UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

Matheus Canisio Henn

ESTUFA AUTOMÁTICA PARA SECAGEM DE MADEIRA

Passo Fundo 2017

-	AT.	. 1		\sim	•	•	T T	
IN.	/I വ	th.	2110	Cai	110	110	щ	ann
10	10		cus	V (41)	112	110		

ESTUFA AUTOMÁTICA PARA SECAGEM DE MADEIRA

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, sob orientação do professor Ms. Rodrigo Siqueira Penz.

Passo Fundo

Matheus Canisio Henn

Estufa automática para secagem de madeira

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, sob orientação do professor Me. Rodrigo Siqueira Penz.

Aprovado em	de	de	e 2017.
BANG	CA EXAMI	NADORA	
Prof. Me. Orienta	dor Rodrig	o Siqueira Pen	z - UPF
Prof. Dr. A	Adriano Lui	s Toazza - UPI	F
Prof. Me.	Edson Sant	os Acco - UPF	7

Este trabalho é dedicado a minha namorada Dandara e aos nossos pequenos, Barth e Rê. Jamais chegaria até esta etapa sem a compreensão e a força que cada um me mandou. Sem dúvida são o meu porto seguro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda a minha família pelo suporte e colaboração em qualquer momento, principalmente ao meu pai Canisio, guerreiro e herói, inspiração para transformar sonhos em realidade. À minha mãe Denir, amorosa e batalhadora, confortando nossa família em seu enorme coração. Ao meu irmão Gustavo, alegre e motivador, capaz de levantar o astral de qualquer um com suas brincadeiras.

Agradeço a família da minha namorada, que na verdade também se tornou minha família. A minha sogra Nilza que sempre me ajudou e me motivou, fazendo com que os dias passassem com mais tranquilidade. Ao meu cunhado Luiz, quem sempre esteve do meu lado. Sem esquecer da Bebel, que sempre expressou seu amor em nossas chegadas.

Agradeço também a todos meu colegas, por termos passado mais essa jornada juntos, com muito sofrimento, mas também com muitas brincadeiras.

Agradeço também a todos os professores, mestres na arte de ensinar, principalmente ao meu orientador Rodrigo, pessoa que sempre compartilhou experiências e nos mostrou como é possível um professor ser rígido e amigo ao mesmo tempo.



RESUMO

A indústria madeireira cresce a cada dia, alimentada por reflorestamentos planejados que

visam a preservação das florestas nativas. Após serrada, a madeira deve ser secada, e há várias

maneiras de secagem, incluindo secagens controladas ou apenas dependente do tempo e do

clima. A secagem é um processo necessário para que a madeira perca umidade, diminuindo o

peso e melhorando-a em vários aspectos como resistência mecânica e resistência a fungos. Este

projeto realiza o controle do interior de uma câmara de secagem artificial de madeira serrada.

Uma secagem controlada permite com que a água seja retirada da madeira no limite em que ela

suporta, diminuindo assim o tempo e os defeitos causados pela secagem. Espécies de madeira

diferentes alteram as condições de secagem, bem como o local de destino final do produto, isto

é definido pelo programa de secagem ideal para cada situação. Para se obter o controle, é

necessário monitorar a temperatura, a umidade do ar e a velocidade do ar. Esses parâmetros são

medidos por sensores específicos, que enviam as informações para uma central de controle, que

processa os dados e ativa os dispositivos de potência necessários.

Palavras-Chave: Secagem, controle, umidade.

ABSTRACT

The timber industry is growing every day, fueled by planned reforestation aimed at

preserving native forests. After sawing, the wood should be dried, there are several ways of

drying, including controlled drying or just dependent on weather and climate. Drying is a

necessary process for the wood to lose moisture, reducing the weight and improving it in several

aspects like mechanical resistance and resistance to fungi. This project realizes the control in

the interior of an artificial drying chamber of sawn wood. Controlled drying allows the water

be withdrawn from the wood at the limit supports, reducing the time and defects caused by

drying. Different wood species change the drying condition as well as the fine destination of

the product that is defined by the ideal drying program for each situation. In order to obtain full

control, it is necessary to monitor the temperature, air humidity and air velocity, these

parameters are measured by specific sensor, which send the information to a control center,

which process the data and activate the required power devices.

Keywords: Drying, control, humidity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Efeito das variações de umidade nas propriedades da madeira	17
Figura 2 – Porcentagem de umidade relativa	19
Figura 3 – Esquema simplificado e ilustrativo da carta psicrométrica	20
$Figura\ 4-Curva\ de\ teor\ de\ umidade\ (TU),\ temperatura\ de\ bulbo\ seco\ (TBS)\ e\ de\ bulbo\ ún$	nido
(TBU) obtidas durante a secagem de madeira de Pinus elliottii a alta temperatura	20
Figura 5 – Desenho esquemático de um secador convencional	24
Figura 6 – Defeitos de secagem.	25
Figura 7 – Exemplo de programa de secagem para Mogno (Swietenia macrophylla)	27
Figura 8 – Potenciais de secagem de dois tipos de programa (gráfico 1)	28
Figura 9 – (a) Curva típica de um termistor do tipo PTC; (b) Curva do termistor NTC	29
Figura 10 – Curvas de temperatura dos termopares x milivolts	30
Figura 11 – Seção de um termostato com um disco de par bimetálico	31
Figura 12 – Exemplo de um pirômetro	32
Figura 13 – Detalhes de construção de uma célula de carga	34
Figura 14 – Resistividade do Pinus em função do teor de umidade	36
Figura 15 – Medidor de umidade para madeiras DL 2000.	36
Quadro 1 – Comparação entre os principais métodos para determinação do teor de umidad	le da
madeira	37
Figura 16 – Estufa Benecke para madeira serrada A-ASV	40
Figura 17 – Secador Standard da empresa alemã Mahild	40
Figura 18 – Secador tradicional K200 da italiana Nardi	41
Figura 19 – Sistema de controle de secagem Leonardo 3.0 da Nardi	41
Figura 20 – Sistema de controle da chilena Neumann	42
Figura 21 – Protótipo da estufa de secagem de madeira serrada	43
Figura 22 – Esquemático do funcionamento do protótipo	44
Figura 23 – Posicionamento dos ventiladores na parte superior da estufa	44
Figura 24 – Conjunto de polias que movimentam os ventiladores	44
Figura 25 – Vistas frontal e lateral da pilha de madeira serrada que será submetida a seca	gem
	45
Figura 26 – Diagrama de blocos do projeto	46
Figura 27 – Posição do sensor no interior da estufa	47
Figura 28 – Sensor de umidade e temperatura HTU21D	47

Figura 29 – Dampers da estufa	48
Figura 30 – Circuito de acionamento para cada damper	49
Figura 31 – Esquema dos testes práticos para definição do torque do sistema de ventilação	50
Figura 32 – Circuito de acionamento do motor, enviando comandos para o inversor	52
Figura 33 – Esquemático do funcionametno do sistema de umidificação	52
Figura 34 – Kit umidificador: (a) bomba, (b) dosador e (c) bico injetor	53
Figura 35 – Circuito de acionamento do sistema de umidificação	53
Figura 36 – Resistência elétrica de 600W/220V	55
Figura 37 – Circuito de comando do sistema de aquecimento	55
Figura 38 – Caixa da fonte junto com o contator	56
Figura 39 – Display LCD 20x4	57
Figura 40 – Teclado matricial 4x4	57
Figura 41 – Caixa com todas as placas de comando (a) internamente e (b) tampa com o disp	play
e teclado	58
Figura 42 – LaunchPad EK-TM4C123GXL	59
Figura 43 – Primeira parte do algoritmo simplificado do fucionamento da estufa	60
Figura 44 – Segunda parte do fluxograma simplificado do fucionamento da estufa	61
Figura 45 – Parte do programa de secagem que já é preenchido após serem setados os dado	s de
entrada	63
Figura 46 – Umidade Relativa (UR) equivalente para uma temperatura de 45°C e Ts-Tu ig	gual
a 1°C	64
Figura 47 – Diferença Higrométrica (Ts-Tu) com o valor mais próximo da UE na tempera	tura
Ti	65
Figura 48 - Umidade Relativa (UR) em função da Temperatura inicial (Ti) e Difere	ença
Higrométrica (Ts-Tu)	66
Figura 49 – Umidade Relativa (UR) para as etapas de uniformização e condicionamento	67
Figura 50 – Carga de madeira a ser secada inserida na estufa	69
Figura 51 – Dados de entrada (a) solicitados no display e (b) dados de entrada preenchidos	.69
Figura 52 – Velocidades inicial e final escolhidas para o teste	70
Figura 53 – Espécie de madeira escolhida para o teste	70
Figura 54 – Escolha de não realizar a etapa de uniformização e condicionamento	71
Figura 55 – Tempo aproximado de secagem de acordo com os dados de entrada	71
Figura 56 – Display, informações sobre o aquecimento no (a) início e o (b) fim	71

Figura 57 – Display, informações sobre o (a) final do aquecimento e (b) tempo estimado da
primeira etapa da secagem, em minutos
Figura 58 – Display, informações sobre o (a) inicio da primeira etapa da secagem e (b) final da
última etapa da secagem
Figura 59 – Excesso de umidade saindo pelos dampers e ficando presa no chapéu dos dampers,
mesmo os mesmo estarem fechados
Figura 60 – Display apresentando a mensagem de final do processo de secagem74
Figura 61 – Pilha de madeira ao final da secagem
Figura 62 – Resultado da pesagem (em g) das tábuas secadas na estufa respeitando suas posições
durante a secagem e em vermelho quais apresentam defeitos
Figura 63 – Tábuas depois da secagem, sem defeito até o máximo de defeito estão da esquerda
para a direita
Figura 64 – Pesagem das peças de madeira (a) sem a secagem e (b) após a secagem76
Figura 65 – Valores de (a) máximo e (b) mínimo do teor de umidade das peças após a secagem,
utilizando um medidor portátil de umidade da madeira

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Funcionamento do comando remoto multispeed do inversor CFW300	51
Tabela 2 – Quantidade de pinos necessários para controlar a estufa	58
Tabela 3 – Diferença de peso entre as peças antes e após a secagem	77

LISTA DE ABREVIATURAS

- UR Umidade Relativa
- PSF Ponto de Saturação das Fibras
- PS Potencial de Secagem
- CLP Controlador Lógico Programável
- UE Umidade de Equilíbrio
- TBS Temperatura de Bulbo Seco
- TBU Temperatura de Bulbo Úmido
- TU Teor de Umidade
- TUi Teor de Umidade inicial
- TUf Teor de Umidade final
- Vi Velocidade do ar inicial
- Vf Velocidade do ar final

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVO GERAL	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.3 JUSTIFICATIVA	14
2 REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1 SECAGEM DA MADEIRA	15
2.1.1 Ponto de Saturação das Fibras (PSF)	16
2.1.2 Umidade de Equilíbrio (UE)	17
2.1.3 Determinação da Umidade	18
2.1.4 Temperatura de Bulbo Seco e Úmido	18
2.1.5 Curva de Secagem	20
2.2 ESPÉCIES DE MADEIRA	21
2.2.1 Folhosas	21
2.2.2 Coníferas	21
2.3 FATORES QUE INFLUENCIAM NA VELOCIDADE DE SECAGEM I	
2.3.1 Fatores Internos	
2.3.2 Fatores Externos	22
2.4 MÉTODOS DE SECAGEM	22
2.4.1 Secagem ao ar livre	22
2.4.2 Secagem solar	22
2.4.3 Secagem por desumidificadores	23
2.4.4 Secagem a vácuo	23
2.4.5 Secagem à alta frequência	23
2.4.6 Secagem convencional	23

2.4.6.1 Sistema de aquecimento	24
2.4.6.2 Sistema de ventilação do ar	24
2.4.6.3 Sistema de umidificação do ar	24
2.4.6.4 Sistema de desumidificação do ar	25
2.5 DEFEITOS NA SECAGEM	25
2.6 PROGRAMAS DE SECAGEM	26
2.7 ESCOLHA DO PROGRAMA DE SECAGEM	27
2.8 SENSORAMENTO	29
2.8.1 Medidor de Temperatura	29
2.8.1.1 Termistores	29
2.8.1.2 Termopares	30
2.8.1.3 Termoresistências	30
2.8.1.4 Par Bimetálico	31
2.8.1.5 Sensores Eletrônicos	32
2.8.1.6 Pirômetros	32
2.8.2 Medidor de Velocidade do Ar (Anemômetro)	32
2.8.2.1 Anemômetro de Copos	32
2.8.2.2 Anemômetro de Pás	33
2.8.2.3 Anemômetro com Tubo de Pitot	33
2.8.3 Medidor de Umidade do Ar	33
2.8.3.1 Medições de Bulbo Úmido e Seco (psicrométricas)	33
2.8.3.2 Ponto de Orvalho do Tipo de Sal Saturado	34
2.8.3.3 Sensores Elétricos de Umidade Relativa	34
2.8.4 Medidor do Teor de Umidade da Madeira	34
2.8.4.1 Células de Carga	34
2.8.4.2 Medidor Elétrico Resistivo	36
2.8.4.3 Medidor Elétrico Capacitivo	38

2.9 VENTILADORES	38
2.10 SISTEMA DE CONTROLE	38
2.10.1 Microcomputador	38
2.10.2 Microcontrolador	39
2.10.3 Controlador Lógico Programável (CLP)	39
2.11 FABRICANTES ATUAIS	39
3 ESPECIFICAÇÃO DO PROJETO	43
4 DESENVOLVIMENTO	46
4.1 SENSORAMENTO	46
4.1.1 Sensor de Temperatura e Umidade Relativa do Ar	46
4.2 HARDWARE	47
4.2.1 Dampers	47
4.2.2 Ventilação	50
4.2.3 Umidificação	52
4.2.4 Aquecimento	53
4.2.5 Fonte	56
4.2.6 Interface Homem-Máquina (IHM)	56
4.2.7 Teclado	57
4.2.8 Comando	58
4.3 SISTEMA DE CONTROLE	58
4.4 FIRMWARE	59
4.4.1 Programação	59
4.4.1.1 Dados de entrada	62
4.4.1.2 Aquecimento	63
4.4.1.3 Secagem	64
4.4.1.4 Uniformização e Condicionamento	66
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	68

5.1 DADOS DE ENTRADA	68
5.2 AQUECIMENTO	71
5.3 SECAGEM	72
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
6.1 SUGESTÕES PARA MELHORIAS DO PROTÓTIPO	78
REFERÊNCIAS	80

1 INTRODUÇÃO

A extração da madeira era, até pouco tempo (5 a 10 anos) no Brasil, realizada de forma manual e demorada, assim como todo o processo de transformação da tora em tábuas ou produtos beneficiados. Isto também se deve ao fato de que as árvores que eram retiradas provinham de matas nativas. Com a importância da permanência e da preservação dessas florestas nativas, surgiu uma técnica de plantio de árvores como uma cultura, chamada de reflorestamento. Assim, com uma floresta plantada e manejada corretamente, iniciou-se a mecanização florestal, com máquinas muito eficientes, capazes de retirar um grande número de árvores com muito mais precisão, mesmo em terrenos irregulares ou clima ruim.

Com toda essa evolução na floresta, as serrarias também tiveram que se adequar e automatizaram o beneficiamento da madeira. Porém, uma das etapas mais importantes deste processo é a secagem da madeira, pois esta determina a qualidade, o que é de extrema importância principalmente quando se trata do uso dessa madeira para móveis ou construção de casas.

O controle da umidade e da temperatura na secagem artificial da madeira é relativamente sensível. Se a umidade estiver errada ou então se o controle da temperatura for realizado de maneira errônea, pode haver empenamentos ou rachaduras. Também, este processo concentra o maior custo da produção, já que envolve troca de calor e também leva um determinado tempo para que a madeira esteja na umidade ideal.

Sensores têm a função de enviar as informações das condições internas da estufa para um sistema de controle que é capaz de monitorar e controlar as variáveis críticas, tendo assim, controle da secagem.

1.1 OBJETIVO GERAL

Projetar um sistema de controle automático para secagem artificial de madeira, visando a não dependência de operador para ajuste dos parâmetros internos da estufa.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantamento dos métodos de secagem;
- Métodos de construção de estufas;
- Métodos de controle de umidade:
- Métodos de controle de temperatura;
- Métodos de controle de ventilação;

- Montagem de hardware de medição de umidade;
- Montagem de hardware de medição de temperatura;
- Montagem de hardware de controle de umidade;
- Montagem de hardware de controle de temperatura;
- Construção de firmware de controle do processo de secagem.

1.3 JUSTIFICATIVA

O controle da umidade, da temperatura e da velocidade do ar e da umidade da madeira durante o processo da secagem são condições determinantes para a qualidade da mesma, evitando defeitos. Atribuindo um controle no processo de forma diferenciada para cada espécie de árvore. Também, é no processo de secagem que se concentra o maior custo no beneficiamento da madeira, sendo que, pequenas alterações durante este processo podem promover consideráveis variações no custo final, evidenciando a importância do desenvolvimento desde projeto, bem como a falta de indústrias nacionais que proporcionem boa qualidade ao produto final.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Os seres humanos utilizam a madeira ha séculos, e desde muitos anos antes de Cristo, é um dos materiais mais utilizados da história. O motivo é simples, é um material que existia em abundância, fácil de ser usado e também servia para construção de qualquer objeto.

Mesmo com a evolução ou descoberta de novos materiais e a necessidade de preservação das florestas nativas, a madeira sempre será um material muito utilizado, seja pela suas características ou simplesmente pela sua beleza. Porém, mesmo sendo uns dos materiais mais conhecidos atualmente, o processo de beneficiamento da madeira sempre terá que evoluir. A velocidade das evoluções, está diretamente relacionada aos incentivos econômicos, científicos e tecnológicos destinados a satisfazer às necessidades humanas, imediatas e futuras (GUELLA, 2016).

A evolução no processo de utilização da madeira está diretamente relacionada a sustentabilidade, já que a grande maioria das árvores que são cortadas para a exploração da madeira provém de reflorestamentos cultivados. Com isso, durante todo o processo de beneficiamento da madeira, entra também, a diminuição das perdas, podendo assim, evitar o desperdício.

A secagem da madeira é a etapa mais crítica do beneficiamento, é onde está o maior custo do processo e também é onde ocorre o maior número de defeitos no produto. Existem vários métodos de secagem que também estão relacionados ao local e ao grau da capacidade de investimento.

2.1 SECAGEM DA MADEIRA

Para que a madeira obtenha as propriedades físicas e mecânicas desejadas e também, para que tenha valor comercial agregado, ela precisa estar com a umidade adequada. Isso pode ocorrer de forma natural, ou seja, ao ar livre ou também pode ser acelerada através de estufas de secagem.

A secagem artificial da madeira, é parte mais delicada durante o processo de beneficiamento da madeira. A secagem é a operação que mais colabora para agregar valor aos prudutos de madeira, porém, também é a etapa de maior custo. Por isso, existe a busca incessante pela maior eficiência nos secadores (JANKOWSKY, 2002).

De maneira geral, a secagem da madeira visa à redução do teor de umidade que varia conforme o uso final do produto (SILVA, 2007). O controle da secagem influencia muito na qualidade final da madeira, além de reduzir o peso da madeira, diminuindo o custo de

transporte. A redução da umidade também é importante por causa dos seguintes aspectos (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985):

- Reduzir a movimentação dimensional a limites aceitáveis. Como consequência, as peças de madeira podem ser produzidas com maior precisão de dimensões;
- Melhorar a atuação de vernizes e tintas aplicados sobre a madeira;
- Reduzir os riscos do ataque de fungos manchadores e apodrecedores;
- Proporcionar melhor qualidade das juntas de colagem;
- Aumentar a resistência mecânica.

Além disso, os mesmos autores salientam a importância do controle na secagem pois:

- O período de tempo na secagem é reduzido, proporcionando um giro mais rápido do capital investido em madeira estocada;
- Permite ajustar o teor de umidade da madeira de acordo com as condições climáticas do local de uso, em qualquer época do ano;
- Possibilita obter teores de umidade mais baixos do que aqueles alcançados pela secagem ao ar;
- Minimiza os defeitos de secagem como rachaduras, empenamentos e encanoamentos, quando é conduzida de acordo com técnicas adequadas;
- Destrói fungos e/ou insetos presentes na madeira.

2.1.1 Ponto de Saturação das Fibras (PSF)

É interessante entender um pouco da distribuição da água no interior da madeira. Existem dois tipos de água na madeira, a água livre (capilar) e a água presa (higroscópica). A água livre é aquela que se encontra nas cavidades celulares, em estado líquido. A água presa é aquela que está no estado de vapor e é encontrada junto com a parede das células (MARTINS, 1988).

Alguns autores chamam a água livre de água capilar e a água presa de água higroscópica. O ponto de saturação das fibras (PSF) corresponde ao teor de umidade em que toda a água livre se evaporou e permanece na madeira o máximo da água presa, saturando as paredes das fibras (JANKOWSKY e GALINA, 2013).

A água livre é a mais fácil de ser retirada, já que ela acontece, também, de forma natural, mas a água presa é mais difícil e necessita de energia, geralmente na forma de calor. O valor do PSF varia entre 25% e 32% de umidade, dependendo da espécie considerada, mas geralmente é considerado uma média igual a 28% para todas as espécies (JANKOWSKY; GALINA, 2013).

Para secar a madeira, a água se movimenta do seu interior para o exterior, evaporando quando está na parte externa da madeira. Ela faz esse movimento pois, a superfície possui baixa umidade, enquanto que o seu interior possui alta umidade. A parte mais crítica da secagem, é no momento em que a umidade está abaixo do PSF, pois é nesta etapa em que as falhas geralmente ocorrem.

2.1.2 Umidade de Equilíbrio (UE)

A umidade da madeira tende a entrar em equilibrio quando exposta a algum ambiente com condições de temperatura e umidade relativa constantes, ou seja, o local de destino da madeira sempre deve ser levado em consideração. Existe uma pequena variação dependendo da espécie, mas que pode ser encontrado facilmente em tabelas.

A umidade de equilibrio está situada abaixo da região do PSF, isto significa que toda água que a compõe é formado pela água presa (higroscópica) conforme a Figura 1.

AGUA CAPILAR

VARIA APENAS MASSA

U = UMIDADE DE EQUILÍBRIO

U = 0%

VARIAM MASSA,
VOLUME,
PROPRIEDADES
FÍSICAS E
MECÂNICAS

Figura 1 – Efeito das variações de umidade nas propriedades da madeira

Fonte: Jankowsky e Galina (2013, p.8)

É importante destacar que a secagem adequada da madeira será o fator decisivo para que essas variações no teor de umidade ao longo do tempo não resultem em variações dimensionais que eliminem o produto ou prejudiquem o seu uso (JANKOWSKY; GALINA, 2013).

Como a secagem artificial reduz a capacidade da madeira de reter a água livre, a umidade de equilíbrio tende a ser menor do que a do ambiente em que estão localizadas.

2.1.3 Determinação da Umidade

Pelo método gravimétrico, a umidade da madeira (U) é calculada como relação entre a massa da água que ela contém (ma) e a massa de madeira total (ms), conforme está representada na Equação 1 (JANKOWSKY, 1990).

$$U = \frac{ma}{ms} \tag{1}$$

Porém, a umidade é frequentemente apresentada em porcentagem e como o peso e a massa têm o mesmo valor numérico, a Equação 2 representa uma maneira mais usual do cálculo da umidade (JANKOWSKY, 1990).

$$U = \frac{Pu - Ps}{Ps} \cdot 100 \tag{2}$$

Onde: Pu é o peso úmido e Ps é o peso seco.

