

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ELEN POLIANE ROSSETTE LEITE KARNOSKI

**CONSTRUÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE SECADOR SOLAR  
PARA SECAGEM DE MADEIRA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FRANCISCO BELTRÃO  
2021

ELEN POLIANE ROSSETTE LEITE KARNOSKI

**CONSTRUÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE SECADOR SOLAR  
PARA SECAGEM DE MADEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso como requisito parcial para conclusão da graduação do Curso Bacharelado em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, *Campus* Francisco Beltrão.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Camila Nicola Boeri Di Domenico.

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Andriele de Prá Carvalho.

FRANCISCO BELTRÃO  
2021



---

**TERMO DE APROVAÇÃO**

**Trabalho de Conclusão de Curso – TCC2**

**CONSTRUÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE SECADOR SOLAR  
PARA SECAGEM DE MADEIRA**

por

**Elen Poliane Rossette Leite Karnoski**

Trabalho de Conclusão de Curso 2 apresentado às 09:30 horas, do dia 18 de maio de 2021, como requisito para aprovação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão. A candidata foi arguida pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Banca Avaliadora:

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Camila Nicola Boeri Di  
Domenico.**

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Andriele de Prá Carvalho.**

---

**Prof<sup>a</sup>. MSc. Wagner Da Silveira**

---

**Denise Andréia Szymczak**

(Professora Responsável pelo TCC)

---

**Wagner de Aguiar**

(Coordenador do Curso de Engenharia Ambiental)

“O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso”

## **AGRADECIMENTOS**

Para a realização deste trabalho de conclusão de curso, foi necessária a colaboração de diversas pessoas.

Primeiramente, eu quero agradecer a Deus por me dar sabedoria para realização deste trabalho;

Agradecer ao meu esposo, Douglas, meus pais, Eunice e Marcos, e meus irmãos por sempre me darem suporte emocional;

A professora Camila pela orientação;

A professora Andriele pela coorientação;

Ao meu colega de curso Paulo Flessak por construir as estufas solares utilizadas no experimento;

A empresa ENERGYBEL por emprestar o sistema de energia solar para movimentar o ventilador usado no experimento;

Por fim, a empresa madeireira Sandrin que contribuiu ao serrar as madeiras de forma gratuita.

Poliane Rossette Leite Karnoski, Elen. CONSTRUÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE SECADOR SOLAR PARA SECAGEM DE MADEIRA. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, Brasil, 2021.

**RESUMO:** O processo de secagem de madeira, na atualidade é demorado, gerando custos e riscos ao produto. O estudo *in casu*, tem como diretriz a economia e sustentabilidade no que tange a secagem de madeira. Nesse sentido, construiu-se um modelo de secador solar para secagem de madeira pinus (*Pinus elliottii*), avaliou-se o processo de secagem solar comparado a outro método, ao ar livre, avaliando a umidade final, tempo de secagem e a qualidade final da madeira pelos dois métodos dispostos. Ao comparar a secagem em estufa solar, com ventilador acoplado movido a energia solar, concluiu-se a alta efetividade em relação a secagem ao ar livre ou com a estufa solar sem a ventilação forçada, mostrando ser duas vezes mais rápida que a secagem ao ar livre e com teor de umidade menor. Quando analisada a qualidade da madeira, as madeiras secas ao ar livre, em sua maioria, observou-se o surgimento de fungos e azulamento, enquanto as madeiras secas no secador solar não apresentaram tal característica. A madeira seca, tanto em estufa solar quanto ao ar livre, não mostrou incidência de defeitos como colapsos, rachaduras e apodrecimento.

**PALAVRAS CHAVES:** fonte renovável, qualidade da madeira, processo de secagem, sustentabilidade, secador solar

Poliane Rossette Leite Karnoski, Elen. CONSTRUCTION AND IMPLEMENTATION OF A SOLAR DRYER PROTOTYPE FOR WOOD DRYING. 45 f. Graduation Course in Environmental Engineering, Federal Technological University of Paraná. Francisco Beltrão, Brazil, 2021.

**ABSTRACT:** The process of drying wood is currently time consuming, generating costs and risks to the product. The study in casu, has as guideline the economy and sustainability when it comes to drying wood. In this sense, a solar dryer model for drying pine wood (*Pinus elliottii*) was built, the solar drying process was evaluated compared to another method, outdoors, evaluating the final humidity, drying time and final quality of the wood by the two methods available. When comparing drying in a solar oven, with a fan powered by solar energy, it was concluded the high effectiveness in relation to drying in the open air or with the solar oven without forced ventilation, showing to be twice as fast as drying in air free and with lower moisture content. When analyzing the quality of the wood, the wood dried in the open air, in its majority, it was observed the appearance of fungi and blue, while the wood dried in the solar dryer did not present such characteristic. Dry wood, both in a solar oven and outdoors, showed no incidence of defects such as collapse, cracking and decay.

**Keywords:** renewable source, quality of wood, drying process, sustainability, solar dryer

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema do secador solar.	18
Figura 2: Principais defeitos após a secagem.	19
Figura 3: Área experimental.	21
Figura 4: Amostras menores.	22
Figura 5: Modelo do secador construído.	23
Figura 6: Disposição das madeiras ao ar livre.	24
Figura 7: Disposição das madeiras na estufa solar.	25
Figura 8: Indicação do ventilador na estufa solar.	26
Figura 9: Comparativo da umidade adimensional instantânea das 3 estufas solares.	30
Figura 10: Comparativo da umidade adimensional instantânea dos montes de secagem ao ar livre.	33
Figura 11: Comparativo entre os 2 métodos de secagem.	36
Figura 12: Comparativo entre os 2 métodos de secagem, utilizando apenas a estufa com ventilador.	37
Figura 13: Amostra de madeira seca ao ar livre e na estufa solar.	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Umidade inicial das madeiras no secador solar.	29
Tabela 2: Taxas de secagem das madeiras no secador solar.	30
Tabela 3: Umidade final das madeiras no secador solar.	31
Tabela 4: Qualidade da madeira do secador solar.	32
Tabela 5: Umidade inicial das madeiras na secagem ao ar livre.	33
Tabela 6: Taxas de secagem das madeiras na secagem ao ar livre.	34
Tabela 7: Umidade final das madeiras na secagem ao ar livre.	35
Tabela 8: Qualidade da madeira de secagem ao ar livre.	35
Tabela 9: Taxa de secagem entre os métodos.	38



## LISTA DE SÍMBOLOS

$TU_i$	Teor de umidade inicial da madeira, em base úmida (%).
$TU_{ins}$	Teor de umidade instantânea da madeira (%).
$TU_f$	Teor de umidade final da madeira (%).
$m_i$	Massa inicial da amostra (g).
$m_{fe}$	Massa final após secagem em estufa a 105°C por 24 horas (g).
$m_{ins}$	Massa instantânea da amostra (g).
$m_f$	Massa final da amostra (g).
$T_s$	Taxa média de secagem (%/dia).
$t$	Tempo de secagem (dias).
$X$	Teor de umidade adimensional (adimensional)

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	12
2. OBJETIVOS .....	14
2. 1. Objetivo Geral .....	14
2. 2. Objetivos Específicos.....	14
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1. Importância da madeira no Brasil e sua secagem para utilização fabril .....	15
3. 2. Tipos de secagem.....	16
3. 3. Secadores Solares.....	17
3. 4. Qualidade da madeira após secagem .....	19
3. 5. Taxas de Secagem .....	20
3.6. Características da madeira de pinus ( <i>Pinus elliottii</i> ). .....	20
4. METODOLOGIA.....	21
4. 1. Caracterização da área experimental .....	21
4. 2 Materiais Utilizados.....	21
4. 3 Equipamento experimental construído.....	22
4. 4. Procedimentos experimentais.....	23
4. 4. 1. Determinação do teor de umidade inicial da madeira .....	23
4. 4. 2 Experimentos de secagem .....	24
4. 4. 2. 1 Secagem ao ar livre .....	24
4. 4. 2. 2 Secagem em estufa solar .....	24
4. 4. 3 Determinação do teor de umidade instantâneo das amostras .....	26
4. 4. 4 Determinação das taxas de secagem.....	27
4. 4. 5 Estratificação dos dados experimentais.....	27
4. 4. 6 Obtenção dos parâmetros do processo de secagem .....	27
4. 4. 7 Metodologia para análise da qualidade da madeira .....	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	29

