de distribuição do ar aquecido.

O tempo necessário para secar uma carga de madeira numa estufa solar, além dos fatores de secagem, é afetado também pela localização geográfica e condições climáticas. Entretanto, todos os estudos conduzidos evidenciaram que este tempo é sempre menor do que na secagem ao ar livre (REHMAN & CHAWLA<sup>18</sup>, JOHNSON<sup>9</sup>, GUENEAU<sup>8</sup>, PECK<sup>13</sup>, BOIS<sup>2</sup>, SINGH<sup>25</sup>). Deve-se considerar ainda, que nos primeiros estágios de secagem a estufa solar não apresenta superioridade substancial em relação a secagem ao ar livre. Porém, abaixo de 30% de umidade a diferença na velocidade de secagem é bem evidente (PLUMPTRE<sup>14</sup>, SCHNEIDER et al.<sup>20</sup>). Estudos evidenciaram que a secagem em estufa convencional (SHARMA et al.<sup>23</sup>, PLUMPTRE<sup>14</sup>), porém oferece consideráveis economias em relação ao tempo de secagem ao ar livre.

A grande maioria das pesquisas destacam a boa qualidade da madeira seca em estufa solar (Troxell & Mueller<sup>28</sup>, TAO & HSIAO<sup>27</sup>, GOUGH<sup>7</sup>, PECK<sup>13</sup>, YANG<sup>33</sup>). Geralmente é superior à secagem ao ar livre e, em muitos casos, igual ou melhor do que a secagem em estufa convencional (SHARMA et al.<sup>23</sup>, PLUMPTRE<sup>14</sup>). Segundo PLUMPTRE<sup>15</sup>, as razões para o baixo índice de

defeitos na secagem solar são, principalmente, a lenta taxa de secagem comparada com as estufas convencionais e o baixo gradiente de umidade devido ao suave tratamento de acondicionamento que a madeira sofre todas as noites.

As vantagens do emprego da energia solar para a secagem de madeiras parecem bem evidentes. A maioria dos estudos confirmam que, em relação à secagem ao ar livre, a secagem solar proporciona tempos de secagem mais curtos, menor degradação especialmente em madeiras de difícil secagem, e menor teor de umidade final (WENGERT<sup>32</sup>). A grande vantagem no entanto, parece ser a possibilidade de obter teores de umidade entre 6 a 12%, valores estes bem inferiores à umidade de equilíbrio externa e dificilmente alcançados com a secagem ao ar livre (CHUDNOFF et al.<sup>5</sup>, SHARMA<sup>21</sup>, YANG<sup>33</sup>, PLUMPTRE<sup>15</sup>, CASIN et al.<sup>3</sup>). Em relação à secagem convencional, além da boa qualidade da madeira, a secagem solar apresenta baixo custo inicial, baixo custo de operação e supervisão e não necessita mão-de-obra especializada. Entretanto, possui a desvantagem de ser lenta e depender das condições atmosféricas (PLUMPTRE<sup>15</sup>). SHARMA et al.<sup>23</sup> acreditam que a vantagem mais significativa da estufa solar sobre a convencional, é que a mesma não necessita de operadores experimentados ou em tempo integral, os quais por outro lado são indispensáveis quando a madeira é secada sob programas cuidadosamente controlados, o que aumenta apreciavelmente os custos de secagem.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Coleta e preparo do material

Utilizou-se nesta pesquisa material de canela preta (*Ocotea catharinensis* Mez), coletado no pátio de uma serraria em São Bento do Sul, SC. No próprio local, as tábuas de 25mm de espessura, aproximadamente 2,0m de comprimento e largura variável, foram separadas aleatoriamente em 3 lotes, cada um contendo uma quantidade suficiente para a confecção de 3 pilhas de madeira. Posteriormente, transportou-se o material

para o Laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Federal do Paraná, onde o experimento foi conduzido.

