

The background of the entire cover is a photograph of large stacks of light-colored, rectangular wooden planks or lumber, arranged in neat piles. The perspective is from a low angle, looking up at the stacks, which recede into the distance. The lighting is bright, creating a warm, yellowish-orange hue across the entire image.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA
INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL
DEPARTAMENTO DE PESQUISA
LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS

SECAGEM DE MADEIRA SERRADA

Varlone Alves Martins

Brasília, 1988

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente: José Sarney

Ministro da Agricultura: Iris Rezende Machado

PRESIDENTE DO INSTITUTO BRASILEIRO DE
DESENVOLVIMENTO FLORESTAL

Antonio José Costa de Freitas Guimarães

SECRETÁRIO GERAL

José Carlos Carvalho

DIRETOR DO DEPARTAMENTO DE PESQUISA

Sérgio de Almeida Bruni

COORDENADOR DO LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS

Mário Rabelo de Souza

847

M383s

MARTINS, Varlone Alves

Secagem de madeira serrada.

Brasília, IBDF/DPq — LPF, 1988.

52 p. ilustr.

1. Secagem — madeira. I. Título.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA
INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL
DEPARTAMENTO DE PESQUISA
LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS

SECAGEM DE MADEIRA SERRADA

Varlone Alves Martins *

* Engenheiro Florestal responsável pelo Setor de Secagem da Madeira, do Laboratório de Produtos Florestais/DPq/IBDF

Brasília, 1988

APRESENTAÇÃO

Com a crescente necessidade de exportar principalmente madeira industrializada e produtos acabados, cresce também a demanda do setor por técnicas tanto novas como tradicionais de processamento de madeira na busca de melhor qualidade, condição essencial na conquista de um mercado externo reconhecidamente exigente.

Dentro deste contexto foi criado pelo Laboratório de Produtos Florestais do Departamento de Pesquisa do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal o "Curso básico de secagem de madeira serrada" para o qual elaborou-se o presente trabalho, buscando fornecer um texto balizador do referido curso e introduzir conceitos preliminares de secagem de madeira à profissionais da indústria do segmento madeireiro/mobiliário.

MARIO RABELO DE SOUZA

Coordenador do Laboratório de Produtos Florestais

SUMÁRIO

1. IMPORTÂNCIA DA SECAGEM.....	5
1.1. Definição	5
1.2. Umidade na madeira.....	5
1.3. Benefícios obtidos ao secar a madeira	5
2. RELAÇÕES DE UMIDADE NA MADEIRA	7
2.1. Teor de umidade (TU)	7
2.2. Teor de umidade de equilíbrio (TUE)	8
2.3. Ponto de saturação das fibras (PSF)	8
2.4. Como a madeira seca	9
3. FATORES QUE INFLUENCIAM A VELOCIDADE DA SECAGEM	11
3.1. Temperatura	11
3.2. Umidade relativa do ar (URA)	12
3.3. Circulação do ar	12
3.4. Características intrínsecas das madeiras (espécie, espessura, cerne e alburno, orientação do corte)	12
4. MÉTODOS DE SECAGEM	14
4.1. Secagem natural	14
4.2. Secagem solar	21
4.3. Secagem convencional	21
4.4. Secagem por desumidificação	27
5. DEFEITOS NA SECAGEM	28
5.1. Causas	28
5.2. Redução da incidência de defeitos na madeira	32
6. ARMAZENAMENTO DE MADEIRA	35
7. ANEXOS	42
8. BIBLIOGRAFIA	51

1. IMPORTÂNCIA DA SECAGEM

1.1. Secagem – Definição

A secagem da madeira é o processo da redução do seu teor de umidade a fim de levá-la a um teor de umidade definido, com o mínimo de defeitos, no menor tempo possível e de uma forma economicamente viável, para o uso a que se destina.

1.2. Umidade da madeira

Uma árvore viva pode conter desde 35% até mais de 200% de teor de umidade (o pau-de-balsa pode chegar a 400%). Logo após a derrubada, a madeira já começa a secar, e a perda de umidade vai ocorrendo durante o desdobro da tora, prosseguindo pelo processamento em diante. Podemos influir na secagem de forma artificial, isto é, submetendo a madeira à secagem em equipamentos apropriados, ou propiciar condições para uma secagem natural adequada de forma a obtermos um produto de boa qualidade ao final do processo. Para a construção de móveis por exemplo a madeira deve ter um adequado teor de umidade pois de outra forma as juntas e encaixes se abrem, as gavetas afrouxam e os painéis empenam. A redução da umidade antes da produção dos móveis minimizará o aparecimento de defeitos e dará ao cliente um melhor produto.