5. 1. Processo de secagem da madeira com o uso dos secadores solares .....	29
5. 1. 1 Umidade inicial .....	29
5. 1. 2 Cinética de Secagem.....	29
5. 1. 3 Taxas de Secagem.....	30
5. 1. 4 Umidade Final.....	31
5. 1. 5. Qualidade Final da Madeira.....	31
5. 2 Processo de secagem da madeira ao ar livre.....	33
5. 2. 1 Umidade inicial .....	33
5. 2. 2 Cinética de Secagem.....	33
5. 2. 3 Taxas de Secagem.....	34
5. 2. 4 Umidade Final.....	34
5. 2. 5. Qualidade Final da Madeira.....	35
5. 3 Comparação entre os resultados obtidos pela secagem com secador solar e ao ar livre .....	36
6. CONCLUSÃO.....	40
7. REFERÊNCIAS.....	41

## 1. INTRODUÇÃO

A madeira foi um dos primeiros materiais a serem utilizados nos tempos antigos. Diversos subprodutos são formados a partir dessa matéria prima, tendo sua relevância na geração de calor, na construção civil, fabricação de barcos, armas e até mesmo para estética na arquitetura moderna. Assim, a demanda no setor madeireiro é bem elevada, já que todas as atividades acima elencadas possuem papel significativo para o desenvolvimento da economia.

Segundo o relatório de 2017 da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2017), o Brasil está entre os países que possuem maior produção de madeira no mundo, juntamente com os Estados Unidos, Alemanha, Rússia, Canadá, França, Japão, Polônia e Finlândia. Cada país conta com uma amplitude de espécies, como mogno (*Swietenia macrophylla*), pinus (*Pinus elliottii*), eucalipto (*Eucalyptus*), itaúba (*Mezilaurus itauba*), cada qual com suas particularidades. Apesar da gama de espécies e utilidades da madeira, é necessário um planejamento para esse setor econômico a fim de não utilizar madeiras de florestas nativas.

Porém nesse tipo de matéria prima, dependendo do produto que se pretende obter, é necessário expor a madeira ao processo de secagem, o que implica na retirada de água através da troca de calor com o meio externo, seja este forçado ou natural. A madeira seca possui diversas vantagens tanto para o produtor quanto para os consumidores. A remoção da água na madeira reduz o seu peso, o que facilita no momento de transportá-la, o seu manuseio fica certo sem encolhimentos e inchaço, impede a aparição de fungos e também proporciona maior efetividade na aplicação de diversos acabamentos como, por exemplo, a pintura e verniz (SIMPSON, 1991).

Atualmente, a maioria das empresas que utilizam a secagem da madeira a fazem pelo método de secagem ao ar livre, devido ao mínimo gasto, porém algumas indústrias utilizam-se do método de secagem em estufas convencionais. Neste último método, a temperatura é controlada, variando de 40°C a 95°C, possui sistema de ventilação para circulação do ar, janelas para troca de ar com o meio externo e sistema de umidificador de ar (ALVES, BATISTA, *et al.*, 2012).

Cada método possui suas vantagens e desvantagens e fica a critério de quem produz escolher o que mais lhe convém. No entanto, secagem em estufas é o procedimento que mais agrega valor à madeira, devido aos seus benefícios, mas por

outro lado é onde se encontra o maior gasto das indústrias, devido ao elevado consumo energético e manutenção. Por essa razão, faz-se necessária a busca de melhor eficiência dos secadores, e novas alternativas para a solução deste problema (SANTINI, 1987).

Assim, impulsiona-se o uso de tecnologias de geração de energia utilizando fontes renováveis, que produzam menor impacto ambiental. Por esses motivos, uma alternativa eficaz é encontrada na estufa solar. Neste tipo de secagem, é possível diminuir o tempo de espera para a utilização da madeira, quando comparada à secagem natural, bem como reduzir os custos com o processo já que a utilização de energia elétrica é mínima, e o pouco que é gasto vem de uma fonte renovável, o sol (STANGERLIN, SANTINI, *et al.*, 2009).

Devido a necessidade de contar com um sistema alternativo para as madeiras, em que se procura uma redução no tempo de secagem e com o custo minimizado, propôs-se o presente trabalho. Nesse sentido, busca-se analisar a eficiência da secagem de madeira em estufa solar, de forma a aproveitar a radiação solar para o aquecimento do secador, reduzindo a umidade da madeira exposta. Além do benefício de reduzir os custos e o tempo de secagem, a estufa solar é uma forma renovável de tratar a madeira.

## **2. OBJETIVOS**

### **2. 1. Objetivo Geral**

Analisar a eficiência de um protótipo de secador solar para secagem de madeira.

### **2. 2. Objetivos Específicos**

- Projetar e construir um protótipo de secador solar;
- Comparar o tempo de secagem da madeira de pinus, em estufa solar com o método de secagem ao ar livre;
- Analisar a eficiência do processo de secagem no secador solar com ventilador acoplado;
- Avaliar a qualidade da madeira seca na estufa solar e comparar com os resultados obtidos na secagem ao ar livre.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1. Importância da madeira no Brasil e sua secagem para utilização fabril

A madeira sempre foi utilizada como meio de abrigo e proteção, gerando fogo e até sendo utilizada para construção de vilas inteiras. Desde os tempos antigos, a importância da madeira é inquestionável, sendo um material nobre e versátil, também é valorizado por sua resistência e flexibilidade. Os primatas, inicialmente, utilizavam as árvores como abrigo, porém, com a evolução da civilização, a madeira começou a ser extraída para construção de tocas e cabanas. Antes mesmo da descoberta do fogo, ainda na pré-história, foram encontrados resquícios de pilares e vigas desse material (JÚNIOR e DIAS, 1997).

A madeira sempre se adequou para diversos usos e amplas possibilidades. As civilizações do mundo, a utilizaram de maneiras diferenciadas conforme as condições do local onde estavam inseridas, de acordo com cultura, clima, situação ambiental, necessidade e disponibilidade das espécies em sua região. Por conseguinte, pela facilidade em trabalhar com o material, dela foram fabricados utensílios, ferramentas, instrumentos de trabalho em geral, esculturas, móveis e barcos, além de tantas outras utilizações na arquitetura e na construção civil (SOUZA, 2013).

Com o passar da história, a madeira começou a ser estudada de forma empírica, culminando em iniciativas de “escolas-mestre”, escolas para capacitação e compreensão florestal na Alemanha. No séc. XIX surgiram na Europa os primeiros cursos de engenharia florestal. No Brasil, foi criada a Escola Nacional de florestas (ENF) em Viçosa – MG, pioneira nos estudos referentes à madeira, sendo posteriormente transferida para Curitiba – PR (ARAUJO, GARCIA, *et al.*, 2017).

A madeira constitui um material heterogêneo, anisotrópico e higroscópico. Heterogêneo pela diversidade de componentes responsáveis por formar tecidos que desempenham funções particulares a cada qual, formando indivíduos complexos e específicos (ALVES, ESTEVÃO, *et al.*, 2017). Nesse sentido, a secagem da madeira é indispensável para seu uso na manufatura, doravante, as dimensões nas peças, pela umidade, são de grande importância na secagem, a qual tem efeito direto na utilização finalística do produto (SEVERO, 2000).

Por conseguinte, a madeira tem a capacidade de absorver umidade, afetando diretamente suas dimensões e ductabilidade. A higroscopicidade é responsável por essas modificações, ou seja, o material começa a sofrer alterações, contraindo-se ao perder água ou inchando ao ganhar umidade, esses efeitos podem ser controlados e diminuídos utilizando-se técnicas de secagem. Dessa forma, a grande importância da secagem, é salvaguardar a estabilidade dimensional da madeira, tornando-a mais estável possível para ser utilizada em seus fins produtivos (BRAZ, DUARTE, *et al.*, 2015).

### **3. 2. Tipos de secagem**

As vantagens da secagem para o material são muitas, entre elas, a redução da movimentação dimensional, resistência ao ataque de micro-organismos danosos, facilidade no transporte, aumento da resistência mecânica, aumento no valor da madeira, melhora a colagem, torna-se mais fácil para trabalhar, fazendo com que pregos e parafusos se encaixem melhor e ainda melhora as propriedades de isolamento térmico, elétrico e acústico (REEB, 1997).