### 3.2. Construção da estufa solar

Com base na capacidade de secagem pré estabelecida (1,0 m<sup>3</sup> de madeira serrada) e nos espaços necessários para a circulação do ar, construiu-se a estufa solar, apresentada na Figura 1, com as seguintes dimensões internas: 2,60m de largura, 3,20m de comprimento, 2,21m de altura maior e 0,72m de altura menor. A diferença de altura entre as paredes sul e norte deve-se à inclinação de 25° do teto para a direção norte.

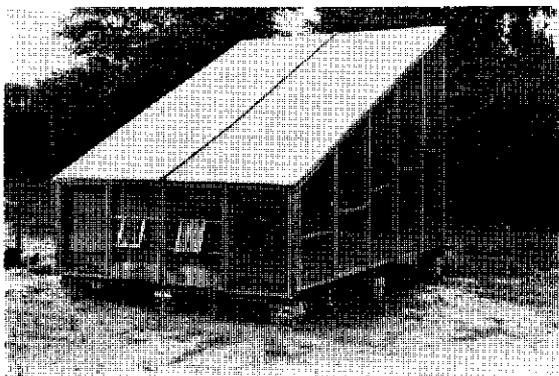


Figura 1: Estufa solar utilizada no experimento.

Utilizou-se uma estrutura de vigas de 5x7cm para a armação, chapas de aglomerado de 20mm como assoalho. A parede sul onde se encontram as portas auxiliares e de carga, foi feita com tábuas de 25mm de espessura. Tanto esta parede como o assoalho foram isolados para minimizar as perdas de calor.

O teto da estufa e as paredes norte, leste e oeste foram recobertos com três camadas de plástico PVC, separadas por sarrafos de 2,0cm que mantêm duas camadas de ar entre elas. Para permitir a ventilação da estufa, confeccionou-se na parede norte duas aberturas de 25x25cm. Ao redor da área de empilhamento foram edificadas paredes vazadas de tijolos para direcionamento do ar, e sobre elas colocou-se um falso teto de madeira e um deflector de plástico. Para a circulação do ar interno usou-se um ventilador com

47 cm de diâmetro, movido por um motor elétrico trifásico de 0,5 HP, fixado sobre o assoalho da estufa.

### 3.3. Métodos de secagem utilizados

#### a) Ar livre

A secagem ao ar livre foi realizada próximo da estufa solar, num local relativamente seco, bem drenado e arejado. As três pilhas de madeira com dimensões de 0,8 x 1,0 x 2,0m de largura, altura e comprimento respectivamente, protegidas por uma cobertura de tábuas, foram confeccionadas sobre uma fundação de madeira sendo as peças separadas por sarrafos de 2,5 x 2,5cm.

#### b) Estufa solar

Cada uma das três pilhas de madeira, com as mesmas dimensões daquelas usadas para a secagem ao ar livre, foi confeccionada fora da estufa sobre um carrinho e posteriormente introduzida na mesma. Para controlar os fatores envolvidos no processo de secagem utilizou-se de 3 termopares acoplados a um potenciômetro que registra ininterruptamente as temperaturas do bulbo seco e bulbo úmido dentro da estufa, e a temperatura externa. O ventilador foi controlado termostaticamente, sendo acionado quando a temperatura interna atinge valor igual ou superior a 30°C, e desligado quando a mesma cai a valores inferiores a este. As aberturas de ventilação foram mantidas abertas 2,0cm durante todo o período de secagem.

#### c) Estufa convencional

Utilizou-se de uma estufa metálica com circulação de ar forçada, aquecida eletricamente, com dimensões úteis de 0,8 x 1,0 x 4,0m de largura, altura e comprimento respectivamente. Este equipamento, além de uma caldeira elétrica, possui também controle automático e semi-automática de temperatura e umidade de equilíbrio. A temperatura empregada foi de 65°C e o potencial de secagem 3.