Estas equações são utilizadas para valores que são obtidos com auxílio de estufas que possuem circulação forçada de ar e termostato, que possibilita regular a temperatura entre 101°C e 105°C, e balança, possibilitando pesagens com precisão de 0,1g (JANKOWSKY, 1990). Este método geralmente é utilizado retirando amostras de peças grandes e levadas até estufas de ensaio. É muito simples de executar, porém, causa danos destrutivos à peça e não há controle durante a operação da estufa, sendo que para isto, é necessário parar a secagem para abrir a estufa e retirar amostras, podendo causar falhas nas demais peças.

Também existem métodos mais modernos para obtenção da umidade da madeira, em que os dados podem ser medidos e controlados por computadores, entre os mais conhecidos estão o medidor elétrico resistivo e o medidor dielétrico capacitivo. São medidores de grande utilidade pois geram resultados imeditatos e não causam ensaios destrutivos.

2.1.4 Temperatura de Bulbo Seco e Úmido

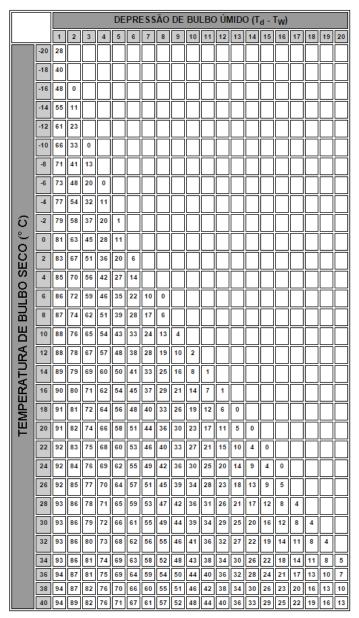
A temperatura de bulbo seco é a temperatura do ar dentro do secador. Já a temperatura de bulbo úmida é aquela medida por um termômetro que tem seu bulbo envolto por um tecido umedecido (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

Como a evaporação da água retira a energia do bulbo úmido, o termômetro registra essa perda de temperatura. Depois que essa temperatura se estabiliza, tem-se a temperatura de bulbo

úmido. A umidade relativa (UR) é proporcional a evaporação da umidade no bulbo úmido (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

Os dados relacionando a temperatura de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido com a umidade relativa podem ser expressos em uma tabelas simples de utilizar. É necessário apenas registrar a temperatura de bulbo seco e calcular a diferença entre as temperaturas de bulbo seco e úmido, que também é conhecida como depressão de bulbo úmido, conforme pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Porcentagem de umidade relativa

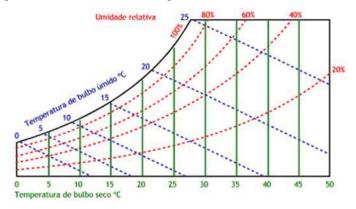


Fonte: Departamento de física da UFPR

Essa proporcionalidade vem das cartas psicrométricas, que são gráficos que relacionam vários parâmetros, entretanto somente é necessário demonstrar os parâmetros de interesse,

conforme mostrado na Figura 3, mas também existem muitas equações empíricas que relacionam estes parâmetros.

Figura 3 – Esquema simplificado e ilustrativo da carta psicrométrica



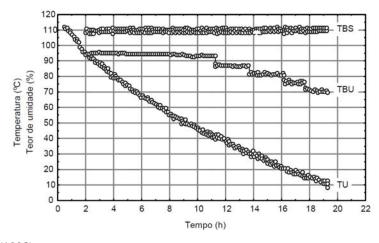
Fonte: MSPC

2.1.5 Curva de Secagem

A curva de secagem é o comportamento de uma determinada carga de madeira durante sua secagem. Ela demonstra a perda de umidade da madeira ao longo do tempo.

A Figura 4 foi uma curva resultante de uma secagem de *Pinus elliottii* à temperatura de 110°C e velocidade do ar de 2,3 m/s. Evidenciando que o controle durante o processo foi bem sucedido. A finalização ocorreu quando a madeira atingiu 10% de umidade (SANTINI et al., 1998).

Figura 4 – Curva de teor de umidade (TU), temperatura de bulbo seco (TBS) e de bulbo úmido (TBU) obtidas durante a secagem de madeira de Pinus elliottii a alta temperatura



Fonte: Santini et al. (1998)

2.2 ESPÉCIES DE MADEIRA

Existem dois tipos de madeira que devem ter técnicas diferentes de secagem, as coníferas e as folhosas. Em muitos casos, folhosas e coníferas são ambas usadas para o mesmo propósito, mas deve ser considerado o tipo de folhosas e coníferas e quanto densa elas são, para poder secar da maneira correta (DIFFEN, 2016).

2.2.1 Folhosas

São chamadas também de *hardwoods*, possuem folhas alargadas e frutos com sementes envolvidos por uma casca, são consideradas plantas mais evoluídas e possuem células especializadas, denominadas elementos de vaso, para conduzir água, que é absorvida pelas raízes, para o resto da planta. É neste grupo que se encontra a maioria das espécies florestais brasileiras contendo muitas espécies utilizadas em reflorestamentos, como por exemplo: ipê, mogno, jacarandá e eucalipto (SOUZA; CORADIN, 2007).

A madeira de folhosas é cara e as vezes mais difícil de se trabalhar, são mais densas, o que significa que muitas folhosas são mais duráveis que as coníferas. Por esta razão, elas são utilizadas como material de mais alta qualidade (DIFFEN, 2016).

2.2.2 Coníferas

Também são conhecidas, tanto no Brasil quanto no mundo, como *softwoods*, é um tipo de plantas "que têm um sistema de condução de água mais primitivo e não possuem elementos de vaso. Essa função é desempenhada por outro tipo de células denominadas traqueídes." (SOUZA; CORADIN, 2007).

Possuem folhas em forma de espinho e frutos sem casca. É uma grande fornecedora de madeira no Brasil. Entre as espécies de árvores para este fim, encontra-se a araucária e os diversos tipos de pinus.

Devido a sua estrutura celular mais simples, as coníferas são consideradas de secagem rápida e fácil, não havendo grandes defeitos. Porém, também possuem menos valor comercial e sua vida útil não é tão longa.

2.3 FATORES QUE INFLUENCIAM NA VELOCIDADE DE SECAGEM DA MADEIRA

A velocidade com que uma peça de madeira serrada seca pode ser atribuida a alguns fatores internos, dependentes das características de madeira, e fatores externos, que são relacionados aos fatores atmosféricos em que a madeira está submetida (FLORIAN, 2009).

2.3.1 Fatores Internos

Os fatores internos são os originados pela própria madeira. Um dos principais fatores é a espécie da madeira, algumas espécies secam mais rapidamente que outras, em função da sua estrutura anatômica (FLORIAN, 2009). É por este fato que as coníferas, normalmente, possuem secagem mais rápida que as folhosas.

Madeiras com anéis de crescimento maiores tendem a secar mais rapidamente que madeiras com anéis de crescimento menores. O teor de umidade inicial também tem influência direta na velocidade de secagem, quanto maior esse teor, mais tempo a secagem levará. Espessura, orientação do corte, cerne e alburno, massa específica e a presença de fungos ou resinas também são outros fatores internos (FLORIAN, 2009).

2.3.2 Fatores Externos

Os fatores exernos são os fatores atmosféricos que controlam a velocidade da secagem. Quanto maior a temperatura, menor a umidade relativa do ar e maior a velocidade de circulação do ar no interior da estufa, maior será a velocidade de secagem (FLORIAN, 2009).

2.4 MÉTODOS DE SECAGEM

Como a madeira provém de um ser vivo, ela possui um processo natural da perda de água. Porém, como o processo natural pode levar várias semanas e depende muito do clima e do tempo no local, existe também o método artifical de secagem, havendo maior controle da umidade final da madeira.

2.4.1 Secagem ao ar livre

Este é o método mais natural possível, onde as pilhas de madeira são colocadas ao ar livre, em alguns casos cobertas por algum tipo de lona. Possui algumas vantagens como baixo investimento inicial e simplicidade de execução, porém, existem muitas desvantagens como nenhum controle na temperatura, velocidade do ar, umidade relativa, espaços muito grandes e tempo de secagem muito demorado, geralmente maior que 20 dias e mesmo assim não consegue teores de umidade baixos adequados (TREVISAN, 2013).

2.4.2 Secagem solar

É um processo um pouco mais evoluido do que a secagem ao ar livre, utiliza energia solar, possui controle da velocidade do ar e é capaz de obter teores de umidade final, mas também depende das condições climáticas e não atinge temperaturas muito altas.

2.4.3 Secagem por desumidificadores

É composto por uma câmara em que o sistema de aquecimento é controlado por resistência elétrica e a velocidade do vento é controlada por ventiladores. Não é capaz de atingir grandes temperaturas, porém consegue obter baixos teores de umidade. É recomendado para madeiras de difícil secagem, como as folhosas. A umidade relativa do ambiente se restringe a evaporação da água da madeira. Custo de energia elétrica elevado.

2.4.4 Secagem a vácuo

É um método que utiliza vácuo para reduzir a temperatura de ebulição da água, é utilizada para madeiras espessas ou folhosas. Deve possuir excelente vedação e bombas de vácuo de alta capacidade.

2.4.5 Secagem à alta frequência

A madeira é submetida a um campo elétrico alternado que provoca vibração molecular na região de maior condutibilidade elétrica, essa agitação molecular produz calor, provocando a secagem. Possui a vantagem de realizar uma secagem uniforme, porém, é um método economicamente inviável.

2.4.6 Secagem convencional

É o sistema mais completo de secagem, pode ser utilizado tanto para as coníferas quanto para as folhosas, possui o controle de todos os parâmentro de secagem como temperatura, umidade relativa e velocidade do ar. Os sistemas mais modernos possuem monitoramento em tempo real do interior da câmara e também da umidade da madeira. Alterando o programa de secagem no *software* pode-se secar qualquer tipo de madeira com o tempo correto. A principal desvantagem é o alto investimento inicial, já que o equipamento é composto pelo sistema de aquecimento, ventilação, vaporização e controle.

A secagem convencional é o método de secagem artificial tradicional em que a madeira é secada numa estufa que trabalha numa faixa de 40 a 100°C, com controle total de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar (MARTINS, 1988). Na Figura 5, é mostrado um desenho esquemático de um secador convencional, com algums dos seus principais sistemas destacados na imagem.

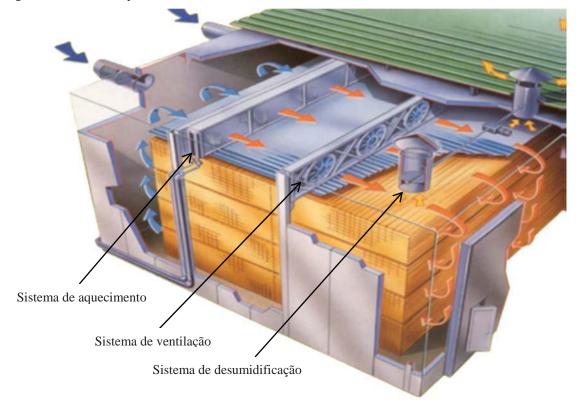


Figura 5 – Desenho esquemático de um secador convencional

Fonte: Adaptado de Jankowsky e Galina (2013)

2.4.6.1 Sistema de aquecimento

Existem várias maneiras de se produzir calor, os mais comuns são por resistência elétrica, fornalha, gás, energia solar, porém, o sistema mais eficiente é por meio de uma certa quantidade de trocadores de calor onde o fluído térmico mais usado é o vapor d'água proveniente de caldeiras (JANKOWSKY; GALINA, 2013).

2.4.6.2 Sistema de ventilação do ar

A circulação do ar é realizada por um ou mais ventiladores, de acordo com a capacidade da câmara (MARTINS, 1988). O ar circula pela face da madeira, à velocidade 1 m/s a 2 m/s. (ALVES et al., 2012), mas a velocidade depende muito da espécie e das condições de secagem.

2.4.6.3 Sistema de umidificação do ar

O sistema de umidificação funciona para que seja possível deixar o ar o mais úmido possível antes de se iniciar a secagem propriamete dita. Um conjunto de bicos pulverizadores é posicionado dentro da estufa para umidificação do ar com vapor de baixa pressão ou água fria. (JANKOWSKY; GALINA, 2013)

2.4.6.4 Sistema de desumidificação do ar

Para haver o controle da umidade do ar, dampers (espécie de chaminé) são posicionados de um modo em que a própria ação dos ventiladores faz com que o ar quente e úmido do interior do secador seja expelido, admitindo ar do meio externo (JANKOWSKY, 1995).

2.5 DEFEITOS NA SECAGEM

Existem vários defeitos relacionados com a secagem, podendo elas serem originadas de uma falha no interior da própria madeira ou então causados pela retirada da umidade da mesma. Os principais defeitos gerados durante o processo de secagem são os empenos, as rachaduras, o colapso e o endurecimento superficial (ANDRADE, 2000).

De maneira geral, empenos e rachaduras são causados por diferenças de contração da madeira ao secar, por tensões provocadas pela água e por tensões de crescimento (MARTINS, 1988). Na Figura 6, estão representados os principais defeitos relacionados com a secagem.

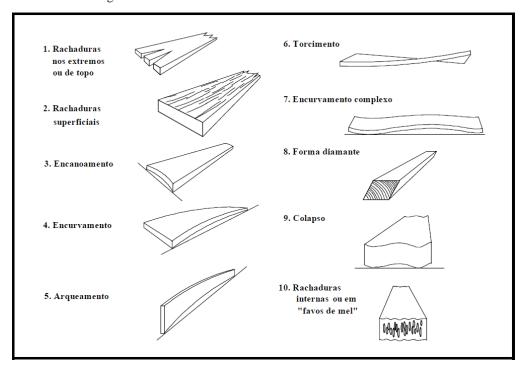


Figura 6 – Defeitos de secagem

Fonte: Mendes et al. (1998) apud Andrade (2000, p. 13)

2.6 PROGRAMAS DE SECAGEM

Um programa de secagem é uma estratégia para se aplicar, no momento apropriado, a combinação correta de temperatura e umidade relativa à carga de madeira na estufa, durante o processo de secagem. O programa correto deve possibilitar a obtenção da madeira seca com o mínimo de defeitos, no menor tempo possível (MARTINS, 1988).

Os principais fatores que influenciam na escolha do programa de secagem são: espécie da madeira, teor de umidade inicial e final, espessura da madeira e o local de destino do produto.

Os programas podem ser do tipo umidade-temperatura ou tempo-temperatura. O programa do tipo umidade-temperatura é regido pelo monitoramento real do teor de umidade da madeira, assim, a temperatura e a umidade relativa do ar no interior da câmara é ajustada conforme o teor da umidade da madeira varia. No programa tempo-temperatura as condições internas da câmara são modificados conforme o tempo vai passando, geralmente são utilizados quando há uma repetição da carga de secagem.

Os programas de secagem possuem três etapas, na primeira etapa ocorre o aquecimento da câmara com a umidade relativa muito elevada, isso é realizado para que toda a carga de madeira esteja com a mesma temperatura mas sem iniciar o processo de secagem. Na segunda etapa ocorre o secamento, onde a umidade relativa é diminuida, fazendo com que a madeira perca umidade para o meio. A última etapa é a de uniformização e condicionamento, que são fases necessárias visando homogeneizar o máximo possível a umidade em todas as peças da pilha e eliminar suas tensões internas, mediante o reumedecimento das camadas superficiais (ANDRADE, 2000).

Na Figura 7, é demonstrado o exemplo de um programa de secagem, onde a faixa do teor de umidade da madeira indica as temperaturas de bulbo seco e úmido e a umidade relativa em que o ar no interior da estufa devem estar.

Para construção de um programa de secagem padrão, os principais parâmetros a serem considerados são a temperatura inicial (Ti), temperatura final (Tf), potencial de secagem (PS), teor de umidade inicial e final da madeira (TUi e TUf, respectivamente) (JANKOWSKY; GALINA, 2013). São necessários aproximadamente 10 passos até se obter todo o programa de secagem completo.

São necessárias consultas a tebelas de umidade relativa e umidade de equilíbrio [ANEXO A; página 82 e ANEXO B; página 84] para realizar os passos da secagem, mais uma consulta a uma tabela para preencher os dados de uniformização e condicionamento [ANEXO C; página 86].

Figura 7 – Exemplo de programa de secagem para Mogno (Swietenia macrophylla)

Teor de	Temperatura °C		Umidade de	Umidade relativa do ar	
Umidade %	Bulbo seco	Bulbo úmido	Equilíbrio %	(% aprox.)	
Verde60	50	45	12,8	75	
6040	50	44	11,7	70	
4030	50	42	9,6	60	
3025	55	43,5	7,5	50	
2520	60	46	6,7	45	
2015	70	52,5	5,5	40	
1510	75	57,5	5,2	40	
 Igualação	75	64,0	8,0	60	
Acondicionamento	75	71,5	14,0	85	

Fonte: Rasmussen (1961), apud Martins (1988, p. 25)

2.7 ESCOLHA DO PROGRAMA DE SECAGEM

A escolha ideal do programa de secagem é fundamental para se obter uma boa qualidade final do produto. Para que ocorra a escolha correta do programa de secagem, os principais fatores envolvidos são (MARTINS,1988):

- Espécie de madeira (densidade, contração, etc.)
- Teor de umidade inicial
- Teor de umidade final
- Espessura do material
- Uso a que o material se destina
- Equipamento de secagem

Porém, muito do programa de secagem é influenciado pelo potencial de secagem, que é a relação entre a umidade da madeira e a umidade de equilíbrio na etapa correspondente (JANKOWSKY; GALINA, 2013), conforme está demonstrado na Equação 3.

$$PS = \frac{UM \ (\%)}{UE \ (\%)} \tag{3}$$

Onde: PS é o Potencial de Secagem, UM é a Umidade da Madeira e UE é a Umidade de Equilíbrio.

As temperaturas, inicial e final, indicam a disponibilidade de energia no ar para evaporar a água presente na madeira, enquanto que o potencial de secagem indica a agressividade do programa em si (JANKOWSKY; GALINA, 2013). Isto quer dizer que quanto maior forem as temperaturas e o potencial de secagem, mais rápida será a secagem, porém, maior também pode ser a ocorrência de defeitos.

O programa de secagem ideal é aquele que promove a melhor combinação entre rapidez e qualidade (JANKOWSKY; GALINA, 2013). A qualidade pode ser muito subjetiva, porém neste caso significa a ausência de defeitos no produto final.

Na Figura 8 estão representados dois tipos de programas com potenciais de secagem diferentes. No programa A o potencial de secagem é mais constante e as mudanças de secagem são mais suaves, enquanto que no programa B o potencial de secagem é inicialmente maior, fazendo com que haja mudanças mais bruscas.

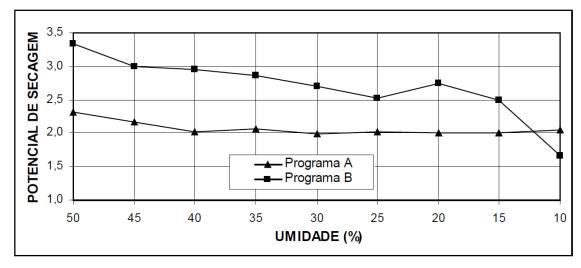


Figura 8 – Potenciais de secagem de dois tipos de programa (gráfico 1)

Fonte: Andrade (2000, p. 20)

As mudanças bruscas de temperatura e umidade de equilíbrio podem favorecer a ocorrência de defeitos (DENIG, 1994, apud ANDRADE, 2000). Ou seja, quando ocorre mudanças suaves nas condições de secagem, a velocidade e o potencial de secagem se mantém quase constantes, diminuindo a probabilidade de defeitos.

2.8 SENSORAMENTO

Os sensores são dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente que relaciona com as grandezes físicas que desejam ser medidas (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012).

Para se obter todo o controle de uma estufa de madeira serrada, é necessário que informações do interior da estufa, como temperatura, velocidade e umidade do ar, umidade da madeira, sejam passadas para o controlador. Essas informações serão lidas por meio de vários sensores.

2.8.1 Medidor de Temperatura

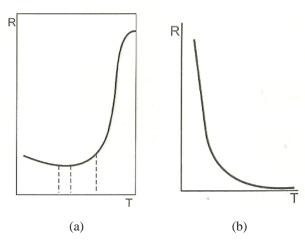
Os sensores de temperatura são os mais utilizados nos mais diversos lugares. São classificados em termistores, termopares, termorresistores, par bimetálico, sensores eletrônicos e pirômetros (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012).

2.8.1.1 Termistores

Os termistores são resistores sensíveis termicamente, capazes de detectar mudanças relativamente pequenas de temperatura. Existem duas variedades básicas de termistores: os de coeficiente positivo de temperatura (PTC), quando a resistência aumenta com a temperatura, e os de coeficiente negativo de temperatura (NTC), quando a resistência diminui com a temperatura (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012).

Na Figura 9, as curvas típicas dos termistores do tipo PTC e NTC.

Figura 9 – (a) Curva típica de um termistor do tipo PTC; (b) Curva do termistor NTC



Fonte: Thomazini e Albuquerque (2012, p. 92 e 93)

2.8.1.2 Termopares

Um termopar funciona medindo a diferença de potencial causada por fios diferentes. Isso pode ser usado para medir diretamente a diferença de temperaturas ou para medir uma temperatura absoluta, colocando uma junção na temperatura conhecida (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012).

Existem oito tipos de termoelementos aplicados dependendo da ocasião: S, R, B, J, K, N, T e E (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012). Na Figura 10 estão mostradas as curvas de temperatura de cada tipo de termopar em relação a uma escala de milivolts.

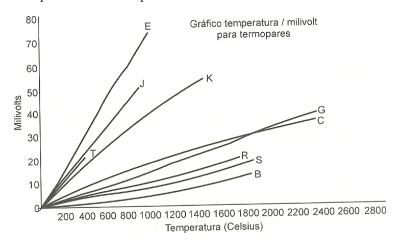


Figura 10 – Curvas de temperatura dos termopares x milivolts

Fonte: Thomazini e Albuquerque (2012, p. 98)

2.8.1.3 Termoresistências

São sensores de temperatura, cujo princípio de funcionamento baseia-se na variação da resistência elétrica do elemento condutor em função a temperatura (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012).

São sensores de grande utilização na indústria devido suas condições de alta estabilidade mecânica e térmica, alta vida útil, resistência à contaminações e permintem ligações a longa distância. O mais utilizado é o de platina (Pt-100) devido à sua precisão. Possui como característica uma resistência de 100Ω a 0°C. (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012).

Os principais itens do comparativo entre o Pt-100 e os termopares são (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012):

Vantagens do Pt-100:

- Possui maior precisão;
- Melhor estabilidade e repetibilidade;
- Distância de operação maior;

- Não necessita uso de fios e cabos de extensão e compensação para ligação;
- Permite a utilização em qualquer ambiente, desde que adequadamente protegido;
- Curva de resistência x temperatura mais linear;
- Menos influenciado por ruídos elétricos.

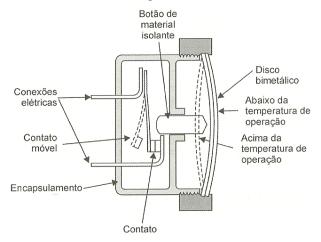
Desvantagens do Pt-100:

- É mais caro;
- Range de temperatura menor;
- Se ultrapassar a temperatura máxima de utilização, deteriora-se com facilidade;
- Tempo de resposta maior;
- Mais frágil mecanicamente;
- Exigem instrumentação sofisticada para evitar o autoaquecimento.

