

634.0.8

MAT

Eng. T-59

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA  
FLORESTAL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

EMF-59

18 440

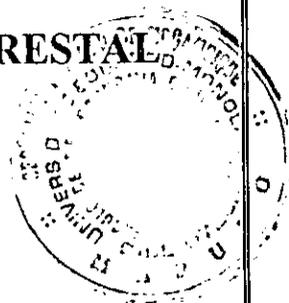
TRABALHO DE LICENCIATURA

*ESTUDO DO POTENCIAL DA ENERGIA SOLAR NA  
SECAGEM DE MADEIRA*

AUTOR: MARCELINA ANDRÉ MATAVEIA

Eng. F-59

**FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA  
FLORESTAL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**



**TRABALHO DE LICENCIATURA**

18440

***ESTUDO DO POTENCIAL DA ENERGIA SOLAR NA  
SECAGEM DE MADEIRA***

**AUTOR: MARCELINA ANDRÉ MATAVEIA**

**SUPERVISOR: PROF. DOUTORA ENG<sup>a</sup> LÍDIA BRITO**

**CO-SUPERVISOR: PROF. DOUTOR ENG<sup>o</sup> VIATCHESLAV**

**SAPOSJNIKOV**

Maputo, Dezembro de 1997

## 1. Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a Doutora **Lídia Brito** e o Doutor **Viatcheslav Sapojnikov** pelo apoio prestado na realização do meu trabalho de licenciatura e pelas sugestões bastante úteis para o melhoramento do mesmo. Em segundo lugar gostaria de agradecer ao meu marido **Mário Frengue Getimane** pelo apoio moral por este prestado, bem como a dr. **Alzira de Lourdes Valentim Chilaúle** e eng. **Francisco Gege** pelas sugestões e pelo suporte material prestado, o que tornou possível a realização do presente trabalho. E em terceiro lugar agradecer o apoio prestado pelos trabalhadores do laboratório da Faculdade de Engenharia Química na colecta de dados, sem o qual não teria sido possível a realização deste trabalho e por fim, agradecer a todos quanto me apoiaram entre familiares e amigos. O meu muito obrigado.

## 2. Declaração de honra

Declaro por minha honra que o presente trabalho constitui o culminar de um longo período de investigação por mim realizado.

estudante

*Marcelina André Malavei*

### **3. Dedicatória**

**Ao meu marido Mário Frengue Getimane**

**Ao meu filho Frengue Mário Getimane**

**À memória dos meus pais**

**André Mataveia**

**e Raquelina Mavaieia**

#### 4. Sumário

O presente trabalho tem como objectivo, estudar o potencial da energia solar na secagem de madeira em estufa solar onde o ar flui por convecção natural.

Neste trabalho fez-se dois tipos de experiência, sendo a primeira experiência feita com a estufa vazia, destinada a controlar e comparar as condições de temperatura e humidade do ambiente com aquelas obtidas no interior da estufa. Faz-se a segunda experiência com a estufa carregada de madeira ( este foi o ensaio de secagem), em que foi usada a madeira de uma espécie nativa, com grande interesse económico no país, o cujos nomes comercial e científico são: Umbila e é *Pterocarpus angolensis*.

Com a primeira experiência verifica-se uma diferença máxima de 36.5°C, da temperatura registada no ambiente para aquela que é registada na placa negra da estufa. Isto mostra que se verifica o efeito estufa. A segunda experiência teve a duração de 104 dias. Este período não se considera mau, tendo em conta que durante a experiência verificaram-se chuvas frequentes, e usou-se a convecção natural. Além disso, na época do ano em que a experiência decorreu ( de Fevereiro a Maio), a humidade de equilíbrio do ambiente é alta.

Fez-se o balanço energético e mássico do secador e verificou-se que o calor recebido da radiação solar é suficiente para compensar as perdas de calor e ainda secar a madeira, porque as perdas de calor pela estrutura do secador não são altas. Também verificou-se que o calor útil é aproximadamente igual o calor necessário para a secagem. Assim conclui-se que a estufa utilizada é funcional.

## 5. Summary

The objective of this work is to study the potential of wood drying using a solar drier in which the air flow is by natural convection.

Two experiences were conducted : in the first, the drier was empty, and aimed at controlling and comparing the environmental temperature and humidity with those inside the drier; in the second one, the drier was loaded with wood from a native variety of great economic value and known as umbila ( comercial name ) or *Pterocarpus angolensis* ( scientific name ).

Through the first experience it was possible to record a maximal difference of 36.5 °C between the temperatures outside and inside the drier, what shows the presence of the greenhouse effect.

The second experience lasted for 104 days, a period that should not be taken as poor, if we take into account that it rained frequently and natural convection was used .

Moreover, during the particular period (February-May), in which the experience of wood drying was conducted, the environmental equilibrium moisture is high.

From the energy balance it can be concluded that only a small fraction of the solar radiation is lost and the useful heat is approximately equal to the necessary heat for the drying process. Then the conclusion is that the drier is functional.

## 6. Índice

1. Introdução.....	1
2. Revisão Bibliográfica.....	2
2.1. Generalidades.....	2
2.2. Movimento de água na madeira.....	3
2.2.1. Fluxo massivo(movimento de água acima do ponto de saturação das fibras)...	4
2.2.2. Difusão (movimento da água abaixo do ponto de saturação das fibras).....	4
2.3. Estudo teórico da secagem de madeira (villere 1966).....	5
*2.3.1. Fases da secagem de madeira.....	6
*2.3.2. Velocidade e duração da secagem.....	7 ✓
2.4. Fundamentos da secagem de madeira.....	11
2.4.1. Factores que influenciam a secagem de madeira intrínsecos à própria madeira...11	
2.4.1.1. O peso específico.....	11
2.4.1.2. Permeabilidade da madeira.....	11
*2.4.1.3. Teor de humidade.....	12
*2.4.1.4. Espessura.....	12
2.4.1.5. Estrutura anatómica da madeira.....	12
2.4.2. Factores que influenciam a secagem de madeira intrínsecos ao ambiente.....	13
*2.4.2.1. Circulação do ar.....	13
*2.4.2.2. Temperatura ( sistema de aquecimento).....	14 ✓
*2.4.2.3. Humidade relativa do ar.....	15
2.5. Secagem em estufa solar.....	15
*2.5.1. Radiação solar.....	15
2.5.2. Formas de transferência de calor.....	17
*2.5.3. Colectores de energia solar.....	18
2.5.4. Inclinação do tecto.....	20
*2.6. Metodologia de calculo dum secador.....	21
2.6.1. Bbalanço enregético do secador.....	21
2.6.1.1. Perdas de calor pela base do secador.....	22
*2.6.1.2. Perdas de calor pelas paredes laterais.....	22
2.6.1.3. Perdas de calor pela cobertura de vidro.....	23
*2.6.1.4. Quantidade de calor que deve ser fornecido ao secador.....	23
2.6.2. Balanço mássico de um secador.....	24
2.6.2.1. Quantidade de ar seco.....	25
2.6.2.2. Aquantidade de ar necessária para secar a madeira ( em kg).....	25
2.7.1. Escolha do material de construção.....	25
2.7.2. Orientação do secador.....	26
2.7.3. Isolamento do secador.....	27
2.7.4. Sistema de ventilação.....	27
*2.8. Modelo de secador solar desenhado para secagem de madeira (muyumdar, 1987).27	
3. Parte experimental.....	29

3.1. Características da estufa solar usada no experimento.....	29
3.2. Tipos de ensaios feitos.....	29
3.2.1. Ensaio sem produto.....	29
3.2.2. Ensaio de secagem.....	30
3.3. Material e métodos.....	30
3.4. Metodologia de preparação do material de secagem.....	30
3.5. Método de determinação da humidade inicial da madeira.....	32
4. Cálculos e tratamento dos resultados.....	34
4.1. Balanço calórico.....	34
4.1.1. O calor recebido.....	34
4.1.2. Cálculos de perdas de calor.....	35
4.1.2.1. Cálculo de perdas de calor pela base do secador.....	36
4.1.2.2. Cálculo de perdas de calor pelas paredes laterais do secador.....	40
4.1.2.3. Cálculo de perdas de calor pela cobertura de vidro do secador.....	43
4.1.3. Cálculo do calor necessário.....	46
4.2. Balanço mássico.....	48
5. Análise e discussão dos resultados, conclusões e recomendações.....	50
5.1. Análise e discussão dos resultados.....	50
5.2. Conclusões e recomendações.....	54
6. Referência bibliográfica.....	56

## 7. Lista de anexos

Anexo I -Variação de temperaturas internas e externas da estufa durante o ensaio em branco

Anexo II - variação de temperaturas do interior e exterior da estufa, durante o ensaio de secagem

Anexo III -variação do peso e da humidade da madeira durante a secagem

Anexo IV - variação da humidade relativa e humidade absoluta dentro e fora da estufa, durante o ensaio em branco e ensaio de secagem, variação da humidade de equilíbrio diária dentro da estufa durante a secagem da madeira

Anexo V - Tabelas psicrométricas consultadas para o cálculo da humidade relativa, humidade absoluta e humidade de equilíbrio

Anexo VI -Dados meteorológicos de radiação global diária, precipitação diária e temperaturas médias diárias de Maputo

## 1. Introdução

A secagem de madeira é fundamental para o desenvolvimento da indústria de produtos madeireiros, sendo impossível a obtenção de produtos com qualidade de nível comercial desejável sem que a madeira esteja adequadamente seca. É também uma forma de sua preservação, porque reduz a susceptibilidade da madeira ao ataque pelos agentes biodegradadores.

Secar a madeira para ser utilizada em determinadas condições, não é mais do que levar o seu teor de humidade à humidade de equilíbrio nas condições de serviço (Barreto 1962/63).

Existem os métodos tradicionais de secagem que têm as suas vantagens e desvantagens. A secagem ao ar livre é pouco dispendiosa, mas tem a desvantagem de levar muito tempo e ainda fornecer uma humidade final relativamente alta. A secagem convencional reduz significativamente o tempo de secagem e a humidade final, mas é bastante custosa e necessita de técnicos qualificados.

A secagem de madeira em estufa solar surgiu da necessidade de melhorar a secagem ao ar livre sem um considerável aumento de custos. A secagem solar aumenta a velocidade de secagem, baixa a humidade final da madeira serrada e melhora a qualidade da madeira (Ponce & Watai 1985).

O principio de construção de secadores solares é comum; somente a estrutura dos secadores é ajustada à quantidade e características do material a ser seco (Muyundar 1987).

Os materiais usados para a construção de estufas solares podem ser de baixo custo e normalmente adquiridos localmente. É fácil operar com estufas solares, por isso tornam-se atractivas para as pequenas indústrias madeireiras.

Em Moçambique a secagem solar pode apoiar bastante as pequenas indústrias madeireiras que não dispõem de muito capital porque permite que tenham a madeira seca num período relativamente curto com um mínimo de defeitos.

Com este trabalho pretende-se estudar o potencial de energia solar na secagem de madeira em estufa solar, em que o ar flui por convecção natural.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1 Generalidades

A maioria das propriedades da madeira dependem do seu grau de humidade, motivo pelo qual é indispensável secar de acordo com as condições climáticas existentes nos lugares do seu uso final. Cada dia são mais as indústrias que se convencem da necessidade de secar madeira implementando processos mais rápidos, seguros e económicos, que permitam obter produtos de maior qualidade (Flores 1980).

A secagem melhora as propriedades mecânicas da madeira, tais como resistência à flexão, dureza, etc. A resistência da união da junta feita com parafusos é maior em madeira seca do que em verde e a secagem é vital para o manuseamento da madeira, principalmente torneamento, molduragem, lixamento, etc (Ponce & Watai 1985).

Se a madeira não estiver adequadamente seca, em ambiente de serviço pode perder ou ganhar humidade, ao tentar equilibrar-se com a humidade do ambiente e assim a madeira pode retrair-se ou expandir-se. Este problema pode ser minimizado com a secagem da madeira até aproximadamente à humidade de equilíbrio do ambiente onde a madeira estará em serviço (Pratt 1986).

Durante os anos 40 realizaram-se nos Estados Unidos algumas investigações práticas sobre o uso directo da energia solar dirigidos por Dra Maria Telks & Dr George O.G. Estes estudos permitiram que desde 1955 começasse na universidade de Wisconsin um importante programa de investigação sobre o uso de energia solar, dando particular ênfase à sua aplicação nos países não industrializados (Danieles 1977).

Troxell & Muller (citado por Santine 1981) mencionam que o trabalho pioneiro sobre o desenvolvimento de secadores solares começou nos Estados Unidos em 1958.

O princípio de construção de secadores solares de madeira é actualmente bem conhecido. A estufa solar consiste basicamente numa estrutura de madeira com cobertura transparente que permite a passagem dos raios solares e minimiza as perdas de calor por irradiação (Santini 1981).

Os defeitos observados na madeira que foi secada em estufa solar não afectam significativamente a sua qualidade (Santine 1981).

## 2.2 Movimento de água na madeira

O movimento de água na madeira divide-se em duas classificações, nomeadamente: fluxo massivo e difusão. O fluxo massivo ocorre na estrutura da madeira através das cavidades celulares interconectadas pelas pontuações, como consequência do gradiente de pressão capilar. A difusão, por sua vez, ocorre sob duas formas: como transferência de vapor de água através do ar contido nos lumens, e como água higroscópica ou ligada dentro da parede celular (Bunster 1991).

Os tipos de água existentes na madeira de acordo com as duas grandes classificações já mencionadas também são geralmente classificados em dois grandes grupos, que estão de acordo com o tipo de movimento de água na madeira. A água capilar, aquela localizada nos lúmens celulares e espaços intercelulares, retida por forças capilares; água de impregnação ou higroscópica, aquela que se encontra em camadas polimoleculares, nos espaços submicroscópicos da parede celular, ligada por forças eléctricas (Brown et al; Kollmann & Côté; Kollmann; Cech & Pfaff citado por Santini 1981). Por ocasião de secagem a primeira água que sai é a água livre, portanto aquela contida nas cavidades celulares, porque as forças que a retêm são relativamente menores em comparação com as que mantêm água na parede celular (Skaar citado por Santine 1981). A retirada de água livre encontra-se a teores de humidade que estão acima do ponto de saturação das fibras (p.s.f). O p.s.f refere-se ao estado em que a madeira não tem água nos lumens, apenas ficou com a água nas paredes celulares. O P.S.F. tem muita importância, porque a água higroscópica está intimamente relacionada com este ponto, e a saída desta água provoca modificações na estrutura da madeira, aproximando as células lenhosas e conferindo maior rigidez (Kollmann citado por Santine 1981).

A madeira húmida, quando exposta a determinadas condições atmosféricas, perde humidade até entrar em equilíbrio com a atmosfera circundante. O teor de humidade que a madeira adquire quando

entra em equilíbrio com o ambiente chama-se humidade de equilíbrio ( $h_{eq}$ ), que varia de acordo com a humidade relativa e a temperatura do ar ( Santini 1981).

### **2.2.1. Fluxo massivo(movimento de água acima do ponto de saturação das fibras)**

O termo água capilar refere-se à água na forma livre, existente nas cavidades e nas aberturas ligando as cavidades celulares na madeira. Portanto a água capilar, ocorre sómente em madeira, cujo conteúdo de humidade está acima do ponto de saturação das fibras (Mendes e Jankowsky 1985).

O movimento de água acima do p.s.f. geralmente segue as leis capilares. Quando temos água acima do p.s.f., as forças capilares provocam um movimento de água livre através das aberturas naturais da madeira tais como as cavidades, espaços e pontuações de uma célula para outra (Hart citado por Santini 1981).

A força capilar age no centro da madeira e diminui gradualmente conforme o teor de humidade das células internas aproxima-se do (p.s.f.) ( Ceeh & Pfaff citado por Santini 1981).

O movimento de água livre é altamente dependente da temperatura, do tamanho máximo de abertura das pontuações e da presença de ar nas células. A existência de uma bolha de ar dentro da cavidade celular, devido à pressão do ar mais a pressão do vapor de água produzidas pelo aquecimento, pressiona a água através das pontuações ou aberturas das células adjacentes provocando o seu movimento, e conseqüentemente, o fluxo de água ocorre dos lumens de pressão capilar mais elevada para os de pressão mais baixa (Stam citado por Santini 1981).

O factor limitante na secagem de madeira impermeável é frequentemente o problema de retirar a água capilar. Baixas temperaturas devem ser usadas frequentemente durante as etapas iniciais da secagem devido aos riscos associados à remoção rápida da água a altas temperaturas (Mendes & Jankowsy 1985).

### **2.2.2 Difusão (movimento da água abaixo do ponto de saturação das fibras)**

As moléculas de água movem-se através da parede celular, como água líquida, e como resultado de um gradiente de humidade través da cavidade celular por um gradiente de pressão de vapor. Assim as moléculas de água vão-se movendo até atingir a superfície externa da madeira (Galvão & Jankowsky 1985).

A difusão é considerada complexa porque nela se manifestam simultaneamente o gradiente de humidade e o gradiente de pressão de vapor (Stamm citado por Santini 1981). O gradiente de pressão de vapor é estabelecido quando grande parte das forças capilares cessam, ficando a maioria das cavidades celulares apenas com ar e vapor de água, onde o gradiente de pressão faz com que o vapor de água se movimente das áreas de alta pressão (interior da tábua), para as áreas de baixa pressão de vapor (periferia da tábua), passando através das cavidades celulares, pontuações, e espaços intercelulares (Cech & Pfaff, Stamm citado por Santini 1981).

À medida que as paredes celulares mais externas da peça de madeira vão perdendo a água por evaporação, vai-se desenvolvendo um gradiente entre as paredes mais internas e as mais externas, e, sendo a madeira material higroscópico, as paredes celulares mais secas da superfície absorvem água das mais húmidas (internas), e isto resulta num fluxo de água das paredes mais internas para as mais externas (Hart citado por Santini 1981).

### 2.3. Estudo teórico da secagem de madeira (Villere, 1966)

A secagem de madeira está relacionada com a teoria geral da secagem dos corpos higroscópicos. Nos corpos higroscópicos a curva da perda de humidade em função do tempo tem um comportamento geral comum, como mostra o gráfico em baixo.

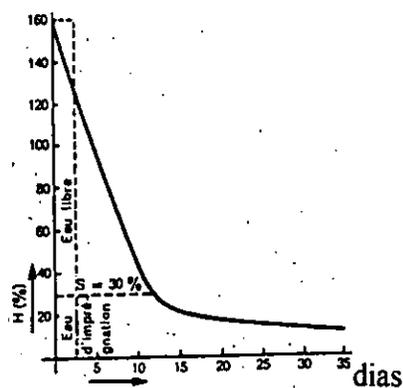


fig.2.1- Curva geral de secagem em corpos higroscópicos (Villere, 1966)

### 2.3.1 Fases da secagem de madeira

No estudo teórico considera-se a secagem de madeira verde no estado saturado de humidade, sob condições de temperatura, humidade e velocidade do ar constantes, e distinguem-se três fases de secagem:

A primeira fase de secagem começa no início da secagem quando, a madeira está saturada de humidade, como se estivesse coberta por um filme de água. A secagem nesta fase dá-se como se o ar secasse a superfície de um lençol de água. Esta fase depende muito das condições de temperatura, humidade e velocidade do ar e a velocidade de evaporação permanece constante nesta fase. Ao fim de um certo tempo a taxa de secagem começa a decrescer porque a água do interior da madeira não consegue manter o filme de água na superfície de evaporação. Assim atinge-se o chamado "ponto crítico" (o ponto C que pode ser visto na figura 2.2) no qual se verifica uma quebra clara na velocidade de secagem. A primeira fase limita-se sómente a retirar alguma percentagem de humidade. Em casos práticos frequentemente não se verifica esta fase pelo facto de a madeira normalmente não estar completamente saturada.

A segunda fase de secagem começa no ponto crítico e é caracterizada por uma velocidade de secagem decrescente, porque o conteúdo de água superficial diminui de uma maneira constante, o que se traduz numa redução de secagem. Durante esta fase as condições de temperatura, humidade, e velocidade do ar, continuam a influenciar a velocidade de secagem como acontece na primeira fase, embora seja num grau menor. Quase ao chegar ao fim desta fase também verifica-se a saída de pequena quantidade de água higroscópica. Isto acontece porque enquanto alguns pontos da madeira atingem rapidamente o ponto de saturação das fibras, outros continuam a perder água livre. Assim no fim da segunda fase de secagem coexistem os processos de difusão e capilaridade durante um pequeno período. Esta fase compreende essencialmente processos de capilaridade e difusão de vapor de água nos lumens.

A terceira fase de secagem começa quando se chega a um ponto em que a superfície da madeira, toma a humidade de equilíbrio correspondente às condições do ar ambiente. Nesta fase diz-se que

toda a madeira está no p.s.f. ou abaixo dele. Temos na madeira apenas água higroscópica, mas o interior da madeira continua a secar seguindo a lei da difusão. Nesta fase as condições de temperatura, velocidade, e humidade do ar, não têm mais influência directa na secagem. Contudo a temperatura joga um papel fundamental durante esta fase, porque ao aquecer a madeira, fornece-se energia cinética às moléculas de água e elas se difundem até a superfície de evaporação.

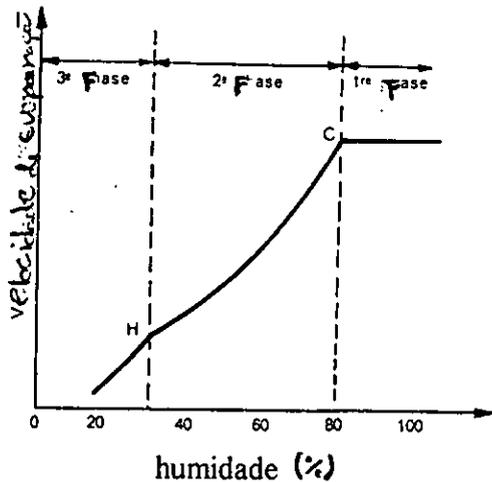


fig.2.2-Curva que mostra as três fases de secagem da madeira (Villere,A 1966)

### 2.3.2 Velocidade e duração da secagem

A primeira fase de secagem, como já foi dito, existe quando a madeira está absolutamente húmida. A primeira fase é melhor conhecida do ponto de vista teórico, pois é idêntica para os diversos materiais saturados de água.

Pelas condições relativas à difusão do gás, admite-se para a velocidade de evaporação ( $\sigma$ ) uma expressão da forma (lei de Dalton generalizada)

$$\sigma = \beta \frac{fh - f}{P - fh} \quad (2.1)$$

onde:

$\beta$  é o coeficiente de evaporação

fh-a pressão do vapor saturado correspondente à temperatura da superfície da madeira húmida (temperatura do termómetro húmido)

(f) é a pressão parcial do vapor de água no ar (dependendo do estado higrométrico)

(P) pressão atmosférica

Segundo Stevens a equação para o cálculo da velocidade no período de velocidade constante é:

$$\sigma = \frac{h(ts - th)}{\lambda} \quad (2.2)$$

onde:

h- é o coeficiente de transferência do calor para o ar

ts- temperatura do termómetro seco

th- temperatura do termómetro humido.

$\lambda$  - é o calor latente de vaporização à temperatura do termómetro humido.

A velocidade de secagem ( $\sigma$ ) é obtida geralmente, de uma maneira aproximativa, mas isso não afecta o cálculo da duração total da secagem.

A fórmula para o cálculo da duração da primeira fase de secagem é a seguinte:

$$T1 = \frac{H1 - H2}{2 * \sigma} * 100eDb \quad (2.3)$$

onde:

T1- é a duração da primeira fase de secagem, desde a humidade H1 até a humidade H2.

e- é a espessura da madeira

Db- é a densidade básica =  $Po/Vs$ , sendo Po o peso anidro e Vs o volume saturado.

A duração da primeira fase é influenciada por  $\sigma$ , onde se jogam todas as características do ar e por outro lado a duração desta fase é directamente proporcional à espessura e à densidade básica, donde resulta que estes têm também influência directa na primeira fase.