### 3.4. Parâmetros de comparação

#### 3.4.1. Teor de umidade e tempo de secagem

Para controlar o teor de umidade, utilizou-se em cada pilha de madeira 3 amostras de secagem confeccionadas de acordo com as sugestões de literatura (RASMUSSEN<sup>17</sup>). O teor de umidade da pilha, calculado pela média das amostras de secagem, foi determinado através da equação:

$$TUa = \frac{Pa (TUi - 100)}{Pu} - 100$$

onde

TUa = teor de umidade atual (%)  
Pa = peso atual da amostra (g)  
Pu = peso úmido da amostra (g)  
TUi = teor de umidade inicial (%)

As amostras foram distribuídas na pilha de madeira de modo a facilitar sua remoção e reposição por ocasião da secagem. Estabeleceu-se um teor de umidade final de 12% para a madeira seca nas estufas solar e convencional, enquanto que a secagem ao ar livre foi interrompida após 3 meses estocada no pátio.

#### 3.4.2. Qualidade da madeira

Os defeitos foram analisados individualmente nas peças componentes de cada pilha de madeira. Mediu-se o comprimento das rachaduras e os diferentes tipos de empenamentos com uma régua graduada de precisão milimétrica. Os empenos foram avaliados sobre uma mesa plana, fixando-se uma das extremidades da tábua e medindo a flecha do arqueamento e encanoamento, e a altura do torcimento.

#### 3.4.3. Custos de secagem

Para efeito de comparação, a quantidade de madeira seca anualmente em cada método de secagem foi fixada em 320m<sup>3</sup>. A extrapolação dos dados desta

pesquisa para uma produção em escala comercial teve como objetivo permitir a obtenção de informações mais próximas da realidade industrial no que tange a custos. Os custos considerados neste estudo foram aqueles referentes a investimento, juros de capital, depreciação do equipamento, mão-de-obra para controle e manutenção, e energia consumida.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Temperatura da estufa solar

A temperatura interna da estufa solar é afetada principalmente pela insolação e pela umidade da madeira. A medida que aumentam as horas de insolação, aumenta também a temperatura interna, e a diminuição da umidade da madeira possibilita temperaturas mais elevadas.

Durante as horas do dia, a curva da temperatura cresce no início e decresce no final do período, sendo que os valores máximos registrados em Curitiba\* ocorreram aproximadamente às 14 horas. Com a estufa vazia, a temperatura média às 14 horas foi 73°C ao passo que a média externa foi 24,3°C. A maior temperatura interna foi 83,1°C registrada

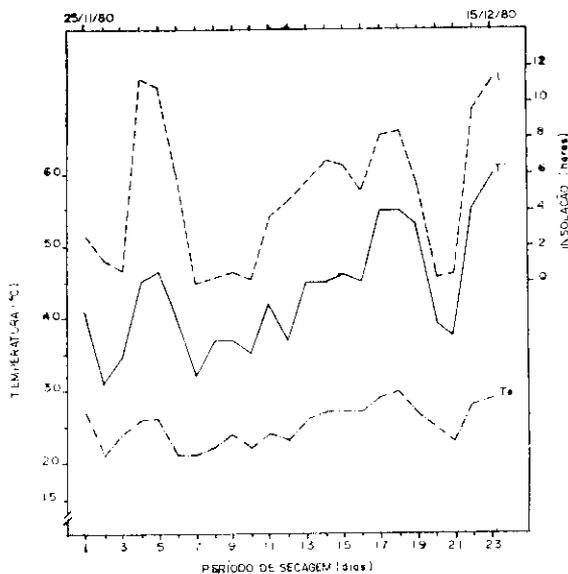


Figura 2: Oscilação da temperatura máxima interna (Ti) e externa (Te), e insolação diária (I) durante a secagem solar.

\* Latitude 25° 26', longitude 49° 17', altitude 900 m.

num dia de alta insolação quando a temperatura externa era 29,0°C. Com a estufa carregada, a maior temperatura observada foi 62,0°C, registrada nos estágios finais da secagem, enquanto que a diferença máxima entre a temperatura interna e externa foi 44,0°C. A Figura 2 mostra graficamente a temperatura máxima interna e externa bem como a insolação diária, verificadas durante a secagem de uma carga de madeira na estufa solar.