Existem diversos tipos de secagem. Com os benefícios trazidos por este processo, a amplitude de estudos no presente tema se dilatou, existindo diversos estudos sobre as melhores formas de secagem da madeira.

Na secagem convencional, temos madeira serrada, que será submetida a temperaturas de 35°C a 90°C, os secadores nesse modelo possuem um sistema próprio para aquecimento e outro para umidificação do ar. Os secadores também devem ser projetados com janelas, as quais serão responsáveis pela troca de ar do ambiente interno com o externo, além de ser equipado com ventiladores para forçar essa troca de ar (JANKOWSKY e GALINA, 2013).

Os secadores convencionais são atualmente mais utilizados nas indústrias que utilizam madeiras folhosas, sendo estas as mais requeridas no mercado nacional. Esse modelo possui bateria que utiliza sistema de vapores para realização do aquecimento e movimentação dos ventiladores, localizados em cima das madeiras, onde por baixo delas sai o ar quente, subindo até as saídas de ar, realizando a troca do ambiente e assim consolidando o processo de secagem. A grande vantagem do



secador é a eficiência, todavia, há um gasto inicial considerável dependendo da demanda (SANTINI, 1987).

A secagem ao ar livre também é um modelo bastante utilizado pela indústria madeireira. Consiste em organizar as madeiras em forma de grade, as expondo em local aberto e aguardando a umidade se tornar tangente com o ambiente. O tempo de exposição irá variar de acordo com a característica do clima local, podendo tornar-se mais demorada que os outros métodos, por contrapartida, o gasto é mínimo (SANTOS, 2018).

A secagem combinada, é um método de secagem que consiste na junção da convencional com a convecção livre. A madeira é alocada inicialmente ao ar livre, a deixando atingir determinado ponto de umidade, após o mesmo ser atingido, é transferida para os secadores convencionais, onde se atingirá um ponto de umidade e massa específica, geralmente 25% a 30%. O procedimento é mais comum em países da Austrália e África do Sul, os quais se utilizam do método combinado, deixando a madeira ao ar livre, se utilizando do clima de suas regiões, gerando eficiência e encurtando o prazo da secagem (ZEN, 2016).

### **3. 3. Secadores Solares**

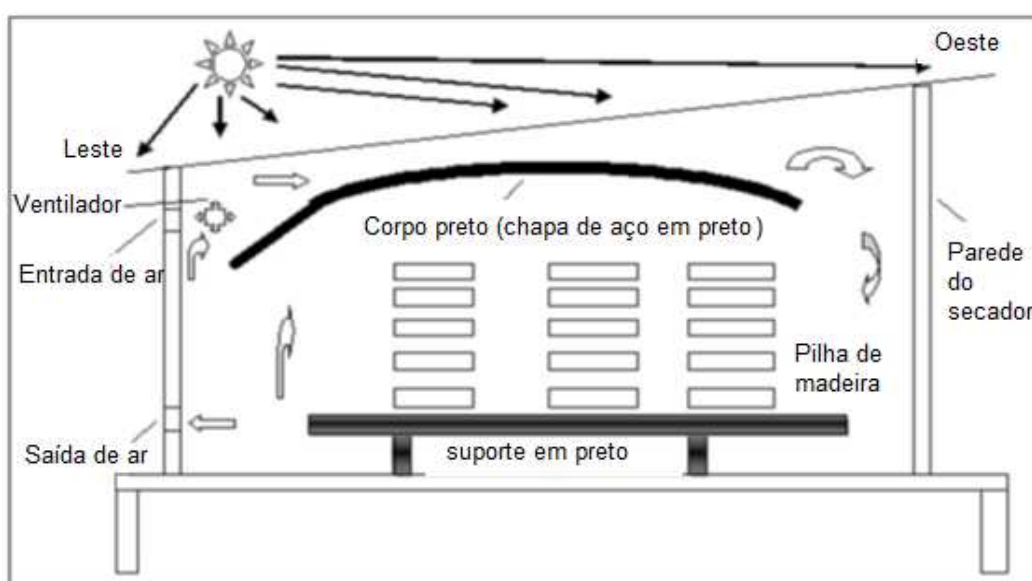
Uma alternativa aos outros métodos, que vem se sobressaindo, é o secador solar, cujo objetivo é ter o mesmo sistema e eficiência de um secador convencional, porém com um grande diferencial, que é a utilização do sol para o aquecimento do seu interior, uma fonte renovável de energia, sem custo algum. O sol aquece a estufa e o ar quente ao entrar em contato com a madeira, seja feito esse contato de forma natural ou através de um esquema de ventilação, troca umidade com o ar e assim seca a madeira de forma gradual.

Um grande diferencial do secador solar é a utilização de uma fonte renovável, mas além dessa vantagem, a secagem leva um tempo ideal para a saúde da madeira, pois a secagem não é muito brusca e rápida, mas também não é muito lenta. Dessa forma, a umidade da madeira é retida de forma um pouco mais lenta, o que evita rachaduras, e não muito longa, o que pode provocar aparições de manchas e fungos (ZEN, 2016).

Pesquisas mostram diversos modelos de secadores solares: estufas verticais, horizontais, construídos a partir de madeira e de metais, com vidros e isopor (LIMA e CAVALVANTE, 1983), (STANGERLIN, SANTINI, *et al.*, 2009), (SIMO-TAGNE, ZOULALIAN, *et al.*, 2017), (BEKKIOUI, ZOULALIAN, *et al.*, 2009). De maneira geral todos possuem uma câmara, um coletor de energia solar, ventiladores, janelas de escape e desviadores para circulação do ar (SALINAS, SÁNCHEZ, *et al.*, 2003).

O Brasil é um país com diversos tipos de climas: equatorial, tropical, tropical de altitude, tropical úmido, semiárido e subtropical (FREITAS, 2019). Por se tratar de um país com clima predominantemente tropical, o que garante temperaturas elevadas em quase todos os meses do ano, possui uma grande vantagem na utilização desses modelos de secadores. A Mesorregião Sudoeste do Estado do Paraná, Região Sul do Brasil, onde foi realizado o experimento, possui clima subtropical, caracterizado por temperaturas médias que variam de 14°C a 19°C, ocorrência de invernos frios e precipitação distribuída regularmente, variando de 1200 a 2000 mm anuais.

Em várias regiões do mundo estão sendo adaptados secadores que utilizam o sol como fonte de calor para secagem de madeira. Bekkioui *et al.* (2009) utilizaram um modelo de secador em um clima marroquino, enquanto Simo-Tagne *et al.* (2017) usaram em Camarões, país Central da África e Fuentes-Salinas *et al.* (2003) construíram um secador na Cidade do México. Em todas as situações acima, os secadores foram construídos com modelos similares a figura 1, com uma pequena inclinação a fim de melhor captura da radiação solar em cada localização.



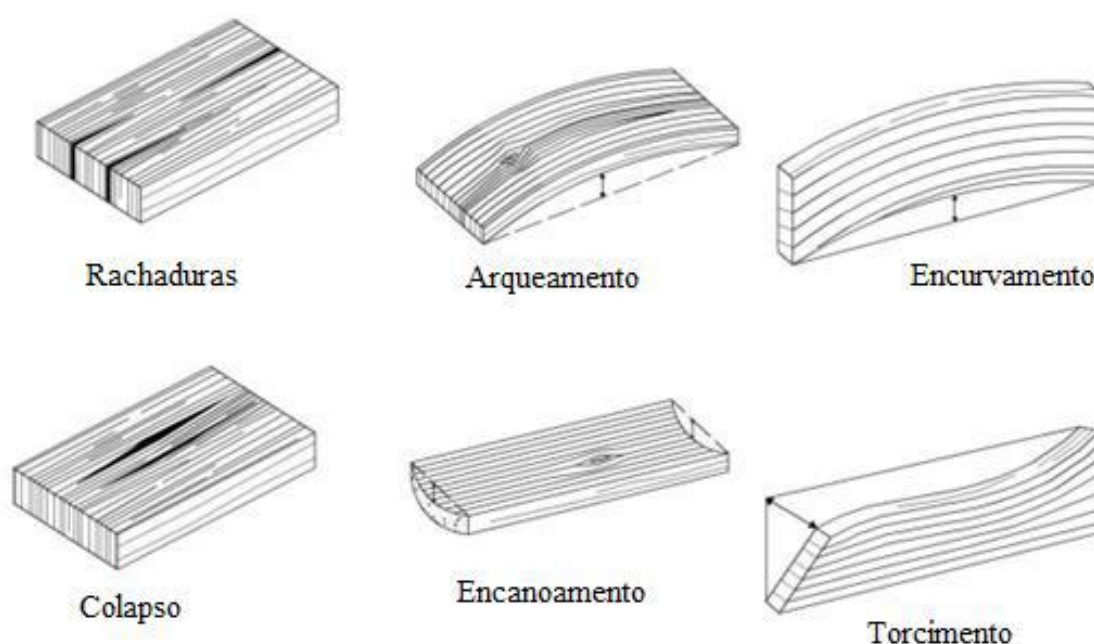
**Figura 1:** Esquema do secador solar.