2.8.1.4 Par Bimetálico

É basicamente um sensor mecânico que é composto de duas chapas metálicas de materiais com diferentes capacidades de dilatação que são montadas face a face. O aquecimento provoca uma deformação nas chapas, fazendo com que haja a abertura ou fechamento dos contatos (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012). A Figura 11 mostra os detalhes de fabricação de um par bimetálico.

Figura 11 – Seção de um termostato com um disco de par bimetálico



Fonte: Thomazini e Albuquerque (2012, p. 106)

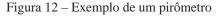
2.8.1.5 Sensores Eletrônicos

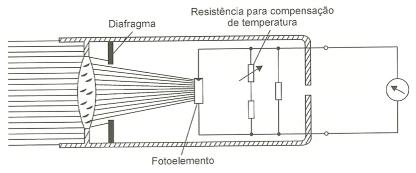
Atualmente existe uma gama muito grande de sensores térmicos eletrônicos de pequenas dimenções e várias funções projetados especialmente para montagem em placas de circuito impresso (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012).

Os principais tipos de sensores eletrônicos são os de diodo, que possui baixo custo e razoável precisão, os transistores, que podem fornecer uma relação linear de corrente para temperaturas entre -50°C e 150°C, os circuitos integrados, que geralmente possuem algumas funções a mais, como filtros, regulatores e proteções, e também há alguns que possuem os parâmetros programáveis (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012).

2.8.1.6 Pirômetros

Os pirômetros de radiação usam a radiação de um corpo para a medição da temperatura sem haver o contato entre o sensor e este corpo que devido o aquecimento através da condução de calor ou convecção, uma parte desse calor é transformada em radiação (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012). A Figura 12 mostra o princípio de funcionamento de um pirômetro.





Fonte: Thomazini e Albuquerque (2012, p. 110)

2.8.2 Medidor de Velocidade do Ar (Anemômetro)

Os anemômetros são instrumentos capazes de medir a velocidade da componente horizontal do vento, a seguir estão os principais tipos de anemômetros.

2.8.2.1 Anemômetro de Copos

É o tipo padrão de anemômetro, são robustos e resistentes a ventos oblíquos (AMMONIT, 2016). Determina a velocidade do vento contando os copos que passam pela base do rotor em um certo tempo (YUFENG; YAN, 2011).

2.8.2.2 Anemômetro de Pás

Baseia-se no mesmo princípio do anemômetro de copos, porém no lugar dos copos são colocadas pás, isso faz com que o eixo de rotação se altere, deixando a direção do vento paralela com o giro das pás. É geralmente utilizado em direções de vento temporário e variação contínua (YUFENG; YAN, 2011).

2.8.2.3 Anemômetro com Tubo de Pitot

O tubo de Pitot funciona medindo a pressão diferencial entre dois pontos. O primeiro ponto é a pressão de impacto fornecida pelo fluido passante. O segundo ponto de pressão é a de pressão estática, precisa estar em ângulo reto ao fluxo do fluido. Com essa diferença de pressão gerada pelos dois pontos, é possível obter a velocidade do fluido através da densidade do mesmo. Geralmente é utilizado em áreas de fluxo laminar, sem muito turbilhonamento (FIGUEIREDO et al., 2003).

2.8.3 Medidor de Umidade do Ar

A umidade é a quantidade de vapor-d'água no ar. A umidade absoluta é a quantidade real de água que o ar contém, é apresentada em gramas por metro cúbico de ar e varia com a temperatura do ar. A umidade relativa (UR) é o resultado da divisão entre a quantidade de umidade presente a uma temperatura e a máxima quantidade de vapor d'água que o ar pode conter nessa temperatura (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012).

O grau de umidade do ar depende de certas condições atmosféricas. A mais importante é a temperatura do ar, quanto mais quente, mais umidade pode absorver (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012).

A escolha do sensor de umidade não se dá apenas a faixa de medição em que ele terá que funcionar, mas principalmente ao ambiente em que serão colocados, podendo ser de altos níveis de umidade até baixos níveis de umidade (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012).

Nas aplicações industriais, as medições de umidade geralmente se limitam a uma precisão de +3% na umidade relativa, essa limitação aplica-se a ambientes limpos. A contaminação pode reduzir esse valor para +5% (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012).

2.8.3.1 Medições de Bulbo Úmido e Seco (psicrométricas)

Os medidores psicrométricos são muito populares por causa de sua simplicidade e baixo custo, além de um precisão moderada. Um psicrômetro industrial típico consiste em um par de

termômetros (elétricos) conformizado, um deles equipado com pavio e reservatório automatizado para conservar o sensor umedecido (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012).

A principal vantagem deste medidor é a sua precisão à saturação, ou seja, umidade relativa de 100%, que é melhor do que qualquer outro sensor. Porém, a precisão é baixa em umidades relativas pequenas, sendo que nem funciona abaixo de 10% de UR, abaixo de 0°C possui tendência a congelar e não é muito útil em ambientes pequenos e fechados. (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012).

2.8.3.2 Ponto de Orvalho do Tipo de Sal Saturado

Este sensor também é conhecido como cloreto de lítio, é muito difundido devido à sua simplicidade, robustez, baixo custo e capacidade de ser religado. É mais utilizado para ocasiões em que a reposta lenta e precisão moderada podem ser toleradas. (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012).

2.8.3.3 Sensores Elétricos de Umidade Relativa

Há uma quantidade grande de sensores elétricos de UR no mercado, são relativamente econômicos, mas uma vez contaminados, não têm reparo, apresentam tempos de resposta muito mais rápidos do que o necessário para a maioria dos processos industriais. São utilizados onde baixo custo, boa precisão e rapidez de resposta são os principais fatores (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012).

2.8.4 Medidor do Teor de Umidade da Madeira

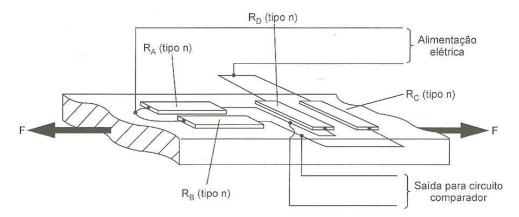
O teor de umidade da madeira pode ser medido de três maneiras, dentro da estufa em tempo real, por célula de carga, por medidor elétrico resistivo ou medidor elétrico capacitivo.

2.8.4.1 Células de Carga

As células de carga são estruturas mecânicas planejadas para sofrer uma pequena deformação dentro do regime elástico que é suficiente para gerar um sinal de saída linear que é proporcional à carga aplicada (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012).

Na Figura 13 está representado os detalhes construtivos de uma célula de carga. Seu princípio de funcionamento baseia-se na variação da resistência ôhmica de um extensômetro (strain-gage), quando submetido a uma deformação (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012).

Figura 13 – Detalhes de construção de uma célula de carga



Fonte: Thomazini e Albuquerque (2012, p. 114)

A Equação 4 é utilizada para se obter a resistência ôhmica do material neste tipo de aplicação.

$$R = \rho \frac{I_0 + \Delta I}{A_0 - \Delta A} \tag{4}$$

Onde: R = Resistência do material, em ohms; I_0 = Comprimento, em metros; ρ = Resistividade do material; A_0 = Área da seção transversal, em m².

Um dos cuidados que deve-se ter ao utilizar células de carga é a deformação elástica causada pela variação de temperatura. Essa deformação pode ser confundida com a força a ser medida, por isso, há a necessidade de compensar a influência da temperatura introduzindo resistências especiais (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012).

Há também outros efeitos que devem ser considerados, como a troca térmica da energia elástica da deformação com o ambiente, a repetibilidade e também a variação da deformação ao longo do tempo após a aplicação da carga (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012).

Células de carga possuem aplicações em muitas áreas, podendo ser vistas em balanças eletrônicas, balanças rodoviárias, controle de misturas, controle de reservatórios, entre outros.

Os principais tipos de célula de carga são, de flexão, utilizada em medições de 0,5 a 200 quilos, de cisalhamento, utilizada em medições de 200 quilos a 50 toneladas e compressão, normalmente utilizadas para forças acima de 50 toneladas. (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012).

Em ambientes úmidos ou quimicamente agressivos requerem células de carga herméticas, com grau de proteção IP67. Porém, deve ser evitado o uso de células de carga em ambientes sujeitos à vibração intensa (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2012).

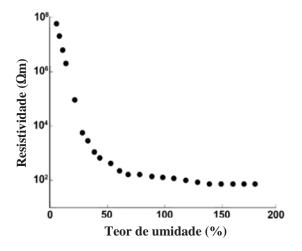
2.8.4.2 Medidor Elétrico Resistivo

Os medidores elétricos resistivos são baseados na resistência oferecida pela madeira à passagem da corrente elétrica, que varia inversamente com a umidade (JANKOWSKY; GALINA, 2013). Possuem agulhas que são introduzidas na madeira fornecendo a leitura analógica ou digital, dependendo do aparelho utilizado, através de um mostrador. São mais precisos em umidades mais baixas, que varia entre 7 até 30% (FLORIAN, 2009).

O principal motivo do medidor elétrico resistivo ser mais preciso em umidades mais baixas é devido ao fato de que a resistência elétrica é mais sensível com a variação do teor de umidade baixo, como demonstrado na Figura 14.

Porém, nos controladores modernos, são utilizadas curvas de correções em função da temperatura para permitir uma maior precisão e linearidade na medição de umidade da madeira acima do PSF.

Figura 14 – Resistividade do Pinus em função do teor de umidade



Fonte: Adaptado de Forest Products Laboratory, 2010.

Existem vários modelos portáteis para medir o teor de umidade. Na Figura 15, um medidor de umidade para madeiras, com tecnologia baseada em microcontrolador, faixa de medição de 6 a 60%, possui 34 curvas de madeiras e correção da umidade conforme a temperatura entre 0 e 95°C.

Figura 15 – Medidor de umidade para madeiras DL 2000



Fonte: Catálogo Digisystem Indústria de Sistemas Eletrônicos LTDA (2016, p. 1)

O Quadro 1 mostra o comparativo entre o método graviométrico e os medidores elétricos do tipo resistência, analisando os principais aspectos que possam influenciar na melhora do controle da secagem de madeira. É possível observar que existem pontos positivos e negativos de cada tipo de medidor, depende do aspecto a ser analisado.

Quadro 1 – Comparação entre os principais métodos para determinação do teor de umidade da madeira

ASPECTO ANALISADO	MÉTODO GRAVIMÉTRICO	MEDIDORES ELÉTRICOS
PRINCÍPIO DO MÉTODO	Variação na massa da amostra de madeira.	Variação na resistência elétrica da madeira.
PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	Pouco prática, pois envolve marcação e corte.	Prática, pois envolve apenas a colocação dos sensores e, quando necessário, fiação.
POSIÇÃO DAS AMOSTRAS	Apenas em locais de fácil acesso, por exemplo, nas laterais e faces de pilhas.	Em qualquer local da pilha, inclusive na parte central.
FACILIDADE E RAPIDEZ DE LEITURA	Requer secagem até massa constante, pesagens e cálculos.	Leitura direta e imediata.
NECESSIDADE DE CORREÇÕES	Não requer correções, pequeno risco de erro em função da madeira (extrativos).	Requer correções para temperatura e tipo de madeira (espécie ou massa específica, dependendo do tipo de medidor).
CONFIABILIDADE	O resultado é a umidade média da amostra.	O resultado é a umidade no ponto mais úmido. Sensores isolados podem informar o gradiente de umidade na amostra. Precisão e exatidão dependem da tecnologia do medidor.
FAIXA DE ATUAÇÃO	Não há restrição para o teor de umidade.	Boa precisão para teores de umidade entre 5% e 25% (ou até 30%). Dependendo da tecnologia, o medidor pode ser preciso em umidades de até 80%.

Fonte: Jankowsky e Galina, 2013.

2.8.4.3 Medidor Elétrico Capacitivo

O medidor dielétrico capacitivo mede a capacitância elétrica entre 2 eletrodos, em que a madeira é o material dielétrico. Porém, além de possuir muitas vantagens, também possuem algumas desvantagens, o teor de umidade da superfície da madeira tem um importante impacto sobre as leituras assim como as peças mais úmidas predominam (TREVISAN, 2013).

2.9 VENTILADORES

Possuem a função de fazer com que o ar no interior da estufa possa ser movimentado, fazendo com que a secagem seja mais rápida. É a ação dos ventiladores que vai fazer com que o ar seco entre na estufa e o ar quente e úmido seja levado até os dampers de saída.

Devem poder trabalhar com inversor de frequência e também devem ter controle independentes para cada ventilador, devido ao fato de que os ventiladores posicionados nas laterais sofrem com o atrito do ar nas paredes da estufa.

Podem ser utilizados também como controle da velocidade do ar, porém é necessário realizar o levantamento da curva característica de um ventilador industrial que seja aplicado em estufas, esta curva demonstra a pressão manométrica em função da vazão de ar, mas o mais interessante é obter a curva da rotação em função da vazão de ar do mesmo.

2.10 SISTEMA DE CONTROLE

O sistema de controle será o componente mais importante da estufa, pois é para onde toda a informação obtida pelos sensores será enviada. Com a leitura dessas informações, poderá tomar decisões para manter as condições internas da estufa como programado, acionando os dispositivos de potêcia quando necessário.

Os principais tipos de sistema de controle serão listados a seguir, explicando um pouco as características de cada um.

2.10.1 Microcomputador

Um microcomputador é capaz de armazenar software projetados e configurados para cada situação específica, é capaz de realizar a leitura dos sensores e enviar um sinal de saída para o acinamento dos dispositivos necessários. Porém, dependerá de placas de I/O, também necessita de uma estrutura física adequada e é normalmente mais caro nas aplicações dedicadas.

2.10.2 Microcontrolador

Um microcontrolador é um microcomputador implementado em um único circuito integrado. É um dos grandes responsáveis pela automação do mundo atual. Está presente praticamente em todos os equipamentos, sejam eles de transporte, uso pessoal ou automação de qualquer processo (GIMENEZ, 2002).

2.10.3 Controlador Lógico Programável (CLP)

Os Controladores Lógicos Programáveis (CLP) são equipamentos eletrônicos muito utilizados na automação industrial. São muito versáteis para aplicações em sistemas de acionamento e controle. Possibilita desenvolver e alterar facilemente a lógica para o acionamento das saídas em função das entradas, assim, pode-se criar várias sinais de entrada para controlar várias saídas (FILHO, 2012).

Os sinais de entrada e saída de um CLP podem ser analógicos ou digitais, depende do módulo que se adapta as necessidades do sistema a ser controlado. Os sinais dos sensores são colocados nas entradas do CLP e a cada ciclo de varredura, todos os sinais são lidos, processados e ao final do ciclo são atualizadas as saídas (FILHO, 2012).

As principais vantagens de um CLP são:

- Espaço relativamente pequeno;
- Baixo consumo de energia elétrica;
- Podem ser reprogramados;
- São confiáveis;
- Possuem comunicação com computadores ou outros CLPs.

2.11 FABRICANTES ATUAIS

Existem diversos fabricantes de câmaras ou estufas para secagem de madeira, das mais variadas tecnologias e cada uma voltada para um certo objetivo final. A maioria das empresas é de fora do Brasil, algumas das principais empresas do mundo serão mencionadas a seguir.

A Benecke é uma empresa nacional que possui diversos produtos relacionados a madeira. As estufas para secagem de madeira serrada tem como objetivo principal secar madeiras nativas ou pinus (BENECKE, 2016). A Figura 16 mostra a imagem de uma das estufas da empresa.

Podem ser carregadas por empilhadeiras ou vagonetes, possuem ventiladores com deslocamento de ar nas duas direções, dampers com abertura e fechamento modulante ou ON/OFF e válvulas de controle de vapor ON/OFF (BENECKE, 2016).

Figura 16 – Estufa Benecke para madeira serrada A-ASV



Fonte: Benecke Irmãos e Cia Ltda

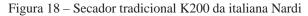
A Mahild é uma empresa alemã que possui alta tecnologia em secadores de madeira, são voltados para oferecer maior qualidade com o mínimo uso de energia. São especialistas em secadores rápidos de alta temperatura, utilizados para a secagem de coníferas. Também possuem a opção de carregamento da câmara por vagonetes ou empilhadeiras (MAHILD, 2016). A Figura 17 mostra uma imagem de um Secador Standard da marca.

Figura 17 – Secador Standard da empresa alemã Mahild



Fonte: Mahild Drying Tecnologies

A Nardi é uma empresa italiana que é especialista em secadores de madeira serrada. Possuem vários tipos de estufas, como a convencional, por túnel, pré secadores e de alta temperatura. O secador tradicional, como demostrado na Figura 18, utiliza pouca energia e redução do barulho. Cada projeto de secador pode ser incorporado com várias opções de equipamentos (NARDI, 2016).





Fonte: Nardi Timber Drying Kilns

Possuem também um sistema de controle de secagem Leonardo 3.0, como pode ser visto na Figura 19. A característica predominante é o uso de CLPs, que permite a personalização do programa para atender as necessidades dos clientes. Utiliza controle automático da velocidade do ar, gerenciamento automático de falhas, gerenciamento da entrada e saída de ar baseado no clima interno e externo. (NARDI, 2016).

Figura 19 - Sistema de controle de secagem Leonardo 3.0 da Nardi



Fonte: Nardi Timber Drying Kilns

O sistema de controle da Nardi ainda controla a velocidade do ar de acordo com o valor ajustado e diminui quando o ar está mais seco.

A Neumann é uma empresa chilena que também é especializada em estufas para secagem de madeira serrada. Possuem vários tipos de secadores, como por exemplo convencional, alta temperatura, à vácuo, entre outros (NEUMANN, 2016). Podem funcionar com diversos tipos de combustíveis e também possuem sistema de controle total de qualquer tipo de secador desejado pelo cliente, como visto na Figura 20.

FORMISSION IN THE PRINCIPLE OF THE PRINC

Figura 20 – Sistema de controle da chilena Neumann

Fonte: Neumann Plantas y Equipos termicos

3 ESPECIFICAÇÃO DO PROJETO

Como é inviável realizar a montagem do projeto em escala real, ele terá dimensões reduzidas, com 1m de altura, 1m de largura e 1,2m de profundidade, conforme pode ser visto na Figura 21. A capacidade de secagem de madeira com este protótipo é de aproximadamente 0,21m³ de madeira serrada. As paredes de todos os lados e do fundo são duplas e possuem lã de vidro entre as chapas de aço para melhorar o isolamento térmico.



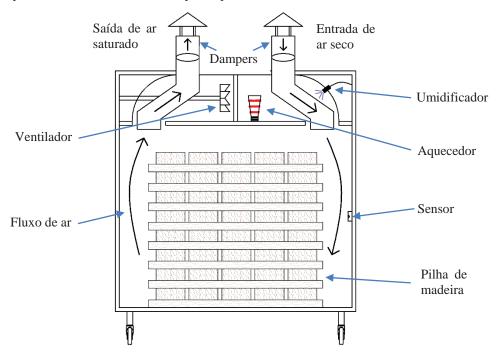
Figura 21 - Protótipo da estufa de secagem de madeira serrada

Fonte: Próprio autor

A estufa é dividida em duas partes diferentes, como ilustra a Figura 22. A primeira é a parte superior, onde estão posicionados os ventiladores, aquecedores, dampers e umidificadores. A segunda parte é onde vai a pilha de madeira a ser secada. O ar é aquecido pelos trocadores de calor, conforme o programa estabelecer, e será forçado a circular pela pilha de madeira devido a força dos ventiladores.

Os 4 Dampers, controlados pelo sistema de controle, são posicionados no alto da estufa para que possa haver a entrada do ar seco e também para que possa liberar a saída do ar úmido e saturado. Umidificadores são bicos que possuem a função de borrifar água no interior da estufa para que o nível de umidade possa ser elevado, conforme o programa estabelecer.

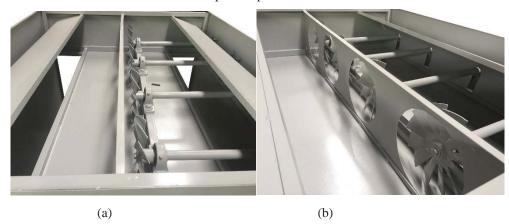
Figura 22 - Esquemático do funcionamento do protótipo



Fonte: Adaptado de Melo (2005)

O sistema de ventilação será composto por 4 ventiladores, posicionados em linha no centro da parte superior da estufa, como está demostrado pelas Figuras 23 (a) e (b).

Figura 23 - Posicionamento dos ventiladores na parte superior da estufa



Fonte: Próprio autor

Estes por sua vez, serão movimentados por um motor de 1cv W22 da WEG, por meio de polias interligadas entre si, como está representando a Figura 24.

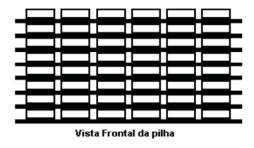
Figura 24 – Conjunto de polias que movimentam os ventiladores



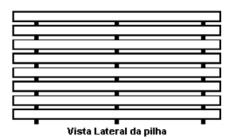
Fonte: Próprio autor

A pilha de madeira deve entrar na estufa com tabiques usados para que haja espaçamento entre as tábuas serradas, conforme a Figura 25. Esse espaçamento é necessário para que o ar circule por dentro da pilha, deixando a secagem mais uniforme.

Figura 25 – Vistas frontal e lateral da pilha de madeira serrada que será submetida a secagem



Fonte: Melo (2005)



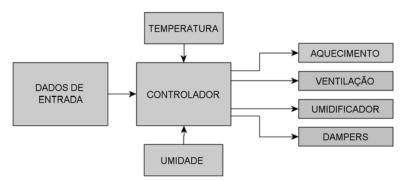
4 DESENVOLVIMENTO

O projeto tem por base realizar o controle das condições internas no interior de uma estufa de secagem de madeira serrada.

De modo geral, a estufa funciona conforme o diagrama de blocos da Figura 26. O operador da estufa digita as configurações de temperaturas, umidades e características da madeira que vai ser posta na estufa, então o sistema de controle realiza todos os cálculos necessários para determinar o que irá ser feito em cada etapa.

O sensor posicionado no interior da estufa envia medidas de temperatura e umidade relativa do ar para o sistema de controle, o sistema de controle terá que processar estes sinais para depois enviar um comando aos dipositivos de potência, que possuem a função de acionar o que for necessário para deixar as condições internas da estufa conforme o programa de secagem que foi definido.

Figura 26 – Diagrama de blocos do projeto



Fonte: Próprio autor

4.1 SENSORAMENTO

A fim de proporcionar um controle sobre o processo de secagem da madeira, foram dimensionados sensores de temperatura e sensor de umidade.

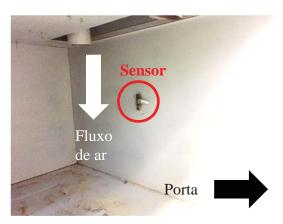
4.1.1 Sensor de Temperatura e Umidade Relativa do Ar

A fim de conseguir um reduzido custo de componentes, foram avaliadas sondas tipo PT100, NTC, FeCo, e sondas em dispositivos semicondutores. Neste sentido, o sensor HTU21D atende a faixa de temperatura em que irá operar a estufa, de 0°C a 99°C, e ainda incorporado ao sensor, há também um sensor de umidade, que opera na faixa de 0 a 100%, ficando desta forma

dentro da faixa de medição da umidade interna da estufa durante o processo de secagem. Logo, este sensor acabou sendo o definido para ser utilizado no projeto.