#### 4.2. Teor de umidade e tempo de secagem

No período compreendido entre os meses de setembro e janeiro, a secagem de madeira de canela preta com 25mm de espessura demorou 23 dias para atingir o teor de umidade final de 12% na estufa solar. Ao ar livre entretanto, o teor de umidade da madeira nunca foi inferior a 17% durante os 90 dias de secagem.

Confrontando os dois métodos de secagem ao teor de umidade de 20%, verificou-se através dos valores médios que o tempo despendido pela estufa solar corresponde a aproximadamente 35% daquele requerido pela secagem ao ar livre. Este percentual, apesar das notáveis diferenças no que tange a clima e características da estufa, é bem inferior aos 60% encontrado por PECK<sup>13</sup> e situa-se dentro do intervalo de 30 a 40% detectado por CASIN et al.<sup>3</sup> para madeira de 25mm de espessura. A comparação estabelecida a 20% de umidade contudo, não proporciona informações precisas acerca do tempo de secagem devido basicamente a dois aspectos. De um lado, a madeira ainda não se encontra suficientemente seca para a maioria das suas aplicações, e por outro lado, abaixo deste valor a água evapora muito mais rapidamente na estufa solar do que ao ar livre. Em consequência disso, quanto menor for o valor do teor de umidade da madeira usado para comparação, maior é a diferença de tempo entre a secagem ao ar livre e solar.

A secagem solar evidentemente não é tão rápida quanto a efetuada em estufa convencional, como mostra graficamente a Figura 3. Constatou-se através

dos valores médios, que a madeira seca na estufa solar levou um tempo aproximadamente 3 vezes maior do que na estufa convencional para atingir o teor de umidade final de 12%. Esta diferença no tempo de secagem em favor da estufa convencional, devido ao fornecimento contínuo de energia, perfeito controle do processo e emprego de um programa de secagem otimizado, é praticamente igual a encontrada por PLUMPTRE<sup>14</sup> e maior do que aquela evidenciada por SIMPSON & TSCHERNITZ<sup>21</sup>.

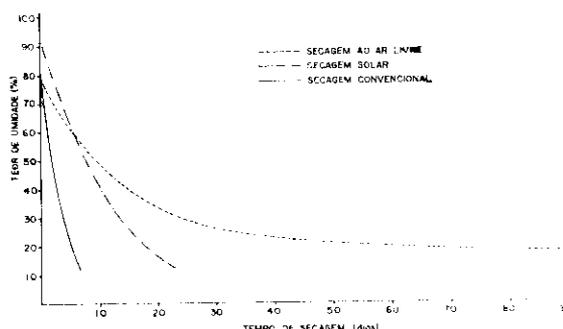


Figura 3: Curvas de secagem para os três métodos estudados.

#### 4.3. Qualidade da madeira

Os defeitos de secagem evidenciados neste estudo foram rachaduras de topo, arqueamento, encanoamento e torcimento, cujos conceitos são frequentemente citados na literatura (RIETZ & PAGE<sup>10</sup>, RASMUSSEN<sup>17</sup>, GLOSSARY<sup>16</sup>).

As rachaduras de topo ocorreram com mais frequência na secagem ao ar livre, sendo que a percentagem de peças defeituosas e a média do comprimento das mesmas foram aproximadamente 3 vezes maiores do que nos demais métodos. O comprimento médio das rachaduras nas duas estufas foi praticamente igual, não sendo detectada diferença significativa entre estes dois métodos ao nível de 95% de probabilidade.

A maior percentagem de rachaduras na secagem ao ar livre também foi evidenciada por MALDONADO<sup>12</sup>, SHARMA et al.<sup>23</sup> e YANG<sup>33</sup>. Porém, VITAL<sup>30</sup>, medindo o comprimento das maiores rachaduras, verificou que a média foi maior na secagem solar. Como o defeito é provocado principalmente pela formação de

gradientes de umidade na madeira (SKAAR<sup>26</sup>, JOHNSON<sup>10</sup>, VILLIERE<sup>29</sup>), possivelmente a causa da maior ocorrência de rachaduras de topo na secagem ao ar livre seja a exposição dos extremos das pilhas às condições adversas, aliada ao fato da madeira ser consideravelmente mais permeável ao longo da grã (RIETZ & PAGE<sup>19</sup>, CECH & PFAFF<sup>1</sup>).