FONTE: SIMO-TAGNE, *et al.*, 2017.

### 3. 4. Qualidade da madeira após secagem

A qualidade do produto final após a secagem depende do processo e cenário em que foi exposto. Mudanças drásticas na temperatura ou exposição direta da madeira no sol provocam defeitos como fendas e rachaduras, empilhamento desorientado causam deformações e secagem muito lentas causam podridões e azulamentos (ANDRADE, 2000) e (SUSIN, SANTINI, *et al.*, 2014), na figura 2 podemos visualizar como são esses defeitos. De acordo com Batista et al. (2016), a probabilidade de surgimento de defeitos em madeiras densas é alta pois altera de forma expressiva a propriedade física da peça.

Entre todos os defeitos que possam surgir após a secagem, o empenamento é um defeito que proporciona maior estorvo para se corrigir e até mesmo para se controlar (ROCHA e TRUGILHO, 2006). Como resultado, a secagem de madeira pelo método de estufa solar de acordo com Susin et al. (2014), Stangerlin et. al. (2009) e Salinas et. al. (2003) comprovou satisfação na qualidade da madeira após secagem.



**Figura 2:** Principais defeitos após a secagem.

*FONTE: ABNT/NBR 9487, 1986 (adaptado).*

### **3. 5. Taxas de Secagem**

Para o acompanhamento do teor de umidade durante a secagem, faz-se necessário determinar e identificar o teor de umidade inicial das amostras, teor de umidade final e o tempo em dias que as amostras serão submetidas para análise. Com essas informações, é possível encontrar a taxa de secagem, conforme orienta Zen, *et. al.* (2019).

### **3.6. Características da madeira de pinus (*Pinus elliottii*).**

Devido à composição química da madeira, essa matéria prima tem a característica de higroscopicidade, que consiste na capacidade de absorver a água do meio externo. Toda árvore cortada recentemente possui muito volume de água em seu interior, a madeira de pinus é comumente conhecida como madeira macia por seu teor de umidade inicial ser acima de 100% em relação ao seu peso seco (BORGES e QUIRINO, 2004).

## 4. METODOLOGIA

### 4. 1. Caracterização da área experimental

A área utilizada para realização dos experimentos de secagem localiza-se no município de Francisco Beltrão - PR, e o experimento foi alocado sob as coordenadas 26° 05' 03.52" de Latitude Sul e 53° 05' 29.66" de Latitude Oeste (Coordenadas UTM Datum SAD 69), a 558 metros sobre o nível do mar (figura três).



**Figura 3:** Área experimental.

*FONTE: Google Earth, acesso em 2021.*

### 4. 2 Materiais Utilizados

As madeiras utilizadas nos experimentos foram compradas em uma madeireira localizada na cidade de Francisco Beltrão, onde sua secagem é exclusivamente pelo método ao ar livre e, segundo o proprietário, levam-se seis meses para a madeira estar pronta para manufatura.

Foram adquiridas 18 madeiras verdes da espécie de pinus com 150cm de comprimento, 15 cm de largura e 5 cm de espessura. Após, foram cortadas 3 amostras menores dessas madeiras maiores com 10 cm de comprimento, 15 cm de largura e 5

cm e espessura e, então, foram dispostas em cada estufa 3 madeiras e mais 3 amostras menores, da mesma forma para cada monte ao ar livre foram dispostas 3 madeiras e 3 amostras menores conforme figura 4.



**Figura 4:** Amostras menores.

*FONTE: Própria autoria, 2021.*

Foram nomeado as estufas solares (E1, E2 e E3) e os montes para secagem ao ar livre (M1, M2 e M3) e também as amostras dentro de cada tratamento, sendo que as amostras foram nomeadas de 1 a 3 com o A na frente, ex: A1.

### **4. 3 Equipamento experimental construído**

O projeto do protótipo foi elaborado a fim de captar de maneira mais eficiente à energia solar e melhorar o processo de secagem. Tendo como base os diversos secadores solares desenvolvidos em trabalhos anteriores, foi construído um novo modelo para verificar sua eficiência através deste experimento.

Foram construídos três secadores solares, do mesmo modelo (Figura 5), sua estrutura foi construída de madeira naval e lona plástica de 150 micras, sendo que em um deles foi acoplado um ventilador ligado a uma placa solar.



**Figura 5:** Modelo do secador construído.

*FONTE: Própria autoria, 2021.*

#### **4. 4. Procedimentos experimentais**

##### **4. 4. 1. Determinação do teor de umidade inicial da madeira**

Após adquiridas as madeiras, foram cortadas subamostras da extremidade, sendo que cada amostra tinha medidas de 10 cm de comprimento, 15 de largura e 5 e espessura.

Foi realizada a medição da massa inicial dessas amostras em balança de precisão, AD3300 Marte, e então submetidas à secagem em estufa elétrica a 105 °C por 24 horas para obter o teor de umidade inicial da madeira, conforme a metodologia proposta por Cunniff (1998).

Através da equação 1, pode-se determinar a umidade inicial de cada das madeiras dispostas nas estufas e montes.

$$TU_i = \frac{m_i - m_{fe}}{m_i} \times 100 \quad (1)$$

TU<sub>i</sub> = Teor de umidade inicial da madeira, em base úmida (%).

$m_i$  = Massa inicial da amostra (g).

$m_{fe}$  = Massa final após secagem em estufa a 105°C por 24 horas (g).

#### 4. 4. 2 Experimentos de secagem

Os experimentos de secagem foram realizados nos meses de fevereiro e março de 2021, em uma área aberta para melhor captura da luz solar no secador solar, conforme descrito anteriormente.

##### 4. 4. 2. 1 Secagem ao ar livre

Para a secagem ao ar livre foram colocados três montes separados, cada um com 3 madeiras, em uma área plana dentro da UTFPR. As madeiras de cada monte foram dispostas em triângulo, conforme figura 6. Porém os dados do monte central foram desconsiderados em função de erros de medidas, analisando-se, então, apenas os dados do monte 1 e 2, direita e esquerda na imagem, respectivamente.



**Figura 6:** Disposição das madeiras ao ar livre.

*FONTE: Própria Autoria, 2021.*

##### 4. 4. 2. 2 Secagem em estufa solar

As madeiras dentro do secador foram dispostas verticalmente e separadas por um suporte desenvolvido com arames, afim de não as deixar juntas e atrapalhar a



passagem de ar, conforme imagem 7. Foram dispostas 3 madeiras em cada secador junto com 3 amostras cada. Durante o experimento, foram feitas medidas da massa das três amostras de cada secador, de forma a ser possível acompanhar a cinética de secagem da madeira.



**Figura 7:** Disposição das madeiras na estufa solar.

*FONTE: Própria Autoria, 2021.*

Uma estufa teve um ventilador no bocal, conforme indicado na figura 8, para fins de comparação de um agente de ventilação forçada e esse ventilador estava sendo alimentado através de uma placa solar fornecida por empresa especializada.



**Figura 8:** Indicação do ventilador na estufa solar.

*FONTE: Própria Autoria, 2021.*

#### 4. 4. 3 Determinação do teor de umidade instantâneo das amostras

O experimento ocorreu simultaneamente, para que as condições climáticas fossem as mesmas para as madeiras submetidas à secagem em estufa solar e ao ar livre. Durante todo o experimento, foi feita a medição da massa diária das amostras através de uma balança gravimétrica.

Para encontrar a umidade instantânea de cada amostra, foi utilizada a equação 2.

$$TU_{ins} = \frac{(TU_f - TU_i) \times (m_{ins} - m_i)}{(m_f - m_i)} + TU_i \quad (2)$$

$TU_{ins}$  = Teor de umidade instantânea da madeira (%).

$TU_f$  = Teor de umidade final da madeira (%).