A segunda fase começa no ponto crítico, isto é, onde o valor precedente da velocidade de secagem começa a decrescer. Como as condições de secagem são constantes a madeira não pode secar na superfície sob a humidade limite correspondente a estas condições (H1). Pode-se prosseguir a secagem em função da diferença entre a humidade da madeira e a humidade limite correspondente às condições constantes de secagem (H2-H1) e constata-se na segunda fase que não é mais  $\sigma$  que é proporcional a (H2-H1), mas sim  $\log \sigma$ . Se se desenhar  $\log \sigma$  em função de (H2-H1) obtém-se uma recta CD para esta fase, que pode ser vista na figura 2.3

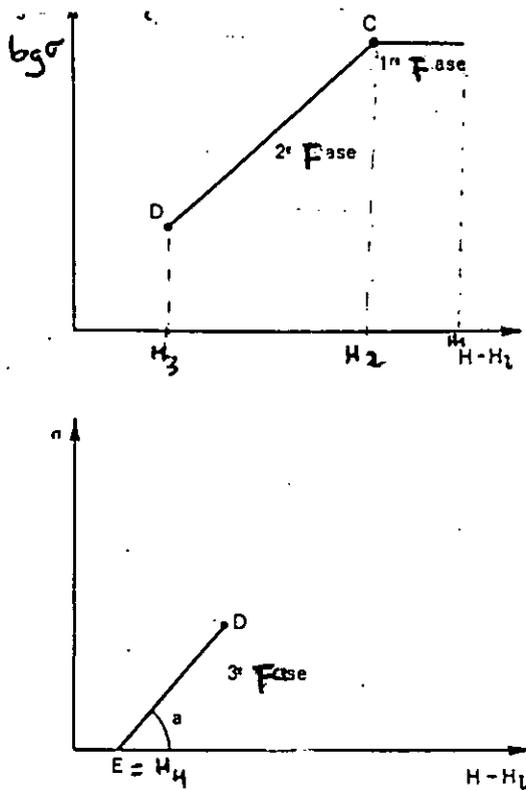


fig 2.3 repartição esquemática das três fases da secagem em função de  $(H-H_1)$  (Villere, 1966)

Com as coordenadas de C e D (princípio e fim da segunda fase), pode-se calcular a duração da secagem ao longo desta fase entre duas humidades médias  $H_2$  e  $H_3$ .

Se aos valores  $(H_2-H_1)$  e  $(H_3-H_1)$  correspondem os valores de  $\log \sigma_2$  e  $\log \sigma_3$  respectivamente e se  $\sigma_m = \frac{\sigma_2 + \sigma_3}{2}$ ; a duração da segunda fase ( $T_2$ ) entre as humidades  $H_2$  e  $H_3$ , pode ser calculada pela seguinte equação:

$$T_2 = \frac{H_2 - H_3}{2\sigma_m} \times 100eDb \quad (2.4)$$

nesta fase a duração é directamente proporcional à espessura( $e$ ) e à densidade básica( $Db$ ).

Na terceira fase toda a massa da madeira está neste momento no P.S.F., isto é, teóricamente não haveria água na madeira senão nas paredes celulares da madeira. Nesta fase temos portanto que lidar com fenómenos de pura difusão. Esta fase começa para os valores de  $(H_3-H_1)$  e durante esta fase as condições de temperatura, estado higrométrico, e velocidade do ar não influem directamente sobre a secagem.

Esta fase é mais longa sob o ponto de vista de duração, e a velocidade de evaporação ( $\sigma$ ) seria em função da temperatura da madeira, que por sua vez está sob dependência da temperatura do ar, e em dependência a todo momento da repartição da humidade pela espessura da madeira. Notemos que a temperatura e o estado higrométrico do ar embora não joguem um papel directo, têm uma certa importância ao determinar, por um lado, a temperatura da madeira, e por outro lado, o valor da humidade limite na superfície da madeira, que é sempre em função do ar ambiente.

Ao longo desta última fase, os fenómenos de difusão sendo preponderantes, tem-se que a velocidade de evaporação  $\sigma$  é função linear de H3-HI. Esta última fase começa no ponto D que é o fim da segunda fase e termina no ponto E que tem como abcissa HI.

A duração da terceira fase T3 entre as humidades H3 e H4 (em %) é dada por:

$$T3 = \frac{\log(H3 - HI) - \log(H4 - HI)}{0.434} \times \frac{e^2}{\pi^2 h^2} \quad (2.5)$$

onde :

e- é a espessura da madeira em cm

$h^2$ - é o coeficiente de difusividade

Existe uma relação entre o coeficiente de difusividade ( $h^2$ ) com a densidade básica (Db) e a espessura da madeira (e), que é dada pela seguinte equação:

$$h^2 * Db^2 = \frac{0.00336t^{1.7}}{50\pi^2} \left( \frac{e}{e+1.1} \right) \quad (2.6)$$

onde:

t-é a temperatura em °C do ar durante a secagem

$\pi = 3.14$ .

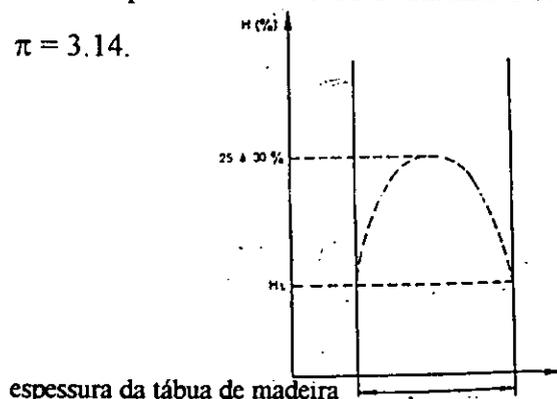


fig 2.4 repartição da humidade pela espessura da tábua de madeira durante a segunda fase

É importante notar que no cálculo da terceira fase, tanto a espessura (e) como a densidade básica ( $D_b$ ), aparecem ao quadrado mostrando a sua maior influência nesta fase.

## **2.4 Fundamentos da secagem de madeira**

### **2.4.1 Factores que influenciam a secagem da madeira intrínsecos a própria madeira.**

#### **2.4.1.1 O peso específico**

A rapidez da secagem da madeira está relacionada com o volume de aberturas naturais que a madeira possui (poros, pontuações simples ou areoladas) através das quais a madeira perde água, portanto com o peso específico. Existe uma proporcionalidade inversa entre o peso específico e o volume de aberturas na madeira: assim madeiras com maior volume de aberturas, são de baixo peso específico, e durante o processo de secagem a perda de humidade é mais rápida. Enquanto que o menor volume de aberturas significa maior peso específico e uma perda de humidade mais lenta. (Brow et al citado por Santine 1981).

Por ocasião da secagem da madeira, no último estágio de secagem predomina o processo de difusão, no qual se verifica o movimento de vapor de água nos lumens e o movimento de água higroscópica líquida pelas paredes. A difusão é mais rápida em madeiras com menor peso específico, porque o movimento de vapor de água nos lumens é mais rápido que o movimento de água higroscópica líquida pelas paredes celulares (Mendes & Jankowsky 1985).

#### **2.4.1.2 Permeabilidade da madeira**

A permeabilidade tem um papel muito importante na secagem de madeira, mais exatamente no movimento de água livre. A permeabilidade é definida como a medição da facilidade com a qual um fluido passa através de um material poroso sob a influência dum gradiente de pressão (Bunster

1991). A secagem de madeiras com alta permeabilidade é mais rápida como resultado de uma rápida perda de água livre. Em madeiras de baixa permeabilidade a perda de água livre é lenta, e quando esta madeira é sujeita a condições drásticas de secagem (alta temperatura e velocidade do ar), ela pode sofrer defeitos porque são produzidas altas tensões capilares.

#### **2.4.1.3 Teor de humidade**

Com o aumento do teor de humidade há o aumento do tempo de secagem, porque há mais água para remover da madeira. Tanto em madeiras muito permeáveis onde predomina o fluxo de massa como em madeiras pouco permeáveis onde a difusão é factor limitante, verifica-se que o aumento de teor de humidade aumenta o tempo de secagem da madeira (Hart citado por Santini 1981).

#### **2.4.1.4 Espessura**

Com o aumento da espessura das peças de madeiras, também aumenta a distancia que o fluido deve percorrer do interior da madeira para a superfície de evaporação, o peso seco da madeira também aumenta sem aumentar significativamente a superfície para evaporação da água, donde resulta que o aumento da espessura aumenta o tempo de secagem da madeira. Quando comparadas duas peças de diferentes espessuras e igual humidade inicial, verifica-se que a que tem maior espessura, terá que perder maior massa de água para igual redução do teor de humidade, isto acontece porque humidade ( $U$ ) é a relação entre o peso da água removida ( $P_a$ ) e o peso seco da madeira ( $P_s$ ),  $U = P_a/P_s$ . Com maior espessura, também temos menor difusão porque o volume de paredes celulares que devem ser atravessadas pela água é maior, enquanto que o movimento da água higroscópica pelas paredes como água líquida é lento (Mendes & Jankowsky 1985).

#### **2.4.1.5 Estrutura anatómica da madeira**

A estrutura anatómica, é muito importante no que diz respeito à secagem da madeira, porque influencia a permeabilidade da madeira. Durante a secagem da madeira verificam-se dois factores distintos, o fluxo massivo e a difusão, através dos quais a madeira seca.

Nas folhosas o número e diâmetro dos vasos têm muita influência na permeabilidade da madeira, bem como, para o caso das resinosas o número e o raio das pontuações. A proporção de raio traqueído existente na madeira de resinosas influencia favoravelmente a permeabilidade radial. O borne é mais permeável que o cerne devido ao efeito de aspiração das pontuações e das incrustações existentes no cerne. De igual modo o lenho inicial em geral é menos permeável que o lenho final, não obstante o maior número de pontuações no lenho inicial. Isto acontece porque durante a secagem, só aproximadamente metade do número de pontuações existentes no lenho final sofre aspiração.

A anisotropia da madeira que se reflete para cada direcção estrutural, influencia a secagem da madeira. De facto, o coeficiente de difusão longitudinal é em média cerca de duas a quatro vezes maior que o transversal à humidade de 25%, e de 50 a 100 vezes maior à humidade de 5%; a difusão na direcção radial é cerca de 17 a 25 vezes maior que a difusão no sentido tangencial de acordo com Siao citado por (Mendes & Jankowsky 1985).

## **2.4.2 Factores que influenciam a secagem da madeira intrínsecos ao ambiente**

### **2.4.2.1 Circulação do ar**

Durante o processo de secagem a circulação do ar é muito importante porque permite transferir o calor do sistema do aquecimento para madeira, distribuir o calor uniformemente em todo o secador, misturar o ar antes da sua passagem pela carga de madeira e remover a água da superfície da madeira. A circulação do ar pode ser natural ou forçada. É forçada quando são usados ventiladores e natural quando o ar flui por convecção natural (Mendes & Jankowsky 1985).

Segundo o mesmo autor, a velocidade do ar é muito importante nos primeiros estágios de secagem e a sua importância decresce à medida que se aproxima da humidade de equilíbrio. Durante o processo da difusão, onde há retirada da água higroscópica, a velocidade do ar não é decisiva no aumento da taxa de secagem, e portanto nesta fase por mais que se aumente a velocidade do ar a taxa de difusão não aumenta. Em madeiras impermeáveis a difusão é o factor limitante, porque este tipo de madeiras tem baixa ou quase nenhuma proporção de água livre. Assim, ao secar madeira

impermeável, não é apropriado o uso de altas velocidades de circulação do ar durante os primeiros estágios de secagem, porque a rápida remoção da água livre pode provocar o aparecimento de altas tensões superiores à resistência a compressão perpendicular das fibras, e assim o aparecimento de defeitos tais como colapso, rachas e fendas, etc.

(Steinhagen citado por Mendes & Jankowsky 1985) trabalhando com madeira de yellow poplar verificou que abaixo de 40% de humidade não há aumento da velocidade de secagem com o uso de maiores velocidades de circulação do ar e recomenda a utilização de velocidade menor que 2,2m/seg, nestas condições por razões de economia.

A circulação do ar, depende do tipo de estufa, e pode ser obtida naturalmente ou por meio de ventiladores accionados eléctricamente. Na circulação natural usa-se o princípio de que o ar quente sobe e o ar frio desce. Assim, mediante o correcto posicionamento e dimensionamento das aberturas para a entrada de ar seco e quente, e saída de ar húmido e frio, obtêm-se velocidades de até 0.15m/seg. Na circulação forçada, obtida com auxilio de ventiladores accionados por motores eléctricos, as velocidades variam geralmente de 0.35- 2m/seg segundo (Rasmussen citado por Mendes & Jankowsky 1985). Consideram-se velocidades ao redor de 2m/seg como as mais económicas e efectivas (Mendes & Jankowsky 1985).

#### **2.4.2.2 Temperatura ( sistema de aquecimento)**

Quando se aquece o ar no interior da estufa, pelo facto desta temperatura ser maior que a da madeira, proporciona-se um gradiente de temperatura que permite fornecer energia à água da madeira, proporcionando a sua difusão e evaporação (Mendes & Jankowsky 1985). A temperatura também influencia a humidade relativa do ar porque quando se aumenta a temperatura, aumenta-se também a capacidade do ar receber mais vapor de água evaporado da madeira, porque existe o aumento da pressão de saturação de vapor de água (Cehp & Pfaff citado por Santini 1981). Com o aumento de temperatura sem adicionar vapor de água temos: redução da humidade relativa, aumentando assim a velocidade de remoção da água superficial, aumento do coeficiente de difusão

### 2.4.2.3 Humidade relativa do ar

Está relacionada com a capacidade que o ar tem de receber mais ou menos vapor de água, e com a quantidade real de vapor de água contida no ar a uma dada temperatura e pressão (Hildebrand citado por Santine 1981).

Numa estufa existem diferentes formas para influenciar a humidade relativa do ar. Através do fornecimento do vapor de água aumenta-se a humidade relativa do ar, pela entrada do ar seco e quente no secador, e pela saída do ar frio e húmido do secador e diminui-se a humidade relativa do ar (Mendeas & Jankowsky 1985).

## 2.5 Secagem em estufa solar

### ✧ 2.5.1 Radiação solar

Normalmente mede-se a radiação solar em langley por minuto, e um langley equivale a uma caloria de energia radiante por centímetro quadrado  $\text{cal/cm}^2$ . A maioria das estações meteorológicas do mundo fornecem a medida da radiação solar em langleys recebidos numa superfície horizontal plana a nível do solo. A intensidade varia de acordo com o lugar, hora, estação do ano, nebulosidade, e conteúdo de partículas de pó na atmosfera sendo de 0 a cerca de  $1.5 \text{ Cal/cm}^2$ , um langley de radiação solar por minuto (Daniels 1964).

Parte da energia solar que atinge o sistema globo-terra é absorvida pela atmosfera e outra parte é reflectida para o espaço. Na atmosfera é que se define a quantidade de luz absorvida pelo globo, bem como a quantidade de luz emitida para a terra. O equilíbrio entre a quantidade de luz que é absorvida e a que é emitida, é alterado pelos gases presentes na atmosfera, pelas partículas minúsculas transportadas no ar, tais como as poeiras, gotículas das nuvens, e cinza vulcânica. Assim à medida que a intensidade da radiação solar penetra e atravessa a atmosfera ela sofre uma diminuição progressiva. Portanto a energia solar ao atravessar a atmosfera é sujeita a fenómenos como, a absorção que é feita pelos gases da atmosfera e pelas gotículas e partículas da água, a difusão que é feita pelas moléculas da atmosfera e por partículas em suspensão, reflexão que é feita pelas nuvens e

pela superfície do globo, difracção que é feita pelas gotas de água das nuvens, e refracção que é feita pelos cristais de gelo que formam as nuvens altas (Ratallack, 1970).

A energia total de  $2 \text{ Cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$  incidente na atmosfera exterior se reduz de tal maneira que quando chega à superfície da terra o seu valor encontra-se entre 1,5 e 0  $\text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ . Parte desta radiação é aquela que vem directamente do sol, mas uma parte pequena, que pode atingir 10% da radiação total que chega à terra, é a radiação difusa, que é aquela que nos chega quando o sol está encoberto pelas nuvens (Daniels, 1977). Segundo o mesmo autor a radiação solar varia muito de acordo com a duração do dia, com o ângulo formado pela terra e os raios solares, com a longitude e o tipo de caminho percorrido pelos raios solares ao longo da atmosfera, e particularmente com a quantidade de nuvens, e desta maneira a radiação vai variar também com a localização geográfica, com a latitude e clima.

✓ Absorção da radiação solar é o processo através do qual a energia radiante é convertida em outra forma de energia, em geral, em energia calorífica. Os corpos negros são absorventes perfeitos, mas os corpos reais comportam-se de maneira muito variada, e apresentam diferentes absorvidades para os diferentes comprimentos de onda. Portanto, ao contrário dos corpos negros ideais, os corpos reais são absorventes selectivos, em que a absorvidade varia com o comprimento de onda da radiação incidente. Na atmosfera os absorventes gasosos mais importantes são: oxigénio, ozono, dióxido de carbono, óxido azotoso e metano, sendo dominante a absorção pelo vapor de água (Ratallack, 1970).

✓ Difusão da radiação solar é um processo que leva a uma redistribuição da energia radiante em torno das partículas difusoras, sem alterar as características da radiação incidente, como acontece na absorção. A energia radiante quando é reemitida uniformemente em todas as direcções chama-se difusão isotrópica, e quando existe o predomínio numa direcção chama-se difusão anisotrópica. (Ratallack, 1970).

Segundo o mesmo autor uma grande fracção da radiação solar incidente que penetra a atmosfera é refletida pelas nuvens, bem como pelas superfícies aquáticas, pelo solo, e pela vegetação.

## 2.5.2 Formas de transferência de calor

Segundo (Kreith,1973) existem três formas de transferência de calor:

- ✎ a) **Condução**- é o processo pelo qual o calor flui de uma região de alta temperatura para uma outra de temperatura mais baixa dentro de um mesmo meio, que pode ser sólido, líquido ou gás ou em meios diferentes em contacto físico directo. A condução é importante nos fluídos mas, nos meios não sólidos usualmente ela é combinada com a convecção e em alguns casos, também com a radiação.
  
- ✎ b) **Radiação**-é o processo pelo qual o calor flui de um corpo de alta temperatura para um de mais baixa ainda que exista vácuo entre eles. O termo radiação é geralmente aplicado a todas as espécies de fenómenos de ondas electromagnéticas mas, na transmissão de calor, são de interesse apenas os fenómenos que resultam da diferença de temperatura e podem transportar energia através de um meio transparente ou através do espaço. A energia transmitida desta maneira é chamada de calor radiante. A transmissão de calor por radiação torna-se de importância crescente quando a temperatura de um objecto aumenta. Nos problemas de engenharia, envolvendo temperaturas que se aproximam da temperatura atmosférica, o aquecimento radiante frequentemente pode ser desprezado.
  
- c) **Convecção**- é um processo de transferência de calor por acção combinada de condução de calor, armazenamento de energia e movimento de fluído e neste processo há movimentação do fluído, que pode ser ar ou água, provocada por uma diferença de densidade, onde a massa aquecida se afasta da fonte de calor. Portanto o ar que se encontra em contacto com a superfície quente é aquecido por condução, e à medida que se torna mais quente, se expande ficando menos denso e é substituído por ar mais frio. A transmissão de calor por convecção é classificada de acordo com o modo de movimentação do fluído. O fluído pode ser movimentado de uma forma natural e aí diz-se que se trata de convecção natural, ou o fluído pode ser movimentado por acção de um ventilador, neste caso temos a convecção forçada.

### 2.5.3 Colectores de energia solar

Os colectores de energia solar, usualmente são classificados em colectores planos e colectores focais. Os colectores planos podem ser estáticos, assim como podem ser movidos para acompanhar as estações do ano. Porém os colectores focais são movidos todo o dia para acompanhar o movimento do sol. Geralmente os colectores planos são os mais baratos e estes têm a capacidade de aproveitar tanto a radiação directa como a radiação difusa. Portanto os colectores planos funcionam tanto em dias claros como em dias nublados, o que já não acontece com os colectores focais, que só captam a radiação directa, e como consequência só funcionam em dias claros e produzem altas temperaturas. Em ambos os casos recomenda-se que a superfície colectora seja o mais negra possível para que possa absorver a maior parte da radiação disponível, e refletir uma quantidade desprezível (Daniels, 1977).

Os colectores de radiação solar convertem a radiação solar em calor, e esta conversão tem lugar no chamado absorvedor do colector. O absorvedor geralmente é feito de material de alto coeficiente de absorção e condutibilidade como o ferro, cobre, ou alumínio. O absorvedor pode ser substituído pelo enegrecimento da superfície interna do colector, porque assim também é possível absorver grande parte da radiação. (Daniels, 1964).

A cobertura dos colectores, é feita com plástico ou vidro, porque estes são transparentes e por causa desta propriedade deixam passar a radiação. A radiação solar de comprimento de onda inferior a 2.5 micrometros, pode passar através da cobertura de plástico ou vidro, mas a radiação infravermelha de grande comprimento de onda, que o absorvedor emite, não pode voltar a sair pelo vidro ou plástico porque esta é absorvida e desta maneira temos o efeito estufa (Daniels, 1977). Segundo o mesmo autor quando a radiação continua incidindo sobre a superfície escura receptora, a temperatura aumenta e as perdas de calor também aumentam, até que se chegue a um ponto em que se estabelece o equilíbrio, em que o calor recebido é igual ao calor útil mais o calor perdido.

Como forma de reduzir as perdas de calor no colector usam-se duas ou mais lâminas de plástico ou vidro como cobertura, deixa-se entre elas camadas de ar estancado. Com o ar estancado a diferença

entre a temperatura das lâminas de cobertura e o exterior é minimizada, porque o ar não está em movimento entre as lâminas e assim é reduzida a perda de calor por convecção. Por outro lado, estas camadas de cobertura são maus condutores caloríficos e funcionam a uma temperatura mais baixa que a do absorvedor (Wengert citado por Santine 1981).

A eficiência dos colectores planos pode ser melhorada com a aplicação de uma camada anti-reflectiva na cobertura transparente (Williams, 1974).

A equação de equilíbrio de um colector segundo (Daniels 1977) é a seguinte

$$CA = q_0 A = q_u A + (q_r + q_a + q_c) A \quad (2.7)$$

Onde:

$C$  é o fluxo total de energia solar recebida por unidade de superfície, expressa-se em  $\text{Cal/cm}^2\text{min}^2$  ou  $\text{kw.cm}^2$

$A$  é a área total do receptor.

$q_0$  = absorção de energia radiante por unidade de tempo e unidade de área.

$q_0 A$  = calor radiante absorvido por unidade de tempo em superfície total do receptor.

$q_u A$  = energia calorífica útil

$q_a A$  = perdas de calor por convecção

$q_c A$  = perdas de calor por condução do colector através do isolamento e da estrutura de suporte.

$q_r A$  = perdas de calor por radiação do receptor para o ar

O calor útil recolhido é o calor que dispomos dele para a secagem, e é dado pela equação:

$$q_u A = q_0 A - (q_r + q_a + q_c) A \quad (2.8)$$

(Os serviços meteorológicos geralmente fornecem a radiação em uma superfície horizontal ( $C_h$ ), mas como os colectores usados normalmente têm uma determinada inclinação que permite a melhor colecção de radiação solar, então deverá ser conhecida a relação entre a radiação recebida em superfície horizontal e a recebida por uma superfície inclinada. Pode-se calcular esta relação a partir do coseno do ângulo de incidência da radiação directa. Também pode ser determinado o fluxo total

de energia recebida por unidade de superfície (c) com um medidor calibrado, e inclinado ao mesmo ângulo do colector plano (Danieles, 1977).

Nos colectores há três formas de perdas de calor: perda por radiação, convecção e condução. As perdas de calor por convecção, aumentam muito com a velocidade do vento, e a diferença de temperaturas entre o receptor e o ar, e as perdas de calor por condução e radiação também aumentam muito com o aumento da temperatura.

A transmissividade e absorvidade dos vidros e plásticos varia muito. Por exemplo o vidro de boa qualidade absolutamente transparente, pode absorver somente 3 a 4% da radiação solar que o atravessa. A transmissividade e absorvidade dependem da espessura das lâminas, e para se atingir uma grande transmissividade as lâminas devem ser tão delgadas quanto possível, desde que seja compatível com a resistência mecânica. Por outro lado se a superfície do plástico tiver imperfeições tais como um grumulo, grande parte da radiação se desvia e se reduz seriamente a transmissão (Daniels, 1977).

#### **2.5.4 Inclinação do tecto**

Os colectores podem ser colocados horizontalmente, verticalmente, ou inclinados, mas para possibilitar o aumento da quantidade de calor absorvido dentro do secador, a superfície colectora deve ser inclinada da melhor maneira possível, para permitir que os raios solares atinjam a superfície colectora perpendicularmente porque assim permite-se o aproveitamento máximo da radiação solar e minimizam-se as perdas. A inclinação do tecto é escolhida de acordo com a latitude, estação do ano e declinação dos raios solares, mas torna-se difícil ajustar o ângulo de hora em hora ou mesmo diariamente, e assim definiu-se que no inverno a inclinação do tecto seja igual à latitude mais dez a quinze graus, e no verão a inclinação seja igual à latitude menos quinze graus (Daniels, 1977).

## 2.6 Metodologia de cálculo dum secador

A metodologia de cálculo de um secador está baseada na aplicação das equações de transferência de calor e de massa ( Pávlov& Romanov& Naskov citado por Chilaúle 1996)

### 2.6.1 Balanço energético de um secador

A equação básica do balanço energético é a seguinte:

$$Q = Q_r - Q_p \quad (2.9)$$

onde:

Q-é o calor útil para a secagem

Q<sub>r</sub>-é o calor recebido pela estufa

Q<sub>p</sub>- é o calor perdido

Por sua vez, o calor recebido, é dado pela seguinte formula:

$$Q_r = t * a * Q_m \quad (2.10)$$

onde:

t - é a transmissividade do material de cobertura  $q_1$

a - é a absorptância do material que recebe o calor que passa pela cobertura transparente.  $q_2$

Q<sub>m</sub>- radiação global é dado pelo serviço meteorológico.