A percentagem total de tábuas empenadas resultantes da secagem ao ar livre correspondeu a 2/3 e 1/2 da percentagem evidenciada na secagem solar e convencional respectivamente. Contudo, como a magnitude das contrações, principal causa dos empenamentos (SKAAR<sup>26</sup>), varia de acordo com a umidade da madeira (RASMUSSEN<sup>17</sup>, RIETZ & PAGE<sup>19</sup>), pode ser esperado na secagem ao ar livre uma maior percentagem de empenamentos em madeiras com teor de umidade final mais baixo.

A menor percentagem de empenamentos da secagem solar em relação à convencional, deve-se provavelmente à secagem mais lenta da madeira provocada pela baixa taxa de evaporação (PLUMPTRE<sup>15</sup>).

A percentagem de tábuas com um ou mais dos diferentes tipos de defeitos foi menor na secagem solar. No confronto com a secagem ao ar livre, este fato já havia sido observado por outros pesquisadores (PECK<sup>13</sup>, MALDONADO<sup>12</sup>, PLUMPTRE<sup>14</sup>, TROXELL & MUELLER<sup>28</sup>, YANG<sup>33</sup>), e foi atribuído a elevada umidade relativa nos períodos críticos de secagem e ao tratamento de acondicionamento que a madeira sofre diariamente durante a noite (PLUMPTRE<sup>15</sup>). Apesar do perfeito controle da estufa convencional, possivelmente o acelerado programa de secagem utilizado tenha contribuído para aumentar o percentual de defeitos.

Em razão de não terem sido encontradas referências na literatura e da dificuldade de avaliação dos defeitos de secagem, desenvolveu-se uma metodologia própria para analisá-los, e o critério adotado foi aplicado de forma imparcial e individual para todas as tábuas. Como o objetivo da análise foi comparar a qualidade do material seco nos três processos e não quantificá-los em cada método considerou-se como defeito toda e qualquer anomalia observada na madeira

após a sua secagem. O fato de tábuas com 5mm de arqueamento em 2,0m de comprimento estarem incluídas entre as defeituosas, o que em muitos casos é considerado industrialmente, exemplifica claramente a rigorosidade da comparação empregada.

#### 4.4. Custos de secagem

Considerando 320m<sup>3</sup> a produção de madeira seca anualmente em cada método, estimou-se os custos de secagem a partir dos valores reais encontrados e do tempo necessário para consumir o processo. Os cálculos indicaram que seriam necessárias duas estufas solar com capacidade para secar 10m<sup>3</sup> de madeira cada uma num tempo médio de 23 dias, uma estufa convencional que produza 8m<sup>3</sup> semanais de material seco, e um estoque de 70m<sup>3</sup> de madeira permanente no pátio.

Como pode ser observado no Quadro 1, o custo de capital calculado na forma de juros sobre o valor do material submetido à secagem é o fator limitante na secagem ao ar livre e o principal custo da secagem solar. A relação aproximada evidenciada entre estes custos na secagem convencional, solar e ao ar livre é de 1:3:10 respectivamente. A causa principal dessa diferença é o longo tempo de secagem, especialmente ao ar livre, já que os juros são calculados sobre o volume de material permanentemente em secagem.

O custo de depreciação da estufa solar, calculado sobre o valor do equipamento, foi aproximadamente 30% menor do que o da convencional, e praticamente 3 vezes maior do que na secagem ao ar livre. Deve-se considerar contudo, que em função da falta de informações concretas acerca da durabilidade do plástico, a vida útil atribuída ao mesmo poderá estar superestimada. Por outro lado, SHARMA et al.<sup>23</sup> citam que, mesmo trocando o plástico da estufa solar a cada 1,5 a 2,0 anos, o custo da substituição será bem menor do que o custo de depreciação normal de uma estufa convencional de produção idêntica.