$TU_i$  = Teor de umidade inicial da madeira (%).

$m_{ins}$  = Massa instantânea da amostra (g).

$m_i$  = Massa inicial da amostra (g).

$m_f$  = Massa final da amostra (g).

#### 4. 4. 4 Determinação das taxas de secagem

Através do teor de umidade final da madeira foi calculada a taxa média de secagem para cada método, conforme a equação 3.

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

$T_s$  = Taxa média de secagem (%/dia).

$TU_i$  = Teor de umidade inicial da madeira (%).

$TU_f$  = Teor de umidade final da madeira (%).

$t$  = tempo de secagem (dias).

#### 4. 4. 5 Estratificação dos dados experimentais

Para uma melhor visualização dos dados de perda de umidade e para possibilitar o comparativo entre os experimentos realizados, obtiveram-se os valores adimensionais para cada processo de secagem, conforme equação 4.

$$X = \frac{TU_{ins} - TU_f}{TU_i - TU_f} \quad (4)$$

$X$  = Teor de umidade adimensional;

$TU_{ins}$  = Teor de umidade instantâneo da madeira (%).

$TU_i$  = Teor de umidade inicial da madeira (%).

$TU_f$  = Teor de umidade final da madeira (%).

#### 4. 4. 6 Obtenção dos parâmetros do processo de secagem

Durante todo o experimento foram coletadas a temperatura e a umidade relativa interna do secador, e também a temperatura externa. Esses parâmetros foram obtidos utilizando-se termo-higrômetros, através dos aparelhos da marca Icel Manaus, o modelo HT-7100 para temperatura externa e o HT-7002 para temperatura e umidade

interna. Ambos possuem exatidão em temperatura de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  e em umidade de  $\pm 5\%$  de  $0^{\circ}$  a  $45^{\circ}\text{C}$ .

#### **4. 4. 7 Metodologia para análise da qualidade da madeira**

No final do experimento, foi feita a análise da qualidade das madeiras secas no secador e nas madeiras secas ao ar livre.

Foram avaliados e identificados os defeitos de rachaduras, arqueamento, podridões e surgimento de fungos. Ao avaliar cada amostra, foram classificados como “existente” ou “inexistente” cada defeito. Os critérios utilizados, conforme Martins (1984), classifica os defeitos com ausente de 0 a 10%, presente de 11 a 30%, moderado de 31 a 50% e grande de 51 a 100% no aparecimento dos defeitos nas amostras, mesmos critérios utilizados no estudo de Brandão (1989) e Batista, Klitzke, Rocha e Batista (2016).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5. 1. Processo de secagem da madeira com o uso dos secadores solares

#### 5. 1. 1 Umidade inicial

As umidades iniciais das madeiras dispostas nas estufas solares estão descritas na tabela 1. As madeiras estavam verdes com média de umidade de 47,86%.

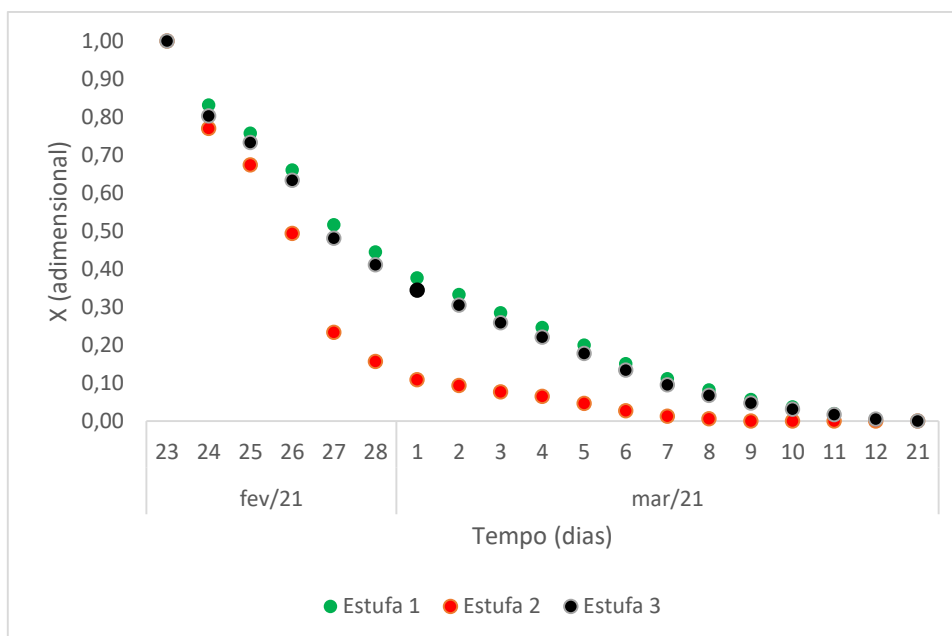
**Tabela 1:** Umidade inicial das madeiras no secador solar.

*FONTE:* Própria autoria, 2021.

<b>Teor de Umidade Inicial (%)</b>	
<b>Estufa 1</b>	49,65
<b>Estufa 2</b>	50,61
<b>Estufa 3</b>	43,32
<b>MÉDIA</b>	<b>47,86</b>

#### 5. 1. 2 Cinética de Secagem

Na figura 9 é apresentada a cinética de secagem da madeira em função do tempo, na forma de umidade instantânea adimensional das amostras durante a secagem em estufa solar.



**Figura 9:** Comparativo da umidade adimensional instantânea das 3 estufas solares.

*FONTE: Própria Autoria, 2021.*

Pode-se observar que a madeira disposta na estufa 2 obteve uma perda de umidade muito mais acentuada do que as das estufas 1 e 3 e, após o sexto dia, as madeiras já estavam com a umidade próxima a umidade final, o que é observado nas outras 2 estufas após o décimo sétimo dia. Isso ocorreu pelo fato que a estufa 2 teve um ventilador fazendo a ventilação forçada do ar interno da estufa

### 5. 1. 3 Taxas de Secagem

O experimento ocorreu por 27 dias, e através do período de secagem foi encontrado a taxa de secagem demonstrada na tabela 2.

**Tabela 2:** Taxas de secagem das madeiras no secador solar.

*FONTE: Própria autoria, 2021.*

Taxa de Secagem (%/dia)	
<b>Estufa 1</b>	1,55
<b>Estufa 2</b>	1,47
<b>Estufa 3</b>	1,25

#### 5. 1. 4 Umidade Final

Após o período de estabilização das amostras, no momento em que as condições ambientais tornaram-se desfavoráveis para a secagem na estufa solar, foi determinado o teor de umidade final da madeira. Segundo BOND (2006), estufas solares podem reduzir a umidade da madeira até 8-10% nos meses de verão, o que ocorreu na estufa solar nesse estudo, a qual a menor umidade final chegou a 7,89%, conforme tabela 3.

**Tabela 3:** Umidade final das madeiras no secador solar.

*FONTE:* Própria autoria, 2021.

<b>Teor de Umidade Final (%)</b>	
<b>Estufa 1</b>	<b>8,55</b>
<b>Estufa 2</b>	<b>11,18</b>
<b>Estufa 3</b>	<b>9,61</b>

As madeiras da estufa 2 possuíam maior umidade inicial, tendo sido submetidas ao mesmo tempo de secagem que as demais estufas, por essa razão perdeu menos umidade que as demais.

Comparando os valores de umidades finais obtidos com os valores iniciais, as estufas 1, 2 e 3 perderam 82,78%, 77,91% e 77,82% respectivamente. Percebe-se que na estufa 1 o experimento foi mais efetivo, quando comparado ao valor de umidade inicial.

#### 5. 1. 5. Qualidade Final da Madeira

Como mencionado anteriormente, a identificação dos defeitos foi realizada após o encerramento da secagem. Foram observados o aparecimento de arqueamentos, rachaduras, podridão, fungos e azulamento. Na tabela 4 está a relação de defeitos encontrados na madeira disposta em estufa solar, sendo assim definidos: A- Ausente, P- Presente, M- Moderado e G- Grande.

Foram encontrados empenamento apenas nas amostras da estufa 2, isso pode ser explicado pela perda de massa mais rápida no início da secagem, decorrente da ventilação forçada feita pelo ventilador. Em um geral, as madeiras dispostas no

secador solar, apresentaram boa qualidade, quase todas sem nenhum defeito aparente, o que é muito bom para o processo pós secagem.