O calor perdido é calculado pela seguinte equação:

$$Q_p = q_l + q_{cob} + q_b \quad (2.11)$$

onde:

q<sub>l</sub> - é o calor perdido pelas faces laterais da estufa

q<sub>cob</sub> - é o calor perdido pela cobertura

q<sub>b</sub> - é o calor perdido pela base

### 2.6.1.1 Perdas de calor pela base do secador

As perdas de calor na base do secador, dão-se através da placa de madeira por condução e outra parte do calor se perde da base para o meio ambiente por convecção. As perdas de calor na base são calculadas pela seguinte formula:

$$Q_b = \frac{A_b}{Rt} * (t_p - t_{amb}) = \frac{A_b * (t_p - t_{amb})}{\frac{x_b}{k_m} + \frac{1}{\alpha_{amb}}} \quad (2.12)$$

onde:

$A_b$  - é a área da base da estufa usada na experiência

$Rt$  - é a resistência térmica na base do secador

$t_p$  - é a temperatura da placa negra

$t_{amb}$  - é temperatura do ambiente

$k_m$  - é a condutibilidade térmica da madeira

$x_b$  - é a espessura da madeira na base

$\alpha_{amb}$  - é o coeficiente de transferência de calor por convecção natural da base para o ar ambiente

### 2.6.1.2 Perdas de calor pelas paredes laterais

As perdas de calor nas partes laterais do secador dão-se entre as paredes laterais, e o ar que circunda a estufa na parte interior e exterior. A fórmula para o calculo das perdas laterais é a seguinte:

$$Q_l = \frac{A_l}{R} * (t_{li} - t_{amb}) = \frac{A_l * (t_{li} - t_{amb})}{\frac{1}{\alpha_{ar}} + \frac{x_l}{k_m} + \frac{1}{\alpha_{amb}}} \quad (2.13)$$

onde:

$A_L$  - é a área lateral da estufa

$x_l$  - é a espessura da parede lateral

$R_l$  - é a resistência térmica por condução e convecção na parede lateral do secador

$t_{li}$  - é a temperatura interna da parede lateral

$t_{amb}$  - é a temperatura ambiente.

$\alpha_{amb}$  - é o coeficiente de transferência de calor por convecção natural da parede lateral para o ambiente

$\alpha_{arc}$  - é o coeficiente de transferência de calor por convecção natural da parede lateral para o ar dentro da estufa.

### 2.6.1.3 Perdas de calor pela cobertura de vidro

As perdas de calor na cobertura dão-se do vidro para o ar ambiente e do vidro para o ar no interior da estufa. As perdas de calor no vidro são calculadas pela seguinte formula:

$$Q_{cob} = \frac{A_v}{R_l} * (t_{vi} - t_{amb}) = \frac{A_v * (t_{vi} - t_{amb})}{\frac{1}{\alpha_{ar}} + \frac{x_v}{k_v} + \frac{1}{\alpha_{amb}}} \quad (2.14)$$

onde:

$A_v$  - é a área da cobertura de vidro

$R_l$  - é a resistencia térmica

$t_{vi}$  - é a temperatura interna do vidro

$t_{vamb}$  - é a temperatura do vidro externa

$x_v$  - é a espessura do vidro

$k_v$  - é a condutividade térmica do vidro

$R_v = x_v/k_v$

$\alpha_{ar}$  e  $\alpha_{amb}$ , são os coeficientes de perda de calor por convecção na cobertura de vidro para o ar dentro da estufa e da cobertura para o ar ambiente.

### 2.6.1.4 Quantidade de calor que deve ser fornecido ao secador (calor necessário)

A quantidade de calor a fornecer a um secador de aquecimento directo divide-se em três partes, que são: o calor necessário para elevar a temperatura do material e da água do material à temperatura do

regime; a quantidade de calor necessário para vaporizar a água, e a quantidade de calor perdido ou cedido ao ambiente ( Chilaúle 1996).

Então, a quantidade de calor a ser fornecido pelo ar ao secador para retirar a humidade ou o calor necessário, é calculado com a seguinte equação: ( Salmon citado por Chilaúle 1996).

$$Q_{nec} = M \left[ \left( \frac{100 - x_{wi}}{100} \right) c_s + \frac{x_{wi}}{100} c_{pa} \right] * (t_e - t_i) + M \left( \frac{x_{wi} - x_{wf}}{100} \right) * r + Q_p \quad (2.15)$$

onde:

M - é a massa do produto a secar em kg ✓

$x_{wi}$  - é a humidade inicial em percentagem na base húmida ✓

$x_{wf}$  - é a humidade final em percentagem na base húmida ✓

$c_s$  - é o calor específico do produto a secar ✓

$c_{pa}$  - é o calor específico da água que ✓

r - é o calor latente de vaporização da água à temperatura do produto ✓

$t_i$  - é a temperatura inicial do produto a secar ✓

$t_e = t_{pr}$  - é a temperatura de exercício ( temperatura do produto)

$Q_p$  - é o calor perdido que é resultado da soma das perda de calor pelas paredes laterais, base, e cobertura de vidro.

A humidade na base húmida é dada pela seguinte equação:

$$x_w = \frac{p_h - p_s}{p_h} \times 100 \quad (2.16)$$

onde:

$p_h$  - é o peso húmido

$p_s$  - é o peso seco

## 2.6.2 Balanço mássico de um secador

A equação do balanço mássico do secador é a seguinte:

$$M_s \cdot X_{si} + L_s \cdot Y_{si} = M_s \cdot X_{sf} + L_s \cdot Y_{sf} \quad (2.17)$$

onde:

$M_s$  - é a massa seca da madeira

$X_{si}$  - é a humidade inicial da madeira na base seca

$Y_{si}$  - é a humidade do ar no início da secagem

$L_s$  - é a massa do ar seco.

$X_{sf}$  - é a humidade final da madeira na base seca

$Y_{sf}$  - é a humidade do ar no final da secagem

### 2.6.2.1 Quantidade de ar seco

$$I_s = M_s * \frac{X_{si} - X_{sf}}{Y_{sf} - Y_{si}} \quad (2.18)$$

### 2.6.2.2 A quantidade de ar necessária para secar a madeira (em kg)

$$L_i = L_s + L_{ai} = L_s + L_s * Y_{si} = L_s (1 + Y_{si}) \quad (2.19)$$

onde

$L_{ai}$  - é a quantidade de água no ar

$L_i$  - é a quantidade de ar a entrada

## 2.7 Factores que influenciam a secagem em estufa solar

### 2.7.1 Escolha do material de construção

Há vários tipos de colectores consoante a forma da superfície exterior, a forma da superfície de absorção e o meio de acumular, mas o objectivo dos colectores solares é captar a radiação solar com a maior eficiência possível (Sabady 1979).

A escolha do material para a estufa solar é influenciada por três factores principais: a translucidez, durabilidade, e o custo. A translucidez é muito importante pois quanto maior for esta propriedade, maior será a passagem de raios solares através do material para dentro da estufa. O vidro plano transparente é provavelmente o melhor material sob este ponto de vista mas, tem o inconveniente de

exigir uma estrutura mais rígida do que aquela necessária para lonas de polietileno ou lonas de polivinil cloreto. O polietileno comum tem uma transparência razoável, preço acessível, mas de muito baixa durabilidade (Ponce & Watai 1985).

A maioria dos secadores existentes no mundo para secagem de madeira, aquecidos com energia solar são constituídos de uma estrutura de madeira, coberta com um material transparente nas faces que recebem a incidência dos raios solares. O material usado como cobertura tem sido normalmente plástico fino de 0.05 a 2.0mm de espessura, como polivinil cloreto(PVC), polivinil fluoreto (PVF), poliéster resistente, ou polietileno,etc (Sharma citado por Santini1981).

### 2.7.2 Orientação do secador

Para receber uma insolação máxima, o tecto e as superfícies transparentes do secador são orientados para o equador, ou seja, quando a estufa está localizada no hemisfério sul, os colectores estão orientados na direcção norte. Isto permite otimizar o ângulo de incidência dos raios solares e assim permite-se que os raios solares sejam recebidos com incidência mais directa (Vital & Collom citado por Santini1981).

Alguns autores recomendam que o colector principal forme um ângulo com a horizontal igual à latitude do lugar; outros aconselham um ângulo igual à latitude mais 10 graus. Desta maneira, em regiões de baixa latitude os colectores devem ser quase horizontais; quanto mais longe do equador, maior deve ser a inclinação dos mesmos (Ponce & Watai 1985). (Banks citado por Santini 1981), defendendo o mesmo princípio, diz que, para possibilitar a máxima absorção de energia dentro do secador, a superfície transparente ou coletora deve ser inclinada a um plano normal dos raios solares. Segundo (Cabirol 1980) sustenta o mesmo princípio, dizendo que na implantação dos colectores solares a melhor exposição é sempre orientados paralelamente ao equador, embora um pequeno desvio para este ou oeste até 20 a 30 graus que torna a instalação dos colectores mais simples, não tenha grande inconveniente, pois a energia que neste caso se perde é inferior a 10%.

### **2.7.3 Isolamento do secador**

Todas as faces de uma estufa solar onde se incluem superfícies transparentes, parede sólida e base, precisam de ser bem isoladas pois uma consideração importante no desenho do secador é a minimização das perdas de calor (Gough citado por Santini 1981).

Estudos feitos por Wengert (citado por Santini 1981) com o objectivo de detectar as fontes de perdas de calor, evidenciaram que o motivo da grande parte do calor perdido foi o isolamento deficiente da cobertura, paredes e base. Assim foi sugerido o uso de camadas duplas de materiais transparentes na cobertura.

A estufa deve ter, abaixo da cobertura, um forro falso, confeccionado em folha de metal, lona negra ou outro material pintado de preto. Sua função é absorver energia solar e permitir a orientação da circulação do ar dentro da câmara. Devem ser instaladas pequenas aberturas, de modo a proporcionar a entrada de ar fresco e saída do ar saturado de humidade, resultante do processo de secagem (Ponce & Watai 1985).

### **2.7.4 Sistema de ventilação**

O sistema de ventilação composto de um ou mais ventiladores, tem como função fazer com que o ar circule através da pilha de madeira, passando também entre o forro falso e o tecto, transportando assim o ar aquecido pela radiação solar. O ventilador deve permitir uma boa movimentação de ar, pois são necessárias velocidades em torno de 1m/seg através da pilha, para que haja uma boa uniformidade de secagem. (Ponce & Watai 1985).

## **2.8 Modelo de secador solar desenhado para a secagem de madeira (Mujumdar, 1987)**

O secador solar desenhado para secar madeira precisa de um ventilador de pequena potência para manter o fluxo do ar. Isto porque, como se trata de secagem de madeira que é um material que fornece grande barreira ao fluxo de ar natural, precisa-se de um aumento da taxa do fluxo de ar para

que haja melhor circulação do ar. A estrutura do secador é simples e o seu custo comparado ao da estufa convencional é baixo. A figura 2.3 mostra-nos a estrutura esquemática do secador solar, onde se tem a pilha de madeira(1), a parede sul bem isolada(2), o telhado (3), a parede norte (4) e as paredes laterais são feitas de placas de plástico transparentes de duas camadas. O secador é construído sobre uma base de concreto(5), a radiação solar entra através das paredes transparentes e aquece o absorvedor de alumínio pintado a preto(6). O fluxo de ar fornecido por um ventilador (7) flui ao longo dos dois lados do absorvedor(6), uma parte do mesmo ar entra na pilha através da parte de trás e outra parte através da parte de baixo. O ângulo de inclinação do absorvedor (6) é ajustável, e torna possível o controlo da quantidade de ar fornecido directamente e circulado na pilha. A proporção de ar frio e húmido que é recirculado pode ser modificada através de aberturas simples (8).

O volume do fluxo do ventilador é de  $2.5\text{m}^3/\text{seg}$ , com pressão de 180 pascais. Dependendo da largura do secador, um ou vários ventiladores podem ser instalados, por exemplo dois ventiladores são necessários para um secador de 5,64m de largura.

A altura da parede sul é de 2,50m, a largura da estufa é de 3.05m, e a estufa tem capacidade de secar um volume de 5 a  $9\text{ m}^3$  de madeira.

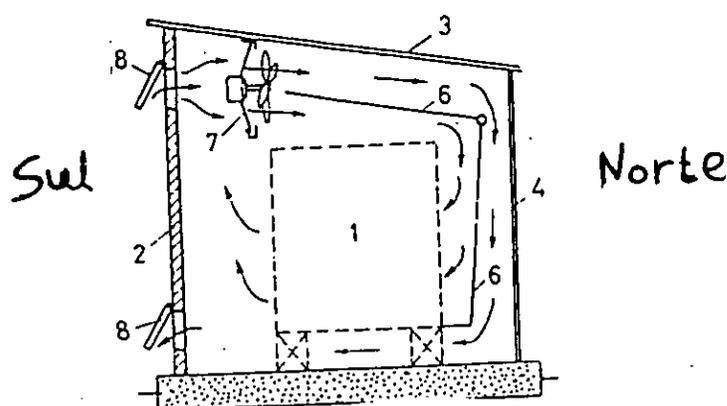
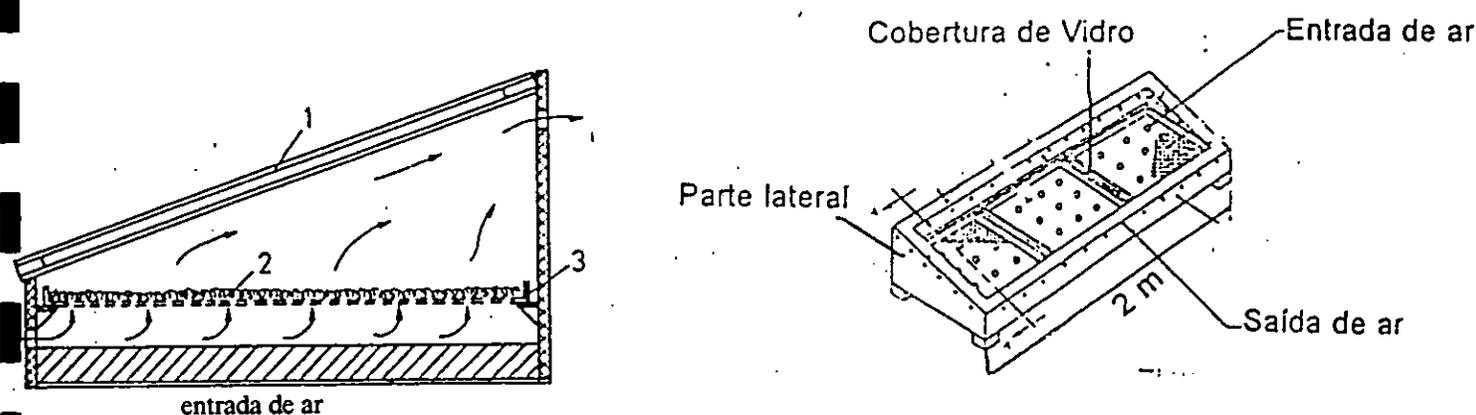


fig.2.5- Modelo de um secador solar, com ventilador (Muyumdar,1987)

### 3. Parte experimental

#### 3.1 Características da estufa solar usada no experimento

Na experiência de secagem solar foi usado um secador do tipo gabinete, no qual o calor necessário para a secagem é obtido através da radiação solar que passa através duma cobertura de vidro transparente orientada para o norte. As outras paredes do secador são opacas, têm a placa inferior perfurada, onde o ar flui através das perfurações por convecção natural, e sai através da parte superior da estufa que também é perfurada e pelas paredes laterais que têm na parte superior duas aberturas rectangulares. Por baixo da placa negra tem um pequeno vão, onde se coloca o material de isolamento. O desenho do secador é simples, o custo da estufa é baixo e a estufa é apropriada para secar quantidades pequenas de 10 a 20 kg de material granular. A figura 3.1 mostra o esquema do secador solar usado na experiência, com as seguintes dimensões: altura maior com 38cm, altura menor com 23cm, largura com 68cm, o comprimento com 200cm, e a inclinação de 13°.



entrada de ar

fig3.1- estufa solar usada no experimento:( Muyumdar, citado por Chilaúle 1996)

#### 3.2 Tipos de ensaios feitos

##### 3.2.1 Ensaio sem produto

O ensaio sem produto decorreu nos dias 5,6,e 7 de Fevereiro de 1997,e o objectivo deste ensaio foi o de verificar as temperaturas e humidade do ar dentro da estufa, e comparar com as temperaturas e humidade do ar ambiente.

### **3.2.2 Ensaio de secagem**

O ensaio de secagem decorreu desde o dia 14 de Fevereiro até o dia 30 de Maio, portanto teve a duração de 104 dias. O objectivo deste ensaio foi o de verificar a duração de secagem de madeira em estufa solar em que o ar flui por convecção natural, bem como controlar a variação das condições de secagem.

### **3.3 Material e método**

Para a medição da temperatura foram usados 5 termómetros dos quais três destinaram-se a medir a temperatura do ar no interior da estufa e foram distribuídos uniformemente ao longo da estufa, um foi colocado no extremo este, outro no extremo oeste e o terceiro no meio da estufa; o quarto termómetro foi colocado na madeira para fornecer a temperatura desta, e o último foi colocado na placa negra, para medição da temperatura da placa. Para determinar a humidade do ar ambiente e do ar dentro da estufa, usou-se o mesmo psicrómetro, através do qual foram tiradas as temperaturas do bulbo seco e do bulbo húmido, e através de diagramas psicrométricos foram lidas as humidades relativa e absoluta correspondentes.

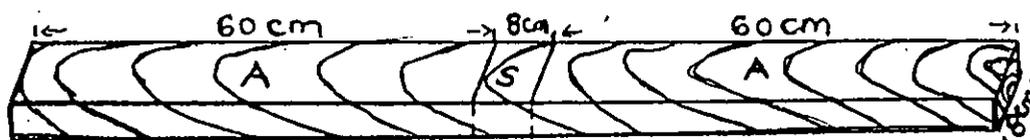
Usou-se uma estufa de marca GALLEKMB OVEN 300 à temperatura de 103°C para secar as amostras de determinação da humidade inicial, e para secar os separadores. Para determinar a humidade inicial da madeira, e controlar o decréscimo da humidade ao longo da secagem, foi usada uma balança analítica de marca METTLER PE 6000, com a precisão de 0.00, para efectuar as pesagens, e o cálculo foi feito segundo a equação (3.3) que é apresentada mais adiante.

### **3.4 Metodologia de preparação do material de secagem**

Foi escolhido um toro verde de madeira de umbila, com boa aparência, de onde foram preparadas as amostras de secagem, os separadores, e as amostras para a determinação da humidade inicial da madeira.

Do toro foram serradas duas tábuas de 2.5cm e as restantes tábuas de 3.75cm. Das tábuas com 2.5cm, foram preparados os separadores com as seguintes dimensões: 2.5cm de espessura e de largura, e 15cm de comprimento.

Na preparação das amostras para a secagem escolheram-se as melhores tábuas, sem defeitos, com grã direita, foi eliminado o borne, depois foram cortadas tábuas menores de 8cm de largura. Destas tábuas menores, em cada uma delas foram preparadas, secções quadradas de 8cm de cada lado, para a determinação da humidade inicial da madeira. Ainda em cada tábua menor de 8cm de largura foram preparadas duas tábuas de 60cm de comprimento que serviram de amostras de secagem, através das quais controlou-se o decréscimo do teor de humidade ao longo da secagem. A figura 5 esquematiza o modo de preparação das amostras.



S- secção que foi usada para determinação da humidade inicial

A- amostras de secagem

fig.3.2- esquema de preparação das amostras de secagem

As tábuas de secagem por serem de dimensões relativamente pequenas foram seladas nas extremidades com tinta preta para evitar a influência do fluxo longitudinal, porque este fluxo em tábuas maiores de serviço, não tem muita influência na secagem e assim a secagem foi feita pela face radial em todas as amostras.

No ensaio de secagem foram usadas 6 amostras, as quais foram enumeradas para facilitar o seu controle, e distribuídas arbitrariamente dentro da estufa em duas pequenas pilhas, de três peças em

cada pilha. Cada pilha foi colocada numa das extremidades da estufa( este e oeste), porque a estufa tem duas pequenas portas nos dois extremos, as quais foram usadas para colocar e retirar a madeira, durante a secagem. Na parte central da estufa não foi possível colocar madeira, porque a própria estrutura da estufa não permite que essa operação seja feita com facilidade, assim a parte central durante a secagem ficou vazia porque toda a madeira precisava ser retirada durante a secagem para o controle do decréscimo da humidade.

No lado esquerdo da estufa (este) foram colocadas as peças 5,2, e 4 e no lado direito (oeste) foram colocadas as peças 3,6, e 1, como se pode ver no esquema abaixo (fig.3.3) que mostra a distribuição das peças nas duas pilhas de madeira. As peças em secagem mantiveram-se na mesma posição até o final da secagem.

lado esquerdo(este)



lado direito (oeste)

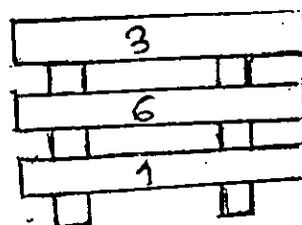


fig.3.3 esquema que mostra a distribuição das peças nas pilhas

### 3.5 Método de determinação da humidade inicial da madeira

Depois de preparadas as secções de 8cm de cada lado, para a determinação da humidade inicial, foi tirado o peso húmido das secções( $p_u$ ), em seguida foram secadas na estufa a 103°C, até atingir-se o peso constante ( $p_s$ ) e o teor de humidade inicial em percentagem foi calculado pela seguinte equação:

$$u = \frac{p_u - p_s}{p_s} \times 100 \text{ (Mendes \& Jankowsky, 1985).} \quad (3.1)$$

Foi calculado o valor médio de todas as secções que corresponde à chamada humidade inicial da madeira.

As amostras de secagem depois de serem preparadas e impermeabilizadas nas extremidades com tinta preta, foram pesadas obtendo-se assim o peso inicial ( $p_i$ ). Depois estimou-se o peso seco de cada amostra com a seguinte formula:

$$p_w = \frac{p_i \times 100}{u_i + 100} \text{ (Mendes \& Jankowsky, 1985).} \quad (3.2)$$

Para o control do decréscimo da humidade durante a secagem, as amostras da estufa foram pesadas, tendo-se assim o peso da madeira a qualquer momento ( $p_q$ ). Então a humidade foi obtida usando a seguinte formula:

$$u_q = \frac{p_q - p_{se}}{p_{se}} \times 100 \text{ (Mendes \& Jankowsky, 1985).} \quad (3.3)$$

## 4. Cálculos e tratamento dos resultados

### 4.1 Balanço calórico

A ideia fundamental deste balanço energético, é que o calor recebido no colector solar, vindo da radiação solar é igual ao calor útil para a secagem, mais o calor que se perde pela estrutura do secador donde resulta que o calor necessário deverá ser igual ou aproximado ao calor útil.

#### 4.1.1 O calor recebido

Quando os raios solares incidem sobre uma superfície, a sua temperatura eleva-se e fica maior que a do ar que rodeia a superfície, isto porque a energia solar é absorvida pela superfície. Se esta superfície aquecida pela radiação solar for a superfície de cobertura de um colector, em que por baixo dela o ar circula, este ar também vai aquecer, e a rapidez com que o ar aquece depende da quantidade de calorias úteis que o sol fornece e da eficiência do colector solar, em termos de absorvidade e transmissividade do material de cobertura, e dos elementos de armazenamento. O calor recebido por um colector tem uma relação directa com a radiação solar, e com a transmissividade e absorvidade do material de cobertura, como se pode ver na equação (2.10)

$$Q_r = a \cdot t \cdot Q_m$$

onde:

t-é a transmissividade do vidro= 0.92

a- é absortancia da placa negra =0.98

$Q_m$  -é a radiação global recebida numa superfície plana que é dada pelo serviço Meteorológico, os seus valores estão no anexo VI

Como o colector plano usado no experimento tem a inclinação de  $13^\circ$ , o calor recebido será multiplicado pelo cosseno deste angulo, para ter-se a quantidade real de radiação recebida.