O custo de controle da secagem convencional foi maior do que nos outros dois métodos em função do tempo gasto para medição do teor de umidade e controle do programa de secagem. Além

disso, o controle do teor de umidade e, eventualmente a regulagem das aberturas de ventilação na estufa solar, podem ser executados por um operário de outra atividade (SHARMA et al.<sup>23</sup>), o que reduz substancialmente o custo.

Os custos de manutenção da estufa solar foram aproximadamente o dobro daqueles resultantes da secagem ao ar livre e praticamente 1/5 dos custos encontrados para a estufa convencional, onde as operações de limpeza, pintura e reparos são indispensáveis.

O custo da energia consumida na estufa solar foi aproximadamente 30 vezes menor do que na convencional. Este fato já era esperado uma vez que a única energia requerida na estufa solar é eletricidade para movimentar o ventilador. Por outro lado, pode-se observar no Quadro 1 que enquanto a energia é o principal custo da secagem convencional (48,0%), na secagem solar é um dos menores, contribuindo com apenas 2,6% dos custos.

Uma análise global dos custos de secagem encontrados nos três métodos evidencia que na secagem solar os mesmos foram respectivamente 60 a 42% menores do que na secagem ao ar livre e convencional. Todavia, os parâmetros de comparação utilizados por outros pesquisa-

dores parecem não serem os mesmos. CASIN et al.<sup>3</sup> mencionam que os custos de funcionamento da estufa solar se restringem a custos de energia e manutenção dos ventiladores, quando na verdade o controle do processo também deve ser considerado. Por outro lado, PECK<sup>13</sup> cita que os custos de secagem solar e ao ar livre são praticamente iguais, o que não corresponde à realidade. Porém, confrontando os custos de secagem das duas estufas, os resultados encontrados por PECK<sup>13</sup> se assemelham bastante aos evidenciados neste estudo.

Os custos de secagem solar podem, eventualmente, ser reduzidos em função da diminuição do tempo de secagem, particularmente em épocas do ano mais favoráveis. Nos primeiros trabalhos conduzidos na Uganda, os custos de secagem foram entre 20 e 40% menor do que na estufa convencional, e em estudos posteriores a diferença aumentou para 60% (LITTLE<sup>11</sup>).

Os custos referentes ao empilhamento das tábuas não foram computados uma vez que o volume de madeira manuseada anualmente é o mesmo nos três métodos. Da mesma forma, os custos devido a perdas durante a secagem também foram desconsiderados em razão da

**QUADRO 1: Custos de secagem\* — comparação entre os métodos ar livre, solar e convencional.**

Parâmetros Considerados	Ar Livre		Solar		Convencional	
	Cr\$/m <sup>2</sup>	%	Cr\$/m <sup>2</sup>	%	Cr\$/m <sup>2</sup>	%
Controle da secagem	54,66	1,65	144,57	10,66	433,72	18,74
Manutenção	5,54	0,17	12,67	0,94	59,98	2,59
Depreciação	90,67	2,75	263,59	19,44	391,96	16,94
Juros**	3150,00	95,43	900,00	66,36	320,40	13,85
Energia	0,0	0,0	35,31	2,60	1107,74	47,88
<b>TOTAL</b>	<b>3300,87</b>	<b>100,0</b>	<b>1356,14</b>	<b>100,0</b>	<b>2313,80</b>	<b>100,0</b>

\* Os valores se referem ao mês de julho/1980: 1 UPC = Cr\$ 604,00

\*\* Juros sobre o valor do material submetido à secagem.

otimização dos processos. Caso estes itens fossem incluídos, certamente passariam a representar uma percentagem bastante significativa nos custos de secagem.