**Tabela 4:** Qualidade da madeira do secador solar.

*FONTE:* Própria autoria, 2021.

	<b>ARQUIAMENTO</b>	<b>RACHADURAS</b>	<b>PODRIDÃO</b>	<b>FUNGOS</b>	<b>AZULAMENTO</b>
<b>E1A1</b>	A	A	A	A	P
<b>E1A2</b>	A	A	A	A	A
<b>E1A3</b>	A	A	A	A	A
<b>E2A1</b>	A	A	A	A	A
<b>E2A2</b>	P	A	A	A	A
<b>E2A3</b>	P	A	A	A	A
<b>E3A1</b>	A	A	A	A	A
<b>E3A2</b>	A	A	A	A	A
<b>E3A3</b>	A	A	A	A	A
<b>E1B1</b>	A	A	A	A	A
<b>E1B2</b>	A	P	A	A	A
<b>E1B3</b>	A	A	A	A	P
<b>E2B1</b>	A	A	A	A	P
<b>E2B2</b>	A	A	A	A	A
<b>E2B3</b>	A	A	A	A	A
<b>E3B1</b>	A	A	A	A	A
<b>E3B2</b>	A	A	A	A	P
<b>E3B3</b>	A	P	A	A	A



## 5. 2 Processo de secagem da madeira ao ar livre

### 5. 2. 1 Umidade inicial

As umidades iniciais das madeiras dispostas nos montes ao ar livre estão descritas na tabela 5. As madeiras estavam verdes com média de umidade de 53,90%.

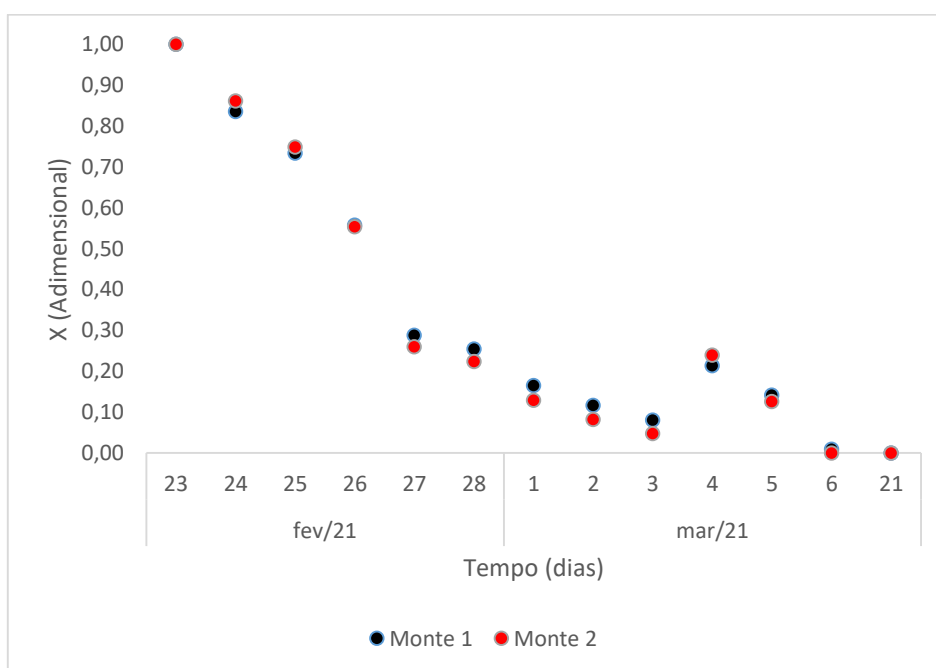
**Tabela 5:** Umidade inicial das madeiras na secagem ao ar livre.

*FONTE:* Própria autoria, 2021.

Teor de Umidade Inicial (%)	
<b>Monte 1</b>	53,51
<b>Monte 2</b>	54,29
<b>MÉDIA</b>	<b>53,90</b>

### 5. 2. 2 Cinética de Secagem

Na figura 10 é apresentada a cinética de secagem da madeira em função do tempo, na forma de umidade instantânea adimensional das amostras durante a secagem ao ar livre.



**Figura 10:** Comparativo da umidade adimensional instantânea dos montes de secagem ao ar livre.

*FONTE:* Própria Autoria, 2021.

As madeiras estavam dispostas ao tempo, obtendo contato direto com o sol ou chuva. Pode-se observar na figura quando ocorreu dias de chuva, pelos picos de ganho de umidade da madeira, decorrentes da absorção da água. Percebe-se que o comportamento dos montes foi similar, pelo fato que o experimento ocorreu ao mesmo tempo com as mesmas condições climáticas.

A secagem ao ar livre é um método sobre o qual não se possui muito controle dos parâmetros. A oscilação da perda de massa de um monte para outro pode ter ocorrido por esses parâmetros incontrolláveis ou até mesmo por alguma característica física da madeira, por mais que seja a mesma espécie, o corte, a altura de onde veio essa madeira podem alterar o seu perfil de perda de massa, esses também são parâmetros incontrolláveis.

### 5. 2. 3 Taxas de Secagem

O experimento ocorreu por 27 dias, e através do período de secagem foi encontrado a taxa de secagem demonstrada na tabela 6.

**Tabela 6:** Taxas de secagem das madeiras na secagem ao ar livre.

*FONTE:* Própria autoria, 2021.

	<b>Taxa de Secagem (%/dia)</b>
<b>Monte 1</b>	1,10
<b>Monte 2</b>	1,17

### 5. 2. 4 Umidade Final

Após o período de estabilização das amostras dispostas na estufa solar, encerrou-se o período de secagem ao ar livre e foi determinado o teor de umidade final da madeira, sendo que a menor umidade final encontrada nas amostras foi de 21,01%, conforme tabela 7.

**Tabela 7:** Umidade final das madeiras na secagem ao ar livre.

FONTE: Própria autoria, 2021.

<b>Teor de Umidade Final (%)</b>	
<b>Monte 1</b>	<b>21,01</b>
<b>Monte 2</b>	<b>21,47</b>

Segundo Jankowsky, Brandão *et al.* (1986), na região Sul do Brasil, onde ocorreu o experimento, as madeiras secas ao ar livre dificilmente chegariam a umidade final baixas, pois o teor de umidade de equilíbrio da região é de 16,3% durante o período do experimento.

Comparando os valores de umidades finais obtidos com os valores iniciais, os montes 1 e 2 perderam 60,74% e 60,45% respectivamente de umidade.

### 5. 2. 5. Qualidade Final da Madeira

Após o encerramento da secagem ao ar livre, foram observados o aparecimento de arqueamentos, rachaduras, podridão, fungos e azulamento. Na tabela 8 está a relação de defeitos encontrados na madeira disposta a secagem ao ar livre, classificados como: A- Ausente, P- Presente, M- Moderado e G- Grande.

**Tabela 8:** Qualidade da madeira de secagem ao ar livre.

FONTE: Própria autoria, 2021.

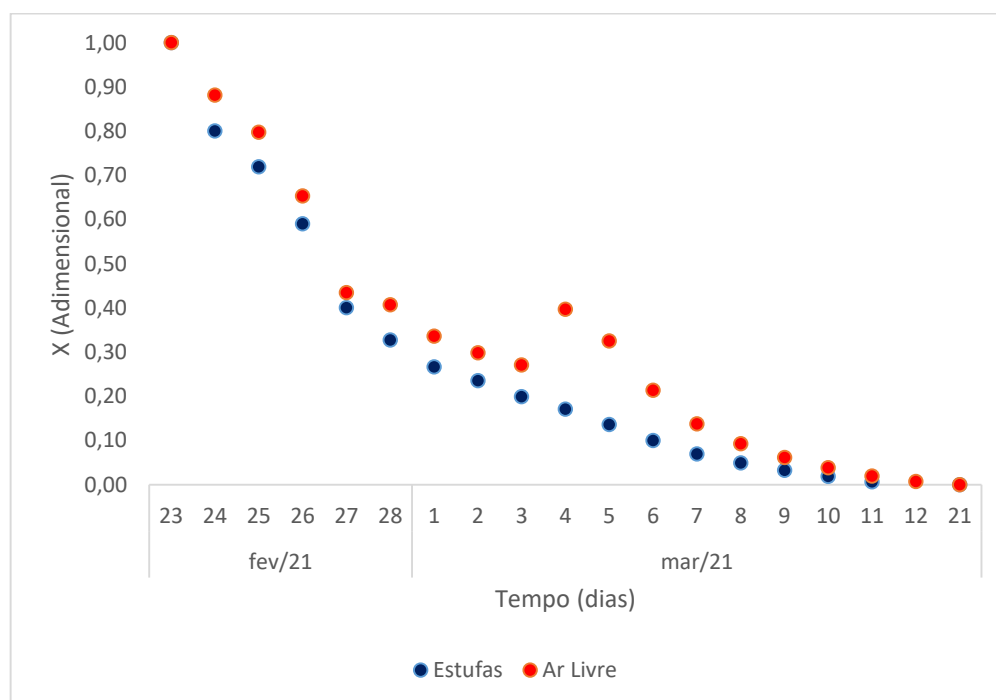
	<b>EMPENAMENTO</b>	<b>RACHADURAS</b>	<b>PODRIDÃO</b>	<b>FUNGOS</b>	<b>AZULAMENTO</b>
<b>M1A1</b>	A	A	A	A	M
<b>M1A2</b>	A	A	A	P	M
<b>M1A3</b>	A	A	A	M	M
<b>M2A1</b>	A	A	A	A	A
<b>M2A2</b>	A	A	A	A	G
<b>M2A3</b>	A	A	A	A	G
<b>M1B1</b>	A	A	A	M	P