Tabela 4.4 - calor recebido (dados fornecidos pelo Serviço Meteorológico)

tempo(dias)	$Q_m$ (cal/cm <sup>2</sup> )	$Q_m$ (cal/cm <sup>2</sup> ) * cos 13°	$Q_m$ (kj/cm <sup>2</sup> ) * cos 13°
14.02-28.02	7024	6843.97	28,745
1.03-31.03	13869	13513.54	56.757
1.04-30.04	12740	12413.47	52.137
1.05-30.05	9928	9673.5	40.628

A radiação global média diária recebida no colector, pode ser calculada sabendo que:

-a duração da secagem foi de 104 dias, 245

-a radiação global total, recebida pelo colector com a inclinação de 13° durante os 104 dias

$$= 178.267 \text{ kj/cm}^2$$

- a área do vidro do secador é de  $0.845 \text{ m}^2 = 8450 \text{ cm}^2$

$$\text{O calor recebido multiplicado pela área temos: } 178.26 \text{ kj/cm}^2 \cdot 8450 \text{ cm}^2 = 1506297 \text{ kj}$$

A média diária da radiação global recebida é igual a  $1506297 \text{ kj} / 104 = 14483.62 \text{ kj/dia}$ . Cada dia tem 24 horas, então temos  $14483.62 \text{ kj} / 24 = 603.5 \text{ kj/h}$ , Sabendo que em cada dia temos aproximadamente

$$9 \text{ horas de insolação temos } 603.5 \text{ kj/h} \cdot 9 \text{ h} = 5431.36 \text{ kj/dia}$$

Escolhe-se arbitrariamente um período para fazer o balanço energético (desde dia 03.03 até o dia 07.03). Para o período escolhido de 4 dias o calor recebido pela estufa será de  $5431.36 \text{ kj/dia} \cdot 4 \text{ dias} = 21725.43 \text{ kj}$

#### 4.1.2 Cálculo de perdas de calor

Na verdade o calor que chega à estufa da radiação solar, uma parte deste calor é perdida pela base do secador, pelas paredes laterais, e pela cobertura de vidro e estas perdas dão-se por radiação, condução e convecção. Neste trabalho considera-se que as perdas de calor por radiação são nulas, porque segundo (KREITH, 1973), nos problemas de engenharia envolvendo temperaturas que se aproximam da temperatura atmosférica, as perdas de calor por radiação podem ser desprezadas.

#### 4.1.2.1 Cálculo de perdas de calor pela base do secador

São calculadas pela equação (2.12)

$$Q_b = \frac{A_b}{Rt} * (t_p - t_{amb}) = \frac{A_b * (t_p - t_{amb})}{\frac{x_b}{k_m} + \frac{1}{\alpha_{amb}}}$$

onde:

$A_b$  - é a área da base da estufa usada na experiência( 1.36m<sup>2</sup>)

$Rt$  - é a resistencia térmica na base do secador

$t_p$  - é a temperatura da placa negra

$t_{amb}$  - é temperatura do ambiente

$Kt$  - é a condutibilidade térmica da madeira

$x_b$  - é a espessura da madeira na base

$\alpha_{amb}$  - é o coeficiente de transferência de calor por convecção natural da base para o ar ambiente

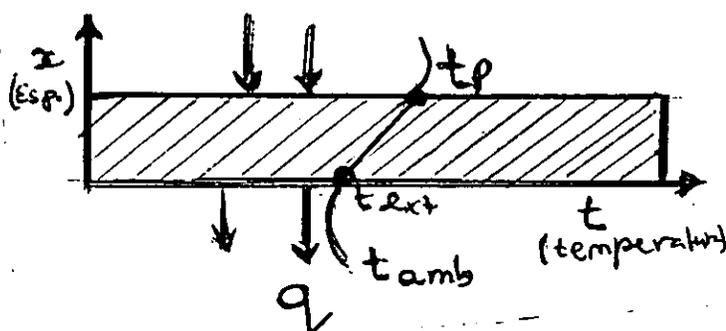


Fig. 4.1 Esquemática da perda de calor pela base

O coeficiente de transferência de calor por convecção natural da base para o ar ambiente ( $\alpha_{amb}$ ), foi calculado, sabendo que, os coeficientes médios de transferência de calor por convecção natural podem ser representados pela seguinte relação funcional:

$$Nu = c(Gr_f Pr_f)^m \quad (4.1)$$

onde:

Nu- Nusselt,

Gr- Grashof

Pr- Prandtl.

Segundo Holman (1983) a equação simplificada para convecção natural de superfícies do tipo placa horizontal para o ar à pressão atmosférica e quando o regime é laminar ( $Gr \cdot Pr$  menor que  $10^9$ ) é:

$$\alpha_{amb} = 1.32 \times \left( \frac{\Delta t}{L} \right)^{1/4} \quad (4.2)$$

onde :

$$\Delta t = t_p - t_{amb}$$

$t_p = t_b$  (temperatura externa da base)

L - é dimensão horizontal = 2m.

$$Gr = \frac{g\beta(t_p - t_{amb}) \cdot x^3}{\nu^2} \quad (4.3)$$

sendo:

g - é aceleração de gravidade e o seu valor é  $9.8 \text{ m}^2/\text{s}$

$\beta$ - é o coeficiente de expansão volumétrica do ar ,  $\beta = 1/T = 1/(t+273) =$

$$1/(60 \text{ }^\circ\text{C} + 273) = 3.10 \cdot 10^{-3} / \text{ }^\circ\text{C}$$

x- é a dimensão característica e o seu valor é 2m

$\nu$ - é a viscosidade cinemática do ar e o seu valor é  $1.78 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ .

$$\text{Então: } Gr = \frac{9.8 \cdot 0.0031 \cdot 2^3 \cdot \Delta t}{(1.78 \cdot 10^{-5})^2} = 7.67 \cdot 10^8 \Delta t.$$

Para o meio ambiente o prantl (Pr) é 0.7. Segundo Holman(1983) quando o produto de  $Gr \cdot Pr$  é menor que  $10^9$  significa que o regime de convecção é laminar

$$\text{Segundo Kreith(1973), quando o regime é laminar } Nu = 0.54(GrPr)^{1/4} \quad (4.4)$$

$$Nu = \alpha_{amb} \cdot l/k \quad (4.5)$$

onde :

k-é condutibilidade térmica do ar =0.028w/m°C

$$\alpha_{amb} = \frac{Nu * k}{l} = Nu * \frac{0.028}{2} = Nu * 0.014 w/m^2 \text{ } ^\circ C.$$

O coeficiente de transferência de calor por convecção natural da base para o ar ambiente pode ser calculado usando a equação simplificada( 4.2)

$$t_{amb} \text{ média} = 28.23 \text{ } ^\circ C$$

$$t_{be} \text{ média} = 29.23 \text{ } ^\circ C$$

$$\Delta_t = 0.33 \text{ } ^\circ C$$

$$\alpha_{amb} = 1.32(0.33/2)^{1/4} = 0.84 w/m^2 \text{ } ^\circ C.$$

E para o caso concreto do dia 24/02/97 em que,

$$t_{amb} = 26 \text{ } ^\circ C$$

$$t_{bex} = 26.5 \text{ } ^\circ C \text{ ( temperatura da base externa)}$$

$$\alpha_{amb} \text{ para este dia é igual a } 1.32(0.5/2)^{1/4} = 0.93 w/ \text{ } ^\circ C m^2 .$$

Este valor de  $\alpha_{amb}$  para o dia concreto 24/02/97 não difere muito do valor de 0.96 w/  $^\circ C m^2$  que se obtém usando a equação (4.5) cujos resultados, podem ser vistos na tabela (4.1) e isto indica-nos que as fórmulas sinplificadas sugeridas por (Holman1983) são aplicáveis porque os resultados são aproximados aos resultados obtidos usando as fórmulas directas sugeridas por (Kreith, 1973).

Também verifica-se que o valor médio de 0.84 w/m<sup>2</sup>°C calculado pela equação (4.2) não difere muito do valor de 0.93w/  $^\circ C m^2$  que foi obtido usando a mesma equação para o caso concreto do dia 24.02.97, isto mostra que se pode trabalhar com valores médios.

Usando a equação (4.5) foi possível calcular os coeficientes de perda de calor da base para o ambiente correspondentes a todos os dias da experiência, cujos resultados podem ser vistos na tabela (4.1) que também mostra as perdas de caloe pela base do secador, no cálculo das perdas de calor foi necessário saber qual é a resistência termica da base, assim:

$$x_m = 0.02m, \text{ (espessura da base)}$$

$$K_m = 0.205w/m^2 \text{ } ^\circ C \text{ (conductividade termica da base)}$$

$$\text{então a resistência térmica da base é: } R_b = x_b / k_b = 0.02/0.205 = 0.09756 \text{ } ^\circ C m^2 / w.$$

Tabela 4.1 - perdas de calor pela base do secador durante os dias de secagem

data	dias	$t_{amb}$ (°C)	$t_p$ (°C)	$t_{bex}$ (°C)	$Gr^*$ $10^8$	Nu	$\alpha_{amb}$ w/ °C m <sup>2</sup>	$1/\alpha_{amb}$ °C m <sup>2</sup> /w	$x_b/k_m$ °C m <sup>2</sup> /w	$Q_b$ w
14.02	0.0	26.13	33.0	27.0	6.67	44.68	0.6	1.66	0.09756	5.32
17.02	3.0	28.25	35.18	30.0	13.42	94.53	1.3	0.76	0.09756	10.99
19.02	5.0	28.64	36.06	31.0	18.1	101.8	1.43	0.69	0.09756	12.81
21.02	7.0	31.5	44.13	33.0	11.5	90.96	1.27	0.78	0.09756	19.57
24.02	10.0	26.0	30.9	26.5	3.84	69.14	0.96	1.04	0.09756	5.86
26.02	12.0	31.86	44.93	33.7	14.1	95.7	1.34	0.75	0.09756	20.97
28.02	14.0	27.5	34.58	28.0	3.84	69.14	0.96	1.04	0.09756	8.46
03.03	17.0	35.43	51.1	36.33	6.9	80	1.12	0.89	0.09756	21.58
05.03	19.0	31.875	40.67	32.25	2.87	64.28	0.9	1.11	0.09756	9.91
07.03	21.0	33.7	45.02	33.78	0.61	43.65	0.61	1.64	0.09756	8.86
10.03	24.0	32.9	43.2	32.3	4.6	72.34	1.0	1.0	0.09756	12.76
14.03	28.0	32.9	45	29.37	27	112.59	1.57	0.64	0.09756	22.31
19.03	33.0	31.4	42.4	30.4	7.67	82.19	1.15	0.87	0.09756	15.46
24.03	38.0	30.9	44,57	31.2	2.3	60.8	0.85	1.18	0.09756	14.55
31.03	45.0	28.625	41.0	30.33	13	93.78	1.31	0.76	0.09756	19.63
04.04	49.0	26.83	39.33	26.66	1.3	52.74	0.73	1.37	0.09756	11.58
09.04	54.0	29.0	38.25	28.875	0.96	48.89	0.68	1.47	0.09756	8.03
14.04	59.0	28.25	44.37	29.5	9.58	86.89	1.22	0.82	0.09756	23.89
18.04	63.0	33.37	43.3	34.37	7.67	82.19	1.15	0.86	0.09756	14.10
30.04	75.0	27.27	41.25	27.75	3.68	68.41	0.96	1.04	0.09756	16.71
05.05	80.0	25.75	32.75	26.63	6.75	79.6	1.11	0.9	0.09756	9.54
09.05	84.0	25.0	33.13	24.87	0.99	49.26	0.68	1.47	0.09756	7.05
16.05	90.0	25.5	31.13	25.13	2.84	64.12	0.89	1.12	0.09756	6.29
23.05	97.0	27.0	30.33	25.5	11.5	90.95	1.27	0.78	0.09756	5.16
30.05	104.0	17.0	18.5	16.5	3.84	69.14	0.96	1.04	0.09756	1.79

#### 4.1.2.2 Cálculo de perdas de calor pelas paredes laterais do secador

São dadas pela equação (2.13)

$$Q_l = \frac{A_l}{R} * (t_{li} - t_{amb}) = \frac{A_l * (t_{li} - t_{amb})}{\frac{1}{\alpha_{ar}} + \frac{x_l}{k_m} + \frac{1}{\alpha_{amb}}}$$

onde:

$A_l$ - é a área lateral da estufa (1.7152m<sup>2</sup>)

$x_l$ - é a espessura da parede lateral (0.02m)

$R_l$ - é a resistencia térmica por condução e convecção na parede lateral do secador

$t_{li}$ - é a temperatura interna da parede lateral

$t_{amb}$ - é a temperatura ambiente.

Segundo Holman(1983) a equação simplificada para o cálculo dos coeficientes

( $\alpha_a$  e  $\alpha_{amb}$ ) de convecção natural de superfícies do tipo cilindro ou plano vertical para o ar à pressão atmosférica quando o regime é laminar é :

$$\alpha = 1.42 \left( \frac{\Delta t}{L} \right)^{1/4} \quad (4.6)$$

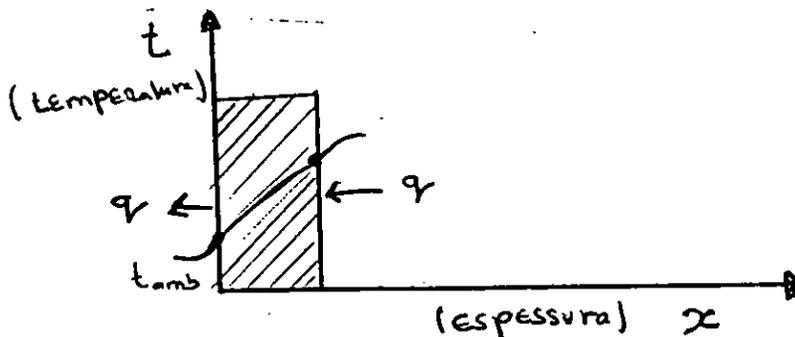


Fig.4.2 Esquema do mecanismo de perda de calor pelas paredes laterais.

Foi calculado o coeficiente de perda de calor por convecção natural da parede lateral para o ambiente ( $\alpha_{amb}$ ) e para o ar dentro da estufa ( $\alpha_{ar}$ ), através da equação 4.6:

$t_{amb}$  média= temperatura lateral por fora=30.6°C

$t_{amb}$  média=28.6°C

L=0.3m que é a altura média

$$\alpha_{\text{amb}} = 1.42 \left( \frac{30.6 - 28.9}{0.3} \right)^{1/4} = 2.19 \text{ w/m}^2\text{°C}$$

$t_{\text{ar}}$  média = temperatura do ar dentro da estufa = 36.63°C

$t_{\text{li}}$  média = temperatura lateral interna = 34.13°C

L- neste caso considera-se a altura média e o seu valor é 0.3m

$$\alpha_{\text{ar}} = 1.42 \left( \frac{36.63 - 34.13}{0.3} \right)^{1/4} = 2.4 \text{ w/m}^2,$$

$$R_l = x_m/k_m = 0.02/0.205 = 0.09756 \text{ °cm}^2/\text{w}$$

Foram calculados os coeficientes de transferência de calor por convecção da parede lateral para o ambiente ( $\alpha_{\text{amb}}$ ) e da parede lateral para o ar no interior da estufa ( $\alpha_{\text{ar}}$ ), para o caso concreto do dia 24/02/97.

$$t_{\text{amb}} = 28^\circ\text{C}, t_{\text{amb}} = 27.5^\circ\text{C}$$

$$\text{então } \alpha_{\text{amb}} = 1.42 \left( \frac{28 - 27.5}{0.3} \right)^{1/4} = 1.61 \text{ w/m}^2\text{°C}$$

$$\text{e } t_{\text{ar}} = 30.27^\circ\text{C}, t_{\text{li}} = 31.5^\circ\text{C}$$

$$\text{então } \alpha_{\text{ar}} = 1.42 \left( \frac{31.5 - 30.27}{0.3} \right)^{1/4} = 2.02 \text{ w/m}^2\text{°C}$$

Tabela 4.2 - calculo das perdas de calor no secador pelas paredes laterais durante a secagem.

data	$t_{amb}$ (°C)	$t_{ar}$ (°C)	$t_{li}$ (°C)	$t_{lamb}$ (°C)	$1/\alpha_{ar}$ $m^2 \cdot ^\circ C/w$	$1/\alpha_{amb}$ $m^2 \cdot ^\circ C/w$	$x_l/k_m$ $m^2 \cdot ^\circ C/w$	$Q_{lat}$ w
14.02	26.13	30.58	32.0	28.3	0.42	0.46	0.09756	10.30
17.02	28.25	33.08	33.0	30.0	0.42	0.46	0.09756	8.33
19.02	28.64	34.58	33.5	30.5	0.42	0.46	0.09756	8.53
21.02	31.5	41.18	40.0	34.0	0.42	0.46	0.09756	14.91
24.02	26.0	30.27	31.5	28.0	0.42	0.46	0.09756	9.65
26.02	31.86	43.7	40.2	34.6	0.42	0.46	0.09756	14.63
28.02	27.5	32.01	32.92	29.12	0.42	0.46	0.09756	9.51
03.03	35.43	48.07	40.66	38.93	0.42	0.46	0.09756	9.18
05.03	31.875	39.44	39.63	33.63	0.42	0.46	0.09756	13.61
07.03	33.7	44.75	38.2	37.04	0.42	0.46	0.09756	7.90
10.03	32.9	41.9	38.2	35.62	0.42	0.46	0.09756	9.30
14.03	32.9	40.2	37.3	30.5	0.42	0.46	0.09756	7.72
19.03	31.4	40.53	36.6	32.92	0.42	0.46	0.09756	9.12
24.03	30.9	41.7	37.4	33.9	0.42	0.46	0.09756	11.40
31.03	28.625	37.31	35.63	31.63	0.42	0.46	0.09756	12.29
04.04	26.83	35.71	31.66	28.33	0.42	0.46	0.09756	8.47
09.04	29.0	36.65	34.88	30.63	0.42	0.46	0.09756	10.32
14.04	28.25	41.85	35.0	30.63	0.42	0.46	0.09756	11.84
18.04	33.37	42.52	37.75	35.75	0.42	0.46	0.09756	7.69
30.04	27.27	37.41	32.37	28.65	0.42	0.46	0.09756	8.95
05.05	25.75	32.057	30.87	26.63	0.42	0.46	0.09756	8.98
09.05	25.0	36.0	29.5	25.57	0.42	0.46	0.09756	7.90
16.05	25.5	28.4	28.5	25.62	0.42	0.46	0.09756	5.26
23.05	27.0	28.83	28.5	26.60	0.42	0.46	0.09756	2.63
30.05	17.0	17.0	17.5	17.0	0.42	0.46	0.09756	0.88

#### 4.1.2.3 Cálculo das Perdas de calor pela cobertura de vidro do secador

São calculados segundo a equação 2.14

$$Q_{\text{cob}} = \frac{A_v}{R} * (t_{vi} - t_{vamb}) = \frac{A_v * (t_{vi} - t_{vamb})}{\frac{1}{\alpha_{ar}} + \frac{x_v}{k_v} + \frac{1}{\alpha_{amb}}}$$

onde:

$A_v$  - é a área da cobertura de vidro (0.84552m<sup>2</sup>)

$R$  - é a resistencia térmica

$t_{vi}$  - é a temperatura interna do vidro

$t_{vamb}$  - é a temperatura do vidro externa

$x_v$  - é a espessura do vidro (0.03m)

$k_v$  - é a condutividade térmica do vidro (0.74w/m<sup>2</sup>°C)

$R_v = x_v/k_v = 0.003/0.74 = 0.0041 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{ w}$

$\alpha_{ar}$  e  $\alpha_{amb}$ , são calculados pela formula usada para o calculo dos coeficiente de perda de calor por convecção na base, porque trata-se também de uma placa horizontal, assim temos:

$t_{vamb}$  média = 27.3 °C;       $t_{amb}$  média = 28.9 °C

L- é o comprimento da cobertura de vidro, e o seu valor é 1.7m

$$\alpha_{amb} = 1.32 \left( \frac{28.9 - 27.3}{1.7} \right)^{1/4} = 1.3 \text{ w/ m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$$

$t_{vi}$  média = 30.55 °C

$t_{ar}$  média = 36.63 °C

$$\alpha_{ar} = 1.32 \left( \frac{36.63 - 30.55}{1.7} \right)^{1/4} = 1.8 \text{ w/ m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$$

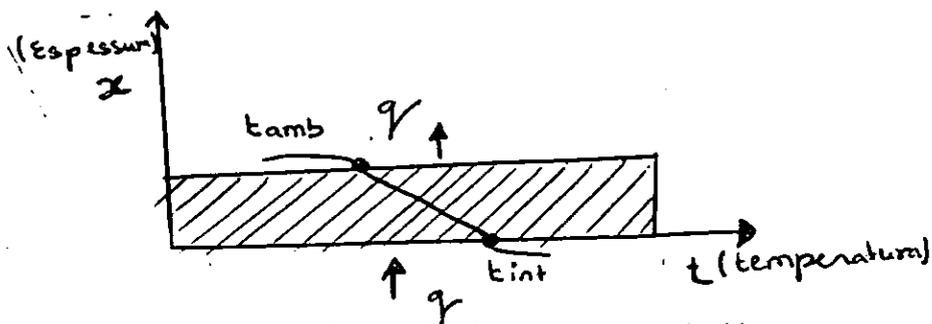


Fig.4.3 Esquema de perda de calor pela cobertura de vidro.

Os coeficientes de transferência de calor por convecção da cobertura de vidro para o ambiente ( $\alpha_{amb}$ ) e da cobertura de vidro para o ar dentro da estufa, para o caso concreto do dia 24/02/97 são:

$$t_{vamb} = 34.6^\circ\text{C}$$

$$t_{amb} = 26^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{amb} = 1.32 \left( \frac{34.6 - 26}{1.7} \right)^{1/4} = 1.98 \text{ w/m}^2\text{C}$$

$$t_{vi} = 30^\circ\text{C}$$

$$t_{ar} = 30.27^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{ar} = 1.32 \left( \frac{30.27 - 30}{1.7} \right)^{1/4} = 0.83 \text{ w/m}^2\text{C}$$

Tbela 4.3 - calculo de perdas de calor através da cobertura de vidro durante a secagem

data	$t_{amb}$ (c°)	$t_{ar}$ (c°)	$t_{vi}$ (c°)	$t_{ve}$ (c°)	$1/\alpha_{ar}$ $m^2 \cdot c/w$	$1/\alpha_{amb}$ $m^2 \cdot c/w$	$x_v/k_v$ $m^2 \cdot c/w$	$Q_{vidro}$ w
14.02	26.13	30.58	30.3	26.8	0.55	0.76	0.0041	2.68
17.02	28.25	33.08	32.0	28.5	0.55	0.76	0.0041	2.41
19.02	28.64	34.58	32.5	34.0	0.55	0.76	0.0041	2.48
21.02	31.5	41.18	37.0	26.6	0.55	0.76	0.0041	3.54
24.02	26.0	30.27	30.0	34.6	0.55	0.76	0.0041	2.57
26.02	31.86	43.7	37.2	34.5	0.55	0.76	0.0041	3.44
28.02	27.5	32.01	31.16	27.98	0.55	0.76	0.0041	2.35
03.03	35.43	48.07	41.95	36.33	0.55	0.76	0.0041	4.20
05.03	31.875	39.44	38.75	33.87	0.55	0.76	0.0041	4.42
07.03	33.7	44.75	38.52	34.74	0.55	0.76	0.0041	3.10
10.03	32.9	41.9	36.88	34.2	0.55	0.76	0.0041	2.56
14.03	32.9	40.2	36.1	31.7	0.55	0.76	0.0041	2.06
19.03	31.4	40.53	34.9	32.6	0.55	0.76	0.0041	2.25
24.03	30.9	41.7	38.25	33.93	0.55	0.76	0.0041	4.73
31.03	28.625	37.31	36.0	30.37	0.55	0.76	0.0041	4.75
04.04	26.83	35.71	31.66	28.33	0.55	0.76	0.0041	3.11
09.04	29.0	36.65	34.5	29.37	0.55	0.76	0.0041	3.54
14.04	28.25	41.85	34.75	29.87	0.55	0.76	0.0041	4.18
18.04	33.37	42.52	36.25	33.75	0.55	0.76	0.0041	1.85
30.04	27.27	37.41	32.37	28.0	0.55	0.76	0.0041	3.28
05.05	25.75	32.057	31.25	27.0	0.55	0.76	0.0041	3.54
09.05	25.0	36.0	31.5	25.37	0.55	0.76	0.0041	4.18
16.05	25.5	28.4	27.87	24.8	0.55	0.76	0.0041	1.52
23.05	27.0	28.83	28.0	25.3	0.55	0.76	0.0041	0.64
30.05	17.0	17.0	17.0	17.0	0.55	0.76	0.0041	0.32

### 4.1.3. Cálculo do calor necessário

Na estufa de secagem precisa-se de calor para elevar a temperatura do ar, calor para aquecer o produto, e por último o calor para compensar as perdas de calor. O calor necessário à estufa é calculado pela equação (2.15), onde as perdas totais de calor ( $Q_p$ ) foram obtidas pelo somatório das perdas pela base, pelas paredes laterais, e pela cobertura de vidro e foram multiplicadas pelo tempo (período de secagem, em segundos). Os resultados estão apresentados sob a forma de tabela. As perdas totais de calor correspondentes ao período escolhido (desde o dia 03.03 a 07.07) são obtidas, somando as perdas calculadas para período, que estão apresentadas na tabela 4.5.