Foi dimensionado a medição utilizando somente um sensor no interior da estufa, posicionado no meio da lateral da estufa, como pode ser visto na Figura 27.

Figura 27 – Posição do sensor no interior da estufa



Fonte: Próprio autor

O sensor HTU21D, Figura 28, é um sensor que fornece os valores das medições de temperatura e umidade relativa do ar através de um canal serial I2C (Inter-Integrated Circuit), capaz de enviar informações em tempo real.

Figura 28 – Sensor de umidade e temperatura HTU21D



Fonte: Próprio autor

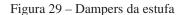
4.2 HARDWARE

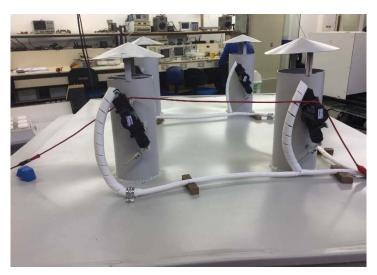
4.2.1 Dampers

Os dampers são os responsáveis pela saída do ar quente e úmido e entrada do ar frio e seco da estufa, ficam posicionados na parte superior da estufa, como demonstrado pela Figura

29. Seu funcionamento é bastante simples, uma chapa de aço é sustentada por um pino, quando esta chapa está na horizontal, bloqueia a passagem do ar, quando a mesma está na vertical o ar é liberado.

Cada damper terá que abrir e fechar no momento adequado, necessitando um atuador de duas posições (on/off), não necessitando de grande capacidade de força para a realização desta tarefa.





Fonte: Próprio autor

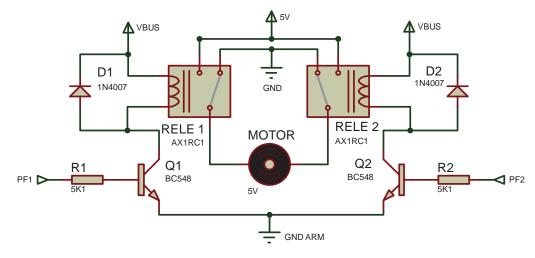
O acionamento da abertura e fechamento poderia ser feito por atuadores pneumáticos ou hidráulicos, mas isso necessitaria de uma rede de ar comprimido ou reservatório de óleo, respectivamente. Por isto, foi definido o uso de motores elétricos lineares, de 12V, por ter baixo custo de aquisição e fácil uso. Serão posicionados de maneira que o curso do motor seja o suficiente para que haja a execução da tarefa desejada.

Na Figura 30, demonstra-se que cada motor necessitará de dois circuitos de acionamento, um para o avanço e outro para o recuo, utilizando dois pinos do microcontrolador para cada motor, mas dois deles funcionarão para o mesmo motor. Sendo os pinos PA2, PA4 e PF0 para abrir os dampers e os pinos PF4, PA3 e PE0 para fechar. Esta configuração permite abrir e fechar os dampers em sequência, para não sobre carregar a fonte.

Serão utilizadas duas fontes para este circuito, a que alimentará o motor será de 5V, para evitar o acionamento brusco. A fonte que irá alimentar as bobinas do relé provém do microcontrolador, por meio do pino VBUS, que é de 5V. Assim, tendo um isolamento físico entre o microcontrolador e a parte de potência dos motores. Com esta tensão, cada motor

necessita de 3A para excursionar, mas ao mesmo tempo somente é necessário 300ms para que ele atinja o alcance máximo.

Figura 30 - Circuito de acionamento para cada damper



Fonte: Próprio autor

Os relés serão de 6V e terão um diodo de roda livre posicionado nos terminais da bobina de cada relé, este diodo tem a função de eliminar a tensão reversa produzida pela própria bobina dos relés. O relé comuta do NA (normalmente aberto) para o NF (normalmente fechado) quando é retirada a tensão da bobina, desligando o motor.

Foi dimensionado o transistor BC548 como elemento de acionamento das bobinas dos relés, visto que a corrente das bobinas são de 50 mA, e o Beta médio do transistor BC548 é de 400, necessitando em uma condição de saturação um corrente de base de 0,5 mA. Esta corrente de base é adequada pois fica abaixo da corrente dos pinos das portas de um microcontrolador, que é em média 8 mA. O dimensionamento dos resistores de polarização na região de saturação seguem conforme a Equação 5.

$$I_{B} > \frac{V_{ARM} - V_{BE}}{R_{B}}$$
 (5)
$$R_{B} < \frac{3.3 - 0.8}{0.5m}$$

$$R_{B} < 5.2K\Omega$$

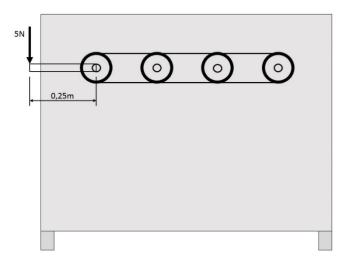
Assim, o resistor dimensionado foi de 5,1K Ω .

Todos os acinamentos a relé terão este mesmo dimensionamento, mudando apenas a carga conectada nos mesmos.

4.2.2 Ventilação

O sistema de ventilação será composto por um conjunto de 4 ventiladores movidos por correias interligadas entre si, sendo o que movimento será dado por um motor trifásico. O torque mínimo necessário para movimentar o conjunto é calculado pela Equação 6. Os dados foram baseados em testes práticos, conforme o esquema da Figura 31.

Figura 31 – Esquema dos testes práticos para definição do torque do sistema de ventilação



Fonte: Próprio autor

$$T = F. d = 5N. 0.25m = 1.25Nm \tag{6}$$

A potência mínima do motor é calculada pela Equação 7.

$$P = \frac{2.\pi \cdot n.T}{60.1000} = \frac{2.\pi \cdot 1730.1,25}{60000} = 0,23KW = 0,3cv$$
 (7)

Como o rendimento da transmissão por correias em V é de 0,97 e o conjunto é composto por 4 correias em série, a potência do motor é redefinida pela Equação 8.

$$P = \frac{0.3}{\eta} = \frac{0.3}{0.97 \cdot 0.97 \cdot 0.97 \cdot 0.97} = 0.34cv \tag{8}$$

O motor dimensionado possui 1cv de potência disponível no eixo, portanto, tem potência suficiente para movimentar o sistema.

Como é fundamental controlar o motor pelos comados provindos do microcontrolador, com a possibilidade de variar a velocidade de acordo com os parâmetros setados pelo operador, foi adicionado um inversor monofásico CFW300 de 220V da WEG compatível com o motor e utilizado o controle remoto do mesmo.

O inversor foi programado para operar através de comandos remotos, isto é, através de suas entradas digitais. As entradas digitais do inversor podem ser configuradas conforme a aplicação, assim, para o projeto da estufa estas entradas foram assim configuradas: Entrada Digital 1 (DI1) – Gira/Para, DI2 – Sentido de giro, DI3 e DI4 – Multispeed.

A configuração de multispeed funciona de forma binária e permite utilizar valores de frequência pré-selecionadas, podendo serem alteradas as configurações de fábrica para adequar às necessidades do projeto. Na Tabela 1 está demonstrado os valores de frequência selecionados para o projeto.

Tabela 1 – Funcionamento do comando remoto multispeed do inversor CFW300

DI3 e DI4	Frequência de saída (Hz)						
00	5						
01	10						
10	30						
11	60						

Fonte: Próprio autor

Na Figura 32, está demonstrado o circuito que enviará comandos para o inversor, utilizando a própria referência do inversor (pino 5) como sendo o comum para todos os acionamentos. São utilizados 4 pinos do microcontrolador ARM, sendo que o primeiro tem a função de ligar ou desligar o motor, o segundo tem a opção de inverter o sentido de rotação do motor e os outros dois pinos são os que definem a velocidade do motor, de forma binária.

ARM D1 D3 D4 1N4007 1N4007 1N4007 R2 5K1 R4 R3 5K1 R1 RELE 1 RELE 2 RL1 RL2 5K1 5K1 AX1RC1 AX1RC1 Q2 Q3 Q4 Q1 BC548C BC548C BC548C BC548C 5 INVERSOR

Figura 32 - Circuito de acionamento do motor, enviando comandos para o inversor

Fonte: Próprio autor

4.2.3 Umidificação

Como é necessário umidificar sem que haja gotejamento, ou seja, elevar a umidade borrificando uma névoa fina de água dentro da estufa, uma bomba de 12V captará água de um reservatório e irá pressurizar a tubulação. A pressão será regulada por um dosador, que enviará o excesso da água de volta para o reservatório, enquanto que os bicos injetores irão pulverizar a água para dentro, conforme mostrado pelo esquema da Figura 33.

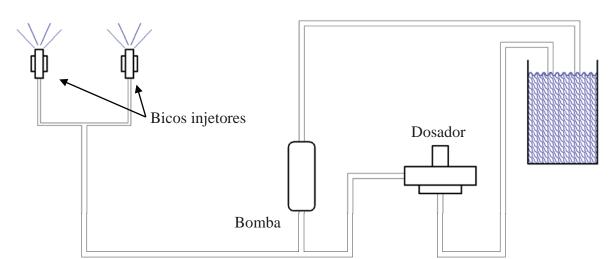
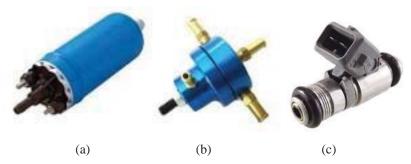


Figura 33 – Esquemático do funcionametno do sistema de umidificação

Fonte: Próprio autor

A Figura 34 demonstra os equipamentos utilizados para compor o kit de umidificação. Serão utilizados 2 bicos injetores.

Figura 34 – Kit umidificador: (a) bomba, (b) dosador e (c) bico injetor

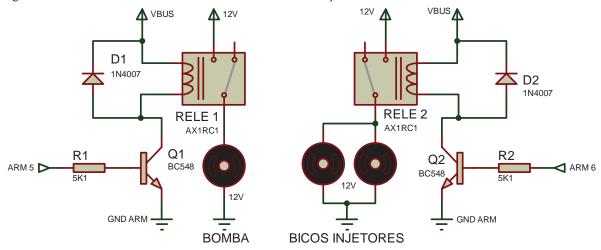


Fonte: Próprio autor

A bomba é de 12V e consome uma corrente de 8A. Os bicos injetores também são de 12V e possuem uma resistência ôhmica de 12Ω , o que gera uma corrente de 1A cada. O dosador não possui alimentação elétrica, ele apenas possui regulagem manual da pressão que vai para os bicos.

A Figura 35 demonstra o circuito elétrico de acionamento do sistema de umidificação, sendo que a bomba deve ser ativada alguns segundos antes dos bicos para que ela possa pressurizar o sistema antes, fazendo com que saia uma névoa de água bem fina pelos bicos.

Figura 35 - Circuito de acionamento do sistema de umidificação



Fonte: Próprio autor

4.2.4 Aquecimento

O sistema de aquecimento em estufas em escala real utilizam caldeiras que geram vapor d'água, que passam, por sua vez, por radiadores trocadores de calor e assim, fazem o aquecimento da estufa. Como este sistema é inviável para uma escala reduzida, resistências

elétricas foram adicionadas. A Equação 9 foi utilizada para o cálculo da potência elétrica necessária para aquecer a estufa.

$$P = \frac{m \cdot c \cdot (T_2 - T_1)}{860 \cdot h} \tag{9}$$

Onde:

P = Potência (kW)

m = Massa da substância a ser aquecida (kg)

c = Calor específico da substância (kcal/kg.°C)

 T_2 = Temperatura final (°C)

 T_1 = Temperatura inical (°C)

h = Tempo desejado para o aquecimento (h)

860 = constante

Para utilizar esta equação, é preciso primeiramente calcular a massa de madeira a ser aquecida e a massa da própria estufa, já que toda ela também irá aquecer. Na Equação 10, está demonstrado o cálculo do volume de aço da estufa e na Equação 11 a massa total do aço, considerando um peso específico de 7860kg/m³ e acrescentando 50kg dos ventiladores e mancais.

$$V_{ACO} = [(1,2m^2 \cdot 2 + 1m^2 \cdot 2 + 1,2m^2 \cdot 2) \cdot 0,001m] \cdot 2 = 0,0136m^3$$
 (10)

$$m_{ACO} = 7860kg/m^3 \cdot 0.0136m^3 + 50kg = 157kg$$
 (11)

Na Equação 12 o cálculo do volume de madeira máximo que a estufa poderá secar, considerando que entre cada tábua é colocada separadores para a passagem de ar. Na Equação 13 a massa total de madeira considerando o peso específico de 400kg/m³.

$$V_{MADEIRA} = (1m \cdot 0.0254m \cdot 0.55m) \cdot 15 = 0.21m^{3}$$
 (12)

$$m_{MADEIRA} = 400kg/m^3 \cdot 0.21m^3 = 84kg \tag{13}$$

Com estes valores encontrados, é possível voltar à Equação 9 para calcular a potência elétrica do sistema de aquecimento, considerando calor específico do aço de 0,12 kcal/kg.°C e 0,45 kcal/kg°C da madeira. Para obter um dado em condições extremas, a diferença das

temperaturas inicial e final é de 100°C. Como a etapa de aquecimento dura aproximadamente 3 horas, o tempo considerado no cálculo foi de pelo menos 2,5 horas.

$$P = \frac{[(157 \cdot 0,12) + (84 \cdot 0,45)] \cdot (100 - 0)}{860 \cdot 2.5} = 2,63 \text{ kW}$$

Sendo assim, foi utilizado 5 resistências de 600W e 220V cada uma, como mostrado na Figura 36 totalizando 3kW de potência instalada.

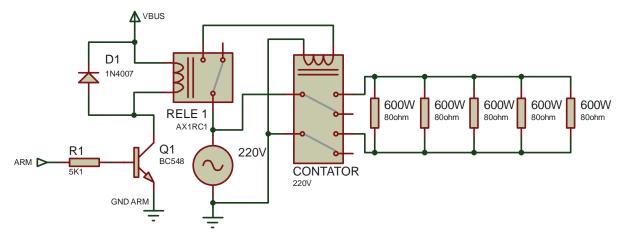
Figura 36 – Resistência elétrica de 600W/220V



Fonte: Próprio autor

Como a potência instalada é alta, um contator trifásico com tensão de comando de 220V foi utilizado, a Figura 37 mostra o circuito de acionamento do contator. As resistências foram instaladas na parte superior da estufa, em frente aos ventiladores, assim, o calor gerado por elas logo será direcionado para o compartimento onde estão as madeiras.

Figura 37 – Circuito de comando do sistema de aquecimento



Fonte: Próprio autor

4.2.5 Fonte

A fonte é dimensionada para alimentar todos os periféricos, supondo que a pior condição seria a ativação de todos ao mesmo tempo. Tem-se pela Equação 14 a soma de todas as correntes necessárias.

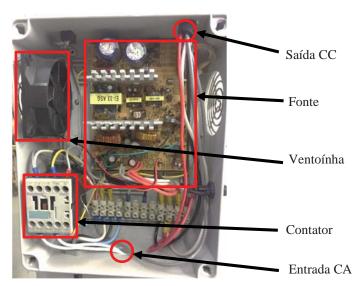
$$I_{FONTE} = I_{RELES} \cdot 15 + I_{DAMPERS} \cdot 4 + I_{BOMBA} + I_{BICO} \cdot 2 + I_{CONTROLE}$$

$$I_{FONTE} = 50m \cdot 15 + 3 \cdot 4 + 8 + 1 \cdot 2 + 2 = 25A$$
(14)

Com este cálculo, foi definido o uso de uma fonte comercial de 600W com entrada de 220V e saídas de 3,3V/5V/12V e capacidade máxima de corrente de 40A para alimentar o microcontrolador e os componentes que exigem corrente contínua.

Esta fonte foi colocada junto com o contator dentro de uma caixa separada do comando, como visto na Figura 38, para evitar que qualquer tipo de ruído possa atrapalhar o funcionamento do microcontrolador. Todas as saídas de corrente contínua vão diretamente para os componentes que necessitam os correspondentes níveis de tensão.

Figura 38 – Caixa da fonte junto com o contator



Fonte: Próprio autor

4.2.6 Interface Homem-Máquina (IHM)

Este tipo de acessório é praticamente indispensável para este tipo de projeto, pois é nele que as informações são demonstradas, podendo ser analizadas por um operador, informando em qual etapa do processo o controle está e quais são as condições das variáveis internas.

Para este protótipo, foi dimensionado o uso de um display LCD 20x4, Figura 39, por ser de fácil comunicação, permitir o envio de dados em 8 ou 4 bits e por ser de tamanho adequado para apresentar as informações necessárias ao operador da estufa, como em qual etapa está a operação, tempo restante para terminar cada etapa, temperatura e umidade internas e temperatura e umidade prentendidas para cada etapa.

Figura 39 – Display LCD 20x4



Fonte: Multipeças Tec (2017)

4.2.7 Teclado

O teclado é necessário por ser um método do operador informar ao microcontrolador os parâmetros de entrada desejados, de acordo com o programa de secagem que desejar. Foi definido o uso do teclado matricial 4x4, Figura 40, por ter todos os números e também as letras que vão de "A" a "D", que podem ser utilizadas para setar alguns parâmetros que não possum valores numéricos.

Figura 40 – Teclado matricial 4x4



Fonte: Próprio autor

(b)

4.2.8 Comando

Todas as placas com o comando de cada acionamento foram colocadas dentro de uma única caixa. Na tampa desta caixa foram colocados o display e o teclado matricial, como demonstrado pela Figura 41.

Microcontrolador

Dampers

Ventilação

Umidificação

Aquecimento

Figura 41 – Caixa com todas as placas de comando (a) internamente e (b) tampa com o display e teclado

Fonte: Próprio autor

4.3 SISTEMA DE CONTROLE

O sistema de controle é a central que recebe todas as informações dos periféricos, que no caso são sensores e botões e ainda, aciona dampers, válvulas e motores.

(a)

Na Tabela 2 estão listados todos os periféricos e quantos pinos eles necessitam para se comunicar com o sistema de controle, sem contar com a alimentação de cada um.

Tabela 2 – Quantidade de pinos necessários para controlar a estufa

Periférico	Quantidade de pinos necessários	Característica
Display	4	I/O
Teclado	8	I/O
Inversor	4	I/O
Sensor	2	I2C
Bomba	1	I/O

Bicos injetores	1	I/O
Dampers	6	I/O
Resistências	1	I/O

Fonte: Próprio autor

Com isto foi definido a utilização de um microcontrolador ARM, mais precisamente, a placa LaunchPad da TivaTM EK-TM4C123GXL composta pelo núcleo ARM®CortexTM-M4F 64-pin, 80MHz, TM4C123GH6PM, representada na Figura 42. Esta escolha se dá pelo fato desta placa suprir todos os requisitos do projeto e também ser de baixo custo.

Figura 42 – LaunchPad EK-TM4C123GXL



Fonte: Próprio autor

4.4 FIRMWARE

O firmware foi desenvolvido para ativar as saídas necessárias do microcontrolador dependendo das leituras realizadas pelo sensor.

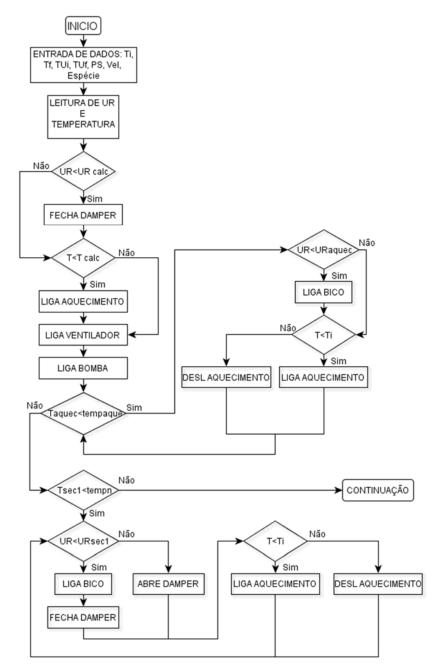
4.4.1 Programação

Foi gravado no microcontrolador o código de programa na linguagem C. Na Figura 43, a primeira parte do fluxograma simplificado do funcionamento da estufa. Após ser ligada a fonte, o operador insere os dados de entrada, de acordo com o programa de secagem que o mesmo deseja. O sensor envia os dados para o controle que, aciona os dispositivos de potência necessários para a execussão de cada etapa do processo de secagem.

O sistema de controle captura medições a cada minuto para atualizar as condições internas, ligando ou desligando os sistemas de aquecimentos e umidificação na etapa de

aquecimento e ligando ou desligando o aquecimento e abrindo ou fechando os dampers para as etapas de secagem e uniformização e condicionamento.

Figura 43 – Primeira parte do algoritmo simplificado do fucionamento da estufa



Fonte: Próprio autor

Na Figura 44 a continuação do algoritmo.

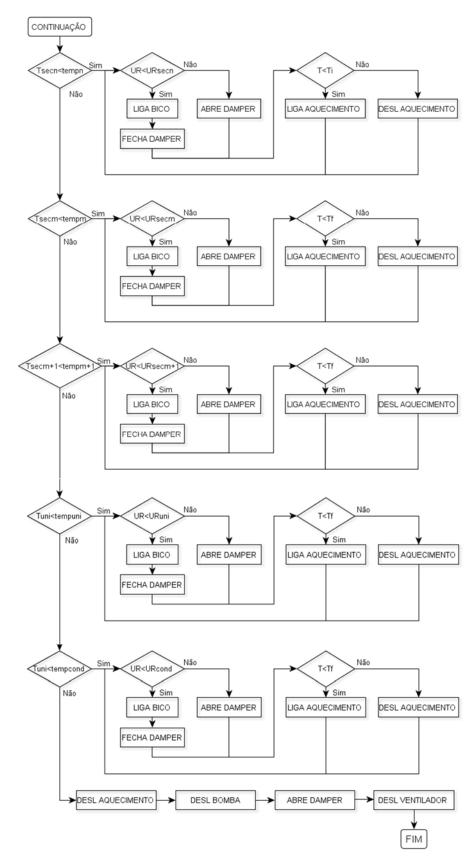


Figura 44 – Segunda parte do fluxograma simplificado do fucionamento da estufa

Fonte: Próprio autor

4.4.1.1 Dados de entrada

Os parâmetros de entrada são definidos pelo operador da estufa ou técnico responsável pela secagem, dependendo as condições e a espécie de madeira que vai ser secada. Os valores que estão disponíveis para ajustes são:

- Temperatura inicial e final (Ti e Tf);
- Teor de umidade inicial e final da madeira (TUi eTUf);
- Potencial de secagem (PS);
- Velocidade do ar inicial e final (Vi e Vf);
- Espécie de madeira (Conífera ou Folhosa);
- Realizar a etapa de Uniformização e Condicionamento.

Com estes dados digitados no teclado, o programa por meio da Equação 15 calcula o tempo total de secagem aproximado em função do teor de umidade inicial e final da madeira (KOLLMANN & CÔTÉ, 1980 apud FLORIAN, 2009).

$$Th = \frac{1}{k} \cdot (\ln(TUi) - \ln(TUf)) \tag{15}$$

Onde:

Th = Tempo(h);

k =Coeficiente de secagem (0,0265 para folhosas e 0,0477 para coníferas);

TUi = Teor de umidade inicial da madeira;

TUf = Teor de umidade final da madeira;

Assim, quanto maior for a diferença entre a umidade inicial e a final, maior será o tempo de secagem. A equação também é utilizada para determinar o tempo de cada etapa de secagem, uma vez que não foi possível encontrar medidores comerciais de umidade da madeira. Com isso, foi feita uma projeção da umidade da madeira conforme as condições internas da estufa vão sendo alteradas.