## 5. CONCLUSÕES

Os estudos conduzidos mostram que a secagem solar apresenta perspectivas positivas para as condições brasileiras, mesmo em regiões consideradas de baixa insolação como a de Curitiba. As principais conclusões obtidas neste estudo são:

a) No período compreendido entre os meses de setembro e janeiro, o tempo de secagem solar na região de Curitiba corresponde a aproximadamente 35% daquele obtido ao ar livre, considerando-se um teor de umidade final de 20%. Em contrapartida, é aproximadamente 3 vezes mais lenta do que a estufa convencional que utiliza temperatura de 65°C.

b) A madeira seca em estufa solar pode atingir um teor de umidade final de 7,0% sem depreciação substancial do material, enquanto que ao ar livre dificilmente alcança valores inferiores a 17,0% em Curitiba.

c) A ocorrência de defeitos não afeta significativamente a qualidade do material seco nos três métodos, no entanto a percentagem de tábuas defeituosas foi menor na estufa solar.

d) Os custos da secagem solar são respectivamente 60 e 42% menor do que na secagem ao ar livre e convencional.

## 6. RESUMO

O presente estudo envolveu o desenvolvimento de uma estufa solar para secar madeira, composta basicamente de uma estrutura de madeira e uma cobertura tripla de plástico transparente. Os resultados da secagem foram comparados com dois métodos tradicionalmente empregados — secagem ao ar livre e convencional — no que tange a tempo de secagem, teor de umidade, qualidade do material e custos de secagem. O estudo foi conduzido em Curitiba, Paraná/Brasil, utilizando-se madeira serrada de *Ocotea catharinensis* Mez. Em cada método foram secas três pilhas de madeira de aproximadamente 0,8 m<sup>3</sup>. O tempo de secagem solar foi aproximadamente 3 vezes menor do que ao ar livre, considerando-se um teor de umidade final de 20%, e demorou aproximadamente 3 vezes mais do que na convencional para atingir 12% de umidade. Verificou-se que, apesar da qualidade da madeira resultar semelhante nos três processos, a percentagem de peças defeituosas foi levemente menor na secagem solar. Além disso, os custos da secagem solar foram respectivamente 60 e 42% menor do que na secagem ao ar livre e convencional.

Embora os resultados encontrados neste estudo sejam bastante animadores, existem ainda vários pontos que devem ser mais pesquisados visando a otimização da secagem solar.

---

## 7. AGRADECIMENTO

O autor agradece ao Dr. IVAN TOMASELLI, professor da Universidade Federal do Paraná, por sua orientação e estímulo durante a realização do presente trabalho.