Tabela 4.5-cálculo de calor necessário a estufa para a secagem de madeira

data	dias	$t_i$ °C	$t_{pr}$ °C	r kj/kg	$x_{wi}$ (%)	$Q_{p1}$ (KJ)	$Q_{nec}$ (kj)
14.02	0.0	26.13	29.3	2430.2	45.64	-	-
17.02	3.0	28.25	31.5	2426.8	40.66	2103.4	3653.03
19.02	5.0	28.64	34.43	2328.1	38.58	1542.8	2328.185
21.02	7.0	31.5	40.625	2428.1	37.15	2459.16	3202.07
24.02	10.0	26.0	29.7	2430.2	35.0	1757.37	2507.89
26.02	12.0	31.86	43.9	2395.4	34.15	2525.26	3195.997
28.02	14.0	27.5	31.0	2426.8	33.65	1316.7	1584.388
03.03	17.0	35.43	48.16	2388.0	31.74	3390.36	4380.006
05.03	19.0	31.875	37.5	2412.9	30.29	1810.5	2420.569
07.03	21.0	33.7	43.2	2399.4	29.49	1248.05	1804.713
10.03	24.0	32.9	43.4	2399.4	28.6	2387.23	3002.344
14.03	28.0	32.9	38.98	2405.3	27.335	4157.56	4725.719
19.03	33.0	31.4	40.34	2383.7	25.68	4336.7	5107.299
24.03	38.0	30.9	40.13	2383.7	24.15	4962.06	5704.151
31.03	45.0	28.625	35.25	2418.0	22.37	8309.9	9039.379
04.04	49.0	26.83	30.7	2430.2	21.72	4287.17	4601.553
09.04	54.0	29.0	34.625	2419.5	19.97	3546.18	4231.057
14.04	59.0	28.25	42.0	2402.3	19.22	6450.8	7111.126
18.04	63.0	33.37	44.8	2395.9	18.35	3063.7	3680.022
30.04	75.0	27.27	43.37	2399.4	16.36	11247.98	12330.11
05.05	80.0	25.75	32.13	2425.3	16.0	3580.2	3886.078
09.05	84.0	25.0	30.25	2430.2	15.59	2479.25	2763.345
16.05	90.0	25.5	31.0	2430.2	15.0	3567.56	3910.723
23.05	97.0	27.0	31	2430.2	14.42	1911.9	2204.247
30.05	104.0	17.0	17	2460.0	14.0	678.13	800.0476

Faz-se também o cálculo direto de calor necessário à estufa para a secagem, considerando o período que vai desde o dia 03.03 até o dia 07.03.

$M = 11.856\text{kg}$ ,  $x_{wi}=31.74\%$ ,  $x_{wf}=29.49\%$ ,  $c_s = 2.4\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$ ,  $c_{pa} = 4.2\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$   
 $r = 2400.1\text{kJ/kg}$ ,  $t_i = 33.6^\circ\text{C}$ ,  $t_e=42.3^\circ\text{C}$ , ( $t_i$  e  $t_e$  foram obtidos fazendo a média dos valores que corresponde ao período)

$Q_p$ , foi obtido somando, as perdas de calor por cobertura, pelas paredes laterais e pela base do secador. Para o período escolhido, com base nos valores das perdas de calor que foram calculados nas tabelas 4.1, 4.2 e 4.3

$Q_p = Q_{pb} + Q_{pl} + Q_{pv} = 40.35 + 30.75 + 11.72 = 82.82\text{w}$ , para o período de 4 dias temos  $82.82\text{w} * 4\text{dias} * 9\text{h} * 3600 = 10733.472\text{kJ}$

o calor necessário para secar a madeira no período considerado foi calculado pela equação (4.12).

Assim temos:

$$Q_{nec} = 11.8 \left[ \left( \frac{100 - 31.74}{100} \right) 2.4 + \frac{31.74}{100} 4.2 \right] (42.3 - 33.6) + 11.8 \left( \frac{31.74 - 29.49}{100} \right) 2400.1 + 10733.472$$

$$= 304.9 + 637.23 + 10733.472 = 11675.6022\text{kJ}$$

O calor útil para o mesmo período considerado é calculado pela equação (2.9)

$$Q = Q_r - Q_p$$

$$Q = 21725.43\text{kJ} - 10733.472 = 10991.958\text{kJ}$$

## 4.2. Balanço mássico

O balanço mássico do secador, destina-se a dar uma indicação sobre a quantidade de ar necessária para secar determinada quantidade de material, existindo uma relação entre a quantidade de ar fornecido por um ventilador e a sua potência. Este balanço permite-nos escolher a potência do ventilador.

Neste trabalho faz-se apenas um cálculo que serve de exemplo, onde se calcula a quantidade de ar necessária para secar a madeira no período que vai desde o dia 03.03 até 07.03 portanto desde a humidade de 46.6% até 40.0%. Estas percentagens foram tiradas da tabela 2 do anexo III.

Aplicando a equação (2.18), podemos calcular a quantidade de ar seco

$$I_s = M_s * \frac{X_{si} - X_{sf}}{Y_{sf} - Y_{si}}$$

$M_s$  é calculado pela equação (3.2), os valores para as 6 peças de madeira estão na tabela 1 do anexo III e o somatório é: 6.41kg

$$x_{si}=46.6\%, \quad x_{sf}=40\%$$

$$y_{si} = 0.0247 \text{ (este valor foi obtido da tabela 12 do anexo IV)}$$

$$y_{sf} = 0.03196 \text{ (este valor foi obtido fazendo a média da humidade absoluta dentro da estufa, da tabela 14 do anexo IV)}$$

$$L_s = 6.41 * \frac{(0.466 - 0.40)}{(0.03199 - 0.0247)} = \frac{0.066}{0.00229} * 6.41 = 184.7 \text{ kg.}$$

A quantidade de ar necessária para secar a madeira(Li) pode ser calculada pela equação (2.19), onde:

$$L_{ai} = L_s * Y_{si} = 184.7 * 0.0247 = 4.562 \text{ kg.}$$

Assim  $L_i = L_s + L_{ai} = 184.7 + 4.562 = 189.26 \text{ kg}$  (de ar que é necessário à entrada do secador)

Calcula-se também a quantidade de calor necessário para aquecer a quantidade de ar a entrada do secador, com a seguinte fórmula:

$$Q_{nec. ar} = L_i * C_{pa} * (t_{ar} - t_{a,mb})$$

onde:

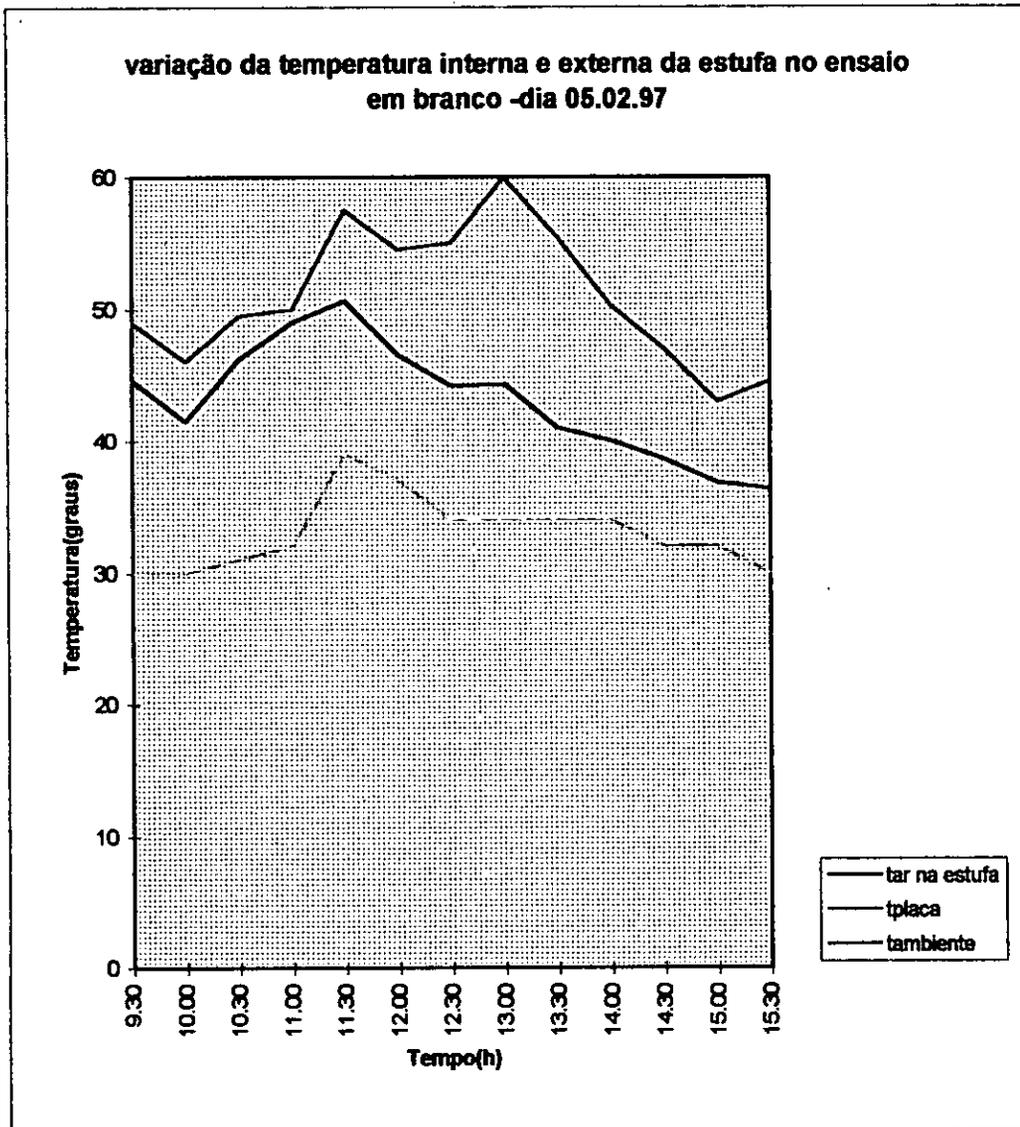
$$C_{pa} = 1 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \text{ (é o calor específico do ar)}$$

$$t_{ar} = 42.0 \text{ (é a temperatura do ar dentro da estufa)}$$

$t_{amb}$  = é a temperatura ambiente.

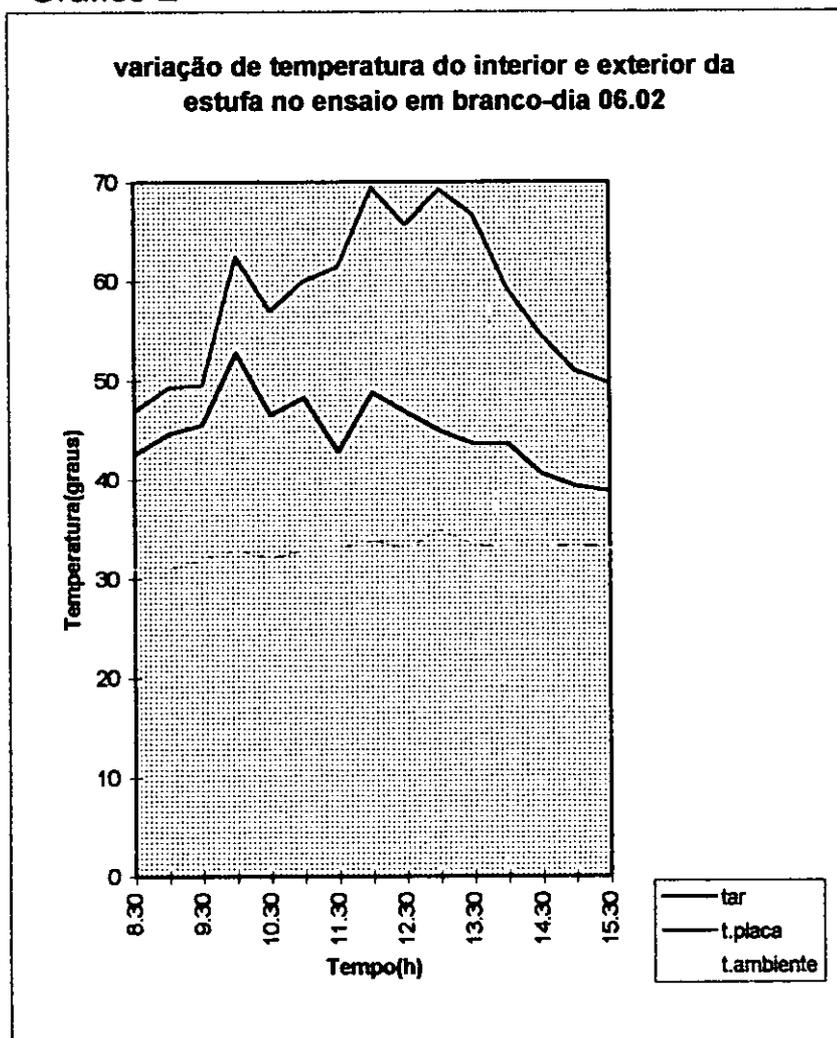
$$\text{Assim } Q_{nec. ar} = 189.26 \text{ kg} * 1 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} * 42^\circ\text{C} - 33.6^\circ\text{C} = 1595.46 \text{ kJ}$$

# Gráfico 1



Fonte: dados colhidos na estufa solar construída na Engenharia Química

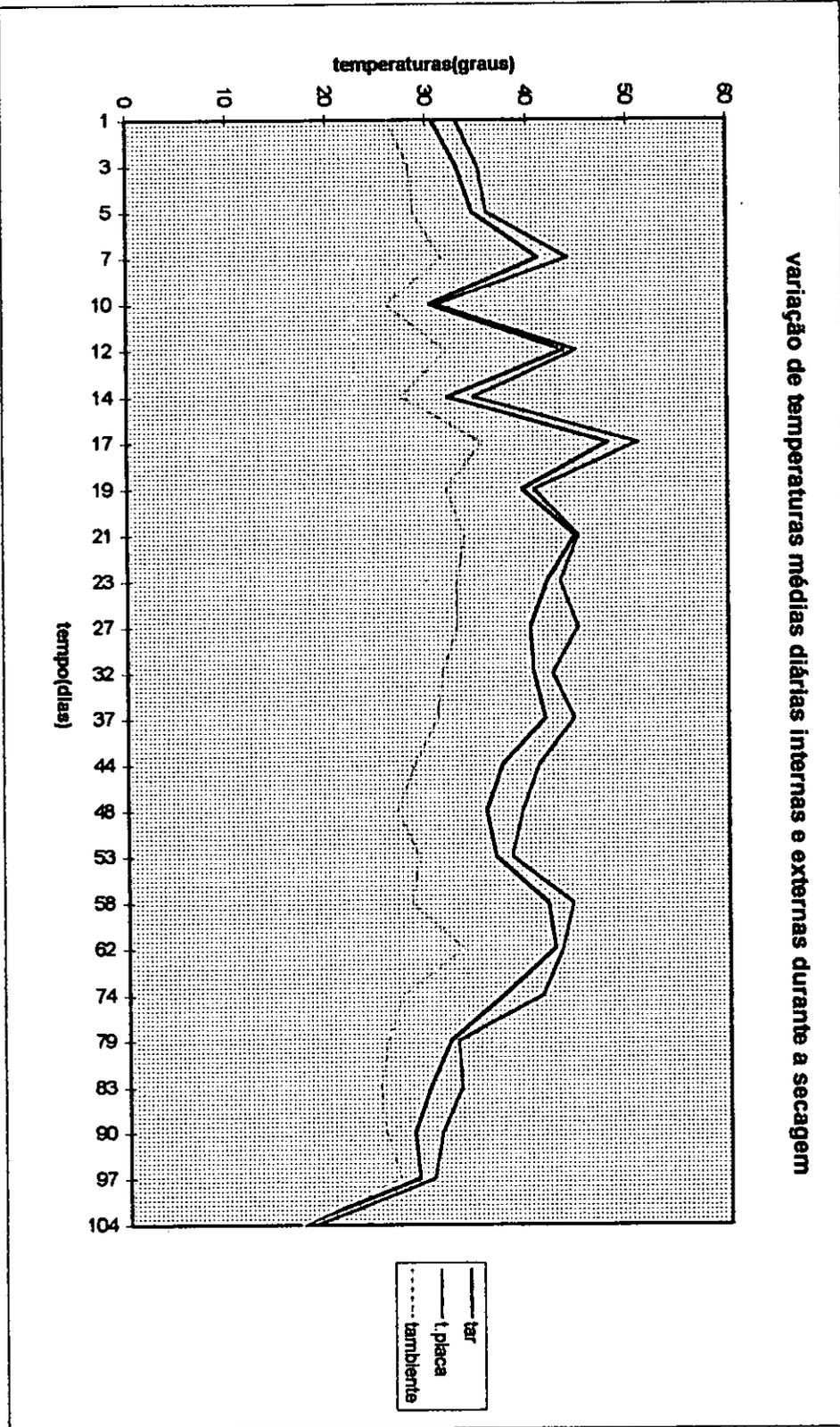
Gráfico 2



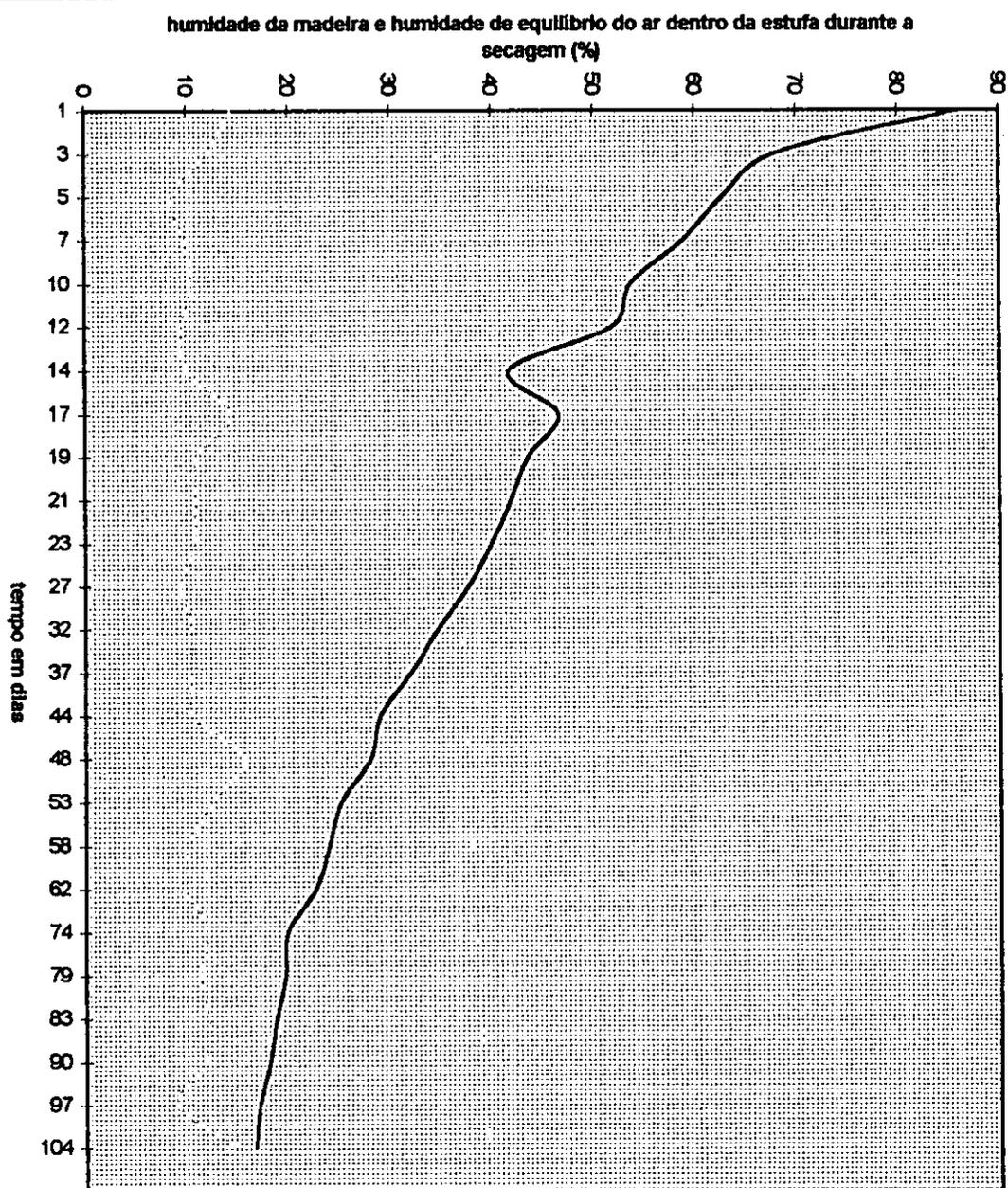
Fonte: dados colhidos na estufa solar construída na Engenharia Química

Gráfico 3

variação de temperaturas médias diárias internas e externas durante a secagem



Fonte: dados colhidos na estufa solar construída na Engenharia Química



— humidade média  
 ..... humidade de equilíbrio do ar dentro da estufa

GRÁFICO 4. CURVA DE SECAGEM

## 5. Análise e discussão dos resultados, conclusões e recomendações

### 5.1 Análise e discussão dos resultados

1. No ensaio em branco feito nos dias 5, 6 e 7 de Fevereiro de 1997 observando a variação da temperatura do ambiente, do ar, e placa negra dentro da estufa verifica-se que a temperatura da placa atingiu um máximo de  $70.5^{\circ}\text{C}$ , a temperatura ambiente de  $34^{\circ}\text{C}$ , e temperatura do ar máxima atingida dentro da estufa foi de  $58^{\circ}\text{C}$  para a mesma temperatura ambiente. Assim a diferença máxima de temperatura do ambiente para a temperatura da placa foi de  $36.5^{\circ}\text{C}$  e de  $24^{\circ}\text{C}$  do ambiente para a temperatura do ar dentro da estufa.

2. Durante a experiência de secagem que decorreu desde o dia 14 de Fevereiro até o dia 30 de Maio de 1997 a temperatura máxima atingida na placa negra foi de  $57^{\circ}\text{C}$  e de  $56^{\circ}\text{C}$  do ar dentro da estufa, para uma mesma temperatura ambiente de  $34.5^{\circ}\text{C}$  no dia 3 de Março. Então o incremento máximo de temperaturas do ar ambiente para o ar da estufa foi de  $21.5^{\circ}\text{C}$  e  $22.5^{\circ}\text{C}$  do ambiente para a placa negra.

A temperatura média máxima registada no ambiente foi de  $35.43^{\circ}\text{C}$  no dia 3 de Março para médias máximas de  $48,0^{\circ}\text{C}$  e  $51.1^{\circ}\text{C}$  do ar dentro da estufa e da placa negra respectivamente.

Verifica-se que o incremento de temperaturas obtido no ensaio em branco é maior do que aquele que foi obtido durante o período de secagem, embora em alguns dias tenha-se registado temperaturas ambientais iguais às temperaturas registadas no ensaio em branco. Isto acontece porque o processo de secagem afecta as condições internas da estufa, com a perda de humidade da madeira, que aumenta a humidade relativa do ar e arrefece o ar da estufa. Também a radiação global total recebida nos dias do ensaio de secagem foi sempre menor em comparação com a radiação global registada nos dias do ensaio em branco.

Como era de esperar, verifica-se tanto no ensaio em branco como na experiência de secagem, que dentro da estufa a temperatura da placa negra é sempre maior que a do ar, e esta sempre maior que a do ar ambiente, tal como se pode ver nos gráficos 1, 2 e 3. Isto acontece porque a placa negra é o lugar onde o calor recebido da radiação solar é absorvido e transformado em energia calorífica e este calor por sua vez é transferido da placa para o ar dentro da estufa através da condução e convecção.

3. Dos três termómetros distribuídos dentro da estufa verifica-se que as temperaturas no geral aumentam desde o começo da manhã até por volta das 12.30 h, mantêm-se elevadas até por volta das 13.30h e depois começam a decrescer até por volta das 16.30h.

4. A duração de secagem foi de 104 dias, para secar a madeira de umbila desde 86% de humidade a 16.6%. Este período considerando as condições em que foi feita a experiência é bom, apesar de ser muito maior comparativamente ao período de 23 dias que foi registado por (Santini 1981) em Curitiba secando uma pilha mista de madeira, também em condições de alta humidade relativa do ar, e temperaturas do ambiente similares às registadas neste trabalho. Esta diferença justifica-se em grande medida pelo facto de a estufa usada em Curitiba ter um sistema de ventilação que aumenta e direcciona o fluxo do ar, enquanto que na estufa usada neste trabalho o ar flue por convecção natural. Por outro lado o incremento máximo de temperaturas durante o ensaio em branco na estufa usada em Curitiba foi de 54°C para a temperatura máxima do ambiente de 32°C e este incremento é muito maior que o verificado na estufa usada neste trabalho que foi de 26,5°C para a placa negra e 24°C para o ar dentro da estufa a uma temperatura ambiente de 34°C. Isto acontece por causa do sistema de isolamento da estufa usada em Curitiba, que é mais eficiente.

Também os vários dias de chuva que se verificaram, 33 dias de chuvas de diferentes intensidades que podem ser vistos no anexo VI de dados fornecidos pelo serviço meteorológico afectaram a experiência. Enquanto chovia quantidades consideráveis de humidade entravam na estufa pelas aberturas construídas na parte superior da estufa, e nestes dias de chuva a secagem quase parou ou ainda pior a humidade da madeira nestes dias aumentou, embora em pequena escala.