Além do tempo, nesta etapa o controle já "preenche" parte do programa de secagem, como pode ser visto o exemplo da Figura 45. Como a partir de 30% de umidade da madeira (ao atingir o PSF - Ponto de Saturação das Fibras) o processo se torna mais sensível, há uma divisão de processo neste momento. A temperatura inicial (Ti) irá permanecer constante até os 30% de umidade da madeira (TU), após isto ela vai subindo gradativamente até atingir a temperatura final (Tf) na porcentagem final do teor de umidade de madeira desejado (TUf).

O valor do potencial de secagem (PS) desejado deve ser constante desde o PSF até o TUf, com isso basta utilizar a Equação 3 para descobrir a umidade de equilíbrio (UE) para cada etapa abaixo do PSF. Quando a madeira está acima de 50% de umidade, Jankowsky e Galina (2013) indicam como regra geral que a UE deve estar entre 14 e 16%. Foi adotado para todos os casos deste protótipo 15%.

Figura 45 - Parte do programa de secagem que já é preenchido após serem setados os dados de entrada

UMIDADE	Ts (oC)	Tu (oC)	UR (%)	UE (%)	PS
Aquecimento	45,0	44,0	94	21,2	**
Acima de 50	45,0			15,0	> 3,3
50	45,0			15,0	3,3
45	45,0			14,2	3,2
40	45,0			13,5	3,0
35	45,0			12,7	2,7
30	45,0			12,0	2,5
25	50,0			10,0	2,5
20	55,0			8,0	2,5
15	60,0			6,0	2,5
10	65,0			4,0	2,5
5	65,0			2,0	2,5
Uniformização	65,0				**
Condicionamento	65,0				**

Fonte: Jankowsky e Galina (2013)

Com a UE do PSF calculada e a UE acima dos 50% de umidade da madeira definida, deve-se diminuir gradativamente a UE ao longo das etapas em que o teor de umidade da madeira vai diminuindo.

O display gera informações em tempo real da umidade relativa (UR) e da temperatura interna. Também, mostra em qual etapa está o processo, o tempo e qual é o objetivo para cada etapa.

4.4.1.2 Aquecimento

De acordo com HILDEBRAND, 1970 apud FLORIAN, 2009, a duração desta fase está em função da espessura das peças. Ele sugere uma hora de aquecimento para cada centímetro de espessura da peça de madeira a ser secada. Como padrão de mercado, as peças são de uma polegada de espessura (2,54 cm), salvo algumas excessões que produzem para usos específicos, então, foi determinado que o tempo de aquecimento para este protótipo é de aproximadamente três horas.

A umidade relativa do ar também deve ser elevada, acima dos 90%, para evitar que algumas peças comecem o processo de secagem antes das outras. A recomendação para esta

etapa é manter o ar úmido com a diferença entre a temperatura de bulbo seco e úmido menor ou igual a 1°C. Então, com a temperatura inicial já setada pelo operador, o programa irá buscar na matriz (tabela [ANEXO A; página 84]) a umidade relativa (UR) correspondente, como pode ser visto no exemplo da Figura 46, para uma temperatura de 45°C foi encontrado a umidade relativa de 94%.

Figura 46 – Umidade Relativa (UR) equivalente para uma temperatura de 45°C e Ts-Tu igual a 1°C

THE PERSON NAMED IN COLUMN	THE REPORT OF THE PROPERTY OF THE PARTY OF T				
Tobala 2	Umidada salativa (UD) a	- f X - do to	operatura de termômetro se	IT-1 - 1- 111	Li
I dispuls &	. Umidade relativa (Uni e	m tuncao da ten	nderatura de termometro se	co i isi e da ditere	nca nigrometrica i is-lu.

Ts	Diferença higrométrica (Ts-Tu) (°C)															
(°C)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
30	96	92	89	86	83	80	76	73	70	67	64	61	55	50	45	39
31	96	93	89	87	83	80	77	74	71	68	64	62	56	50	45	40
32	96	93	89	87	83	80	77	74	71	68	65	62	57	51	46	41
33	97	93	89	87	83	81	77	74	71	68	65	63	58	52	47	42
34	97	94	90	87	84	81	78	75	72	69	66	63	59	54	49	44
35	97	94	90	- 88	84	82	79	76	73	70	67	64	59	54	49	44
36	97	94	90	88	84	82	79	76	73	70	67	65	59	54	50	45
37	97	94	90	88 .	84	82	79	76	73	71	68	65	60	55	50	46
38	97	94	91	88	85	83	80	77	74	71	68	66	61	56	51	47
39	97	94	91	88	85	83	80	77	74	72	68	67	61	57	52	47
40	97	94	91	88	85	83	80	77	74	72	69	67	62	57	53	48
41	97	94	91	88	85	83	80	77	74	72	69	67	62	57	53	49
42	97	94	91	88	85	83	80	77	74	72	70	68	63	58	54	50
43	97	94	91	89	86	84	81	78	75	73	70	68	63	58	54	50
44	97	94	91	89	86	84	81	78	75	73	70	58	53	59	55	51
45	97	94	91	89	86	84	81	79	76	73	71	68	64	60	56	52
46	97	94	91	89	86	84	81	79	76	74	71	69	64	60	56	52
47	97	. 95	92	89	86	84	81	79	76	74	71	69	64	60	56	52

Fonte: Adaptado de Jankowsky e Galina (2013)

As resistências são ligadas afim de alcançar a temperatura inicial o mais rápido possível, e ao atingir o valor desejado, o controle desliga as resistências e aguarda o próximo minuto para realizar uma nova medição e comparar com a umidade desejada. Se estiver abaixo, as resistências são ligadas, se ainda estiver acima, as resistências permanecem desligadas. O processo de umidificação é semelhante, os bicos que ficam injetando a névoa d'água a cada 30 segundos, até atingir a umidade desejada, quando atingir o valor calculado, os bicos não injetam água. Durante este processo os dampers ficam o tempo todo fechados, para manter a umidade e a temperatura interna elevada.

4.4.1.3 Secagem

A secagem é dividida em várias etapas, alterando as condições internas a cada ciclo em que a umidade da madeira diminui em 5%. Como não foi possível monitorar essa umidade, foi

adotado o ciclo por tempo, pela Equação 13. A primeira etapa é constante e vai de TUi até que o teor de umidade da madeira chegue aos 45%.

O programa busca primeiramente na tabela da umidade de equilíbrio [ANEXO B; página 86] qual é a diferença entre a temperatura de bulbo seco (Ts) e bulbo úmido (Tu) (Ts-Tu) para a temperatura inicial digitada e a UE calculada, como mostra o exemplo da Figura 47. Sendo que deve-se considerar a UE mais próxima da calculada sem alterar a linha da temperatura.

Figura 47 – Diferença Higrométrica (Ts-Tu) com o valor mais próximo da UE na temperatura Ti

Tab	la 3	Umidad	le de eq	uil (brio	(UE) en	n funçã	o da temp	eratura	de terr	nômetro	seco (T	s) e da c	liferença	higrom	étrica (1	[s-Tu]
Ts						Dif	erença hi	gromét	rica (Ts-	Tu) (°C			†			
(°C)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
30	23,5	21,0	19,4	18,1	16,8	15,8	14,5	13,6	12,8	12,1	11,5	10,8	9,7	8,9	8,1	7,
31	23,4	21,2	19,3	18,2	16,7	15,7	14,6	13,7	12,9	12,2	11,5	10,8	9,8	8,9	8,1	7,
32	23,4	21,5	19,3	18,4	16,7	15,6	14,7	13,8	13,0	12,3	11,6	10,9	10,0	8,9	8,2	7,
33	24,0	21,8	19,5	18,2	16,8	15,7	14,8	13,9	13,0	12,4	11,6	10,9	10,1	9,1	8,3	7,
34	24,0	22,0	19,7	18,3	17,0	15,9	14,9	14,0	13,1	12,4	11,7	11,0	10,2	9,3	8,5	7,
35	23,9	21,9	19,7	18,4	16,9	16,0	15,0	14,0	13,2	12,5	11,7	11,2	10,2	9,3	8,6	7,
36	23,9	21,8	19,6	18,6	16,9	16,1	15,1	14,1	13,3	12,5	11,8	11,4	10,1	9,3	8,6	7,
37	23,8	21,7	19,8	18,5	17,0	16,2	15,2	14,2	13,4	12,6	11,8	11,5	10,2	9,4	8,7	7,
38	23,8	21,7	19,9	18,5	17,1	16,3	15,3	14,3	13,4	12,6	11,9	11,4	10,4	9,5	8,7	8,
39	23,7	21,6	19,8	18,4	17,1	16,2	15,2	14,2	13,3	12,7	11,9	11,4	10,4	9,5	8,8	8,
40	23,7	21,6	19,8	18,3	17,0	16,2	15,1	14,1	13,3	12,8	12,0	11,5	10,5	9,6	8,9	8,
41	23,6	21,5	19,7	18,2	16,9	16,1	15,0	14,0	13,2	12,7	12,0	11,5	10,5	9,6	8,9	8,
42	23,5	21,5	19,7	18,2	16,8	16,1	15,0	14,0	13,2	12,6	12,1	11,6	10,6	9,6	8,9	8,
43	23,4	21,4	19,6	18,3	16,9	16,2	15,1	14,1	13,3	12,7	12,1	11,6	10,5	9,7	9,0	8,
44	23,4	21,3	19,5	18,5	17.1	16,3	15.2	14.2	13.3	12.7	12.0	11.5	10.4	9.7	9.0	8
45	23,3	21,2	19,4	18,4	17,0	16,2	15,1	14,2	13,4	12,8	12,1	11,5	10,4	9,7	9,0	8,
46	23,2	21,3	19,4	18,3	17,0	16,1	15,0	14,3	13,4	12,9	12,1	11,6	10,5	9,7	9,0	8,
47	23,1	21,5	19,5	18,2	17,1	16,0	14,9	14,3	13,3	12,8	12,0	11,6	10,6	9,8	9,1	8,
48	23,1	21,6	19,7	18,2	17,2	16,0	14,8	14,2	13,3	12,7	11,9	11,5	10,6	9,8	9,1	8,
49	23,0	21,6	19,6	18,1	17,1	15,9	14,7	14,1	13,2	12,6	11,9	11,5	10,5	9,8	9,0	8,
50	22,9	21,5	19,6	18,0	17,1	15,8	14,7	14,0	13,1	12,6	12,0	11,6	10,5	9,7	9,0	8,

Fonte: Adaptado de Jankowsky e Galina (2013)

Com Ts-Tu encontrado, o programa vai até a tabela (matriz) da umidade relativa (UR) [ANEXO A; página 84] para encontrar qual a umidade relativa que deve estar no interior da estufa para esta etapa, como está mostrado na Figura 48.

Para atingir a umidade relativa do ar mais baixa para cada etapa, os dampers são abertos e o sistema de umidificação é desligado, porém, caso isto ocorra rápido demais, os dampers fecham novamente e dependendo da situação, o sistema de umidificação pode ser ligado.

Este processo se repete até que a umidade da madeira atinja o PSF. Este ponto define a mudança da velocidade do ar, caso setado no início do programa, e também, é o ponto onde começa a ser aumentada a temperatura no interior da estufa, Este aumento é gradativo e dividido nas etapas subsequentes, com o objetivo de atingir a temperatura final (setada no início) do processo quando a umidade da madeira estiver em 5%.

Figura 48 – Umidade Relativa (UR) em função da Temperatura inicial (Ti) e Diferença Higrométrica (Ts-Tu)

Tabela 2 Umidade relativa (UR) em função da temperatura de termômetro seco (Ts) e da diferença higrométrica (Ts-Tu)

Ts		Diferença higrométrica (Ts-Tu) (^O C)														
(°C)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
30	96	92	89	86	83	80	76	73	70	67	64	61	55	50	45	39
31	96	93	89	87	83	80	77	74	71	68	64	62	56	50	45	40
32	96	93	89	87	83	80	77	74	71	68	65	62	57	51	46	41
33	97	93	89	87	83	81	77	74	71	68	65	63	58	52	47	42
34	97	94	90	87	84	81	78	75	72	69	66	63	59	54	49	44
35	97	94	90	- 88	84	82	79	76	73	70	67	64	59	54	49	44
36	97	94	90	88	84	82	79	76	73	70	67	65	59	54	50	45
37	97	94	90	88	84	82	79	76	73	71	68	65	60	55	50	46
38	97	94	91	88	85	83	80	77	74	71	68	66	61	56	51	47
39	97	94	91	88	85	83	80	77	74	72	68	67	61	57	52	47
40	97	94	91	88	85	83	80	77	74	72	69	67	62	57	53	48
41	97	94	91	88	85	83	80	77	74	72	69	67	62	57	53	49
42	97	94	91	88	85	83	80	77	74	72	70	68	63	58	54	50
43	97	94	91	89	86	84	81	78	75	73	70	68	63	58	54	50
44	97	94	91	89	86	84	81	78	75	73	70	58	53	59	55	51
45	97	94	91	89	86	84	81	79	76	73	71	68	64	60	56	52
46	97	94	91	89	86	84	81	79	76	74	71	69	64	60	56	52
47	97	. 95	92	89	86	84	81	79	76	74	71	69	64	60	56	52
48	97	95	92	89	87	84	81	79	76	74	71	69	65	61	57	53
49	97	95	92	89	87	84	81	79	76	74	72	70	65	61	57	53
50	97	95	92	89	87	84	81	79	76	74	72	70	65	51	57	53

Fonte: Adaptado de Jankowsky e Galina (2013)

4.4.1.4 Uniformização e Condicionamento

A uniformização e o condicionamento são realizados conforme a tabela padrão [ANEXO C; página 88], onde o programa busca a temperatura final digitada e o teor de umidade final desejado para encontrar a umidade relativa ideal dentro da estufa para cada etapa, conforme ilustra a Figura 49. De acordo com Martins (1988), estas estapas juntas devem durar de 12 a 18 horas por polegada de espessura para coníferas e de 20 a 24 horas por polegada de espessura para folhosas.

Após esta etapa, a estufa mostra no display o final do processo e desliga o sistema de ventilação, aquecimento e umidificação. O ideal não é retirar a carga de madeira neste momento, deve-se esperar um tempo para não ocorrer choque-térmico causando rachaduras nas peças.

Para iniciar uma nova secagem, o equipamento deve ser reiniciado e os dados devem ser inseridos conforme o novo programa de secagem for definido.

Figura 49 – Umidade Relativa (UR) para as etapas de uniformização e condicionamento

UMIDADE	Ts	UNIF	ORM	ZAÇÃO	CONE	OICIO	NAMENTO
FINAL		Tu	UR	UE	Tu	UR	UE
(%)	(°C)	(°C)	(%)	(%)	(°C)	(%)	(%)
6,0	60,0 65,0 70,0 75,0 80,0	37,0 40,5 45,5 50,0 55,5	23 24 26 28 30	4,0	53,0 58,0 62,5 68,0 73,0	67 68 70 71 72	10,0
7,0	60,0 65,0 70,0 75,0 80,0	41,0 45,5 50,0 55,5 60,0	31 34 35 37 40	5,0	54,0 59,0 64,0 69,0 74,5	71 72 75 76 78	11,0
8,0	60,0 65,0 70,0 75,0 80,0	44,5 49,0 54,0 59,0 64,5	39 42 45 46 49	6,0	54,5 60,0 65,0 70,0 75,5	74 77 79 79 81	12,0
9,0	60,0 65,0 70,0 75,0 80,0	47,0 52,0 57,0 62,0 67,5	47 50 53 54 56	7,0	55,5 61,0 66,0 71,0 76,0	78 80 81 82 83	13,0
10,0	60,0	49,0	54	8,0	56,5	82	14,0
	65,0	54,5	57		61,5	83	
	70,0 75,0	59,0 65,0	59 62		66,5 71,5	83 85	
	80,0	70,0	63		71,5	87	

Fonte: Adaptado de Jankowsky e Galina (2013)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de secagem deste projeto, mesmo não tendo monitoramento do teor de umidade da madeira e nem conseguindo obter as curvas de velocidade do ar em função da rotação do ventilador, por ter fabricação própria, obteve resultados satisfatórios. Foi optado por realizar a secagem da madeira de pinus, por ser de menor tempo e menos delicada, ou seja, com menos tendência que ocorram defeitos.

Vários imprevistos ocorreram ao longo do desenvolvimento, tanto da parte mecânica quanto do *firmware* e *hardware*. O calor e umidade intensos foram os principais dificultadores deste projeto, pois o ventilador foi de fabricação própria, já que não havia ventilador desse tamanho para esta aplicação, além de toda a estrutura e dampers.

Também, a maioria dos sensores de umidade são para uso em condições ambientes, chegando no máximo a 50°C de operação. Os poucos que operam em temperaturas mais altas não mediam umidades elevadas.

Devido a quantidade de ruídos provindos do inversor, as soluções que mais se adequaram foram:

- Utilizar o teclado matricial, inserindo todos os dados necessários, antes do programa habilitar a partida do motor;
- Unir todos os pontos de referência, incluindo todas as partes metálicas do protótipo, e deixar este ponto "flutuante" pois se for colocado em terra a instabilidade aumentava;
- Fazer um filtro dos pontos de umidade e temperatura lidos pelo sensor, eliminando todos os valores acima ou abaixo de 20% do valor lido anteriormente. O primeiro dado é lido com tudo desligado, evitando qualquer tipo de ruído.

5.1 DADOS DE ENTRADA

O primeiro passo é inserir a carga de madeira a ser secada no interior da estufa. Esta carga deve possuir empilhamento adequado, contendo tabiques para separar as tábuas e deixar o vento passar e também, com as colunas de tábuas alinhadas, como pode ser visto na Figura 50.

Figura 50 – Carga de madeira a ser secada inserida na estufa



Os dados de entrada foram preenchidos de acordo com a madeira que foi colocada para realizar o teste de operação da estufa. Para o teste foi utilizado peças de madeira de pinus *taeda*, com dimensões de 1m X 0,075m X 0,025m.

O display solicita inicialmente os dados de temperatura inicial (Ti), temperatura final (Tf), potencial de secagem (PS), teor de umidade inicial da madeira (TUi) e teor de umidade final da madeira (TUf). Os dados escolhidos foram 45°C, 65°C, 2.5, 90% e 8% respectivamente, conforme pode ser visto na Figura 51.

Figura 51 – Dados de entrada (a) solicitados no display e (b) dados de entrada preenchidos



Fonte: Próprio autor

Em seguida é necessário informar as velocidades do ar, inicial e final. Para o teste realizado foram escolhidos as velocidades máximas tanto no inicio quanto para o fim do processo de secagem, sendo "A" como a menor velocidade e "D" a maior velocidade, como representado pela Figura 52.

Figura 52 – Velocidades inicial e final escolhidas para o teste



O próximo passo é a escolha da espécie de madeira que será secada. Como para o teste foi escolhido pinus, a espécie é de conífera, como pode ser visto na Figura 53.

Figura 53 – Espécie de madeira escolhida para o teste



Fonte: Próprio autor

Para o teste de secagem proposto, foi optado em não realizar a etapa de uniformização e condicionamento da madeira, Figura 54 por dois motivos. O primeiro motivo ocorre pela madeira a ser secada ser de pinus *taeda*, que é considerado um dos tipos de menor complicação na hora da secagem e menos influenciada pela etapa de uniformização. O segundo motivo ocorre pelo fato do sistema de umidificação não ser tão eficiente, visto que existem falhas de vedação e por ser necessário repor a água do reservatório periodicamente.

Como o teste previu 15 horas para a etapa de uniformização, seria necessário permanecer em acompanhamento permanente durante esta etapa ou haveria falta d'água durante a etapa, podendo danificar a bomba.

Figura 54 – Escolha de não realizar a etapa de uniformização e condicionamento



Depois que todos os dados de entrada foram escolhidos, o display informa o tempo aproximado de secagem, como pode ser visto na Figura 55.

Figura 55 – Tempo aproximado de secagem de acordo com os dados de entrada



Fonte: Próprio autor

5.2 AQUECIMENTO

Na Figura 56 estão imagens da etapa de aquecimento, mostrando que mesmo tendo umidificação intensa, a UR não ficou tão elevada, foi utilizado para esta etapa, 20 litros d'água. A temperatura também não ficou como o desejado, mesmo deixando o aquecimento ligado todo o tempo.

Figura 56 – Display, informações sobre o aquecimento no (a) início e o (b) fim



Fonte: Próprio autor

O motivo para estas dificuldades é o fato de a estufa não possuir isolamento térmico adequado, principalmente na parte superior e também por não ser bem vedada, deixando muita umidade escapar pelas frestas entre os metais, pela porta e pelos dampers, mesmo estando fechados.

5.3 SECAGEM

A secagem se divide em várias etapas que simulam a redução do teor de umidade da madeira em 5%. No total, são 10 etapas de secagem, se o teor de umidade da madeira for maior que 50%. Caso seja menor que 50%, o número de etapas diminui de uma unidade para cada 5% do teor de umidade abaixo de 50%.

A primeira etapa da secagem nos testes realizados, simula a redução do teor de umidade inicial de 90% para 50%, utilizando a mesma Equação 13 para calcular o tempo desta etapa. Na Figura 57, o aviso mostra no display o final da etapa de aquecimento e o início da primeira etapa de secagem, informando o tempo estimado para a conclusão desta etapa, em minutos.

Figura 57 – Display, informações sobre o (a) final do aquecimento e (b) tempo estimado da primeira etapa da secagem, em minutos



Fonte: Próprio autor

Ao longo de cada etapa, o display mostra o tempo restante, a temperatura e umidade desejada, a temperatura e umidade atual e também, em qual etapa está o programa, como pode ser visto pela Figura 58.

Figura 58 – Display, informações sobre o (a) inicio da primeira etapa da secagem e (b) final da última etapa da secagem



Pode-se observar que em ambas as etapas, a umidade e a temperatura não estão entre os valores desejados. Isso ocorre pela má vedação da estufa, ocorrendo muita perda de umidade, mesmo com todos os dampers e as portas fechadas. A Figura 59 representa a umidade presa no chapéu dos dampers, mesmo eles estando fechados 100% do tempo. Já a temperatura interna da estufa permanece abaixo do programado pelo fato de ter muita perda térmica, devido a falta de isolamento térmico em muitos pontos.

Figura 59 – Excesso de umidade saindo pelos dampers e ficando presa no chapéu dos dampers, mesmo os mesmo estarem fechados



Fonte: Próprio autor

No final do processo, o display apresenta uma mensagem sinalizando o término e todos os sistemas são desligados, como pode ser visto na Figura 60.

Figura 60 – Display apresentando a mensagem de final do processo de secagem



Ao final da secagem, as portas foram mantidas entre abertas para que a madeira não sofra choque térmico, como pode ser visto na Figura 61, também é possível notar algum desalinhamento em virtude dos empenamentos de algumas tábuas.

Figura 61 – Pilha de madeira ao final da secagem



Fonte: Próprio autor

Após o período de neutralização térmica, todas as tábuas foram pesadas individualmente, e anotado quais apresentavam defeitos (qualquer tipo de empenamento visual). A posição física de montagem em que as peças foram colocadas na estufa foi registrada,

como é demonstrado na Figura 62. Ainda, cabe ressalvar que nesta secagem a circulação do vento ocorreu da direita para a esquerda, observando a Figura 62.