1.3. Benefícios obtidos ao secar a madeira

- Estabilidade das dimensões da madeira

A madeira contrai-se conforme vai secando e expande-se quando sua umidade aumenta. Quando a madeira seca até o teor de umidade final apropriado, a maior parte da contração já ocorreu. Devido a isso haverá menos movimento dimensional causando empenos, rachaduras ou qualquer

outra alteração devida a secagem.

- Redução dos riscos de manchas e apodrecimentos.

A madeira verde é atacada por fungos e insetos que a degradam, tanto diminuindo sua resistência mecânica (fungos apodrecedores e insetos), como alterando sua aparência (fungos manchadores) e, conseqüentemente, reduzindo seu valor comercial. Abaixo de 20% de umidade a madeira é praticamente imune à maioria dos fungos e a alguns insetos.

- Redução do peso

Os produtos da madeira tais como móveis e madeira para construção serão de peso menor e, nos casos em que o transporte for baseado no peso, terão custos de transporte menores.

- Melhor tratabilidade

A madeira se impregna mais facilmente com preservantes ou retardantes para fogo quando seu teor de umidade está abaixo de 20%. Além disso, pinturas, vernizes, ceras e outros materiais de acabamento aderem-se melhor à madeira seca.

- Aumento da resistência mecânica

A madeira seca tem uma sensível melhora das propriedades mecânicas como flexão estática, compressão, dureza, cisalhamento, etc. (exceções: – tração perpendicular às fibras e resistência ao impacto).

- Melhora das características de trabalhabilidade

A madeira seca apresenta melhores resultados de aplainamento, lixamento, furação etc.

- Propriedade de pega

A madeira com alta porcentagem de umidade não permite uma boa aderência ao se fabricar produtos colados.

- Melhor fixação de pregos e parafusos

Juntas cravadas em madeira verde podem perder até metade da resistência.

- Propriedades de isolamento

A madeira seca conduz menos calor que a madeira verde. Além disso, é isolante elétrico e acústico.

2. RELAÇÕES DE UMIDADE NA MADEIRA

2.1. Teor de umidade (TU)

Para fins de secagem de madeira serrada o teor de umidade pode ser definido como sendo a quantidade de água que uma peça de madeira contém, expressa como porcentagem do peso seco em estufa ($103 \pm 2^\circ\text{C}$) da peça de madeira (base seca). A fórmula para o cálculo é:

$$\text{(Equação 01) TU\%} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso seco em estufa}}{\text{Peso seco em estufa}} \times 100$$

O teor de umidade da madeira pode ser determinado de diversas maneiras sendo que as mais comuns são:

Método da estufa – o método padrão para a determinação do teor de umidade da madeira é o da secagem em estufa. São cortadas amostras com 2,5cm de largura (na direção da grã) e retiradas todas as farpas que podem ser perdidas e influenciar no peso – pesa-se a amostra para obtenção do peso inicial e coloca-se na estufa a uma temperatura $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até que se obtenha o peso constante da amostra (peso seco em estufa). Aplica-se então a

equação 01 para se obter o teor de umidade da madeira. Pode-se usar uma, duas ou mais amostras dependendo do tamanho da peça e da precisão que se deseja obter.

Exemplo: Uma amostra de 20 x 2,5 x 2,5cm é cortada de uma tábua para se conhecer o conteúdo de umidade. O peso inicial (Pi) foi de 150g. Depois foi colocada na estufa a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e pesada sucessivamente em intervalos de 24 horas até não mostrar mais variação de peso. Seu peso constante (seco em estufa) foi de 120g. Qual o teor de umidade? Aplicando-se a equação 01, tem-se:

$$\text{(Equação 01) TU\%} = \frac{150 - 120}{120} \times 100 = 25\% \text{ (anexos)}$$

Medidor elétrico de umidade – os medidores de umidade elétricos são aparelhos utilizados para se determinar o teor de umidade de uma peça ou de um lote de madeira. São muito utilizados por serem práticos e rápidos não sendo necessário cortar nenhuma amostra da madeira. Os mais comuns são os que baseiam na condutividade elétrica utilizando a relação fixa entre a resistência elétrica e o teor de umidade da madeira. Possuem agulhas que são introduzidas na madeira, fornecendo a leitura do teor de umidade num mostrador. São mais precisos numa faixa de 7 a 30% de umidade.

2.2. Teor de umidade de equilíbrio (TUE)

É o teor de umidade que a madeira tende a alcançar quando deixada em condições de umidade relativa e temperatura constantes. Pode apresentar uma pequena variação de uma madeira para outra, no entanto, essa variação pode ser desprezada e o teor de umidade de equilíbrio pode ser encontrado em tabelas juntamente com a umidade relativa e a temperatura ambiente (Tabela 01).