Segundo estudos feitos por Santini (1981), comparando o tempo de secagem entre o experimento de Curitiba e alguns estudos conduzidos em outras partes do mundo, Yang em Ontário secou madeira de 60% de humidade até 19% em 100 dias no inverno, e Oliveira em Virginia secou madeira de 79,5% de humidade até 6,1 em 125 dias durante o inverno.

5. As peças colocadas na parte superior da pilha tiveram uma secagem mais rápida em comparação com as da parte inferior da pilha. Comparando a pilha que estava do lado esquerdo da estufa(este), com a que estava do lado direito(oeste) verifica-se que a do lado direito teve a secagem mais rápida. Também a peça que de entre todas atingiu a humidade mais baixa de 6.96%, esteve colocada deste lado na parte superior. Isto acontece porque o movimento do sol durante o dia é de este para oeste, desta maneira temos maior incidência de raios solares do lado oeste, e no meio da estufa.

A peça 2 localizada no meio da pilha do lado esquerdo, de entre todas foi a que teve humidade final mais alta de 22.55% e isto aconteceu porque esta peça tem uma estrutura um pouco diferente das outras, pois foi abrangida por um nó. Mesmo a sua densidade parece maior, não obstante o facto de esta durante a secagem ter sido colocada do lado com menores temperaturas, e no meio da pilha.

A humidade final poderia ter sido mais baixa se tivesse sido possível colocar a madeira na zona do centro da estufa, onde as temperaturas atingidas foram altas em comparação com as do lado esquerdo onde a madeira mostrou uma secagem mais lenta. Também é de notar o facto de, por razões de estudo e porque em secagem de madeira não é usual fazer alterações no posicionamento das peças de madeira ao longo da secagem, o facto das peças terem sido mantidas sempre na mesma posição durante a secagem não favoreceu a redução das diferenças de teor de humidade final entre as peças. Em secagem de madeira a prática que se usa para diminuir as diferenças de humidade final entre as peças é procurar uniformizar as condições de secagem em todo o secador.

6. Segundo Barreto(1963) o teor médio anual da humidade de equilíbrio, ao ar, de madeira em Maputo é de 16% ,sendo o maior valor de 16.5% atingido em Março, e o menor de 15.6% atingido em Setembro. Na experiência deste trabalho obteve-se uma humidade final média de 16.6%, sendo o

maior valor de 22.55% para a peça 2 e o menor valor de 6.96% para a peça 3. Com o teor de humidade final de 6.96% podemos constatar que nesta estufa é possível obter níveis de humidade final muito abaixo da humidade de equilíbrio que se espera atingir com a secagem ao ar livre.

7. O gráfico 4 da curva de secagem, demonstra o comportamento geral esperado na secagem dos corpos higroscópicos, mostrado pela figura 2.1 no capítulo do estudo teórico da secagem da madeira, embora haja algumas diferenças porque de facto as condições de secagem da experiência feita neste trabalho são muito variáveis, enquanto que para o caso do gráfico 2.1 do capítulo do estudo teórico da secagem, se presuppõe que as condições de secagem sejam constantes. Daí que o gráfico teórico 2.1 mostra uma perda de água livre mais rápida em comparação com o que é mostrado pelo gráfico 4. Também se pode ver no gráfico 4 pela curva da humidade de equilíbrio do ar dentro da estufa durante a secagem que a humidade final atingida não está longe dela.

8. O calor útil de 10991.958kj calculado para o período de 03.03 até 07.03 é aproximadamente igual ao calor necessário de 11675.6022kj calculado para o mesmo período. Isto mostra que a estufa recebe quantidade suficiente de radiação solar para compensar as perdas de calor e para secar a madeira. Contudo é recomendável melhorar o sistema de isolamento, para reduzir ainda mais as perdas de calor.

## 5.2. Conclusões e recomendações

1. As temperaturas atingidas dentro da estufa durante o ensaio em brancos são muito mais altas que as ambientais, o que permite concluir que nesta estufa é possível atingir temperaturas favoráveis para secagem de madeira e que nela se verifica o efeito estufa. Portanto a estufa é funcional, apesar de ser recomendável melhorar alguns aspectos na estrutura do secador para optimizá-lo.

2. A secagem solar apresenta perspectivas positivas para Moçambique, porque mesmo em estufa solar sem ventilador foi possível obter tempo de secagem relativamente curto e humidade final satisfatória, embora a secagem tenha sido feita em período de alta humidade relativa do ar, temperaturas relativamente baixas e com grande frequência de dias chuvosos.

3. A partir do princípio básico usado na construção da estufa solar usada no experimento, é possível construir uma estufa com dimensões maiores destinada à secagem de madeira. Apesar de se considerar a estufa funcional, seria recomendável melhorar alguns aspectos, tais como:

-Introduzir o uso de duas ou três camadas de cobertura transparente, para melhorar o sistema de isolamento,

-Introduzir o uso de cobertura transparente em todas as faces que recebem radiação solar neste caso seria a parede norte, este e oeste, e a única parede maciça seria a parede sul,

-Melhorar o sistema de isolamento na base e parede maciça( parede sul).

-Para casos em que o volume de madeira a secar é maior e tempos mais rápidos de secagem são requeridos, recomenda-se o uso de um sistema de ventilação. Porém em caso de uso de ventilador, será necessário fazer estudos sobre qual é que deve ser a potência de ventilador para produzir o fluxo do ar necessário para secar determinada quantidade de madeira.

4. O sol é fonte de energia solar renovável e inesgotável que não pode ser monopolizado e por isso o uso de secadores solares deveria ser popularizado, em todo País porque será bastante útil, em zonas rurais onde outras formas de energia chegam com dificuldade. Mesmo em zonas onde existem outras formas de energia, a secagem solar torna-se atractiva por razões de economia.

5. A qualidade da madeira não foi afectada, por causa das condições de secagem que não são severas. Para além disso na estufa solar como na secagem ao ar livre, a madeira sofre um tratamento de condicionamento suave todas as noites pelo aumento de humidade durante a noite e abaixamento da temperatura. Recomenda-se que se realizem estudos similares com outras espécies nativas, também de interesse económico no País, mas com problemas de secagem, ao contrário da umbila que é fácil de secar.

## 6. Referência bibliográfica

1. BARRETO, L.S. (1962/63)- O equilíbrio higroscópico da madeira em Moçambique, bol. inst. invest. cient. Moçamb. (Maputo) volume 3: 103-115.
2. BUNSTER, J. H. (1991)- Movimento da água através da madeira-FAU/ projecto moz/86/029, documento didáctico n 3-Maputo.
3. BUNSTER, J.H. (1995)- 52 Madeiras de Moçambique- catálogo tecnológico U.E.M faculdade de agronomia e engenharia florestal, departamento de engenharia florestal- Maputo.
4. CABIROL, T. (1980) - Construção artesanal de colectores solares Lisboa.
5. CHILAÚLE, A.L.V. (1996)- Pesquisa das possibilidades de uso de energia solar na secagem de produtos agrícolas Trabalho de licenciatura U.E.M faculdade de engenharia departamento de engenharia química- Maputo.
6. DANIELS, F. (1977)- Uso directo de la energia solar Hermann Blume ediciones. Rosário 17- Madride-5, primera edición española.
7. DANIELS, F. (1964)- Direct use of the sun's energy New Haven and London, Yale University Press.
8. FLORES, R.G. (1980)- Estudio sobre el secado de la madeira en el peru Lima, Documento de trabajo n 6.
9. HOLMAN, J.P. (1983)- Transferência de calor -São Paulo: McGraw-Hill do Brasil.

10. MENDES, G.A.B. & JANKOWSKY, I.P.P.(1985) Secagem racional da madeira- Livraria nobel São Paulo.
11. MUYUMDAR, A.S.(1987)- Handbook of industrial drying Marcel dekker, inc. New York/Basel.
12. KREITH, K.(1973)- Princípios da transmissão de calor São Paulo, Edgard blucher; Brasília, INL.
13. PONCE, R.H.& WATAL, L.T.(1995)- Manual de secagem de madeira Instituto de pesquisas tecnológicas do estado de são Paulo Brasília.
14. PRATT, G.H.(1986)- Timber drying manual. zed. rev. aylesbury, bulding research, establishment.
15. RETALLACK, B.J.(1970)- Meteorologia, organização meteorológica mundial, parte 1, Instituto Nacional de Meteorologia e geofísica Lisboa Portugal.
16. SABADY, P.R.(1979)- Energia solar na habitação
17. SANTINE, E.J.(1981)- Secagem de madeira em estufa solar e sua comparação com os métodos convencionais dissertação de pós graduação em engenharia florestal do sector de ciências agrárias da universidade federal do Paraná- Curitiba.
18. SIAU, J.F.(1984)- Transport processes in wood - Berlin Heidelberg New York Tokyo.
19. WILLIAMS, J.R.(1974)- Solar energy : Technoligy and a plication associate professor of mechanical engineering georgia institute of technology/Atlanta Georgia.
20. VILLERE, A. (1966)- Séchage des Bois- Dunod Paris sixième édition.

ANEXO I -variação de temperatura interna e externa  
da estufa durante o ensaio em branco

Tabela 1- variação de temperaturas em (°c )no interior e exterior da estufa,no ensaio em branco - 05.02.97

Temp o horas	Temperatura no interior da estufa					$t_{amb}$	Temperatura do psicrometro					
	Temperatura do ar			Temperatura da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa	
							Esquerda		Direito			
	$T_{ar1}$	$T_{ar2}$	$T_{ar3}$	$T_{p1}$	$T_{p2}$		$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$
9.30	42.5	48.5	43.0	48.0	50.0	30.0	42.0	27.5	42.0	27.5	29.0	24.5
10.00	40.0	42.5	42.0	44.0	48.0	30.0	42.0	26.0	39.5	27.0	39.5	23.0
10.30	41.5	49.0	48.0	47.0	52.0	31.0	45.0	27.5	39.0	26.0	30.5	24.0
11.00	53.0	51.0	43.0	50.0	50.0	32.0	42.0	26.0	42.0	27.0	31.5	23.5
11.30	54.0	53.0	45.0	53.0	62.0	39.0	43.0	26.5	39.0	27.0	33.0	23.7
12.00	50.3	48.1	41.1	49.0	60.0	37.0	44.5	33.0	38.0	29.0	32.5	26.5
12.30	48.0	44.0	40.5	50.0	70.0	34.0	38.5	30.5	44.0	32.5	33.0	26.5
13.00	48.0	44.0	41.0	51.0	69.0	34.0	37.0	31.0	44.0	35.5	31.5	28.0
13.30	44.0	41.0	38.0	50.0	61.0	34.0	36.5	29.5	39.5	30.0	31.5	27.5
14.00	43.0	40.0	37.0	50.5	50.0	34.0	36.0	30.5	39.0	31.0	32.0	28.5
14.30	41.0	39.0	36.0	48.0	46.0	32.0	34.5	30.0	37.0	30.0	31.5	27.5
15.00	39.5	36.5	34.5	44.0	42.0	32.0	33.5	29.0	37.0	31.0	31.0	27.5
15.30	38.5	36.0	34.5	43.0	46.0	30.0	33.0	29.0	35.0	29.0	30.0	26.5

Tabela 2. -variação de temperatura em(°c ) no interior e exterior da estufa,no ensaio em branco -

06.02.97

Temp o horas	Temperaturas no interior da estufa					$T_{amb}$	Temperatura do psicrometro					
	Temperatura do ar			Temperatura da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa	
							Esquerdo		Direito			
	$T_{ar1}$	$T_{ar2}$	$T_{ar3}$	$T_{p1}$	$T_{p2}$		$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$
8.30	45.0	45.5	37.5	46.0	48.0	31.0	38.5	31.5	40.0	33.0	27.5	25.5
9.00	46.0	48.0	40.0	45.0	53.5	31.0	40.0	31.5	39.0	31.5	28.0	24.5
9.30	48.0	48.5	40.0	44.0	55.0	32.0	39.5	31.0	45.0	36.0	39.5	27.0
10.00	57.5	58.0	43.0	55.0	70.0	33.0	40.0	33.5	45.0	33.0	29.0	25.5
10.30	47.0	50.0	43.0	55.0	59.0	32.0	42.0	33.5	47.0	34.5	33.0	28.0
11.00	50.0	51.0	44.0	58.0	62.0	33.0	43.0	33.0	45.0	34.5	31.5	27.0
11.30	42.0	44.5	42.0	61.0	62.0	33.0	46.0	34.5	43.0	33.0	31.5	26.5
12.00	46.5	51.0	49.0	69.0	70.0	34.0	46.0	35.0	47.0	37.0	32.0	29.0
12.30	49.5	48.0	43.0	64.5	67.0	33.0	37.5	32.0	45.0	34.0	32.5	28.1
13.00	47.8	46.0	41.0	68.0	70.5	35.0	41.0	32.0	49.0	37.0	33.0	27.5
13.30	46.0	44.0	41.0	66.0	67.5	33.5	41.0	31.5	47.5	32.5	32.0	28.0
14.00	46.0	44.0	41.0	63.0	55.5	33.0	39.0	31.0	42.5	34.5	32.0	28.0
14.30	43.0	41.0	38.0	60.0	49.0	33.0	37.0	32.0	42.5	35.0	32.0	28.5
15.00	41.0	39.0	38.0	56.5	45.5	33.5	35.0	30.0	37.5	31.0	32.0	28.0
15.30	40.5	38.5	37.5	53.0	46.5	33.0	35.0	29.0	46.0	30.0	31.5	27.5

Tabela 3. de variação de temperaturas em (°c) no interior e exterior da estufa, no ensaio em  
branco -07.02.97

Temp o horas	Temperaturas no interior da estufa					$T_{amb}$	Temperatura do psicrometro					
	Temperatura do ar			Temperatura da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa	
	$T_{ar1}$	$T_{ar2}$	$T_{ar3}$	$T_{p1}$	$T_{p2}$		Esquerdo		Direito		$T_s$	$T_w$
							$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$		
9.00	45.5	47.0	35.0	49.0	49.0	31.5	35.5	32.0	43.5	36.5	28.0	26.5
9.30	52.0	55.0	40.5	59.0	58.0	33.0	35.5	30.0	44.0	35.0	31.0	29.5
10.00	46.0	46.7	43.0	54.0	54.0	30.5	45.0	36.5	46.5	37.5	29.5	27.0
10.30	48.0	51.0	47.0	60.0	60.0	32.0	39.5	33.0	45.0	35.0	32.0	28.5
11.00	44.5	43.2	38.7	53.0	53.0	31.5	34.5	30.0	40.5	33.0	31.0	28.5
11.30	46.0	43.5	37.0	53.0	54.0	31.0	36.0	30.5	42.0	34.5	31.0	28.2
12.00	55.3	42.5	49.8	58.0	56.5	32.0	38.0	32.5	42.5	33.5	33.0	29.5
12.30	45.0	42.0	40.2	63.5	53.5	35.0	42.0	33.8	42.0	33.5	33.0	29.7
13.00	42.0	41.0	39.0	63.0	51.0	34.5	39.0	32.0	42.8	35.0	33.0	30.0
13.30	44.0	41.5	38.0	62.5	49.0	33.5	36.5	30.5	40.5	34.0	32.5	28.3
14.00	43.3	40.5	38.0	60.0	49.0	33.5	36.5	31.0	45.5	35.5	32.0	28.5
14.30	42.0	41.5	38.0	58.5	55.0	33.5	39.5	33.0	40.5	33.7	32.5	29.0
14.00	41.0	38.5	35.5	51.5	51.0	33.0	34.5	30.0	37.5	32.0	31.5	28.5
15.30	39.0	35.5	35.0	49.0	50.0	32.8	35.0	29.5	36.0	31.5	31.5	28.0

ANEXO II - Variação de temperaturas do interior e exterior  
da estufa, durante o ensaio de secagem

Tabela 1 : variação de temperaturas em (°c ) no interior e exterior da estufa, durante a secagem - 17.02.97

Tempo horas	Temperaturas no interior da estufa					$T_{amb}$	Temperatura do psicrometro					
	Temperatura do ar			Temperatura da madeira e da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa	
							Esquerda		Direito			
	$T_{ar1}$	$T_{ar2}$	$T_{ar3}$	$T_m$	$T_p$		$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$
8.45	28.0	30.2	30.0	28.0	30.5	28.0	29.5	26.0	30.5	26.0	27.0	25
9.45	34.0	37.5	34.9	32.0	38.0	28.0	32.5	28.2	33.5	28.2	27.0	24.5
10.45	33.0	36.0	31.5	31.5	36.0	28.0	31.0	27.5	32.0	28.0	28.0	24.5
11.45	33.0	36.8	33.0	33.5	37.2	28.0	32.5	28.0	34.0	27.5	27.2	24.5
14.00	33.0	34.0	31.0	31.5	34.7	29.0	32.2	27.2	32.5	27.2	28.5	24.5
15.00	33.3	34.8	31.0	32.0	35.0	28.0	33.0	27.5	33.5	28.5	28.5	24.9
16.00	33.0	34.9	32.0	32.0	34.9	28.8	32.0	27.0	33.0	26.0	28.5	25.0

Tabela 2. variação de temperaturas em (°c ) no interior e exterior da estufa, durante a secagem - 19.02.97

Tempo horas	Temperaturas no interior da estufa					$T_{amb}$	Temperatura do psicrometro					
	Temperatura do ar			Temperatura da madeira e da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa	
							Esquerdo		Direito			
	$T_{ar1}$	$T_{ar2}$	$T_{ar3}$	$T_m$	$T_p$		$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$
9.00	26.5	27.0	27.5	26.0	27.5	26.0	27.8	25.0	27.0	24.5	26.0	23.5
10.00	28.0	28.8	29.0	27.5	29.5	26.5	28.5	25.0	28.7	25.5	26.5	24.0
11.00	32.0	33.0	32.5	33.5	34.5	28.0	32.0	27.5	32.2	27.8	28.0	25.0
12.00	37.0	39.9	37.7	38.0	40.2	29.0	37.0	30.5	37.0	31.0	30.0	25.5
13.00	42.5	45.0	43.0	45.5	46.0	32.0	39.5	31.0	40.0	33.5	30.5	27.5
14.00	40.0	38.9	37.0	38.0	40.2	30.0	35.0	30.0	36.0	30.2	29.0	26.0
15.00	35.0	33.5	32.5	32.5	34.5	29.0	33.0	28.0	33.5	29.0	29.0	26.5

Tabela 3- variação de temperaturas em (°c ) no interior e exterior da estufa, durante a secagem- 21.02.97

Tempo horas	Temperaturas no interior da estufa					T <sub>amb</sub>	Temperatura do psicrometro					
	Temperatura do ar			Temperatura da madeira e da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa	
							Esquerdo		Direito			
	T <sub>1</sub>	T <sub>a2</sub>	T <sub>a3</sub>	T <sub>m</sub>	T <sub>p</sub>		T <sub>s</sub>	T <sub>w</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>w</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>w</sub>
8.30	44.5	44.5	38.5	38.5	43.5	30.0	36.5	31.0	37.0	30.0	29.0	26.5
10.00	46.5	50.0	42.5	42.5	52.0	33.0	41.0	34.0	42.0	35.0	30.0	26.5
11.00	47.5	52.0	48.5	50.0	48.0	32.0	42.0	34.5	48.0	37.5	31.5	27.5
12.00	46.0	44.0	42.0	42.0	45.0	32.0	44.0	35.0	40.5	33.5	32.0	26.5
13.30	39.0	37.0	36.0	39.0	42.0	31.0	39.0	31.5	39.5	31.5	31.5	27.5
14.00	39.0	37.5	36.5	39.0	45.0	32.0	45.0	32.0	41.5	33.5	30.7	27.5
15.00	39.0	36.0	35.5	37.0	42.0	31.0	38.0	31.0	38.5	30.5	29.5	26.5
16.00	37.5	35.0	34.0	37.0	35.5	31.0	35.5	30.0	34.5	29.5	30.0	26.0

Tabela 4. variação de temperaturas em (°c ) no interior e exterior da estufa, durante a secagem- 24.02.97

Tempo Horas	Temperaturas no interior da estufa					T <sub>amb</sub>	Temperatura do psicrometro					
	Temperatura do ar			Temperatura da madeira e da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa	
							Esquerdo		Direito			
	T <sub>ar1</sub>	T <sub>ar2</sub>	T <sub>ar3</sub>	T <sub>m</sub>	T <sub>p</sub>		T <sub>s</sub>	T <sub>w</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>w</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>w</sub>
9.00	29.3	31.0	31.0	30.0	29.5	26.0	31.0	26.0	31.5	26.0	25.0	22.0
10.30	30.0	32.5	32.5	32.5	32.5	26.0	30.0	25.0	30.0	25.0	25.0	23.0
12.30	34.0	35.5	34.0	34.0	33.5	26.0	32.5	28.0	32.0	26.5	27.0	24.0
14.30	29.0	29.0	27.0	27.0	27.0	25.0	28.0	23.5	29.0	24.0	26.0	22.5
15.30	27.2	27.2	26.2	26.2	26.0	26.0	27.0	22.8	27.5	22.0	25.5	21.5

abela 5- variação de temperaturas em (°c ) no interior e exterior da estufa, durante a secagem-26.02.97

Tempo horas	Temperaturas no interior da estufa					T <sub>amb</sub>	Temperatura do psicrometro						
	Temperatura do ar			Temperatura da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa		
	Esquerda		Direito		Esquerda		Direito		Esquerda		Direito		
	T <sub>ar1</sub>	T <sub>ar2</sub>	T <sub>ar3</sub>	T <sub>p</sub>	T <sub>m</sub>		T <sub>s</sub>	T <sub>w</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>w</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>w</sub>	
8.30	41.0	44.0	38.0	42	39.0	31.0	35.5	29.0	34.0	28.5	27.5	24.5	
9.30	41.0	42.0	39.5	40	40.5	29.0	35.0	30.0	35.5	29.5	27.5	24.0	
10.45	48.5	56.0	48.0	47	50.0	32.0	43.0	34.5	44.0	34.5	31.0	26.5	
12.00	46.8	54.5	55.5	48.5	51.0	33.0	46.5	35.0	44.0	33.5	33.0	26.5	
14.00	46.5	44.5	47.0	49	48.0	33.0	44.5	34.5	44.0	34.0	32.5	28.0	
15.00	42.0	40.0	38.0	44	40.0	33.0	42.0	33.0	41.0	33.0	32.5	28.5	
16.00	37.0	35.3	33.0	37	39.0	32.0	36.0	29.0	35.5	29.5	30.5	26.5	

Tabela 6- variação de temperaturas em (°c ) no interior e exterior da estufa, durante a secagem- 28.02.97

Tempo horas	Temperaturas no interior da estufa					T <sub>amb</sub>	Temperatura do psicrometro						
	Temperatura do ar			Temperatura da madeira e da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa		
	Esquerdo		Direito		Esquerdo		Direito		Esquerda		Direito		
	T <sub>ar1</sub>	T <sub>ar2</sub>	T <sub>ar3</sub>	T <sub>m</sub>	T <sub>p</sub>		T <sub>s</sub>	T <sub>w</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>w</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>w</sub>	
8.30	31.5	31.0	28.0	26.0	27.2	30.5	28.0	25.0	29.5	26.0	25.5	23.5	
9.30	29.0	28.0	26.0	25.5	26.5	30.0	28.5	25.5	30.0	26.5	24.5	23.0	
10.30	36.0	37.0	32.0	27.5	34.5	39.0	33.5	29.0	34.8	30.2	26.5	24.5	
11.30	35.0	34.5	31.0	28.5	33.0	37.0	31.0	27.0	35.5	29.5	26.0	24.0	
14.30	36.0	32.5	30.0	29.0	32.0	36.0	33.0	28.5	33.0	27.5	28.0	25.5	
15.30	36.0	33.0	30.0	28.5	33.0	35.0	33.5	28.5	33.0	26.5	29.0	25.5	

Tabela 7- variação de temperaturas em (°c) no interior e exterior da estufa, durante a secagem- 03.03.97

Tempo horas	Temperaturas no interior da estufa					$T_{amb}$	Temperatura do psicrometro					
	Temperatura do ar			Temperatura da madeira e da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa	
							Esquerda		Direito			
	$T_{ar1}$	$T_{ar2}$	$T_{ar3}$	$T_m$	$T_p$		$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$
8.30	41.0	44.5	40.6	37.0	45	31.0	35.5	29.5	35.0	30.0	30.0	27.0
9.30	45.7	51.5	46.9	45.0	51	32.5	41.0	33.0	39.5	31.5	32.5	28.5
10.30	46.0	52.0	48.0	48.0	52	35.5	44.0	36.0	42.5	36.0	33.0	29.0
11.30	47.5	56.0	53.2	52.0	57	34.5	40.0	35.6	44.0	33.5	35.5	30.5
14.30	47.2	50.2	52.5	50.0	50.4	40.1	47.0	35.5	32.0	40.0	37.0	32.5
15.30	48.5	52.0	49.5	57.0	51.2	39.0	48.0	37.5	44.0	37.0	37.5	32.5

Tabela 8- variação de temperaturas em (°c) no interior e exterior da estufa, durante a secagem- 05.03.97