 $Figura\ 62-Resultado\ da\ pesagem\ (em\ g)\ das\ t\'abuas\ secadas\ na\ estufa\ respeitando\ suas\ posiç\~oes\ durante\ a\ secagem\ e\ em\ vermelho\ quais\ apresentam\ defeitos$

Linha/Col	1	2	3	4	5	6	% defeito
1	740	800	960	794	746	792	33,33%
2	850	752	760	792	848	810	83,33%
3	874	784	922	856	724	756	33,33%
4	816	844	830	746	782	742	0,00%
5	820	886	880	770	764	646	16,67%
6	852	834	810	818	786	860	50,00%
7	974	780	828	898	700	840	33,33%
8	742	820	796	846	864	798	0,00%
9	704	738	614	742	696	746	33,33%
10	952	736	740	758	816	810	50,00%
% defeito	30,00%	30,00%	20,00%	30,00%	30,00%	60,00%	

Fonte: Próprio autor

Analisando o resultado, é possível notar que as tábuas com defeitos estão tendencialmente nas bordas da pilha, mas isso não se resume a todas. Ao total foram colocadas na estufa 60 peças, das quais 20 foram constatadas com defeitos após a secagem, ou seja, 33,33%.

Ao verificar todas as peças, pode-se notar claramente que alguns defeitos são ocasionadas pela madeira ser de árvores muito novas, onde algumas tábuas começam a entortar somente ao atingir um nó. Dos 33,33% com defeitos, pode-se dizer que 10% são de falhas da própria madeira. Na Figura 63, a comparação dos defeitos ocorridos na secagem, sendo:

- A Peça sem defeitos;
- B Defeito ocorrido por falha da madeira;
- C Defeito leve;
- D Defeito médio;
- E Defeito acentuado.

Figura 63 – Tábuas depois da secagem, sem defeito até o máximo de defeito estão da esquerda para a direita



A grande parte da incidência dos 23,33% dos defeitos que não são pelas falhas da madeira se deve, muito provavelmente pela falta da umidade correta durante a secagem, gerando uma secagem mais agressiva do que o programado. Outro motivo relevante é a pilha de madeira do protótipo ser pequena, uma pilha pequena deixa de gerar uma pressão nas peças que ficam mais em baixo, esta pressão evita que as peças empenem.

A Figura 64 demonstra as medidas da pesagem aleatória de uma peça que não passou pelo processo de secagem no protótipo e outra peça que foi pesada logo após o término do teste realizado na estufa.

Figura 64 – Pesagem das peças de madeira (a) sem a secagem e (b) após a secagem



Fonte: Próprio autor

Na Tabela 3, a diferença da média de massa entre as tábuas verdes e secas, vale ressaltar que a média da perda de peso foi de 68%.

Tabela 3 – Diferença de peso entre as peças antes e após a secagem

Média de massa	a, em gramas	Diferença				
Verde	Seca	Massa	%			
1983	800	1183	68			

Com o auxílio de um medidor de umidade de madeira portátil, chegou-se a conclusão que todas as peças após a secagem estavam entre 5 e 10% de umidade, como visto na Figura 65. O mesmo medidor, assim como a maioria dos medidores portáteis, não pode ser utilizado para medir a umidade da madeira verde por ter como valor de umidade máximo de 40%.

Figura 65 – Valores de (a) máximo e (b) mínimo do teor de umidade das peças após a secagem, utilizando um medidor portátil de umidade da madeira



Fonte: Próprio autor

No [APÊNDICE A; página 83] estão algumas fotos do protótipo contruído.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo de secar madeira com o protótipo construído foi atingido, o sistema de controle se mostrou eficiente e respondia perfeitamente conforme aquilo que era solicitado. Mesmo a estufa não sendo testada em todas as condições e por ser um processo demorado, foram feitas simulações elevando a temperatura apenas no sensor, através de um soprador térmico e o controle respondeu de forma adequada em todas as condições propostas.

Como já definido anteriormente, uma estufa para secagem de madeira serrada é extremamente importante no processo de beneficiamento da madeira, recaindo sobre o processo de secagem a maior parcela do valor financeiro agregado à madeira seca. Neste sentido, o sistema de secagem e especificamente o sistema de controle devem estar adequados às características da madeira a ser secada, obtendo desta forma, um melhor produto acabado ao final.

O programa de secagem deve ser adequado para cada espécie de madeira, deixando com que as condições de secagem fiquem específicas. As espécies mais difíceis de secar devem possuir variação menor da temperatura e da umidade ao longo do tempo e as etapas de uniformização e condicionamento são indispensáveis para aliviar as tensões internas decorrentes da secagem para estas espécies.

Existe uma quantidade grande de sensores para cada grandeza a ser medida, porém, deve ser levada em consideração a aplicação em ambientes severos, como os ambientes encontrados nos interiores das estufas.

O projeto é de grande importância no desenvolvimento de tecnologia nacional, pois não existem muitas empresas no Brasil que fabricam estufas confiáveis e de qualidade. As empresas estrangeiras possuem anos de pesquisa e desenvolvimento nesta área, mas os dados e as principais características não são disponibilizados.

O protótipo se mostrou inicialmente adequado para realizar a secagem. Os resultados mostraram um equilíbrio de todas as madeiras colocadas na estufa ao final do processo de secagem. O valor de umidade na madeira desejado programado foi de 8% e o teor medido foi entre 5 e 10%.

6.1 SUGESTÕES PARA MELHORIAS DO PROTÓTIPO

Modificar toda a estrutura, criar uma estrutura extremamente vedada e com alto isolamento térmico, isto perimitirá secagem com muito mais controle e com menor consumo, tanto de água quanto de energia térmica.

Ventiladores com maior capacidade de vazão também ajudariam na melhoria do processo. Os dampers deveriam possuir vedação, para quando estarem fechados não perdessem umidade e temperatura.

Utilizar uma versão mais completa ou modificar o compilador utilizado para carregar o programa no ARM, pois durante a execussão desde protótipo o compilador atingiu o limite do tamanho de código de 32768 bytes, limitando a melhoria do programa.

Verificar a confiabilidade do sensor utilizado no projeto em condições extremas de agressividade (alta temperatura e alta umidade). Estudar a possibilidade de utilização de sensores industriais amplamente utilizados, mesmo com o custo de aquisição mais elevado.

REFERÊNCIAS

AMMONIT Dispositivos de medição precisos para indústria eólica. **Catálogo de Anemômetros**. 2016. Disponível em:

http://www.ammonit.com/pt/produtos/sensores/anemometros. Acesso em 01 nov. 2016.

ANDRADE, Ariel de. **Indicação de programas para a secagem convencional de madeiras**. 2000. Dissertação (Mestrado em ciência e tecnologia de madeiras) — Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, São Paulo, 2000.

DIFFEN. Disponível em: http://www.diffen.com/difference/Hardwood_vs_Softwood. Acesso em: 01 set. 2016.

DIGISYSTEM INDÚSTRIA DE SISTEMAS ELETRÔNICOS LTDA. **Catálogo de Medidores de Umidade para madeiras**. 2016. Disponível em: http://www.digisystemeletro.com.br/produtos/medidores/medidores.php>. Acesso em 20 out. 2016.

FIGUEIREDO, B. B. de; CAMPOS, D. C.; VENTURA, P. C. S.; MOURA, D. G. de. O Tubo de Pitot. In XVI SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, Minas Gerais, 2003.

FILHO, Bernaro S. Da Silva. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Laboratório de Engenharia Elétrica. Curso de Controladores Lógicos Programáveis. 2012.

FLORIAN, Alexandre. Universidade de Brasília. Disciplina: Secagem e preservação de madeiras. 2009.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. Wood Handbook. Wood as an Engineering Material. United States Department of Agriculture Forest Service, Madison, Wisconsin. April, 2010.

GALVÃO, A.P.M.; JANKOWSKY, I.P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985.

GIMENEZ, Salvador Pinillos. Microcontroladores 8051. São Paulo: Pearson Educational do Brasil, 2002.

GUELLA, Alexandre F. Madeira: Desafio e Tendências. Revista da Madeira, Curitiba, 2016.

JANKOWSKY, Ivaldo Pontes. Equipamentos e processos para secagem de madeira. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 4, 1995, São Paulo. Anais... São Paulo: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 1995. p. 109-118.

JANKOWSKY, Ivaldo Pontes. **Fundamentos de secagem de madeiras**. 1990. Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – Departamento de Ciências Florestais, Piracicaba, São Paulo, 1990.

JANKOWSKY, Ivaldo Pontes; GALINA, Inês Cristina Martins. Curso técnico de secagem de madeiras. Piracicaba: PIMADS: Projeto Piso de Madeira Sustentável. 2013.

MAHILD Drying Tecnology. Catálogo de produtos. 2016. Secador Standard. Disponível em: http://www.mahild.com/index.php/pt/produtos/secadores-standard. Acesso em 10 nov. 2016.

MARTINS, Varlone Alves. Secagem de madeira serrada. Brasília: IBDF, 1988.

MELO, Rafael Cabral. Controle e Instrumentação de Sistemas de Secagem de Madeira Serrada na Indústria Moveleira. 2005. Dissertação (Mestrado em engenharia elétrica) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2005.

MSPC. Termodinâmica. Última atualização ou revisão em dez. 2007. Disponível em : http://www.mspc.eng.br/termo/termod0410.shtml>. Acesso em 08 nov. 2016.

MULTIPEÇAS TEC. Catalogo de produtos. Dispinível em: < http://www.multipecastec.com.br/loja/produto/display-lcd-20x4-fundo-verde-com-escrita-preta-para-arduino>. Acesso em 17 jun. 2017.

NARDI Timber Drying Kilns. Catálogo de produtos. 2016. Disponível em: http://www.nardi.it/eng/prodotti.html>. Acesso em 10 nov. 2016.

NEUMANN Plantas y Equipos Termicos. Catálogo de produtos. 2016. Disponível em: http://www.neumann.cl/. Acesso em 10 nov. 2016.

REVISTA DA MADEIRA. Edição n° 109, dezembro de 2007. SILVA, Paulo H. M. Da. PROCESSOS DE SECAGEM DA MADEIRA.

REVISTA DA MADEIRA. Edição n° 109, dezembro de 2007. SOUZA, Maria Helena de; CORADIN, Vera T. Rauber; ESCLARECIMENTO TÉCNICO SOBRE A TRADUÇÃO DE TERMOS EM INGLÊS PARA O PORTUGUÊS.

REVISTA DA MADEIRA. Edição n° 130, fevereiro de 2012. ALVES, Rejane Costa; BATISTA, Djeison Cesar; PAES, Benigno; BARBOSA, Thiago Leite; RAVANI, Tiago Leione; BOSCHETTI, Walter T. N.. CÂMARAS DE SECAGEM CONVENCIONAL E AS ALTAS TEMPERATURAS.

REVISTA DA MADEIRA. Edição n° 63, abril de 2002. JANKOWSKY, Ivaldo Pontes. SECAGEM E QUALIDADE: AGREGANDO VALOR AOS MANUFATURADOS DE MADEIRA.

SANTINI, Élio José; Matos, Jorge Luís Monteiro de; SCARABELOT, Fábio Eduardo. Gerenciamento do Processo de Secagem em Madeiras. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 141-151, 1998.

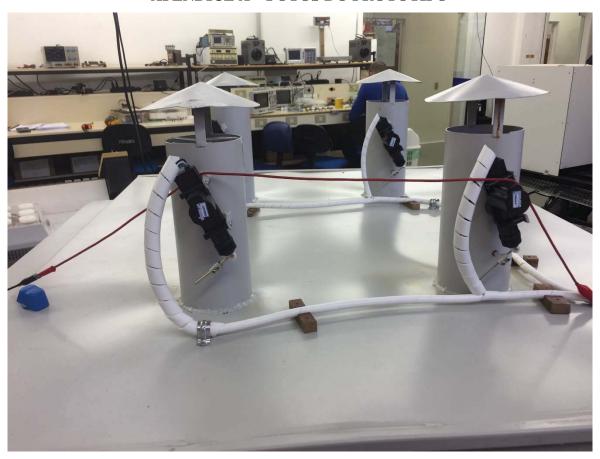
THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Sensores Industriais**: fundamentos e aplicações. 8. ed. São Paulo: Érica, 2012.

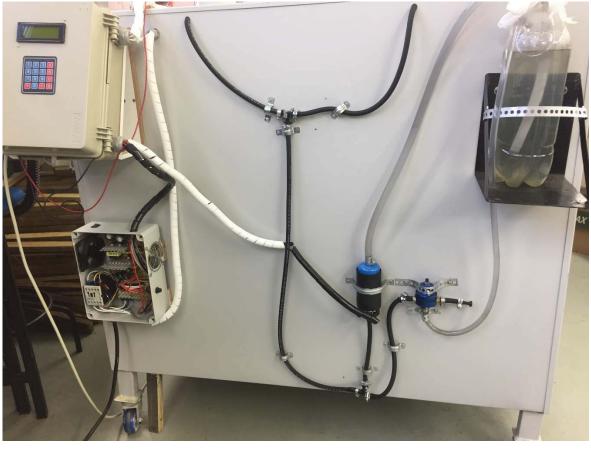
TREVISAN, Rômulo. Universidade Federal de Santa Maria. Curso de Engenharia Florestal. Tecnologia da Madeira I. Frederico Westphalen. 2013.

UFPR – Universidade Federal do Paraná. Departamento de física. Disponível em http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap5/tab5-2.html. Acesso em 08 nov. 2016.

YUFENG, Zhou; YAN, Wang. To Measure Wind Speed using the theory of One-dimensional Ultrasonic Anemometer. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Eletrônica/Telecomunicações) — University of Galve. Galve. 2011. Disponível em: http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:425655/FULLTEXT01.pdf. Acesso em 01 nov. 2016.

APÊNDICE A – FOTOS DO PROTÓTIPO





ANEXO A – TABELA DA UMIDADE RELATIVA

28 ANTONIO PAULO MENDES GALVÃO/IVALDO PONTES JANKOWSKY

Tabela 2 . Umidade relativa (UR) em função da temperatura de termômetro seco (Ts) e da diferença higrométrica (Ts-Tu,

Ts		Diferença higrométrica (Ts-Tu) (^O C)														
°C)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
30	96	92	89	86	83	80	76	73	70	67	64	61	55	50	45	39
31	96	93	89	87	83	80	77	74	71	68	64	62	56	50	45	40
32	96	93	89	87	83	80	77	74	71	68	65	62	57	51	46	41
33	97	93	89	87	83	81	77	74	71	00	65	63	58	52	47	42
34	97	94	90	87	84	81	78	75	72	69	66	63	59	54	49	44
35 36	97 97	94 94	90	88	84	82	79	76	73	70	67	64	59	54	49	44
37	97	94	90	88	84 84	82	79	76	73	70	67	65	59	54	50	45
38	97	94	91	88		82 83	79 80	76 77	73 74	71	68 68	65	60	55	50	46
39	97	94	91	88	85	83	80	77	74	72	68	66 67	61	56	51	47
40	97	94	91	88	85	83	80	77	74	72	69	67	61	57 57	52 53	47
41	97	94	91	88	85	83	80	77	74	72	69	67	62	57	53	
42	97	94	91	88	85	83	80	77	74	72	70	68	63	58	54	50
43	97	94	91	89	86	84	81	78	75	73	70	68	63	58	54	50
44	97	94	91	89	86	84	81	78	75	73	70	58	53	59	55	51
45	97	94	91	89	86	84	81	79	76	73	71	68	64	60	56	52
46	97	94	91	89	86	84	81	79	76	74	71	69	64	60	56	52
47	97	. 95	92	89	86	84	81	79	76	74	71	69	64	60	56	52
48	97	95	92	89	87	84	81	79	76	74	71	69	65	61	57	53
49	97	95	92	89	87	84	81	79	76	74	72	70	65	61	57	53
50	97	95	92	89	87	84	81	79	76	74	72	70	65	51	57	53
51	97	95	92	89	- 87	84	81	79	76	74	72	70	65	61	57	53
52	97	95	92	89	87	84	81	79	77	74	72	70	65	61	57	53
53	97	95	92	89	87	84	81	79	77	74	72	70	65	61	57	54
54	97	95	92	90	87	85	82	80	77	75	72	70	66	62	58	54
55	97	95	92	90	87	85	82	80	77	75	73	71	66	62	58	54
56 57	97 97	95 95	92 92	90	87	85	82	80	77	75	73	71	66	52	58	54
58	97	95	92	90	87 87	85 85	82 82	80	77 .	75	73	71	66	62	58	55
59	97	95	92	90	87	85	82	80	78 78	76 76	74	71	67	63	59	55
60	97	95	92	90	87	85	82	80	78	76	74	71 71	67 67	63 63	59	56
61	97	95	92	90	87	85	82	80	78	76	74	71	67	63	60 60	56
62	97	95	92	90	88	85	82	80	78	76	74	72	67	63	60	56
63	98	95	93	90	88	85	82	80	78	76	74	72	67	64	60	57
64	98	95	93	90	88	85	83	80	78	77	75	72	68	64	62	58
65	98	95	93	90	88	85	83	80	79	77	75	72	68	65	62	59
66	98	95	93	90	88	85	83	80	79	77	75	72	68	65	62	59
67	98	95	93	91	88	86	83	81	79	78	76	73	68	65	62	59
68	98	95	93	91	88	86	83	81	80	79	77	75	70	66	63	60
69	98	95	93	91	88	86	83	81	80	79	77	75	71	67	64	61
70	98	95	93	91	88	86	83	81	80	79	77	75	71	68	65	62
72 74	98	95	93	91	89	86	84	82	80	79	77	75	71	68	65	62
76	98	95 95	93 93	91	89	87	85	82	80	79	77	75	71	68	65	62
78	98	95	93	91 91	89	87 87	85 85	83	81	79	77	76	71	68	65	62
80	98	95	93	91	89	87	85	83 83	81 81	79	78 78	76	72	69	65	62
82	98	95	93	91	89	87	85	83	81	80	78	76 76	73	69 69	66	63
84	98	96	94	.91	89	87	85	84	82	81	79	78	74	71	66	63 65
86	98	96	94	92	90	88	86	84	82	81	79	78	75	72	69	66
88	98	96	94	92	90	88	86	84	82	81	80	78	75	72	69	66
90	98	96	94	92	90	88	86	84	82	81	80	78	75	72	69	66
92	98	96	94	92	90	88	86	84	82	81	80	78	75	72	69	66
94	98	96	94	92	90	88	86	84	82	81	80	78	75	72	69	6€
96	98	96	94	93	91	89	87	85	83	81	80	78	75	72	70	
98	98	96	94	93	91	90	88	87	85	83	81	79	76	73	70	67
00	98	96	94	93	91	90	88	87	85	84	82	80	78	75	72	69
SOLK!	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0	10,

Diferença higrométrica (Ts-Tu) (°C)

1,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	22,0	24,0	26,0	28,0	30,0	Ts - (°C
34	7 7 1 6 6 6		-	-		17,0	10,0	15,0	20,0	22,0	24,0	20,0	20,0	30,0	0
34	30	25 26	20 22	17	13									4500	31
36	31	27	23	20	16	12								- 100	32
38	33	29	25	21	17	14	The state of the s							- 1	33
39	34	30	26	22	19	15	12	-						1	34
40	36	32	28	23	20	17	13			1000				100	3
41	37	33	29	25	21	18	14	11						1 08	3
42	38	34	30	26	23	19	16	13		- 21		THE RESERVE		130	3
42	38	35	31	27	24	20	17	14	11				Andreas - Contract	-1139	3
43	39	36	32	28	25	21	18	15	12					1537	3
44	40	36	32	29	26	22	19	16	14					100	40
45	41	37	33	30	27	23	21	17	15	9				1500	4
46	42	38	35	32	28	25	22	18	16	10			81	14:20	4:
47	43	39	35	32	29	26	23	20	17	11	And the second				4:
47	44	40	36	33	30	27	24	21	18	13					4
48	44	40	37	34	31	28	25	22	19	14	10			1	. 4
18 18	45 45	41	38	35 35	32	29	26 27	23	20	15	10			1	4
19	46	42	39 4	36			27	24	21	16	11			1.0	4
19	46	43	40	37	33 34	30	28	24 25	22	17	12				4
50	47	44	40	38	35	32	29	26	24	19	13	10		unide (2)	4
50	47	44	40	38	36	33	30	27	24	20	14	10		35	5
50	47	44	41	38	36	34	31	28	25	21	16	11			5
51	48	45	42	39	36	34	31	29	27	21	17	12			5
51	48	45	43	40	37	34	31	29	27	22	18	14	10	4.97	5
51	48	45	43	40	37	35	32	29	27	23	19	15	. 11		5
51	49	45	43	40	37	35	33	30	27	23	19	16	12	Harriera	5
52	49	46	43	40	38	36	34	31	28	24	20	16	12		5
53	50	46	43	40	38	36	34	31	29	25	20	17	13	10	5
53	50	47	44	41	38	36	34	31	29	25	21	17	13	10	5
	50	47	440	41	38	36	34	31	29	25	21		13	115	6
54	51	48	45	41	38	36	34	32	30	26	22	18	14	11	6
54	51	48	46	42	39	36	34	32	31	27	23	19	15	9	6
54	51	48	46	43	40	38	35	33	31	28	24	20	16	12	6
56	52	49	46	44	41	39	36	34	32	28	25	21	17	13	6
56	53	50	48	45	42	39	379	35	33	29	25	22	18	14	6
56	53	51	48	45	43	40	37	35	33	30	26	22	19	15	6
57	54	51	49	46	43	41	38	35	34	30	26	22	19	15	6
57	55	52	49	47	44	41	39	36	. 34	30	27	22	19	15	6
58	55	53	50	47	44	42	39	37	35	30	27	23	20	16	6
59	56	53	50	48	45	42	39	37	35	31	27	23	20	16	7
59	56	53	50	48	46	43	41	38	36	32	29	25	20	17	7
59	56	53	50	48	46	44	42	40	37	33	29	26	21	18	7
59	57	54	51	48	46	44	42	40	38	34	30	27	22	20	7
59	57 57	54	52 52	50	48	45	43	41	39	35	31	27	23	21	7
30		54	N	50	48	46	44	42	40	36	32	28	25	22	8
0	58 59	56	53	51	48	47	45	43	41	36	33	29	26	23	8
32 33	60	56 57	54 55	52 52	49	47	45	43	42	37	34	29	26	23	8
63	61	57	55	52	50	48	46	44	42	38	34	30	28	24	8
33	61	57	55	53	50 50	48	46	44	42	38	34	30	28	26	8
33	61	58	56	54	51	48	46	44	42	38	34	30	28	26	9
63	61	58	56	54	52	50	46	44	42	38	34	30	28	26	9
65	62	59	57	55	53	51	46 48	46	44	41	36 37	33	30	27	9
66	63	60	58	56	54	52	50	47	45	41	37	34	31	28	9
66	64	62	60	58	56	54	52	50	45	42	38	35	32	29	10
	-	CC91 (04.3	SERVING.	Colorate.	0 33	NEWS CO.	Manel	1	5 93	100	The second	br. A			-