<b>M1B2</b>	A	P	A	M	M
<b>M1B3</b>	A	A	A	A	P
<b>M2B1</b>	A	A	A	M	M
<b>M2B2</b>	A	A	A	A	M
<b>M2B3</b>	A	A	A	M	M

A secagem ao ar livre não demonstrou aparecimento de arqueamentos e podridão, por outro lado houve um alto índice de surgimento de fungos e azulamentos. A ocorrência de fungos manchadores em madeiras de pinus é bastante comum quando expostas a chuvas, sendo os mais comuns *Penincillium*, *Aspergillus* e *Trichoderma* (MOREIRA, *et al.*, 2004 e HENZ e CARDOSO, 2005).

### 5. 3 Comparação entre os resultados obtidos pela secagem com secador solar e ao ar livre

Na figura 11 tem-se a comparação dos dois métodos de secagem: em estufa solar e ao ar livre.

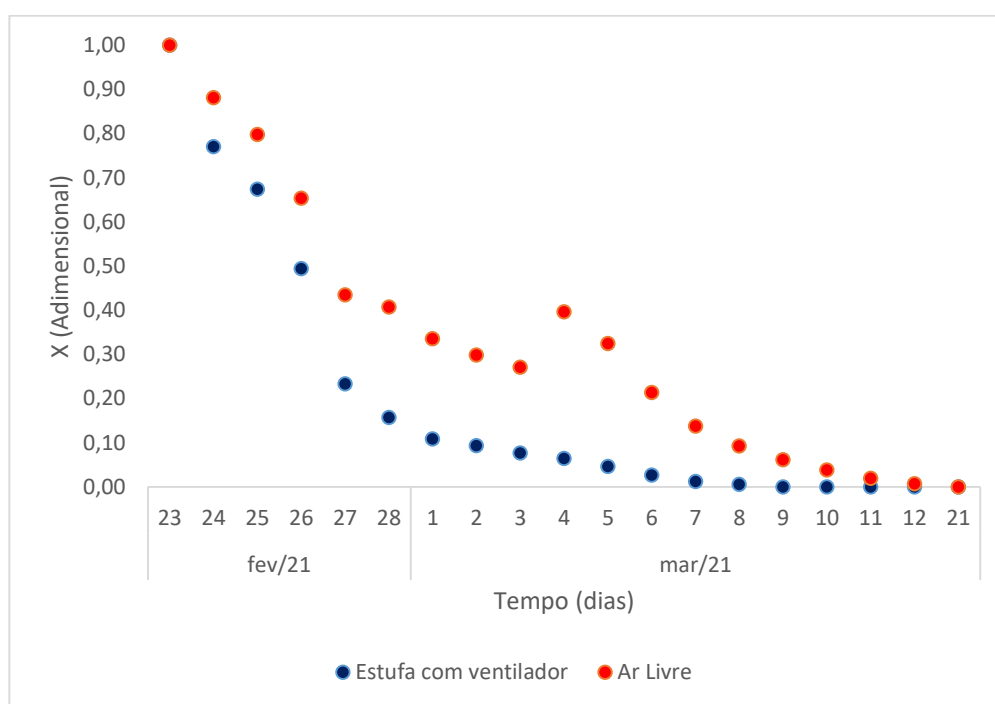


**Figura 11:** Comparativo entre os 2 métodos de secagem.

FONTE: Própria Autoria, 2021.

Através desse gráfico, pode-se analisar que o método de secagem em estufa solar foi mais efetivo comparado ao método ao ar livre. A perda de umidade foi maior em ambos os métodos nos primeiros dias quando a madeira estava mais propícia à perda de água, quando a água estava mais na superfície, e no decorrer dos dias a perda de umidade se tornou uniforme, quando a água está mais na parte interna, o que naturalmente dificulta a transferência de massa.

Na figura 12 encontra-se o comparativo da perda de umidade da madeira disposta na estufa 2, a qual possuía um ventilador movido a energia solar, comparado ao método ao ar livre. Neste gráfico, pode-se identificar a grande eficácia do modelo do secador solar com o ventilador, nos primeiros dias a perda de umidade foi muito maior na estufa do que ao ar livre, no décimo segundo dia a umidade já começa a se estabilizar.



**Figura 12:** Comparativo entre os 2 métodos de secagem, utilizando apenas a estufa com ventilador.

*FONTE: Própria Autoria, 2021.*

Para comparar o tempo de secagem entre os métodos, foi estabelecido um comparativo para o teor de umidade de 20%, variando até 2% a mais ou a menos. Na tabela 9, pode-se ver a média do tempo para esse teor de umidade, nessa situação a estufa solar 2 que tinha a ventilação forçada foi 1,73 e 1,92 vezes mais rápida que a

estufa 1 e 3, respectivamente. Isso nos mostra que a ventilação forçada acelerou a secagem da madeira.

Comparando a estufa com ventilador com a secagem ao ar livre, ela chegou a ser 2,2 vezes mais rápida. Comparando a secagem em estufa solar sem o ventilador, essas foram 1,21 vezes mais rápidas que a secagem ao ar livre.

**Tabela 9:** Taxa de secagem entre os métodos.

*FONTE:* Própria autoria, 2021.

	<b>DIAS</b>	<b>TU<sub>f</sub> (%)</b>	<b>Taxa de Secagem (%/dia)</b>
<b>Estufa 1</b>	8,33	20,59	3,50
<b>Estufa 2</b>	5	20,32	6,06
<b>Estufa 3</b>	7,33	20,31	3,15
<b>Monte 1</b>	12,67	19,25	2,70
<b>Monte 2</b>	12,33	19,98	2,80

O diferencial entre os dois métodos foi tanto na questão da umidade final quanto na qualidade da madeira.

Na estufa solar, as madeiras chegaram a umidade final mais baixa, com média de 10% a menos que as madeiras secas ao ar livre.

O experimento na estufa solar finalizou em 27 dias, enquanto que nas madeiras o tempo mínimo deixado ao ar livre são de 6 meses.

No que diz respeito à qualidade da madeira, esta foi superior na secagem em estufa solar, devido a proteção contra as chuvas, o que evita a proliferação de fungos e azulamentos, como pode-se perceber na figura 13, onde a madeira da esquerda é a madeira seca ao ar livre e a madeira da direita seca em estufa solar.



**Figura 13:** Amostra de madeira seca ao ar livre e na estufa solar.

*FONTE: Própria Autoria, 2021.*

## 6. CONCLUSÃO

A madeira, antes de ser manufaturada, necessita passar por um processo de tratamento, a secagem. Além de ser necessária para o acabamento, fixação de um produto como o verniz por exemplo, a secagem facilita no momento de transporte e manuseio e evita a propagação de fungos. Nesse viés, construiu-se um modelo de secador solar.

Com base nos resultados deste estudo, conclui-se que o tempo, a taxa de secagem e a umidade final no método de secagem em estufa solar com ventilação forçada é mais eficiente comparado ao método de secagem ao ar livre ou em estufa solar sem a ventilação forçada.