Tempo horas	Temperaturas no interior da estufa					$T_{amb}$	Temperatura do psicrometro					
	Temperatura do ar			Temperatura da madeira e da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa	
							Esquerda		Direito			
	$T_{ar1}$	$T_{ar2}$	$T_{ar3}$	$T_m$	$T_p$		$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$
9.30	36.0	36.0	33.5	32.0	36.0	30.0	32.5	28.5	34.0	29.5	29.5	27.5
11.30	51.0	49.0	40.0	42.0	46.2	32.0	40.6	34.0	41.5	34.0	31.5	28.5
14.30	43.0	39.0	37.5	41.0	43.0	33.0	45.0	35.5	40.0	33.0	33.0	29.0
15.30	38.5	36.0	34.0	35.0	37.5	32.5	37.0	30.0	37.5	31.5	32.0	29.0

Tabela 9- variação de temperaturas em (°c ) no interior e exterior da estufa, durante a secagem- 07.03.97

Tempo horas	Temperaturas no interior da estufa					T <sub>amb</sub>	Temperatura do psicrometro					
	Temperatura do ar			Temperatura da madeira e da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa	
							Esquerda		Direito			
	T <sub>ar1</sub>	T <sub>ar2</sub>	T <sub>ar3</sub>	T <sub>m</sub>	T <sub>p</sub>		T <sub>s</sub>	T <sub>w</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>w</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>w</sub>
9.30	44.0	53.0	41.0	41.0	46.0	32.0	37.5	31.0	38.0	34.0	31.0	28.0
10.30	45.0	51.0	45.5	46.0	44.0	33.0	41.2	33.8	43.0	34.9	33.0	29.5
11.30	49.0	55.9	51.0	50.0	55.0	36.0	44.0	34.6	47.0	37.0	36.2	30.7
14.30	40.5	40.5	39.0	40.0	41.0	34.0	38.0	32.0	41.0	33.0	32.5	29.0
15.30	40.1	39.5	36.5	39.0	39.1	33.5	38.5	32.5	38.0	31.0	32.0	29.0

Tabela 10- variação de temperaturas em (°c ) no interior e exterior da estufa, durante a secagem- 10.03.97

Tempo Horas	Temperaturas no interior da estufa					T <sub>amb</sub>	Temperatura do psicrometro					
	Temperatura do ar			Temperatura da madeira e da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa	
							Esquerda		Direito			
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>m</sub>	T <sub>p</sub>		T <sub>s</sub>	T <sub>w</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>w</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>w</sub>
9.30	35.0	36.2	36.0	34.0	36.0	30.0	33.5	29.5	34.5	30.0	29.5	27.0
11.00	37.0	40.0	40.7	40.5	40.0	32.0	37.5	33.0	36.5	31.5	30.5	28.0
12.00	39.0	42.5	42.0	42.0	42.0	32.5	38.0	31.0	36.5	31.5	31.5	28.5
14.00	44.0	48.5	49.0	50.5	50.0	35.5	44.5	37.5	43.0	33.9	34.8	30.5
15.00	46.0	48.0	46.0	50.0	48.0	34.5	45.5	35.0	46.5	36.5	36.5	31.0

Tabela 11- variação de temperaturas em (°c ) no interior e exterior da estufa, durante a secagem- 14.03.97

Tempo horas	Temperaturas no interior da estufa					$T_{amb}$	Temperatura do psicrometro					
	Temperatura do ar			Temperatura da madeira e da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa	
							Esquerda		Direito			
	$T_{ar1}$	$T_{ar2}$	$T_{ar3}$	$T_m$	$T_p$		$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$
9.30	43.0	53.5	35.5	39.0	46.0	28.0	38.0	28.5	35.0	28.0	27.0	23.5
10.30	45.2	51.0	44.2	47.2	64	34.0	37.5	29.5	37.5	29.5	31.0	25.8
11.30	42.0	49.2	44.2	43.2	42	30.0	38.5	30.5	39.5	30.0	29.5	24.5
14.30	34.0	32.5	31.0	33.0	38	28.5	34.8	27.5	35.3	29.0	28.5	24.0
15.30	35.0	32.0	30.0	32.5	35.0	27.5	32.5	27.0	32.5	27.5	28.5	24.0

Tabela 12- variação de temperaturas em (°c ) no interior e exterior da estufa, durante a secagem- 19.03.97

Tempo horas	Temperaturas no interior da estufa					$T_{amb}$	Temperatura do psicrometro					
	Temperatura do ar			Temperatura da madeira e da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa	
							Esquerda		Direito			
	$T_1$	$T_{a2}$	$T_{a3}$	$T_m$	$T_p$		$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$
8.30	30.1	33.1	30.5	32.2	34.0	33.0	30.5	25.0	30.5	26.0	26.0	23.0
10.30	43.0	45.5	44.0	44.0	45.0	44.2	38.0	30.5	38.0	30.5	30.2	25.5
11.30	43.0	47.0	49.5	44.5	50.0	40.6	40.7	31.9	40.7	31.0	32.0	27.0
14.30	39.0	41.0	41.0	42.0	42.0	43.0	37.0	30.56	38.1	31.9	32.5	28.0
15.30	39.2	41.0	36.5	39.0	41.0	34.0	37.0	30.0	37.2	30.5	31.5	27.0

Tabela 13- variação de temperaturas em (°c ) no interior e exterior da estufa, durante a secagem- 24.03.97

Tempo horas	Temperaturas no interior da estufa					$T_{amb}$	Temperatura do psicrometro					
	Temperatura do ar			Temperatura da madeira e da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa	
							Esquerda		Direito			
	$T_{ar1}$	$T_{ar2}$	$T_{ar3}$	$T_m$	$T_p$		$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$
9.00	42.8	41.0	33.2	28.5	36.0	42.0	32.0	27.0	34.0	28.5	27.0	22.0
10.00	48.0	41.0	39.6	29.5	43.0	48.0	39.5	31.0	36.2	30.2	29.0	25.0
11.30	48.7	50.0	48.9	32.5	49.0	49.1	45.0	35.5	44.8	34.0	32.5	28.0
15.00	38.0	36.0	33.0	33.0	32.5	39.2	37.0	32.0	37.0	30.5	29.5	26.5

Tabela 14- variação de temperaturas em (°c ) no interior e exterior da estufa, durante a secagem 31.03.97

Tempo horas	Temperaturas no interior da estufa					$T_{amb}$	Temperatura do psicrometro					
	Temperatura do ar			Temperatura da madeira e da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa	
							Esquerda		Direito			
	$T_{ar1}$	$T_{ar2}$	$T_{ar3}$	$T_m$	$T_p$		$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$
9.30	38.0	43.0	33.5	36.0	51.0	27.0	32.2	26.0	36.0	27.5	27.0	23.0
11.30	46.0	55.0	40.5	42.0	47.5	31.5	37.5	29.0	43.5	33.0	30.0	25.0
14.30	37.0	34.0	31.0	35.0	36.0	29.0	35.0	28.5	35.0	27.8	29.0	24.0
16.30	32.0	29.5	28.0	28.0	29.5	27.0	29.5	25.5	29.0	25.5	27.5	24.5

Tabela 15. variação de temperaturas em (°c) no interior e exterior da estufa, durante a secagem- 04.04.97

Tempo horas	Temperaturas no interior da estufa					$T_{amb}$	Temperatura do psicrometro					
	Temperatura do ar			Temperatura da madeira e da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa	
							Esquerda		Direito			
	$T_{ar1}$	$T_{ar2}$	$T_{ar3}$	$T_m$	$T_p$		$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$
9.30	30.2	30.0	28.5	26.0	32.0	26.0	28.0	25.5	30.0	27.2	25.5	23.5
11.30	34.0	52.0	52.5	33.0	54.0	27.0	34.0	31.0	35.5	33.5	27.5	26.5
15.00	33.0	31.5	29.8	33.2	32.0	27.5	31.5	27.5	31.0	27.0	27.5	25.0

Tabela 16- variação de temperaturas em (°c) no interior e exterior da estufa, durante a secagem- 09.04.97

Tempo horas	Temperaturas no interior da estufa					$T_{amb}$	Temperatura do psicrometro					
	Temperatura do ar			Temperatura da madeira e da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa	
							Esquerda		Direito			
	$T_1$	$T_{a2}$	$T_{a3}$	$T_m$	$T_p$		$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$
9.30	30.5	39.0	38.0	32.0	40.0	25.5	34.0	27.0	34.0	27.5	26.3	21.8
11.30	43.5	46.0	57.0	42.5	47.0	33.0	41.5	29.9	45.5	35.5	31.7	25.5
15.00	34.0	31.0	32.0	34.0	35.0	30.0	32.5	28.0	32.5	26.0	28.0	24.5
16.00	30.2	29.0	29.6	30.0	31.0	27.5	29.0	24.5	29.0	24.5	27.0	23.0

Tabela 17- variação de temperaturas em (°c ) no interior e exterior da estufa, durante a secagem- 14.04.97

Tempo horas	Temperaturas no interior da estufa					$T_{amb}$	Temperatura do psicrometro					
	Temperatura do ar			Temperatura da madeira e da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa	
							Esquerda		Direito			
	$T_{ar1}$	$T_{ar2}$	$T_{ar3}$	$T_m$	$T_p$		$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$
10.00	38.0	46.2	36.5	35.0	46	27.0	33.5	28.0	31.5	26.0	27.2	22.7
11.30	39.5	59.0	50.5	48.0	50	27.0	40.0	30.5	40.0	31.0	30.0	24.0
14.30	40.5	41.1	38.0	42.8	43.0	30.0	41.0	33.5	41.0	32.5	27.0	23.5
15.30	38.5	38.5	36.0	42.5	38.5	29.0	37.5	31.0	34.0	28.0	27.5	24.0

Tabela 18. variação de temperaturas no interior e exterior da estufa, durante a secagem- 18.04.97

Tempo horas	Temperaturas no interior da estufa					$T_{amb}$	Temperatura do psicrometro					
	Temperatura do ar			Temperatura da madeira e da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa	
							Esquerda		Direito			
	$T_{ar1}$	$T_{ar2}$	$T_{ar3}$	$T_m$	$T_p$		$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$
10.00	39.0	44.0	40.0	40.0	36.0	29.5	36.0	29.7	35.5	28.8	27.5	23.5
11.30	41.0	48.5	53.0	49.0	50.0	32.5	43.0	36.0	42.0	34.0	34.0	28.0
15.00	40.0	45.0	44.0	50.0	44.0	36.5	42.5	33.5	41.0	31.5	35.8	28.5
16.00	38.0	39.1	36.0	40.2	39.5	35.0	37.8	31.0	37.0	28.0	34.0	28.0

Tabela 19-ação de temperaturas em (°C) no interior e exterior da estufa, durante a secagem- 30.04.97

Tempo horas	Temperaturas no interior da estufa					$T_{amb}$	Temperatura do psicrometro						
	Temperatura do ar			Temperatura da madeira e da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa		
	Esquerda		Direito		Esquerda		Direito		Esquerda		Direito		
	$T_{ar1}$	$T_{ar2}$	$T_{ar3}$	$T_m$	$T_p$		$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$	
10.00	31.0	37.0	29.0	29.0	37.0	21.1	26.0	21.0	27.0	21.5	20.0	16.2	
11.30	30.5	46.5	44.5	46.0	45.0	27.0	39.0	30.0	41.0	31.0	28.0	21.0	
14.00	34.0	41.5	45.0	50.5	43.0	31.5	42.5	32.0	37.5	30.0	29.0	22.2	
15.00	33.0	37.0	40.0	48.0	40.0	29.5	39.0	29.5	35.8	29.0	28.5	22.0	

Tabela 20-ariação de temperaturas em (°C) no interior e exterior da estufa, durante a secagem- no dia

05.05.57

Tempo horas	Temperaturas no interior da estufa					$T_{amb}$	Temperatura do psicrometro						
	Temperatura do ar			Temperatura da madeira e da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa		
	Esquerda		Direito		Esquerda		Direito		Esquerda		Direito		
	$T_{ar1}$	$T_{ar2}$	$T_{ar3}$	$T_m$	$T_p$		$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$	
9.00	25.0	27.0	26.0	25.0	27.0	23.5	25.0	22.0	25.5	21.0	23.0	20.5	
11.00	35.0	45.0	44.0	40.5	40.0	27.5	33.0	22.0	36.5	23.0	25.5	18.5	
14.30	35.0	34.0	31.2	35.0	36.0	28.5	33.0	21.5	23.5	21.5	26.5	19.0	
15.30	29.5	27.0	26.0	28.0	28.0	23.5	26.3	21.5	27.0	27.0	24.0	21.0	

Tabela 21- variação de temperaturas em (°c) no interior e exterior da estufa, durante a secagem- 09.05.97

Tempo horas	Temperaturas no interior da estufa					T <sub>amb</sub>	Temperatura do psicrometro					
	Temperatura do ar			Temperatura da madeira e da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa	
	T <sub>ar1</sub>	T <sub>ar2</sub>	T <sub>ar3</sub>	T <sub>m</sub>	T <sub>p</sub>		Esquerda		Direito		T <sub>s</sub>	T <sub>w</sub>
							T <sub>s</sub>	T <sub>w</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>w</sub>		
9.00	25.0	26.0	23.5	22.5	26.5	21.5	22.0	20.0	22.5	20.0	21.5	18.5
11.00	36.0	43.0	28.0	35.0	40.0	23.5	30.5	24.5	33.5	25.0	24.0	20.0
15.00	34.5	34.0	29.5	34.0	38.0	29.0	33.5	27.5	33.0	27.5	26.5	21.5
16.00	29.0	28.5	25.5	29.5	28.5	26.0	27.0	24.0	28.5	28.5	25.0	21.5

Tabela 22- variação de temperaturas em (°c) no interior e exterior da estufa, durante a secagem- 16.05.97

Tempo horas	Temperaturas no interior da estufa					T <sub>amb</sub>	Temperatura do psicrometro					
	Temperatura do ar			Temperatura da madeira e da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa	
	T <sub>ar1</sub>	T <sub>ar2</sub>	T <sub>ar3</sub>	T <sub>m</sub>	T <sub>p</sub>		Esquerda		Direito		T <sub>s</sub>	T <sub>w</sub>
							T <sub>s</sub>	T <sub>w</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>w</sub>		
9.00	22.0	-	22.3	22.5	22.5	21.5	22.0	19.5	22.0	19.7	21.2	18.5
11.00	31.0	-	40.0	40.0	43.0	29.0	36.0	28.0	35.3	28.0	26.0	21.5
15.00	31.0	-	28.0	33.0	32.0	26.0	30.5	23.7	30.5	25.0	26.0	21.0
16.00	27.5	-	25.5	28.5	27.0	25.5	26.0	21.5	26.0	26.0	25.0	20.5

Tabela 23-variação de temperaturas em (°c) no interior e exterior da estufa, durante a secagem- 23.05.97

Tempo horas	Temperaturas no interior da estufa					$T_{amb}$	Temperatura do psicrometro						
	Temperatura do ar			Temperatura da madeira e da placa			Dentro da estufa				Fora da Estufa		
	Esquerda		Direito		Esquerda		Direito		Esquerda		Direito		
	$T_{ar1}$	$T_{ar2}$	$T_{ar3}$	$T_m$	$T_p$		$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$	$T_s$	$T_w$	
9.30	23.5	-	25.0	25.0	25.0	26.0	24.5	22.5	24.5	23.0	20.5	22.5	
15.00	33.5	-	32.0	37.0	36.0	28.5	31.0	26.0	31.0	26.0	23.0	26.5	
16.00	30.5	-	28.5	31.0	30.0	26.5	28.0	23.5	28.0	28.5	22.0	26.0	

Tabela 24-médias diárias de temperaturas em (°c ) internas e externas da cobertura, da parte lateral e da base

Tempo	$t_{ar}$	$t_{li}$	$t_{le}$	$t_{vi}$	$t_{ve}$	$t_p$	$t_{be}$	$t_{amb}$
14.02.97	30.58	32.0	28.3	30.3	26.8	33.0	27.0	26.13
17.02.97	33.079	33.00	30.00	.00	28.00	35.18	30.00	28.25
19.02.97	34.58	33.5	30.5	32.5	28.5	36.05	31.0	28.64
21.02.97	41.18	40.0	34.0	37.0	34.0	44.125	33.0	31.5
24.02.97	30.27	31.5	28.0	30.0	26.6	30.9	26.5	26.0
26.02.97	43.7	40.2	34.6	37.2	34.5	44.93	33.7	31.86
28.02.97	32.01	32.92	29.116	31.16	27.98	34.58	28.0	27.5
03.03.97	48.068	40.66	38.93	41.95	36.33	51.1	36.33	35.43
05.03.97	39.44	39.625	33.625	38.75	33.875	40.675	32.25	31.875
07.03.97	44.75	38.2	37.04	38.52	34.74	45.02	33.78	33.7
10.03.97	41.9	38.2	35.62	36.88	34.2	43.2	32.3	32.9
14.03.97	40.2	37.3	30.5	36.1	31.7	45.0	29.37	32.9
19.03.97	40.53	36.6	32.92	34.9	32.6	42.4	30.4	31.4
24.03.97	41.68	37.4	33.9	38.25	33.93	44.575	31.2	30.9
31.03.97	37.31	35.625	31.625	36.0	30.37	41.0	30.33	28.625
04.04.97	35.71	31.66	28.33	31.66	28.33	39.33	26.66	26.83
09.04.97	36.65	34.875	30.625	34.5	29.37	38.25	28.875	29.0
14.04.97	41.85	35.0	30.625	34.75	29.875	44.37	29.5	28.25
18.04.97	42.52	37.75	35.75	36.25	33.75	43.3	34.37	33.37
30.04.97	37.41	32.37	28.65	32.37	28.0	41.25	27.75	27.27
05.05.97	32.05	30.87	26.63	31.25	27.0	32.75	26.63	25.75
09.05.97	30.015	29.5	25.57	31.5	25.37	33.125	24.87	25.0
16.05.97	28.4	28.5	25.62	27.87	24.8	31.125	25.125	25.5
23.05.97	28.83	28.5	26.6	28.0	25.3	30.33	25.5	27.0
30.05.97	18.0	17.5	17.0	17.5	17.0	18.5	16.5	17.0

ANEXO III - Variação do peso e da humidade  
da madeira durante a secagem

Tabela 1- variação do peso de madeira em kg, durante a secagem

Tempo	Amostra <sub>1</sub>	Amostra <sub>2</sub>	Amostra <sub>3</sub>	Amostra <sub>4</sub>	Amostra <sub>5</sub>	Amostra <sub>6</sub>
14.02.97	2.0456	2.0165	2.1023	1.8583	1.8399	1.9935
17.02.97	1.8648	1.8368	1.8874	1.6986	1.6839	1.8156
19.02.97	1.810	1.7783	1.8133	1.6592	1.6375	1.7589
21.02.97	1.7689	1.7369	1.7627	1.6296	1.6038	1.7171
24.02.97	1.7134	1.6759	1.6965	1.5833	1.5518	1.6605
26.02.97	1.6856	1.6479	1.6631	1.5614	1.5272	1.6333
28.02.97	1.6708	1.6349	1.6445	1.5562	1.5136	1.6186
03.03.97	1.6315	1.5979	1.5965	1.5239	1.4794	1.5815
05.03.97	1.6015	1.5629	1.5614	1.4948	1.4470	1.5519
07.03.97	1.5816	1.5465	1.5371	1.4800	1.4316	1.5329
10.03.97	1.5611	1.5289	1.5134	1.4658	1.4141	1.5135
14.03.97	1.53339	1.5030	1.4828	1.4457	1.3882	1.4864
19.03.97	1.4981	1.4749	1.4411	1.4167	1.3604	1.4537
24.03.97	1.4677	1.4481	1.4071	1.3916	1.3313	1.4255
31.03.97	1.4340	1.4189	1.3701	1.3604	1.2987	1.3942
04.04.97	1.4170	1.4143	1.3587	1.3552	1.2886	1.3816
09.04.97	1.3887	1.3876	1.322	1.3156	1.2589	1.3565
14.04.97	1.3740	1.3781	1.3079	1.3112	1.2433	1.3404
18.04.97	1.3609	1.3689	1.2935	1.2980	1.2289	1.3280
30.04.97	1.3245	1.3486	1.2552	1.2675	1.1955	1.2938
05.05.97	1.3163	1.3471	1.2471	1.2587	1.1872	1.2864
09.05.97	1.3097	1.3469	1.2410	1.2558	1.1830	1.2802
16.05.97	1.2998	1.3457	1.2318	1.2482	1.1751	1.2717
23.05.97	1.2883	1.3402	1.2228	1.2369	1.1647	1.2615
30.05.97	1.2809	1.3390	1.2183	1.2310	1.1596	1.2552
peso anidro	1.1085	1.0926	1.1393	1.0070	0.9970	1.08030

tabela 2- variação da humidade da madeira na base seca em % ao longo da secagem

tempo	amostra1	amostra2	amostra3	amostra4	amostra5	amostra6	média
14.02	92.8	84.5	84.5	85.83	84.5	84.53	86.0
17.02	68.23	67.8	65.6	68.7	68.9	68.0	67.8
19.02	63.3	62.7	59.2	64.7	64.2	62.8	62.8
21.02	59.57	57.96	54.71	61.82	60.8	58.9	58.9
24.02	54.56	53.4	48.0	57.2	55.6	53.7	53.74
26.02	55.35	50.82	45.97	55.05	53.17	51.19	51.9
28.02	54.6	49.6	44.3	54.5	51.8	49.8	41.68
03.03	47.2	46.2	40.1	51.3	48.3	46.4	46.6
05.03	44.5	43	37.0	48.4	45.1	43.7	43.6
07.03	42.67	41.5	34.9	46.9	43.6	41.9	41.9
10.03	40.8	39.9	32.8	45	41.8	40.0	40.0
14.03	38.4	37.56	30.15	43.56	39.23	37.59	37.7
19.03	35.1	34.9	26.5	40.7	36.5	34.6	34.7
24.03	32.4	32.5	23.5	38.2	33.5	31.9	32.0
31.03	29.4	29.9	20.3	35.0	30.3	29	28.98
04.04	27.8	29.4	19.3	34.6	29.3	27.9	28.0
09.04	25.3	26.9	16.0	30.6	26.3	25.6	25.11
14.04	23.95	26.1	14.8	30.0	24.7	24	23.9
18.04	22.7	24.5	13.5	28.9	23.3	22.9	22.6
30.04	19.5	23.4	10.2	25.9	19.9	19.8	19.8
05.05	18.7	23.3	9.5	24.9	19	19.0	19.0
9.05	18.2	23.3	8.9	24.7	18.65	18.5	18.7
16.05	17.25	23.2	8.1	23.9	17.9	17.7	18.0
23.05	16.2	22.6	7.3	22.8	16.8	16.7	17.0
30.05	15.55	22.55	6.96	22.24	16.3	16.18	16.6