ANEXO B – TABELA DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO

36

ANTONIO PAULO MENDES GALVÃO/IVALDO PONTES JANKOWSKY

Ts						Dif	erença hi	grométi	rica (Ts-	Tu) (°C)					V11"	
°C)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
30	23,5	21,0	19,4	18,1	16,8	15,8	14,5	13,6	12,8	12,1	11,5	10,8	9,7	8,9	8,1	7,
31	23,4	21,2	19,3	18,2	16,7	15,7	14,6	13,7	12,9	12,2	11,5	10,8	9,8	8,9	8,1	7,
32	23,4	21,5	19,3	18,4	16,7	15,6	14,7	13,8	13,0	12,3	11,6	10,9	10,0	8,9	8,2	7,
33	24,0	21,8	19,5	18,2	16,8	15,7	14,8	13,9	13,0	12,4	11,6	10,9	10,1	9,1	8,3	7,
34	24,0	22,0	19,7	18,3	17,0	15,9	14,9	14,0	13,1	12,4	11,7	11,0	10,2	9,3	8,5	7,
35	23,9	21,9	19,7	18,4	16,9	16,0	15,0	14,0	13,2	12,5	11,7	11,2	10,2	9,3	8,6	7,
36	23,9	21,8	19,6	18,6	16,9	16,1	15,1	14,1	13,3	12,5	11,8	11,4	10,1	9,3	8,6	7,
37	23,8	21,7	19,8	18,5	17,0	16,2	15,2	14,2	13,4	12,6	11,8	11,5	10,2	9,4	8,7	7,
38	23,8	21,7	19,9	18,5	17,1	16,3	15,3	14,3	13,4	12,6	11,9	11,4	10,4	9,5	8,7	8,
39	23,7	21,6	19,8	18,4	17,1	16,2	15,2	14,2	13,3	12,7	11,9	11,4	10,4	9,5	8,8	8,
40	23,7	21,6	19,8	18,3	17,0	16,2	15,1	14,1	13,3	12,8	12,0	11,5	10,5	9,6	8,9	8,
41	23,6	21,5	19,7	18,2	16,9	16,1	15,0	14,0	13,2	12,7	12,0	11,5	10,5	9,6	8,9	8,
42	23,5	21,5	19,7	18,2	16,8	16,1	15,0	14,0	13,2	12,6	12,1	11,6	10,6	9,6	8,9	8,
43	23,4	21,4	19,6	18,3	16,9	16,2	15,1	14,1	13,3	12,7	12,1	11,6	10,5	9,7	9,0	8,
44	23,4	21,3	19,5	18,5	17,1	16,3	15,2	14,2	13,3	12,7	12,0	11,5	10,4	9,7	9,0	8,
45	23,3	21,2	19,4	18,4	17,0	16,2	15,1	14,2	13,4	12,8	12,1	11,5	10,4	9,7	9,0	8,
46	23,2	21,3	19,4	18,3	17,0	16,1	15,0	14,3	13,4	12,9	12,1	11,6	10,5	9,7	9,0	8,
47	23,1	21,5	19,5	18,2	17,1	16,0	14,9	14,3	13,3	12,8	12,0	11,6	10,6	9,8	9,1	8,
48	23,1	21,6	19,7	18,2	17,2	16,0	14,8	14,2	13,3	12,7	11,9	11,5	10,6	9,8	9,1	8
49	23,0	21,6	19,6	18,1	17,1	15,9	14,7	14,1	13,2	12,6	11,9	11,5	10,5	9,8	9,0	8,
50	22,9	21,5	19,6	18,0	17,1	15,8	14,7	14,0	13,1	12,6	12,0	11,6	10,5	9,7	9,0	8,
51	22,8	21,4	19,5	17,9	17,0	15,7	14,6	14,0	13,2	12,5	12,0	11,5	10,4	9,6	8,9	8,
52	22,7	21,3	19,4	17,8	16,9	15,6	14,5	13,9	13,2	12,4	11,9	11,40	10,3	9,5	8,8	8,
53	22,6	21,2	19,3	17,9	16,8	15,7	14,6	13,9	13,1	12,4	11,8	11,3	10,3	9,5	8,8	8
54	22,6	21,1	19,2	18,1	16,7	15,8	14,7	14,0	13,1	12,5	11,7	11,3	10,4	9,6	8,9	8,
55	22,5	21,0	19,1	18,0	16,6	15,7	14,6	14,0	13,0	12,5	11,7	11,3	10,3	9,6	8,9	8,
56	22,4	20,9	19,1	18,0	16,5	15,7	14,5	13,9	12,9	12,4	11,8	11,3	10,2	9,5	8,8	8,
57	22,3	20,8	19,0	17,9	16,4	15,6	14,4	13,8	13,0	12,4	11,8	11,2	10,3	9,5	8,8	. 8
58	22,2	20,7	18,9	17,8	16,3	15,5	14,4	13,7	13,1	12,5	11,9	11,2	10,3	9,5	8,8	8,
59	22,1	20,6	18,8	17,7	16,2	15,4	14,3	13,6	13,0	12,4	11,9	11,1	10,2	9,4	8,8	8
60	22,0	20,5	18,7	17,6	16,2	15,3	14,2	13,5	12,9	12,3	11,8	11,0	10,2	9,4	8,8	8
61	22,1	20,4	18,6	17,5	16,3	15,2	14,1	13,4	12,8	12,2	11,7	11,0	10,1	9,3	8,7	8
62	22,3	20,3	18,4	17,3	16,3	15,1	14,0	13,3	12,7	12,1	11,6	11,0	10,0	9,2	8,7	8
63	22,5	20,2	18,6	17,2	16,2	15,0	14,1	13,2	12,6	12,1	11,6	11,0	10,0	9,2	8,8	8
64	22,4	20,2	18,9	17,2	16,2	14,9	14,2	13,2	12,5	12,2	11,7	11,0	10,0	9,3	8,9	8
65	22,3	20,1	18,8	17,1	16,1	14,8	14,1	13,1	12,6	12,2	11,6	10,9	9,9	9,3	8,9	8
66	22,2	20,0	18,7	17,0	16,0	14,8	14,0	13,0	12,7	12,1	11,5	10,8	9,9	9,3	8,8	8
67	22,1	19,8	18,6	17,1	15,9	14,9	13,9	13,0	12,7	12,3	11,7	11,0	10,0	9,4	8,8	8
68	22,0	19,7	18,5	17,3	15,8	15,0	13,8	13,1	12,8	12,5	11,9	11,3	10,2	9,4	8,8	8
69	21,9	19,6	18,4	17,2	15,7	14,9	13,7	13,0	12,7	12,4	11,8	11,2	10,2	9,5	8,9	8
70	21,8	19,5	18,3	17,1	15,6	14,8	13,6	12,9	12,6	12,3	11,7	11,2	10,2	9,6	9,0	8
72	21,6	19,3	18,0	16,9	15,6	14,9	13,8	12,9	12,4	12,1	11,5	11.0	10,0	9,5	8,9	8
74	21,4	19,1	17,8	16,7	15,7	14,8	14,0	12,9	12,3	12,0	11,4	10,9	9,9	9,3	8,8	8
76	21,1	18,9	17,6	16,5	15,5	14,6	13,8	12,9	12,2	11,8	11,3	10,8	9,9	9,2	8,6	8
78	20,9	18,7	17,4	16,3	15,3	14,4	13,6	12,9	12,2	11,6	11,3	10,8	9,9	9,2	8,5	. 8
80	20,7	18,4	17,2	16,1	15,1	14,2	13,4		12,0	11,6		10,6	9,8	9,0	8,4	7
82	20,5	18,2	17,0	15,9	14,9	14,0	13,2	12,5		11,6	11,0	10,5	9,8	8,9	8,4	7
84	20,2	18,4	17,0	16,0	15,0	14,1	13,4	12,5	11,8	11,5	10,9	10,5	9,9	9,0	8,5	8
86	20,0	18,5	17,1	16,0	15,0	14,0	13,2	12,5	11,8	11,5	10,9	10,6	9,9	9,2	8,6	8
88	19,8	18,2	16,9	15,8	14,7	13,8	13,0	12,3	11,6	11,3	10,9	10,4	9,7	9,0	8,4	7
90	19,6	18,0	16,7	15,6	14,5	13,6	12,8	12,1	11,5	11,2	10,9	10,3	9,6	8,9	8,3	7
92	19,3	17,8	16,5	15,3	14,3	13,4	12,6	11,9	11,3	11,0	10,7	10,1	9,5	8,7	8,1	7
94	19,1	17,6	16,3	15,1	14,1	13,2	12,5	11,7	11,1	10,8	10,5	10,0	9,3	8,6	8,0	7
96	18,8	17,3	16,0	15,2	14,1	13,5	12,6	12,0	11,5	10,9	10,5	10,0	9,3	8,6	7,9	7
98	18,6	17,1	15,8	15,2	14,2	13,7	12,8	12,4	11,7	11,0	10,5	10,0	9,2	8,5	7,9	7
00	18,4	16,9	15,6	15,0	14,0	13,5	12,6	12,3	11,5	11,1	10,5	10,0	9,4	8,7	8,1	7
t light	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0	10

Diferença higrométrica (Ts-Tu) (°C)

37

SECAGEM RACIONAL DA MADEIRA

A umidade de equilíbrio foi estimada através das equações propostas por Simpson (1971).

6,5 6,6 6,7 6,8 7,0 7,1 7,2 7,3 7,4 7,5 7,6 7,7 7,7	5,9 5,9 6,0 6,1 6,3 6,5 6,7 6,7	5,2 5,3 5,4 5,6 5,8 6,0 6,1	4,4 4,6 4,8 5,0	3,9 4,1	3,2									7	
6,7 6,8 7,0 7,1 7,2 7,3 7,3 7,4 7,5 7,6 7,7	6,0 6,1 6,3 6,5 6,7 6,7	5,4 5,6 5,8 6,0	4,8	200 TO 100 V										1 1	1
6,8 7,0 7,1 7,2 7,3 7,3 7,4 7,5 7,6 7,7	6,1 6,3 6,5 6,7 6,7 6,8	5,6 5,8 6,0			3,4										
7,0 7,1 7,2 7,3 7,3 7,4 7,5 7,6 7,7	6,3 6,5 6,7 6,7 6,8	5,8 6,0	5,0	4,4	3,7	3,0							1	1	
7,1 7,2 7,3 7,3 7,4 7,5 7,6 7,7	6,5 6,7 6,7 6,8	6,0		4,5	3,9	3,2							1	1,	4.8
7,2 7,3 7,4 7,5 7,6 7,7	6,7 6,7 6,8		5,2	4,6	4,2	3,5	3,2								
7,3 7,4 7,5 7,6 7,7	6,7 6,8	6,1	5,4	4,8	4,3	3,7	3,2					1			
7,3 7,4 7,5 7,6 7,7	6,8	33,575,575	5,6	5,0	4,4	4,0	3,3	2,8				300			
7,4 7,5 7,6 7,7 7,7		6,2	5,7	5,1	4,6	4,1	3,5	3,0				/		- 1	
7,5 7,6 7,7 7,7	60	6,3	5,8	5,2	4,8	4,2	3,8	3,3	2,7						- 0
7,6 7,7 7,7	6,8	6,3	5,8	5,3	4,9	4,3	3,9	3,4	2,9					- 1	
7,7 7,7	6,9	6,4	5,9	5,4	5,0	4,5	4,0	3,6	3,2						
7,7	7,0	6,5	6,0	5,6	5,1	4,6	4,2	3,7	3,3					- 1	
	7,1	6,6	6,2	5,8	5,2	4,8	4,4	3,8	3,5	2,5				- 1	
. 7.7	7,2	6,7	6,2	5,8	5,3	4,9	4,5	4,0	3,6	2,7					
	7,3	6,8	6,2	5,8	5,4	5,0	4,6	4,2	3,8	3,0				animoral .	
7,8	7,3	6,9	6,3	5,9	5,5	5,1	4,7	4,3	3,9	3,1					
7,8	7,4	6,8	6,4	6,0	5,6	5,2	4,8	4,4	4,0	3,3	2,4				
7,8	7,4	6,8	6,4	6,0	5,6	5,2	4,8	4,4	4,1	3,4	2,5				
7,8	7,4	6,8	6,4	6,0	5,7	5,3	4,9	4,5	4,2	3,5	2,7				
7,8	7,5	6,9	6,5	6,1	5,7	5,4	5,0	4,6	4,3	3,6	2,8				
7,9	7,4	7,0	6,5	6,2	5,8	5,5		4,7	4,4	3,8	3,0		0 N621		
7,9	7,4	7,0	6,5	6,1	5,9	5,5	5,2	4,8	4,4	3,9	3,1	2,5	ta cons	.01	
7,8	7,3	6,9	6,5	6,1	5,9	5,6	5,3	4,9	4,5	4,0	3,3	2,7			
7,8	7,3	6,9	6,6	6,2	5,9	5,6	5,2	4,9	4,6	4,0	3,4	2,8		Sicer	
7,8	7,4	6,9	6,7	6,3	5,9	5,5	5,2	5,0	4,7	4,1	3,5	2,9	2,3		
7,7	7,4	6,8	6,6	6,2	5,8	5,5	5,2	5,0	4,7	4,1	3,5	3,0	2,4		
7,7	7.4	6,8	6,6	6,2	5,8	5,6	5,3	5,0	4,6	4,1	3,6	3,2	2,6	range the party	-13
7,8	7,5	6,8	6,5	6,1	5,9	5,6	5,3	5,1	4,7	4,2	3,6	3,2	2,6		
7,8	7,4	6,9	6,5	6,1	5,9	5,6	5,4	5,0	4,8	4,3	3,7	3,3	2,7	2,2	
7,8	7,4	6,9	6,5	6,1	5,8	5,5	5,3	4,9	4,8	4,3	3,7	3,3	2,6	2,2	
7,9	7,3	6,9	6,5	6,1	5,8	5,5	5,3	4,9	4,7	4,2	3,7	3,2	2,6	2,3	
7,8	7,3	6,9	6,6	6,1	5,8	5,4	5,2	4,9	4,7	4,3	3,8	3,3	2,7	2,3	
7,8	7,3	6,9 6,9	6,6 6,5	6,1	5,8	5,4	5,2	5,0	4,8	4,4	3,9	3,4	2,9	2,3	
7,9	7,3	6,9	6,5	6,2	5,9	5,5	5,2	5,0	4,8	4,4	4,0	3,5	3,0	2,4	
7,8	7,4	7,0			5,9	5,6	5,3	5,1	4,9	4,4	4,1	3,6	3,1	2,5	4
7,8	7,4	7,1	6,6 6,7	6,3	6,0	5,6	5,3	5,1	4,9	4,5	4,1	3,6	3,2	2,6	
7,8	7,4			6,3	6,1	5,7	5,4	5,1	4,9	4,6	4,1	3,7	3,3	2,8	
7,8		7,1	6,7	6,4	6,1	5,7	5,4	5,2	4,9	4,6	4,2	3,7	3,3	2,7	
7,9	7,5 7,5	7,1	6,7	6,4	6,1	5,7	5,5		4,9	4,5	4,2	3,6	3,2	2,7	
8,0	7,6	7,1	6,7 6,7	6,5	6,1	5,7	5,4	5,2	4,9	4,5	4.1	3,6	3,2	2,7	
7,9	7,4	7,0			6,1	5,7	5,4	5,2	5,0	4,5	4,1	3,6	3,3	2,8	
7,8	7,3	6,9	6,6 6,5	6,3	6,0	5,7	5,4	5,3	5,0	4,5	4,1	3,7	3,3	2,8	
7,6	7,2	6,9	6,5	6,2	6,0	5,8	5,5	5,3	5,0	4,6	4,1	3,8	3,3	2,9	
7,5	7,2	6,8	6,5	6,3	6,0	5,8 5,7	5,5 5,4	5,3	5,0	4,6	4,2	3,8	3,3	3,0	
7,4	7,2	6,8		6,2	5,9	5,7		5,2	5,0	4,6	4,2	3,8	3,4	3,1	
7,4	7,1	6,8	6,4	6,2	5,8	5,7	5,4 5,5	5,2 5,2	5,0	4,6	4,2	3,8	3,4	3,1	
7,5	7,1	6,7	6,4		5,8	5,6	5,4	5,1	5,0	4,5	4,2	3,8	3,5	3,2	
7,6	7,1	6,7	6,4	6,2	5,8	5,6	5,4	5,1	4,9	4,5	4,1	3,8	3,5	3,2	
7,4	7,0	6,6	6,3	6,1	5,7	5,5	5,3	5,0	4,8	4,4	4,0	3,7	3,5	3,2	
7,3	7,0	6,5	6,2	6,0	5,6	5,4	5,2	5,0	4,7	4,4	4,0	3,6	3,4	3,2	
7,2	6,9	6,4	6,1	5,9	5,6	5,4	5,1	4,9	4,6	4,4	4,0				
7,1	6,8	6,3	6,1	5,8	5,6	5,4	5,0					3,6	3,4	3,2	1
7,1	6,8	6,3	6,1	5,8	5,6	5,4	5,0	4,8	4,6	4,4	4,0	3,7	3,4	3,2	
7,1	6,8	6,4	6,1	5,8	5,6	5,4	5,0	4,8	4,6	4,3	3,9	3,6	3,4	3,1	
7,1	6,8	6,5	6,2	6,0	5,7	5,5	5,2	4,8 5,0	4,6	4,3	3,9	3,6	3,4	3,1	1
11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	22,0	24,0				