2.3. Ponto de saturação das fibras (PSF)

Existem dois tipos importantes de água na madeira: água livre e água presa. A água livre encontra-se nas cavidades celulares e nos espaços entre as células (meatos), em estado líquido. Teóricamente, a água livre pode ser retirada facilmente passando de uma célula para outra até a superfície.

A água presa mantém-se unida às microfibrilas da parede celulósica das células por atração das moléculas, em estado de vapor. A remoção da água presa é mais difícil e mais lenta sendo necessário aumento de energia, usualmente, o calor. O limite entre esses dois tipos de água é chamado de PSF, isto é, quando toda a água livre já foi retirada, dizemos que a madeira atingiu o ponto de saturação das fibras o qual, considerando-se uma faixa normal, situa-se entre 22 e 30% dependendo da espécie de madeira. Para efeito prático considera-se 30% para todas as madeiras. A importância do PSF é devida às mudanças que ocorrem na madeira a partir desse ponto: alterações na resistência mecânica e contrações que causam defeitos como empenos e rachaduras.

2.4. Como a madeira seca

A água move-se dentro da madeira de diferentes maneiras. A água livre move-se principalmente por capilaridade. Entretanto, como a madeira seca da superfície externa para a parte interna, isto é, de fora para dentro, rapidamente a superfície tende a secar abaixo do PSF. Inicia-se então um gradiente de umidade, com a água movendo-se do interior (alta umidade) para a superfície (baixa umidade) inicialmente por capilaridade e depois por difusão, tão rápido quanto as condições do meio (velocidade do ar, temperatura, URA), possam absorvê-la assim que chega a superfície da madeira. Se estas condições do meio evaporarem mais água do que a madeira tem condições de enviar à superfície, a linha de evaporação (interface onde está ocorrendo a secagem) penetra na madeira, isto é, a superfície ficará mais seca do que o interior. Se esta superfície seca abaixo do PSF antes que o interior o faça, podem ocorrer rachaduras na superfície e nos extremos da peça de madeira.

Diversas forças atuam simultaneamente nos movimentos da água, quando a madeira está secando:

1. Ação de capilaridade – causam o movimento da água livre principalmente através das cavidades das células e pequenas aberturas na parede celular;

Tabela 01 — Umidade relativa do ar e umidade da madeira em função das temperaturas do bulbo seco e bulbo úmido, Bramhall, G. & Wellwood, R. W. 1976(01)

Temperatura
de bulbo seco

Diferença entre as temperaturas dos termômetros de bulbo seco e de bulbo úmido (°C)