---

## 8. LITERATURA CITADA

1. BANKS, C.H. Solar drying of timber — a development study. **CSIR Subject Survey O/Hout** 10, Pretoria, 1969. 27 p.
2. BOIS P.J. Constructing and operating a small solar-heated lumber dryer. **U.S. Forest Service, Technical Report** n. 7. 1977. 12 p.
3. CASIN, R.F.; ORDINARIO, E.B. & TAMAYO Jr, G.Y. Solar drying of apitong, narra, red lauan and tanguile. **The Philippine Lumberman**, 15 (4): 23-30, 1969.
4. CECH, M.Y., & PFAFF, F. **Kilon operator's manual of Eastern Canada**. Ontario, Eastern For. Prod. Lab., 1977. 189 p.
5. CHUDNOFF, M.; MALDONADO, E.D. & GOYTIA, E. Solar drying of tropical hardwoods. **U.S. Forest Service Research Paper ITF-2**, 1966. 26 p.
6. GLOSSARY of terms related to the drying of wood. Madison, For. Prod. Res. Soc., 1977. 81 p.
7. GOUGH, D.K. Timber seasoning in a solar kiln. "Paper presented to the Conference of IUFRO". Oxford, 1980. 9 p. (não publicado).
8. GUENEAU, P. Une expérience de séchage solaire du bois. **Bois et Forêts des Tropiques**, 131:69-78, 1970.
9. JOHNSON, C.L. Wind-powered solar — heated lumber dryer. **Southern Lumberman**, 203 (2532):41-4, 1961. (Resumo).
10. JOHNSON, D.D. Timber drying — the principles involved. **J. Inst. Wood Sci.**, 5 (2) : 3-8, 1970.
11. LITTLE, R.L. Design and performance of foreign solar lumber dryers. In: **Practical Application of Solar Energy to Wood Processing**. Blacksburg, For. Prod. Res. Soc., 1977. p. 35-48.
12. MALDONADO, E.D. Radiacion solar para secar caoba em Puerto Rico. Puerto Rico, Trop. For. Res. Center, **Apuntes Forestales**, n. 14, 1962. 5 p.
13. PECK, E.C. Drying 4/4 red oak by solar heat. **For. Prod. J.**, 12 (3) : 103-7, 1962.
14. PLUMPTRE R.A. The design and operation of a small solar seasoning kiln on the equator in Uganda. **Commonw. For. Rev.** 46 (4) : 298-309, 1967.
15. ———. Simple solar heated timber dryers: design, performance and commercial viability. **Commonw. For. Rev.**, 58 (4) : 243-51, 1979.
16. ———. Solar kilns: their suitability for developing countries. "Paper presented at the UNIDO Technical Meeting on the Selection of Woodworking Machinery". Vienna, 1973. 38 p.
17. RASMUSSEN, E.F. **Dry Kiln operator's manual**. Madison, USDA, For. Prod. Lab., 1961. 197 p. (Agriculture Handbook, 188).
18. REHMAN, M.A. & CHAWLA, O.P. Seasoning of timber using solar energy. **Indian Forest Bulletin (New Series)**, n. 229, 1961. 17 p.
19. RIETZ, R.C. & PAGE, R.H. **Air drying of lumber: a guide to industry practices**. Madison USDA For. Prod. Lab., 1971. 110 p. (Agriculture Handbook, 402).
20. SCHNEIDER, A.; ENGELHARDT, F. & WAGNER, L. Vergleichende Untersuchungem über die Freilufttrocknung und solar trocknung von Schnittholz unter mitteleuropäischen Wetterverhältnissen. Teil 1: Versuchsanlage und Ergebnisse der ersten Trocknungsversuche. **Holz als Roh-und Werkstoff**, 37 : 427-33, 1979.
21. SHARMA, N.S. Feasibility of solar timber drying in tropical locations. "Paper presented to the Conference of IUFRO". Oxford, 1980. 22 p. (não publicado).

22. ———. Solar timber drying. In: Seminar on Industrial Application of solar energy, Madras, June/1975. **Proceedings**. 6 p.
23. ———, PREM, N. & BALI, B.I. A solar timber seasoning kiln. **J. Timber Devel. Assoc. India**, 18 (2) : 10-26, 1972.
24. SIMPSON, W.T. & TSCHERNITZ, J.L. Design and performance of a solar lumber dryer for tropical latitudes. "Paper presented to the Conference of IU-FRO". Oxford, 1980. 14 p. (não publicado).
25. SINGH, Y. Studies on a solar timber seasoning kiln. **IPIRI Journal**, 6 (1) : 42-4, 1976. (Resumo).
26. SKAAR, C. **Water in wood**. Syracuse. Syracuse University Press, 1972. 218 p, (Syracuse Wood Science Series, 4).
27. TAO, Y. & HSIAO, C. Lumber solar drying experiment at Taichung. **Taiwan Provincial Chung-Hsing Univ. Bull.**, n. 63-N-49, 1964. 14 p. (Resumo).
28. TROXELL, H.E. & MUELLER, L.A. Solar lumber drying in the Central Rocky Mountain Region. **For. Prod. J.**, 18 (1) : 19-24, 1968.
29. VILLIÈRE, A. **Séchage des Bois**. 6.ed. Paris, Dunod, 1966. 410 p.
30. VITAL, B.R. Utilização de energia solar para secagem de madeira. **Rev. Ceres**, 23 (125) : 1-10, 1976.
31. ——— & COLLOM, J.L. **Secador solar para madeira**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1974. 34 p.
32. WENGERT, E.M. Improvements in solar dry kiln design. **U.S. For. Serv., Research Note FPL — 0212**, 1971. 10 p.
33. YANG, K.C. Solar Kiln performance at a high latitude 48°N. **For Prod. J.**, 30 (3) : 37-40, 1980.