ANEXO IV-Variação de humidade relativa e humidade absoluta dentro e fora da estufa, durante o ensaio em branco e ensaio de secagem; variação da humidade de equilíbrio diária dentro da estufa durante a secagem de madeira

tabela 1- variação da humidade relativa em( %)e absoluta em( kg/kg), dentro e fora da estufa, durante o ensaio em branco-05.02.97

tempo (h.mm)	humidade absoluta dentro da estufa	humidade relativa dentro da estufa	humidade absoluta fora da estufa	humidade relativa fora da estufa
9.30	0.0165	36.0	0.0178	69
10.00	0.0165	36.5	0.0132	58
10.30	0.015	30.8	0.017	58
11.00	0.0157	29.0	0.0155	56
11.30	0.016	37.75	0.0148	72
12.00	0.025	48.0	0.0175	56.5
12.30	0.0255	50.5	0.019	60
13.00	0.0303	60.5	0.0228	77
13.30	0.02515	54.5	0.0235	74
14.00	0.0257	61.5	0.024	77.6
14.30	0.025	65.25	0.0215	74
15.00	0.0252	67.8	0.0218	76.5
15.30	0.0239	68.75	0.0208	76

tabela2-variação da humidade relativa em % e absoluta em kg/kg, dentro e fora da estufa, durante o ensaio  
em branco-o5.02.7

tempo (h.mm)	humidade absoluta dentro da estufa	humidade relativa dentro da estufa	humidade absoluta fora da estufa	humidade relativa fora da estufa
9.30	0.0165	36.0	0.0178	69
10.00	0.0165	36.5	0.0132	58
10.30	0.015	30.8	0.017	58
11.00	0.0157	29.0	0.0155	56
11.30	0.016	37.75	0.0148	72
12.00	0.025	48.0	0.0175	56.5
12.30	0.0255	50.5	0.019	60
13.00	0.0303	60.5	0.0228	77
13.30	0.02515	54.5	0.0235	74
14.00	0.0257	61.5	0.024	77.6
14.30	0.025	65.25	0.0215	74
15.00	0.0252	67.8	0.0218	76.5
15.30	0.0239	68.75	0.0208	76

tabela 3- variação da humidade relativa em % e absoluta em kg/kg, dentro e fora da estufa, durante o ensaio em branco- o6.02.7

tempo (h.mm)	dentro da estufa		fora da estufa	
	humidade absoluta	humidade relativa	humidade absoluta	humidade relativa
8.30	0.0283	60.5	0.020	85
9.00	0.0265	56.5	0.018	75
9.30	0.0307	54.5	0.022	82
10.00	0.0293	53.5	0.021	75.5
10.30	0.0305	49.3	0.022	68.5
11.00	0.0295	51.25	0.0205	71
11.30	0.0295	47.75	0.020	68
12.00	0.0345	48.0	0.0245	80
12.30	0.029	56.75	0.022	71
13.00	0.0315	49.25	0.021	65.5
13.30	0.0255	45.0	0.023	74
14.00	0.0295	57.25	0.0225	74
14.30	0.031	65.0	0.023	77
15.00	0.0255	66.0	0.0225	74
15.30	0.022	65.75	0.021	74

tabela 4- variação da humidade relativa % e absoluta kg/kg dentro e fora da estufa, no ensaio em branco -  
dia 07.02.97

tempo horas	dentro da estufa		fora da estufa	
	humidade absoluta	humidade relativa	humidade absoluta	humidade relativa
9.00	0.033	70.5	0.022	89.0
9.30	0.0285	60.25	0.024	82.5
10.00	0.0395	56	0.021	82.0
10.30	0.031	57.25	0.024	82.0
11.00	0.028	65	0.024	82.5
11.30	0.0295	63.5	0.023	89.5
12.00	0.0295	60.25	0.025	77
12.30	0.031	56.25	0.026	77
13.00	0.0305	59.5	0.026	72.5
13.30	0.029	63.75	0.023	72
14.00	0.044	55.5	0.024	77
14.30	0.031	62.25	0.0245	80
15.00	0.027	69.25	0.024	80
15.30	0.025	69.25	0.0225	77

tabela5- - variação da humidade absoluta kg/kg e relativa % dentro e fora da estufa, durante a secagem -  
14.02.97

tempo horas	dentro da estufa		fora da estufa	
	humidade absoluta	humidade relativa %	humidade absoluta	humidade relativa %
10.20	0.0179	70.5	0.0165	81
11.45	0.020	65.35	0.016	68.5
15.00	0.0195	70.25	0.0178	64.0
16.00	0.01825	71.25	0.0168	77.0
média	0.0189	69.33	0.01677	72.63

tabela 6- variação da humidade relativa % e absoluta (kg/kg) dentro da estufa e fora da estufa, durante a secagem -dia 17.02.97

tempo horas	dentro da estufa		fora da estufa	
	humidade absoluta	humidade relativa	humidade absoluta	humidade reactiva%
8.45	0.01965	73.25	0.0197	88
9.45	0.023	68.5	0.01885	81.5
10.45	0.02215	75.25	0.018	75
11.45	0.02125	65.75	0.0185	81.5
14.45	0.02075	66.75	0.0179	72
15.00	0.022	67.5	0.019	75
16.00	0.01925	63.25	0.019	75
média	0.0212	68.6	0.0187	78.28

tabela 7- - variação da humidade relativa % e absoluta kg/kg dentro e fora da estufa, durante a secagem - 19.02.97

tempo horas	dentro da estufa		forada estufa	
	humidade absoluta	humidade relativa%	humidade absoluta	humidade reactiva%
9.00	0.0154	79.75	0.0175	81
10.00	0.0194	76.65	0.018	77
11.00	0.0217	71	0.019	68
12.00	0.0264	63.25	0.0188	79
14.00	0.0285	60.25	0.022	79
15.00	0.0255	66.75	0.020	82
16.00	0.024	69.75	0.021	82
média	0.0229	69.6	0.01947	78.3

tabela 8-variação da humidade relativa % e absoluta kg/kg dentro e fora da estufa, durante a e secagem -

21.02.97

tempo horas	dentro da estufa		forada estufa	
	humidade absoluta	humidade relativa	humidade absoluta	humidade relativa%
8.38	0.0255	63.25	0.021	82
10.00	0.033	61.75	0.0205	76
11.00	0.03525	55.5	0.0215	74
12.00	0.02725	57.5	0.0197	65
14.00	0.02725	57.75	0.022	74
15.00	0.0255	59	0.0208	79
16.00	0.025	68	0.0195	73
média	0.02839	60.4	0.0207	74.7

tabela 9-variação da humidade relativa % e absoluta kg/kg dentro e fora da estufa, durante a secagem -

24.02.97

tempo horas	dentro da estufa		fora da estufa	
	humidade absoluta	humidade relativa	humidade absoluta	humidade relativa
9.30	0.0187	66.25	0.016	77
10.30	0.018	67	0.017	85
12.00	0.021	68	0.018	77.5
14.30	0.0175	68.25	0.016	74
15.30	0.0155	65.75	0.015	71
média	0.01814	67.05	0.0164	76.9

tabela 10-variação da humidade relativa % e absoluta kg/kg dentro e fora da estufa, durante a secagem -

26.02.97

tempo horas	dentro da estufa		fora da estufa	
	humidade absoluta	humidade relativa	humidade absoluta	humidade reactiva
8.30	0.0235	63.75	0.018	78
9.30	0.0245	66.5	0.0175	75
10.30	0.0328	54	0.020	70.5
12.00	0.0308	47.25	0.019	59.7
14.00	0.03105	46.75	0.022	71
15.00	0.029	55.25	0.023	74
16.00	0.0234	61.5	0.020	73
média	0.0278	56.43	0.0199	71.6

tabela 11-variação da humidade relativa % e absoluta kg/kg dentro e fora da estufa, durante a secagem -

28.02.97

tempo horas	dentro da estufa		fora da estufa	
	humidade absoluta	humidade relativa	humidade absoluta	humidade relativa
8.30	0.0195	78	0.0175	88
9.30	0.020	78.5	0.017	88
10.30	0.0249	71.25	0.019	85
11.30	0.0224	69	0.018	85
14.30	0.022	65.25	0.020	82
15.30	0.021	64.35	0.019	75.5
média	0.0216	71.058	0.0214	83.9

tabela 12-variação da humidade relativa % e absoluta kg/kg dentro e fora da estufa, durante a secagem -  
03.03.97

tempo horas	dentro da estufa		fora da estufa	
	humidade absoluta	humidade relativa	humidade absoluta	humidade relativa
8.30	0.0247	66.75	0.0212	79
9.30	0.0283	57.25	0.0235	74
10.30	0.03575	61.75	0.024	74
11.30	0.0325	61.25	0.026	70
14.30	0.03025	48.75	0.030	72.5
15.30	0.038	58	0.0295	73
média	0.0316	58.95	0.0257	73.75

tabela 13-variação da humidade relativa % e absoluta kg/kg dentro e fora da estufa, durante a secagem -  
05.05.97

tempo horas	dentro da estufa		fora da estufa	
	humidade absoluta	humidade relativa	humidade absoluta	humidade relativa
9.30	0.024	72.5	0.023	86
11.30	0.032	54	0.024	80
14.30	0.0315	47	0.024	74
15.30	0.0257	68	0.0245	80
média	0.0283	60.375	0.0238	80

tabela 14-variação da humidade relativa % e absoluta kg/kg dentro e fora da estufa, durante a secagem -

07.03.97

tempo horas	dentro da estufa		fora da estufa	
	humidade absoluta	humidade relativa	humidade absoluta	humidade relativa
9.30	0.02975	69.25	0.023	79.5
10.30	0.03925	59	0.025	77
11.30	0.0345	52.25	0.026	66.5
14.30	0.0287	60.75	0.0245	77
15.00	0.0277	35.5	0.0246	80
média	0.0319	55.35	0.0246	76

tabela 15-variação da humidade reactiva % e absoluta kg/kg dentro e fora da estufa, durante a secagem -

10.03.97

tempo horas	dentro da estufa		fora da estufa	
	humidade absoluta	humidade reactiva%	humidade absoluta	humidade reactiva%
9.30	0.025	72.5	0.0215	82
11.00	0.0293	71.5	0.0235	82
12.00	0.027	65	0.024	80
14.00	0.034	56.25	0.0265	71
15.00	0.0343	51	0.0265	66.5
média	0.0299	63.25	0.0244	76.3

tabela 16-variação da humidade relativa % e absoluta kg/kg dentro e fora da estufa, durante a secagem -

19.03.97

tempo horas	dentro da estufa		fora da estufa	
	humidade absoluta	humidade relativa	humidade absoluta	humidade relativa
8.30	0.0187	67	0.0167	77
10.30	0.025	58	0.0185	70
11.30	0.026	51.1	0.0205	68
14.30	0.0267	63	0.0223	71
15.30	0.0247	60.5	0.0205	71
média	0.0242	59.92	0.0197	71.4

tabela 17-variação da humidade relativa % e absoluta kg/kg dentro e fora da estufa, durante a secagem -

24.03.97

tempo horas	dentro da estufa		fora da estufa	
	humidade absoluta	humidade relativa	humidade absoluta	humidade relativa
9.00	0.0217	67	0.015	66
10.00	0.0251	59.25	0.0185	72.5
11.30	0.0317	50.85	0.0225	71
15.00	0.0265	64.75	0.0205	79
média	0.02625	60.46	0.0192	72.125

tabela 18-variação da humidade relativa % e absoluta kg/kg dentro e fora da estufa, durante a secagem -

31.03.97

tempo horas	dentro da estufa		fora da estufa	
	humidade absoluta	humidade relativa	humidade absoluta	humidade relativa
9.30	0.01925	55.5	0.018	71.5
11.30	0.02525	52.75	0.018	67
14.30	0.0215	61	0.017	66
16.00	0.01975	73	0.018	78
média	0.0214	60.56	0.0177	70.63

tabela 19-variação da humidade relativa % e absoluta kg/kg dentro e fora da estufa, durante a secagem -

04.04.97

tempo horas	dentro da estufa		fora da estufa	
	humidade absoluta	humidade relativa	humidade absoluta	humidade relativa
9.30	0.0205	81.1	0.018	85
11.30	0.0305	84	0.021	92
15.00	0.020	73.5	0.019	82
média	0.024	79.53	0.01933	86.33

tabela 20-variação da humidade relativa % e absoluta kg/kg dentro e fora da estufa, durante a secagem -  
09.04.97

tempo horas	dentro da estufa		fora da estufa	
	humidade absoluta	humidade relativa	humidade absoluta	humidade relativa
9.30	0.0165	59.25	0.015	69.6
11.30	0.0273	45.35	0.019	48
15.30	0.020	63.5	0.018	59.5
16.00	0.017	67.5	0.017	65
média	0.02020	58.9	0.01725	60.525

tabela21-variação da humidade relativa % e absoluta kg/kg dentro e fora da estufa, durante a secagem -  
14.04.97

tempo horas	dentro da estufa		fora da estufa	
	humidade absoluta	humidade relativa	humidade absoluta	humidade relativa
10.00	0.0205	65.5	0.012	29
11.30	0.0245	49.0	0.0160.017	61
14.30	0.01695	57.25	.0017	74.5
15.30	0.024	62.75	0.017	75
média	0.0215	58.62	0.015	59.87

tabela22-variação da humidade relativa % e absoluta kg/kg dentro e fora da estufa, durante a secagem -

18.04.97

tempo horas	dentro da estufa		fora da estufa	
	humidade absoluta	humidade relativa	humidade absoluta	humidade relativa
10.00	0.0235	61.5	0.022	59
11.30	0.034	60.25	0.032	58
15.00	0.028	51.75	0.026	50.5
16.00	0.023	55.25	0.020	50.5
média	0.021	57.18	0.025	54.5

tabela 23-variação da humidade relativa % e absoluta kg/kg dentro e fora da estufa, durante a secagem -

30.04.97

tempo horas	dentro da estufa		fora da estufa	
	humidade absoluta	humidade relativa	humidade absoluta	humidade relativa
10.00	0.013	62.75	0.010	66
11.30	0.024	50.0	0.013	53
14.15	0.025	52.5	0.014	54
15.00	0.0235	54.25	0.014	56
média	0.0213	54.87	0.0127	57.25

tabela 24-variação da humidade relativa % e absoluta kg/kg dentro e fora da estufa, durante a secagem -

05.05.97

tempo horas	dentro da estufa		fora da estufa	
	humidade absoluta	humidade relativa	humidade absoluta	humidade relativa
9.00	0.015	72	0.014	79.5
11.00	0.012	33.5	0.012	51
14.30	0.016	86.25	0.012	47
15.30	0.015	64.25	0.0145	63
média	0.0145	64	0.01313	60.125

tabela 25-variação da humidade relativa % e absoluta kg/kg dentro e fora da estufa, durante a secagem -

09.05.97

tempo horas	dentro da estufa		fora da estufa	
	humidade absoluta	humidade relativa	humidade absoluta	humidade relativa
9.00	0.014	81	0.013	75
11.00	0.017	50.75	0.013	70
15.00	0.021	64.25	0.015	64
16.00	0.0175	71.25	0.015	74
média	0.01737	66.81	0.014	70.75

tabela 26-variação da humidade relativa % e absoluta kg/kg dentro e fora da estufa, durante a secagem -

16.05.97

tempo horas	dentro da estufa		fora da estufa	
	humidade absoluta	humidade relativa	humidade absoluta	humidade relativa
9.00	0.014	79	0.013	74.5
11.00	0.021	56.25	0.0415	67
15.00	0.017	59.5	0.014	64
16.00	0.0156	69	0.014	66.5
média	0.0169	65.93	0.014	68

tabela 27-variação da humidade relativa % e absoluta kg/kg dentro e fora da estufa, durante a secagem -

23.05.97

tempo horas	dentro da estufa		fora da estufa	
	humidade absoluta	humidade relativa	humidade absoluta	humidade relativa
9.00	0.017	85	0.015	83
15.00	0.0195	66.25	0.017	71
16.00	0.0175	70	0.015	68
média	0.018	73.75	0.0156	74

tabela 28- Variação da humidade de equilíbrio no interior da estufa durante os dias de secagem de madeira

Data	$h_{eql}$ (%)
14.02	12.4
17.02	12.2
19.02	8.6
21.02	9.8
24.02	10.5
26.02	9.6
28.02	10.0
03.03	14.45
05.03	11.0
07.03	10.8
10.03	10.8
14.03	9.5
19.03	10.5
24.03	10.6
31.03	10.5
04.04	15.6
09.04	12.5
14.04	10.1
18.04	9.8
30.04	12.0
05.05	11.3
09.05	12.1
16.05	11.8
23.05	9.0
30.05	15.0

ANEXO V- Tabelas psicrométricas consultadas para o cálculo da humidade relativa, humidade absoluta e humidade de equilíbrio.

FIGURA 4.1

DIAGRAMA PSICROMÉTRICO

$p = 760 \text{ mm Hg}$

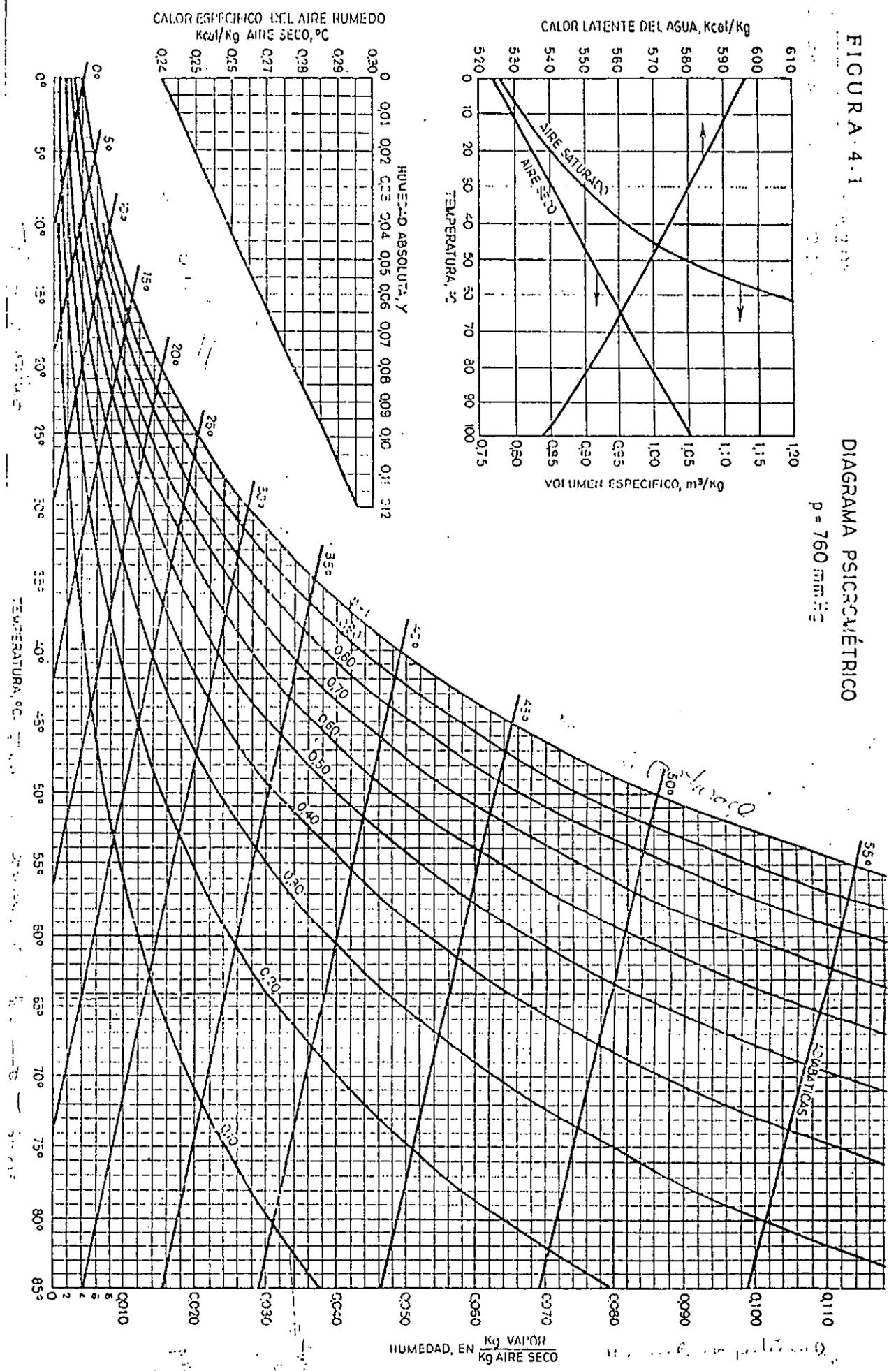


Table 1.5. Relative humidity corresponding to various wet-bulb depressions in degrees Celsius at sea level (Courtesy of Blue M Electric Co.)

	Wet-bulb depression (°C)																																							
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40							
2	92	83	75	67	59	52	43	36	27	20																														
4	93	85	77	70	63	56	48	41	34	28	15																													
6	94	87	80	73	66	60	54	47	41	35	23	11																												
8	94	87	81	74	68	62	56	50	45	39	28	17																												
10	94	88	82	76	71	65	60	54	49	44	34	23	14																											
12	94	89	84	78	73	68	63	58	53	48	38	30	21	12	4																									
14	95	90	84	79	74	69	65	60	55	51	41	33	24	16	10																									
16	95	90	85	81	76	71	67	62	58	54	45	37	29	21	14	7																								
18	95	90	86	82	78	73	69	65	61	57	49	42	35	27	20	13	6																							
20	96	91	87	82	78	74	70	66	62	58	51	44	36	30	23	17	11																							
22	96	92	87	83	79	75	72	68	64	60	53	46	40	34	27	21	16	11																						
24	96	92	88	85	81	77	74	70	66	63	56	49	43	37	31	26	21	14	10																					
26	96	92	89	85	81	77	74	71	67	64	57	51	45	39	34	28	23	18	13																					
28	96	92	89	85	82	78	75	72	68	65	59	53	47	42	37	31	26	21	17	13																				
30	96	93	89	86	82	79	76	73	70	67	61	55	50	44	39	35	30	24	20	16	12																			
32	96	93	90	86	83	80	77	74	71	68	62	56	51	46	41	36	32	27	23	19	15																			
34	97	93	90	87	84	81	77	74	71	69	63	58	53	48	43	38	34	30	26	22	18	10																		
36	97	93	90	87	84	81	78	75	72	70	64	59	54	50	45	41	36	32	28	24	21	13																		
38	97	94	90	87	84	81	79	76	73	70	65	60	56	51	46	42	38	34	30	26	23	16	10																	
40	97	94	91	88	85	82	79	76	74	71	66	61	57	52	48	44	40	36	32	29	25	19	13																	
42	97	94	91	88	85	82	80	77	74	72	67	62	58	53	49	45	41	38	34	31	27	21	15																	
44	97	94	91	88	86	83	80	77	75	73	68	63	59	54	50	47	43	39	36	32	29	23	17	12																
46	97	94	91	89	86	83	81	78	76	73	68	64	60	55	52	48	44	41	37	34	31	25	19	14																
48	97	94	92	89	86	84	81	78	76	74	69	65	61	56	53	49	45	42	39	35	33	27	21	16	12															
50	97	94	92	89	87	84	82	79	77	75	70	65	62	57	54	50	47	43	40	37	34	28	23	18	14															
52	97	94	92	89	87	84	82	79	77	75	70	66	62	58	55	51	48	44	41	38	35	30	25	20	16	11														
54	97	95	92	90	87	85	82	80	78	76	71	67	63	59	56	52	49	45	42	39	36	31	26	21	17	13														
56	97	95	92	90	87	85	83	80	78	76	72	68	64	60	57	53	50	46	43	40	38	32	27	23	19	15	11													
58	97	95	93	90	88	85	83	80	79	77	72	68	64	60	57	53	50	46	43	41	39	33	29	24	20	16	12													
60	98	95	93	90	88	86	83	81	79	77	73	69	65	62	58	55	52	48	45	43	40	35	30	26	21	18	14	11												
62	98	95	93	91	88	86	84	81	79	78	73	69	66	62	59	56	53	49	46	43	41	36	31	27	23	19	15	12												
64	98	95	93	91	88	86	84	82	80	78	74	70	66	63	59	56	53	50	47	44	42	37	32	28	24	20	17	13												
66	98	95	93	91	89	87	85	82	80	78	74	70	67	64	60	57	54	51	48	45	43	38	33	29	25	21	18	15	12											
68	98	95	93	91	89	87	85	82	81	79	75	71	67	64	61	58	55	52	49	46	44	39	34	30	26	22	19	16	13											
70	98	96	93	91	89	87	85	83	81	79	75	71	68	65	61	58	55	52	50	47	44	40	35	31	27	23	20	17	14	11										
72	98	96	94	92	89	87	85	83	81	80	76	72	69	65	62	59	56	53	50	48	45	40	36	32	28	24	21	18	15	12										
74	98	96	94	92	90	87	85	83	82	80	76	72	69	66	63	60	57	54	51	48	46	41	37	33	29	25	22	19	16	13	11									
76	98	96	94	92	90	88	86	84	82	80	76	73	70	66	63	60	57	54	52	49	47	42	38	34	30	26	23	20	17	14	12									
78	98	96	94	92	90	88	86	84	82	81	77	73	70	67	64	61	58	55	52	50	47	43	38	34	30	27	24	21	18	15	13	10								
80	98	96	94	92	90	88	86	84	83	81	77	74	71	67	64	61	58	56	53	50	48	43	39	35	31	28	24	22	19	16	14	11								
82	98	96	94	92	90	88	86	84	83	81	77	74	71	68	65	62	59	56	54	51	49	44	40	36	32	29	25	22	20	17	15	12	10							
84	98	96	94	92	90	88	86	85	83	81	78	74	71	68	65	62	59	57	54	52	49	45	40	37	33	29	26	23	20	18	16	13	11							
86	98	96	94	92	91	89	87	85	83	82	78	75	72	69	66	63	60	57	55	52	50	45	41	37	34	30	27	24	21	19	16	14	12							
88	98	96	95	93	91	89	87	85	83	82	78	75	72	69	66	63	60	58	55	53	51	46	42	38	34	31	28	25	22	19	17	15	13							
90	98	97	95	93	91	89	87	85	84	82	79	76	73	70	67	64	61	58	56	53	51	47	42	39	35	32	28	26	23	20	18	16	14							
92	98	97	95	93	91	89	87	86	84	82	79	76	73	70	67	64	61	59	56	54	52	47	43	39	36	32	29	26	24	21	19	16	14							
94	99	97	95	93	91	89	88	86	84	83	79	76	73	70	67	65	62	59	57	54	52	48	44	40	36	33	30	27	24	22	19	17	15							
96	99	97	95	93	91	90	88	86	84	83	80	76	74	70	68	65	62	60	57	55	53	48	44	41	37	34	31	28	25	22	20	18	16							
98	99	97	95	93	92	90	88	86	85	83	80	77	74	71	68	65	63	60	58	55	53	49	45	41	38	34	31	28	26	23	21	19	16							
100	99	97	95	93	92	90	88	86	85	83	80	77	74	71	68	66	63	60	58	56	54	49	45	42	38	35	32	29	26	24	22	19	16							

ANEXO VI- Dados meteorológicos de radiação global diária,  
precipitação diária, e temperaturas médias diárias de Maputo