(°C)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0	30.0
0	91	82	73	64	58	47	39	31	22	14																				
	20.5	17.0	14.3	12.2	10.5	9.0	7.6	6.3	4.9	3.5																				
5	93	88	79	72	65	58	51	45	38	32	19	6																		
	21.6	18.4	15.9	14.0	12.3	10.9	9.7	8.5	7.5	6.5	4.4	1.9																		
10	94	88	82	78	71	65	60	54	49	44	33	23	14	4																
	22.4	19.5	17.2	15.3	13.7	12.4	11.2	10.2	9.3	8.4	6.8	5.2	3.5	1.3																
15	95	90	85	80	75	70	66	61	57	52	44	35	27	19	12	4														
	23.0	20.3	18.1	16.3	14.8	13.6	12.4	11.5	10.6	9.8	8.3	7.0	5.8	4.5	3.0	1.3														
20	96	91	87	83	78	74	70	68	62	59	51	44	37	30	24	17	11	5												
	23.4	20.9	18.8	17.1	15.7	14.4	13.4	12.4	11.5	10.8	9.4	8.2	7.2	6.2	5.2	4.1	2.9	1.6												
25	96	92	88	84	81	77	74	70	67	63	57	50	44	38	33	27	22	15	11	7										
	23.6	21.2	19.3	17.7	16.3	15.1	14.0	13.1	12.3	11.5	10.2	9.1	8.1	7.2	6.4	5.6	4.8	3.9	3.0	1.9										
30	98	93	89	88	83	79	78	83	70	67	61	55	50	44	39	34	29	25	16	12	12	8								
	23.7	21.5	19.6	18.0	16.7	15.5	14.5	13.6	12.8	12.1	10.8	9.7	8.8	8.0	7.2	6.5	5.8	5.2	4.5	3.8	3.0	2.2	1.3							
35	97	93	90	87	84	81	78	75	72	69	64	59	54	49	44	40	36	31	27	23	20	16	12	9	6					
	23.7	21.5	19.8	18.2	16.9	15.8	14.8	13.9	13.1	12.5	11.2	10.2	9.3	8.5	7.8	7.1	6.5	5.9	5.4	4.8	4.3	3.7	3.1	2.4	1.7	4				
40	97	94	91	88	85	82	80	77	74	72	67	62	57	53	48	44	40	36	32	29	28	22	19	16	13	5	2			
	23.6	21.5	19.8	18.3	17.1	16.0	15.0	14.1	13.4	12.7	11.5	10.5	9.6	8.8	8.1	7.5	7.0	6.4	5.9	5.5	5.0	4.5	4.1	3.6	3.1	2.0	0.7			
45	97	94	91	89	86	83	81	78	76	73	69	64	60	56	52	48	44	40	37	34	30	27	24	22	19	14	9	4		
	23.4	21.4	19.7	18.3	19.1	16.0	15.1	14.2	13.5	12.8	11.6	10.6	9.8	9.0	8.4	7.8	7.3	6.8	6.3	5.9	5.5	5.1	4.7	4.3	3.9	3.1	2.2	1.2		
50	97	95	92	89	87	84	82	80	77	75	71	68	62	58	54	51	47	44	40	37	34	31	29	26	23	18	14	10	8	2
	23.1	21.2	19.6	18.2	17.0	16.0	15.0	14.2	13.5	12.8	11.7	10.7	9.9	9.2	8.5	8.0	7.5	7.0	6.5	6.1	5.8	5.4	5.0	4.7	4.4	3.7	3.0	2.3	1.5	0.6
55	97	95	92	90	88	85	83	81	78	76	72	68	64	60	57	53	50	47	43	40	38	35	32	30	27	22	18	14	18	7
	22.8	20.9	19.4	18.0	16.9	15.8	15.0	14.2	13.4	12.8	11.7	10.7	9.9	9.2	8.6	8.0	7.5	7.1	6.7	6.3	5.9	5.8	5.2	5.0	4.7	4.1	3.5	2.9	2.3	1.7
60	98	95	93	90	88	86	84	82	79	77	73	69	66	62	59	55	52	49	48	43	40	38	35	33	30	26	22	18	14	11
	22.4	20.6	19.1	17.8	16.7	15.7	14.8	14.0	13.3	12.7	11.6	10.7	9.9	9.2	8.6	8.1	7.6	7.0	6.7	6.4	6.0	5.7	5.4	5.1	4.8	4.3	3.8	3.3	2.8	2.3
65	98	95	93	91	89	87	84	82	80	78	74	71	67	64	60	57	54	51	48	45	42	40	38	35	33	29	25	21	17	14
	22.0	20.3	18.8	17.5	16.4	15.5	14.6	13.9	13.2	12.6	11.5	10.6	9.8	9.1	8.5	8.0	7.6	7.1	6.8	6.4	6.1	5.8	5.5	5.2	4.9	4.4	4.0	3.5	3.1	2.7
70	98	98	83	91	89	87	85	83	81	79	75	72	68	65	62	59	58	53	50	47	45	42	40	37	35	31	27	23	20	17
	21.6	19.9	18.5	17.2	16.2	15.2	14.4	13.6	13.0	12.4	11.3	10.4	9.7	9.0	8.5	8.0	7.5	7.1	6.7	6.4	6.1	5.8	5.5	5.2	5.0	4.5	4.1	3.7	3.3	2.9
75	98	96	94	92	90	88	85	84	82	80	76	73	70	68	63	60	57	54	52	49	47	44	42	39	37	33	29	26	22	19
	21.1	19.5	18.1	16.9	15.9	15.0	14.1	13.4	12.9	12.2	11.1	10.3	9.5	8.9	8.4	7.9	7.4	7.0	6.6	6.3	6.0	5.7	5.5	5.2	5.0	4.5	4.1	3.8	3.4	3.1
80	98	96	94	92	90	88	86	84	82	82	77	74	71	67	64	61	59	58	53	51	48	46	44	41	39	35	31	28	25	22
	20.6	19.1	17.7	16.6	15.5	14.7	13.9	13.2	12.5	11.9	10.9	10.1	9.4	8.8	8.2	7.7	7.3	6.9	6.6	6.2	5.9	5.7	5.4	5.2	4.9	4.5	4.1	3.8	3.5	3.1
85	98	96	94	92	90	88	87	85	83	81	78	75	72	68	65	63	60	57	55	52	50	47	45	43	41	37	33	30	27	24
	20.1	18.6	17.3	16.2	15.2	14.3	13.6	12.9	12.3	11.7	10.7	9.9	9.2	8.6	8.1	7.6	7.2	6.8	6.4	6.1	5.8	5.6	5.3	5.1	4.9	4.5	4.1	3.8	3.5	3.2
90	98	96	94	92	91	89	87	85	84	82	79	76	72	69	67	64	61	59	58	54	51	49	47	45	43	39	35	32	28	25
	19.6	18.1	16.9	15.8	14.8	14.0	13.3	12.6	12.0	11.4	10.5	9.7	9.0	8.4	7.9	7.4	7.0	6.7	6.3	6.0	5.7	5.5	5.2	5.0	4.8	4.4	4.1	3.7	3.4	3.2
95	98	96	94	93	91	89	88	86	84	83	79	78	73	70	68	65	62	60	57	55	53	50	48	46	44	40	37	33	30	27
	19.1	17.7	16.4	15.4	14.5	13.7	12.9	12.3	11.7	11.2	10.3	9.5	8.8	8.2	7.7	7.3	6.9	6.5	6.2	5.9	5.6	5.4	5.1	4.9	4.7	4.3	4.0	3.7	3.4	3.1
100	98	96	95	93	91	90	88	86	85	83	80	77	74	71	69	68	63	61	58	56	54	52	49	47	45	42	38	35	32	29
	18.5	17.2	16.0	15.0	14.1	13.3	12.6	12.0	11.4	10.9	10.0	9.2	8.6	8.0	7.5	7.1	6.7	6.3	6.0	5.7	5.5	5.2	5.0	4.8	4.6	4.3	3.9	3.6	3.3	3.1
105	98	97	95	93	92	90	88	87	84	84	81	78	75	72	69	67	64	62	60	57	55	53	51	49	47	43	39	36	33	30
	18.0	16.7	15.5	14.6	13.7	12.9	12.3	11.7	11.1	10.6	9.7	9.0	8.4	7.8	7.3	6.9	6.5	6.2	5.9	5.6	5.3	5.1	4.9	4.7	4.5	4.1	3.8	3.5	3.3	3.0
110	98	97	95	93	92	90	89	87	86	84	81	78	76	73	70	68	65	63	61	58	56	54	52	50	48	44	41	38	34	32
	17.4	16.2	15.1	14.1	13.3	12.6	11.9	11.3	10.8	10.3	9.5	8.7	8.1	7.6	7.1	6.7	6.3	6.0	5.7	5.4	5.2	4.9	4.7	4.5	4.3	4.0	3.7	3.4	3.2	3.0
115	98	97	95	94	92	90	89	87	86	85	82	79	76	74	71	69	66	64	62	59	57	55	53	51	49	48	42	38	34	33
	16.8	15.6	14.6	13.7	12.9	12.2	11.6	11.0	10.5	10.0	9.2	8.0	7.9	7.4	6.9	6.5	6.2	5.8	5.5	5.3	5.0	4.8	4.6	4.4	4.2	3.9	3.6	3.3	3.1	2.9