Em relação a qualidade da madeira, comparando-se os dois métodos, a madeira seca no método de secagem em estufa solar, obteve melhor qualidade em relação ao aparecimento de fungos e azulamentos, visto que a maior parte das madeiras disposta ao ar livre apresentaram azulamento.

Não foi identificado diferença significativa entre os métodos em relação ao surgimento de empenamentos, rachaduras e podridão.

Como trabalho futuro, sugere-se a utilização de outros materiais para construção do secador para verificar a eficiência do modelo construído comparando diferentes tipos de materiais, como por exemplo utilizar vidro substituindo a lona plástica de 150 micras.



## REFERÊNCIAS

ALVES, R. C.; BATISTA, D. C.; PAES, J. B.; BARBOSA, T. L.; BOSCHETTI, W. T.. **Câmaras de secagem convencional e a alta temperatura.** Revista da Madeira, p. edição nº 130, 2012.

ALVES, R. P.; ESTEVÃO, C. I. M.; DORES, V. M.; SILVA D. C.. **Densidade básica das madeiras de Mogno, Cerejeira e Cedro espécies nativas brasileiras.** I Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar, 2017.

ANDRADE, A. **Indicação de Programas para a secagem convencional de madeiras.** Piracicaba - Universidade de São Paulo. 1-85. 2000.

ARAÚJO, A.; MALINOVSKI, R. A.; VASCONCELOS, J. S. **Análise de Viabilidade econômica de um Processo de Secagem de Madeira para Empresas Madeireiras do Sudoeste do Paulista.** Revista Ciência em Extensão, p. 51-70, 2011.

ARAUJO, V. A.; GARCIA, J. N.; BARBOSA, J. C.; GAVA, M.; SAVI, A. F.; MORALES, E. P. A.; LAHR, F. A. R.; VASCONCELOS, J. S.; CHRISTOFORO, A. L. **Importância da madeira de florestas plantadas para indústria de manufaturados.** Pesquisa Florestal Brasileira, abr/jun 2017. 189-200.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9487: **Classificação de madeira serrada de folhosas.** Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. K.; ROCHA, M. P.; BATISTA, T. R. **Ensaio de Taxa de Secagem e Escore de Defeitos para Predição da Qualidade da Secagem Convencional da Madeira de *Eucalyptus* sp.- Parte 2.** Floresta e Ambiente, 2016. 135-141.

BEKKIOUI, N.; ZOULALIAN, A.; HAKAM, A.; BENTAYEB, F.; SESBOU, A. **Modelling of a solar wood dryer with glazed walls.** Maderas. Ciencia y tecnologia., 02 outubro 2009. 191-205.

BORGES, L. M.; QUIRINO, W. F. **Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tratado ermicamente.** Revista Biomassa & Energia, p. 173-182, 2004.

BRANDRÃO, A. D. O. **Determinação de metodologia para a indicação de programas de secagem para madeiras.** Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1989.

BRAZ, R. L.; DUARTE, A. P.; OLIVEIRA, J. T.; MOTTA, J. P.; ROSADO, A. M. **Curva Característica de Secagem da Madeira.** Floresta e Ambiente, p. 117-123, 2015.

BRUNI, L.; FAMÁ, R.; SIQUEIRA, J. D. O. **Análise do Risco na Avaliação de Projetos de Investimento: Uma Aplicação do Método de Monte Carlo.** Caderno de Pesquisas em Administração, p. 1-14, 1998.

CUNNIFF, P.. **Official methods of analysis of AOAC international.** Gaithersburg (MD), 1998.

FREITAS, E. **Clima Brasileiro.** Brasil Escola, 2019. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/brasil/clima-brasileiro.htm>>. Acesso em 02 de junho.

GARCIA, F. M.; MANFIO, D. R.; SANSÍGOLO, C. A.; MAGALHÃES, P. D. **Rendimento no Desdobro de Toras de Itaúba (*Mezilaurus itauba*) e Tauari (*Cauratari guianensis*) Segundo a Classificação da Qualidade da Tora.** Floresta e Ambiente, out/dez 2012. 468-474.

HENZ, G. P.; CARDOSO, F. B. **Absorção de água e proliferação de fungos em madeira de *Pinus* usada na embalagem para hortaliças.** Horticultura Brasileira, Brasília, jan-mar 2005. p. 138-142.

JANKOWSKY, I. P.; BRANDÃO, A. T. O.; OLIVEIRA, H.; JOSÉ C. L.; MILANO, D. **Estimativa da umidade de equilíbrio para cidades da região Sul do Brasil**. IPEF, n.32, abr 1986. 61-64.

JANKOWSKY, I. P.; GALINA, I. C. M. **Secagem de madeiras**. São Paulo: ITTO, 2013.

JUNIOR, C. C.; DIAS, A. A. **Utilização da madeira em construções rurais**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 1997.

KLITZKE, R. J.; BATISTA, D. C. **Ensaio de taxa de secagem e escore de defeitos para a predição da qualidade de secagem convencional da madeira de *Eucalyptus***. Scientia Forestalis, março 2010. 97-105.

LIMA, L. M. Q.; CAVALVANTE, A. A. Módulo para secagem de madeiras- Aplicações Tecnológicas da Energia Solar. **Acta Amazonica**, 1983. 869-873.

MOREIRA, L. S.; ABREU, R. L. S.; HANADA, R. E. **Estudo da sucessão de fungos na madeira de *Scleronema micranthum* (Ducke) Ducke (Cardeiro)**. XIII Jornada de Iniciação Científica do PIBIC/CNPq/FAPEAM/INPA. Manaus, 2004.

PINCELLI, A. L. P. S. M.; BRITO, J. O.; CORRENTE, E. **Avaliação da termorreificação sobre a colagem na madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. Scientia Florestalis, p. 122-132, 2002.

QUIRINO, F. **Preservação de estacas e mourões de cerca por retificação térmica e impregnação de pirolenhosos e alcatrões**. Brasília. LPF/IBAMA-PNUD/FAO - UnB, 1997.

REEB, J. E. **Drying Wood**. Department of Agriculture, University of Kentucky – College of Agriculture, p. 8, 1997.

**Relatório IBÁ 2017**. São Paulo: Indústria Brasileira de Árvores, 2017.

ROCHA , M. P.; TRUGILHO, P. F. **Qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus dunnii* em função do método de desdobro e condição de umidade.** Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal, p. 314-321, 2006.

SALINAS, F. M.; SÁNCHEZ, L. D.; SUÁREZ, O. J.; ISLAS, C. J. **Construcción y validación de un secador solar para madeira aserrada.** Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 2 Junho 2003. 171-176.

SANTINI, E. J. **Secagem de Madeira serrada em estufa solar e sua comparação com os métodos convencionais.** Revista Floresta, 1987.

SANTOS, C. L. **Secagem ao ar livre da madeira de *Bertholletia excelsa* (Castanheira).** Universidade Federal Rural da Amazônia, 2018.

SEVERO, E. T. D. **Qualidade da secagem de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii*.** Ciência Florestal, 2000.

SIMO-TAGNE, M.; ZOULALIAN, A.; REMOND, R.; ROGAUME, Y.; BONOMA, B. **Modeling And Simulation os an Industrial indirect solar dryer for Iroko wood in a Tropical environment.** Maderas. Ciencia y tecnologia , 20 novembro 2017. 95-112.

SIMPSON, W. T. **Dry Kiln Operator's Manual.** Madison, Wisconsin: United States Department of Agriculture, 1991.

SOUZA, V. S. **Arquitetura em Madeira: Identidade e Relação Cultural.** Revista Thêma et Scientia, p. 39-46, 2013.

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, outubro-dezembro 2009. 461-472.

SUSIN, F.; SANTINI, E. J.; STANGERLIN, D. M.; MORAIS, W. W.; MELO, R. R. **Taxa de Secagem e Qualidade da Madeira Serrada de Hovenia dulcis Submetida a Dois Métodos de Secagem.** Floresta e Ambiente, abr/jun 2014. 243-250.

ZEN, L. R.; MONTEIRO, T. C.; SCHAEFFER, W.; KAMINSKI, M.; KLITZKE, R. J. **Secagem ao ar livre da madeira serrada de eucalipto.** Journal of Biotechnology and Biodiversity, 2019.

ZEN, L. R. **Métodos Combinados Para Secagem Da Madeira De Eucalyptus: Pré-Secagem Ao Ar Livre Com Secagem Em Estufa Convencional.** Universidade Federal do Paraná - Curitiba, p. 103, 2016.