ANEXO C – TABELA DA UNIFORMIZAÇÃO E CONDICIONAMENTO

FINAL (%) (°C) (°C) (°C) (%) (%) (%) (%) (°C) (%) (%) (%) (°C) (%) (%) (%) (°C) (%) (%) (%) (%) (°C) (%) (%) (%) (°C) (%) (%) (%) (%) (%) (%) (%) (%) (%) (%	IDADE	Ts	UNI	FORMIZA	ÇÃO	CON	DICIONA	MENTO
6,0 60,0 37,0 23 4,0 53,0 67 65,0 40,5 24 58,0 68 70,0 45,5 26 62,5 70 75,0 50,0 28 68,0 71 80,0 55,5 30 73,0 72 7,0 60,0 41,0 31 5,0 54,0 71 75,0 50,0 35 64,0 75 75,0 55,5 37 69,0 72 70,0 60,0 44,0 35 64,0 75 75,0 55,5 37 69,0 76 80,0 60,0 40 74,5 78 8,0 60,0 44,5 39 6,0 54,5 74 65,0 49,0 42 60,0 77 75,0 54,0 45 65,0 79 75,0 55,0 59,0 46 70,0 79 80,0 60,0 44,7 7,0 55,5 81 9,0 60,0 47,0 47 7,0 55,5 78 65,0 62,0 50 61,0 80 70,0 57,0 53,0 66,0 81 75,0 62,0 50 61,0 82 80,0 67,5 56 76,0 83 10,0 60,0 49,0 42 80,0 67,5 56 76,0 83 10,0 60,0 49,0 54 80,0 67,5 56 76,0 83 11,0 60,0 49,0 54 80,0 67,5 56 76,0 83 11,0 60,0 49,0 54 80,0 70,0 63,0 77,0 87 11,0 82 80,0 70,0 63,0 62 80,0 70,0 63,0 77,0 87 11,0 80 80,0 70,0 63 80,0 70,0 63 80,0 70,0 63 80,0 70,0 63 80,0 70,0 63 80,0 70,0 63 80,0 70,0 63 80,0 70,0 63 80,0 70,0 63 80,0 77,5 89 12,0 60,0 53,0 67 80,0 77,5 89 13,0 60,0 54,0 71 11,0 60,0 55,0 79 75,0 68,0 71 80,0 77,5 89 14,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 80,0 73,0 72 80,0 73,0 72 80,0 90 80,0 73,0 72 80,0 90 80,0 74,5 78 80,0 90 80,0 74,5 78 80,0 75,5 81 93 14,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 80,0 74,5 78 79,0 95 15,0 60,0 79 73,5 93 75,0 60,0 79 73,5 93 74,0 65,0 79 75,5 81 79,0 95 15,0 60,0 55,5 78 13,0 58,5 92								UE
65,0	(%)	(°C)	(° C)	(%)	(%)	(°C)	(%)	(%)
70,0 45,5 26 62,5 70 75,0 50,0 28,0 73,0 72 7,0 60,0 41,0 31 5,0 54,0 71 65,0 45,5 34 59,0 72 70,0 50,0 35 64,0 75 75,0 55,5 37 69,0 72 70,0 60,0 40 74,5 78 8,0 60,0 44,5 39 6,0 54,5 74 65,0 49,0 42 60,0 77 70,0 54,0 45 65,0 79 75,0 54,0 45 65,0 79 75,0 55,5 81 9,0 60,0 47,0 47 7,0 55,5 81 9,0 60,0 47,0 47 7,0 55,5 81 9,0 60,0 47,0 47 7,0 55,5 78 65,0 62,0 54 71,0 82 80,0 67,5 56 76,0 83 10,0 60,0 49,0 42 80,0 67,5 56 76,0 83 11,0 60,0 51,0 60 9,0 57,0 85 70,0 59,0 65,0 62 71,5 85 70,0 65,0 65,0 62 71,5 85 70,0 65,0 65,0 62 77,5 89 11,0 60,0 51,0 60 9,0 57,5 87 80,0 72,0 69 77,5 89 12,0 60,0 53,0 67 10,0 57,5 87 80,0 72,0 69 77,5 89 12,0 60,0 53,0 67 72 78,0 91 13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 13,0 60,0 54,5 70 72 78,0 91 13,0 60,0 54,5 70 72 78,0 91 13,0 60,0 54,5 70 72 78,0 91 13,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 75,0 69,0 76 73,0 91 75,0 69,0 76 73,0 91 75,0 69,0 76 73,0 91 75,0 69,0 76 73,0 91 75,0 69,0 76 73,0 91 75,0 69,0 77 75,5 89 75,0 69,0 76 73,0 91 75,0 65,0 69,0 76 73,0 91 75,0 65,0 69,0 77 63,5 93 75,0 65,0 65,0 79 73,5 93 80,0 75,5 81 79,0 95	6,0		37,0		4,0			10,0
75,0 50,0 28 68,0 71 7,0 60,0 41,0 31 5,0 54,0 71 65,0 45,5 34 59,0 72 70,0 50,0 35 64,0 75 75,0 55,5 37 69,0 76 80,0 60,0 40 74,5 78 8,0 60,0 44,5 39 6,0 54,5 74 65,0 49,0 42 60,0 77 70 70,0 75,0 65,0 49,0 46 70,0 79 75,0 59,0 46 70,0 79 75,5 81 9,0 60,0 47,0 47 7,0 55,5 78 61,0 80 70,0 75,5 81 9,0 60,0 47,0 47 7,0 55,5 78 61,0 80 76,0 80 76,0 80 77,0 55,5 78 61,0 80 76,0 </td <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>								
80,0 55,5 30 73,0 72 7,0 60,0 41,0 31 5,0 54,0 71 65,0 45,5 34 59,0 72 75,0 50,0 35 64,0 75 75,0 55,5 37 69,0 76 80,0 60,0 44,5 39 6,0 54,5 74 65,0 49,0 42 60,0 77 70,0 75,0 59,0 46 70,0 79 75,0 59,0 46 70,0 79 75,5 81 9,0 60,0 47,0 47 7,0 55,5 78 65,0 52,0 50 61,0 80 61,0 80 75,0 62,0 54 71,0 82 80 66,0 81 71,0 82 80,0 67,5 56 76,0 83 75,0 66,5 82 76,0 86,5								
7,0 60,0 41,0 31 5,0 54,0 71 65,0 45,5 34 59,0 72 70,0 50,0 35 69,0 76 80,0 60,0 40 74,5 78 8,0 60,0 44,5 39 6,0 54,5 74 65,0 49,0 42 60,0 77 70,0 79 70,0 54,0 45 65,0 79,0 79 70,0 79 80,0 64,5 49 75,5 81 9,0 60,0 47,0 47 7,0 55,5 78 65,0 52,0 50 61,0 80 70,0 79 79 9,0 60,0 47,0 47 7,0 55,5 78 81 80 66,0 81 71,0 82 86,0 86,0 81,0 80 71,0 82 86,0 86,5 82 82				28 30				
65,0 45,5 34 59,0 72 70,0 50,0 35 64,0 75 75,0 55,5 37 69,0 76 80,0 60,0 40 74,5 78 8,0 60,0 44,5 39 6,0 54,5 74 65,0 49,0 42 60,0 77 70,0 54,0 45 65,0 79 75,0 59,0 46 70,0 79 80,0 64,5 49 75,5 81 9,0 60,0 47,0 47 7,0 55,5 78 66,0 52,0 50 61,0 80 70,0 57,0 53 66,0 81 75,0 62,0 54 71,0 82 80,0 67,5 56 76,0 83 10,0 60,0 49,0 54 8,0 56,5 82 65,0 54,5 57 61,5 83 70,0 59,0 59 66,5 83 75,0 65,0 62 71,5 85 80,0 70,0 63 77,0 87 11,0 60,0 51,0 60 9,0 57,0 85 80,0 70,0 63 77,0 87 11,0 60,0 51,0 60 9,0 57,0 85 75,0 65,0 62 71,5 85 76,0 65,0 62 71,5 85 77,0 65,0 62 71,5 85 77,0 65,0 62 71,5 85 77,0 65,0 62 72,0 87 11,0 60,0 51,0 60 9,0 57,0 85 75,0 66,5 67 72,0 87 80,0 72,0 69 77,5 89 12,0 60,0 53,0 67 10,0 57,5 87 65,0 68,0 71 72,0 87 13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 13,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 13,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 80,0 74,5 78 78 78,5 93 14,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 15,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 14,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 15,0 60,0 75,5 81 79,0 95	7.0				5.0			44.0
70,0 50,0 35 64,0 75 75,0 55,5 37 69,0 76 80,0 60,0 40 74,5 78 8,0 60,0 44,5 39 6,0 54,5 74 65,0 49,0 42 60,0 77 70,0 54,0 45 65,0 79 75,0 59,0 46 70,0 79 80,0 64,5 49 75,5 81 9,0 60,0 47,0 47 7,0 55,5 78 65,0 52,0 50 61,0 80 75,0 62,0 54 71,0 82 80,0 67,5 56 76,0 83 10,0 60,0 49,0 54 8,0 56,5 82 65,0 54,5 57 66,5 82 70,0 59,0 65,0 62 71,5 85 80,0 70,0 63 77,0 87 11,0 60,0 51,0 60 9,0 57,0 87 80,0 72,0 69 77,5 89 12,0 60,0 53,0 67 10,0 57,5 87 65,0 66,5 67 72,0 87 80,0 73,0 72 78,0 91 13,0 60,0 54,5 70 63,5 89 80,0 73,0 72 78,0 91 13,0 60,0 54,5 70 66,5 89 75,0 66,5 70 69,0 72 78,0 91 13,0 60,0 53,0 67 10,0 58,0 90 65,0 59,0 72 78,0 91 13,0 60,0 54,5 70 68,0 91 75,0 66,5 70 72,0 87 75,0 66,5 70 72,0 87 75,0 66,5 70 72,0 87 75,0 66,5 70 72,0 87 75,0 66,5 70 72,0 87 75,0 66,5 70 72,0 87 75,0 66,5 70 72,0 87 75,0 66,5 70 72,0 87 75,0 66,5 70 72,0 87 75,0 66,0 72 72,0 87 75,0 66,0 72 72,0 87 75,0 66,0 73,0 91 13,0 60,0 54,5 74 11,0 58,0 90 65,0 59,0 72 68,0 91 75,0 69,0 74,5 78 78,5 93 14,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 75,5 81 70,0 79,0 73,5 93 14,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 75,5 81 79,0 95	7,0				5,0			11,0
75,0 55,5 37 69,0 76 8,0 60,0 44,5 39 6,0 54,5 74 65,0 49,0 42 60,0 77 70,0 54,0 45 65,0 79 75,0 59,0 46 70,0 79 75,0 59,0 47 7,0 55,5 81 9,0 60,0 47,0 47 7,0 55,5 78 65,0 52,0 50 61,0 80 70,0 57,0 53 66,0 81 75,0 62,0 54 71,0 82 80,0 67,5 56 76,0 83 10,0 60,0 49,0 54 8,0 56,5 82 65,0 54,5 57 61,5 83 76,0 65,0 62 71,5 85 80,0 70,0 66,0 62 71,5 85								
80,0 60,0 40 74,5 78 8,0 60,0 44,5 39 6,0 54,5 74 65,0 49,0 42 60,0 77 70,0 54,0 45 65,0 79 80,0 64,5 49 75,5 81 9,0 60,0 47,0 47 7,0 55,5 78 65,0 52,0 50 61,0 80 70,0 57,0 53 66,0 81 75,0 62,0 54 71,0 82 80,0 67,5 56 76,0 83 10,0 60,0 49,0 54 8,0 56,5 82 65,0 54,5 57 61,5 83 70,0 59,0 59 66,5 83 75,0 65,0 62 71,5 85 80,0 70,0 63 77,0 87 80,0 <td< td=""><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></td<>								
65,0 49,0 42 60,0 77 70,0 54,0 45 65,0 79 75,0 59,0 46 70,0 79 80,0 64,5 49 75,5 81 9,0 60,0 47,0 47 7,0 55,5 78 65,0 52,0 50 61,0 80 70,0 57,0 53 66,0 81 75,0 62,0 54 71,0 82 80,0 67,5 56 76,0 83 10,0 60,0 49,0 54 8,0 56,5 82 65,0 54,5 57 61,5 83 70,0 59,0 59 66,5 83 75,0 65,0 62 71,5 85 80,0 70,0 63 77,0 87 11,0 60,0 51,0 60 9,0 57,0 87 11,0 60,0 51,0 60 9,0 57,0 87 11,0 60,0 51,0 60 9,0 57,0 87 11,0 60,0 51,0 60 9,0 57,0 87 11,0 60,0 51,0 60 9,0 57,0 86 75,0 66,5 67 72,0 87 80,0 72,0 69 77,5 89 12,0 60,0 53,0 67 10,0 57,5 87 65,0 58,0 68 62,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 89 80,0 73,0 72 78,0 91 13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 65,0 59,0 72 63,0 90 65,0 59,0 72 63,0 90 70,0 64,0 75 68,0 91 75,0 69,0 76 73,0 91 14,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 65,0 65,0 79 68,5 93 75,0 70,0 79 68,5 93 75,0 70,0 79 68,5 93 75,0 70,0 79 68,5 93 75,0 70,0 79 68,5 93 75,0 70,0 79 73,5 93 80,0 75,5 81 79,0 95								
65,0 49,0 42 60,0 77 70,0 54,0 45 65,0 79 75,0 59,0 46 70,0 79 80,0 64,5 49 75,5 81 9,0 60,0 47,0 47 7,0 55,5 78 65,0 52,0 50 61,0 80 70,0 57,0 53 66,0 81 75,0 62,0 54 71,0 82 80,0 67,5 56 76,0 83 10,0 60,0 49,0 54 8,0 56,5 82 65,0 54,5 57 61,5 83 70,0 59,0 59 66,5 83 75,0 65,0 62 71,5 85 80,0 70,0 63 77,0 87 11,0 60,0 51,0 60 9,0 57,0 87 11,0 60,0 51,0 60 9,0 57,0 87 11,0 60,0 51,0 60 9,0 57,0 87 11,0 60,0 51,0 60 9,0 57,0 85 65,0 56,0 62 62,0 85 70,0 61,0 65 67,0 86 75,0 66,5 67 72,0 87 80,0 72,0 69 77,5 89 12,0 60,0 53,0 67 10,0 57,5 87 65,0 58,0 68 62,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 89 80,0 73,0 72 78,0 91 13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 65,0 59,0 72 63,0 90 65,0 59,0 72 63,0 90 70,0 64,0 75 68,0 91 75,0 69,0 76 73,0 91 14,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 65,0 65,0 79 68,5 93 75,0 70,0 79 68,5 93 75,0 70,0 79 68,5 93 75,0 70,0 79 68,5 93 75,0 70,0 79 73,5 93 80,0 75,5 81 79,0 95	3,0	60,0	44,5	39	6,0	54,5	74	12,0
75,0 59,0 46 70,0 79 80,0 64,5 49 75,5 81 9,0 60,0 47,0 47 7,0 55,5 78 65,0 52,0 50 61,0 80 70,0 57,0 53 66,0 81 75,0 62,0 54 71,0 82 80,0 67,5 56 76,0 83 10,0 60,0 49,0 54 8,0 56,5 82 65,0 54,5 57 61,5 83 70,0 59,0 59 66,5 83 70,0 59,0 59 66,5 83 77,0 87 80,0 70,0 63 77,0 87 11,0 60,0 51,0 60 9,0 57,0 85 65,0 56,0 62 62,0 85 70,0 61,0 65 67,0 86 <		65,0	49,0	42		60,0		
80,0 64,5 49 75,5 81 9,0 60,0 47,0 47 7,0 55,5 78 65,0 52,0 50 61,0 80 70,0 57,0 53 66,0 81 75,0 62,0 54 71,0 82 80,0 67,5 56 76,0 83 10,0 60,0 49,0 54 8,0 56,5 82 65,0 54,5 57 61,5 83 70,0 59,0 59 66,5 83 75,0 65,0 62 71,5 85 80,0 70,0 63 77,0 87 11,0 60,0 51,0 60 9,0 57,0 85 65,0 56,0 62 62,0 85 70,0 61,0 65 67,0 86 75,0 66,5 67 72,0 87 80,0 <t< td=""><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></t<>								
9,0 60,0 47,0 47 7,0 55,5 78 65,0 52,0 50 61,0 80 70,0 57,0 53 66,0 81 75,0 62,0 54 71,0 82 80,0 67,5 56 76,0 83 10,0 60,0 49,0 54 8,0 56,5 82 65,0 54,5 57 61,5 83 75,0 65,0 62 71,5 85 80,0 70,0 65,0 62 71,5 85 80,0 70,0 63 77,0 87 11,0 60,0 51,0 60 9,0 57,0 85 65,0 56,0 62 62,0 85 70,0 61,0 65 67 72,0 85 65,0 56,0 62 62,0 85 70,0 61,0 65 67 72,0 87 80,0 72,0 69 77,5 89 12,0 60,0 53,0 67 10,0 57,5 87 65,0 58,0 68 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 70,0 62,5 70 67,5 89 80,0 73,0 72 78,0 91 13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 65,0 59,0 72 63,0 90 75,0 69,0 76 73,0 91 80,0 74,5 78 78,5 93 14,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 65,0 60,0 77 63,5 93 75,0 70,0 65,0 79 78,5 93 80,0 75,5 81 12,0 58,5 92								
65,0 52,0 50 61,0 80 66,0 81 75,0 62,0 54 71,0 82 80,0 67,5 56 76,0 83 71,0 82 80,0 67,5 56 76,0 83 71,0 82 65,0 54,5 57 61,5 83 75,0 65,0 65,0 62 71,5 85 80,0 70,0 65,0 62 71,5 85 65,0 65,0 62 71,5 85 65,0 62 71,5 85 65,0 62 71,5 85 65,0 62 71,5 85 65,0 62 71,5 85 65,0 62 62,0 85 70,0 61,0 65 62 62,0 85 70,0 61,0 65 62 62,0 85 70,0 61,0 65 62 62,0 85 70,0 61,0 65 62 62,0 85 70,0 61,0 65 62 62,0 87,5 89 72,0 87 72,0 87 72,0 87 72,0 87 72,0 87 72,0 87 72,0 87 72,0 87 72,0 69 77,5 89 72,0 65,0 62,5 70,0 70,0 70,0 62,5 70,0 70,0 70,0 70,0 70,0 70,0 70,0 70	2.0				7.0			12.0
70,0 57,0 53 66,0 81 75,0 62,0 54 71,0 82 80,0 67,5 56 76,0 83 10,0 60,0 49,0 54 8,0 56,5 82 65,0 54,5 57 61,5 83 70,0 59,0 59 66,5 83 75,0 65,0 62 71,5 85 80,0 70,0 63 77,0 87 11,0 60,0 51,0 60 9,0 57,0 85 65,0 56,0 62 62,0 85 70,0 61,0 65 67,0 86 75,0 66,5 67 72,0 87 80,0 72,0 69 77,5 89 12,0 60,0 53,0 67 10,0 57,5 87 80,0 72,0 69 77,5 89 12,0	9,0				7,0			13,0
75,0 62,0 54 71,0 82 80,0 67,5 56 76,0 83 10,0 60,0 49,0 54 8,0 56,5 82 65,0 54,5 57 61,5 83 70,0 59,0 59 66,5 83 75,0 65,0 62 71,5 85 80,0 70,0 63 77,0 87 11,0 60,0 51,0 60 9,0 57,0 85 65,0 56,0 62 62,0 85 70,0 86 72,0 86 75,0 66,5 67 72,0 87 77,5 89 12,0 60,0 53,0 67 10,0 57,5 87 65,0 58,0 68 62,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 75,0 68,0 71 72,5 89 80,0								
80,0 67,5 56 76,0 83								
65,0 54,5 57 61,5 83 70,0 59,0 59 66,5 83 75,0 65,0 62 71,5 85 80,0 70,0 63 77,0 87 11,0 60,0 51,0 60 9,0 57,0 85 65,0 56,0 62 62,0 85 70,0 61,0 65 67,0 86 75,0 66,5 67 72,0 87 80,0 72,0 69 77,5 89 12,0 60,0 53,0 67 10,0 57,5 87 65,0 58,0 68 62,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 75,0 68,0 71 72,5 89 13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 91 13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 65,0 59,0 72 63,0 90 75,0 69,0 76 73,0 91 80,0 74,5 78 78,5 93 14,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 65,0 60,0 77,7 63,5 93 75,0 70,0 79 73,5 93 75,0 70,0 79 73,5 93 80,0 75,5 81 79,0 95		80,0	67,5				83	
70,0 59,0 59 66,5 83 75,0 65,0 62 71,5 85 80,0 70,0 63 77,0 87 11,0 60,0 51,0 60 9,0 57,0 85 65,0 56,0 62 62,0 85 70,0 61,0 65 67,0 86 75,0 66,5 67 72,0 87 80,0 72,0 69 77,5 89 12,0 60,0 53,0 67 10,0 57,5 87 65,0 58,0 68 62,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 75,0 68,0 71 72,5 89 80,0 73,0 72 78,0 91 13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 65,0 59,0 72 63,0 90 66,0 91	0,0				8,0			14,0
75,0 65,0 62 71,5 85 80,0 70,0 63 77,0 87 11,0 60,0 51,0 60 9,0 57,0 85 65,0 56,0 62 62,0 85 70,0 61,0 65 67,0 86 75,0 66,5 67 72,0 87 80,0 72,0 69 77,5 89 12,0 60,0 53,0 67 10,0 57,5 87 65,0 58,0 68 62,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 75,0 68,0 71 72,5 89 80,0 73,0 72 78,0 91 13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 65,0 59,0 72 63,0 90 70,0 64,0 75 68,0 91 75,0								
80,0 70,0 63 77,0 87 11,0 60,0 51,0 60 9,0 57,0 85 65,0 56,0 62 62,0 85 70,0 61,0 65 67,0 86 75,0 66,5 67 72,0 87 80,0 72,0 69 77,5 89 12,0 60,0 53,0 67 10,0 57,5 87 65,0 58,0 68 62,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 75,0 68,0 71 72,5 89 80,0 73,0 72 78,0 91 13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 65,0 59,0 72 63,0 90 70,0 64,0 75 68,0 91 75,0 69,0 76 73,0 91 75,0								
11,0 60,0 51,0 60 9,0 57,0 85 65,0 56,0 62 62,0 85 70,0 61,0 65 67,0 86 75,0 66,5 67 72,0 87 80,0 72,0 69 77,5 89 12,0 60,0 53,0 67 10,0 57,5 87 65,0 58,0 68 62,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 75,0 68,0 71 72,5 89 80,0 73,0 72 78,0 91 13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 65,0 59,0 72 63,0 90 70,0 64,0 75 68,0 91 75,0 69,0 76 73,0 91 80,0 74,5 78 78,5 93 14,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 65,0				63				
65,0 56,0 62 62,0 85 70,0 61,0 65 67,0 86 75,0 66,5 67 72,0 87 80,0 72,0 69 77,5 89 12,0 60,0 53,0 67 10,0 57,5 87 65,0 58,0 68 62,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 75,0 68,0 71 72,5 89 80,0 73,0 72 78,0 91 13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 65,0 59,0 72 63,0 90 70,0 64,0 75 68,0 91 75,0 69,0 76 73,0 91 80,0 74,5 78 78,5 93 14,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 65,0 60,0 77 63,5 93 75,0 70,0 79 <	1.0				9.0			15,0
75,0 66,5 67 72,0 87 80,0 72,0 69 77,5 89 12,0 60,0 53,0 67 10,0 57,5 87 65,0 58,0 68 62,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 75,0 68,0 71 72,5 89 80,0 73,0 72 78,0 91 13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 65,0 59,0 72 63,0 90 70,0 64,0 75 68,0 91 75,0 69,0 76 73,0 91 80,0 74,5 78 78,5 93 14,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 65,0 60,0 77 63,5 93 70,0 65,0 79 68,5 93 75,0	•	65,0		62	•	62,0		•
80,0 72,0 69 77,5 89 12,0 60,0 53,0 67 10,0 57,5 87 65,0 58,0 68 62,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 75,0 68,0 71 72,5 89 80,0 73,0 72 78,0 91 13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 65,0 59,0 72 63,0 90 70,0 64,0 75 68,0 91 75,0 69,0 76 73,0 91 80,0 74,5 78 78,5 93 14,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 65,0 60,0 77 63,5 93 70,0 65,0 79 68,5 93 75,0 70,0 79 73,5 93 80,0 75,5 81 79,0 95 15,0 60,0 55,5 78 13,0 58,5 92								
12,0 60,0 53,0 67 10,0 57,5 87 65,0 58,0 68 62,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 75,0 68,0 71 72,5 89 80,0 73,0 72 78,0 91 13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 65,0 59,0 72 63,0 90 70,0 64,0 75 68,0 91 75,0 69,0 76 73,0 91 80,0 74,5 78 78,5 93 14,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 65,0 60,0 77 63,5 93 70,0 65,0 79 68,5 93 75,0 70,0 79 73,5 93 80,0 75,5 81 79,0 95								
65,0 58,0 68 62,5 88 70,0 62,5 70 67,5 88 75,0 68,0 71 72,5 89 80,0 73,0 72 78,0 91 13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 65,0 59,0 72 63,0 90 70,0 64,0 75 68,0 91 75,0 69,0 76 73,0 91 80,0 74,5 78 78,5 93 14,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 65,0 60,0 77 63,5 93 70,0 65,0 79 68,5 93 75,0 70,0 79 73,5 93 80,0 75,5 81 79,0 95								
70,0 62,5 70 67,5 88 75,0 68,0 71 72,5 89 80,0 73,0 72 78,0 91 13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 65,0 59,0 72 63,0 90 70,0 64,0 75 68,0 91 75,0 69,0 76 73,0 91 80,0 74,5 78 78,5 93 14,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 65,0 60,0 77 63,5 93 70,0 65,0 79 68,5 93 75,0 70,0 79 73,5 93 80,0 75,5 81 79,0 95 15,0 60,0 55,5 78 13,0 58,5 92	2,0				10,0			16,0
75,0 68,0 71 72,5 89 80,0 73,0 72 78,0 91 13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 65,0 59,0 72 63,0 90 70,0 64,0 75 68,0 91 75,0 69,0 76 73,0 91 80,0 74,5 78 78,5 93 14,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 65,0 60,0 77 63,5 93 70,0 65,0 79 68,5 93 75,0 70,0 79 73,5 93 80,0 75,5 81 79,0 95 15,0 60,0 55,5 78 13,0 58,5 92								
80,0 73,0 72 78,0 91 13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 65,0 59,0 72 63,0 90 70,0 64,0 75 68,0 91 75,0 69,0 76 73,0 91 80,0 74,5 78 78,5 93 14,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 65,0 60,0 77 63,5 93 70,0 65,0 79 68,5 93 75,0 70,0 79 73,5 93 80,0 75,5 81 79,0 95 15,0 60,0 55,5 78 13,0 58,5 92								
13,0 60,0 54,0 71 11,0 58,0 90 65,0 59,0 72 63,0 90 70,0 64,0 75 68,0 91 75,0 69,0 76 73,0 91 80,0 74,5 78 78,5 93 14,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 65,0 60,0 77 63,5 93 70,0 65,0 79 68,5 93 75,0 70,0 79 73,5 93 80,0 75,5 81 79,0 95 15,0 60,0 55,5 78 13,0 58,5 92								
65,0 59,0 72 63,0 90 70,0 64,0 75 68,0 91 75,0 69,0 76 73,0 91 80,0 74,5 78 78,5 93 14,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 65,0 60,0 77 63,5 93 70,0 65,0 79 68,5 93 75,0 70,0 79 73,5 93 80,0 75,5 81 79,0 95 15,0 60,0 55,5 78 13,0 58,5 92	3,0				11,0			17,0
75,0 69,0 76 73,0 91 80,0 74,5 78 78,5 93 14,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 65,0 60,0 77 63,5 93 70,0 65,0 79 68,5 93 75,0 70,0 79 73,5 93 80,0 75,5 81 79,0 95 15,0 60,0 55,5 78 13,0 58,5 92		65,0	59,0	72	-	63,0	90	
80,0 74,5 78 78,5 93 14,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 65,0 60,0 77 63,5 93 70,0 65,0 79 68,5 93 75,0 70,0 79 73,5 93 80,0 75,5 81 79,0 95 15,0 60,0 55,5 78 13,0 58,5 92								
14,0 60,0 54,5 74 12,0 58,0 90 65,0 60,0 77 63,5 93 70,0 65,0 79 68,5 93 75,0 70,0 79 73,5 93 80,0 75,5 81 79,0 95 15,0 60,0 55,5 78 13,0 58,5 92								
65,0 60,0 77 63,5 93 70,0 65,0 79 68,5 93 75,0 70,0 79 73,5 93 80,0 75,5 81 79,0 95 15,0 60,0 55,5 78 13,0 58,5 92	4.0				12.0			18,0
70,0 65,0 79 68,5 93 75,0 70,0 79 73,5 93 80,0 75,5 81 79,0 95 15,0 60,0 55,5 78 13,0 58,5 92	٠,٠				12,0			10,0
75,0 70,0 79 73,5 93 80,0 75,5 81 79,0 95 15,0 60,0 55,5 78 13,0 58,5 92								
15,0 60,0 55,5 78 13,0 58,5 92		75,0	70,0	79		73,5	93	
		80,0	75,5	81		79,0	95	
	5,0				13,0			19,0
65,0 61,0 80 63,5 93								
70,0 66,0 81 69,0 95 75,0 71,0 82 74,0 95								
75,0 71,0 82 74,0 95 80,0 76,0 83 79,0 95								