2. Diferenças na umidade relativa dentro da madeira. Estas diferenças estabelecem gradientes de umidade que fazem o vapor d'água mover-se através de várias passagens, por difusão;
3. Diferenças no teor de umidade, que movimentam a água presa através de pequenas passagens nas paredes celulares, por difusão.

Quando a madeira verde começa a secar, a evaporação da água das camadas superficiais estabelece forças capilares que exercem um arraste sobre a água livre contida nas zonas abaixo da superfície, produzindo um fluxo de água do centro para as superfícies da madeira, semelhante ao que ocorre num pavio aceso ou num canudinho. Os movimentos da umidade por difusão resultam de diferenças na umidade relativa e teor de umidade entre a superfície e o interior da madeira, ou entre duas zonas quaisquer da madeira onde ocorram essas diferenças. A umidade na madeira move-se simultaneamente por capilaridade e por difusão. Em comparação com a ação da capilaridade a difusão é considerada um processo extremamente lento. Geralmente a água difunde-se mais rapidamente na direção radial (perpendicular aos anéis). A difusão longitudinal é cerca de 10 a 15 vezes mais rápida que a radial, mas apesar dessa diferença, excluindo-se peças curtas, o efeito da difusão longitudinal perde-se rapidamente por causa da distância que a umidade tem que percorrer para chegar a superfície (extremidade da peça).

3. FATORES QUE INFLUENCIAM A VELOCIDADE DA SECAGEM

3.1. Temperatura

De uma maneira geral, quanto maior a temperatura, maior a velocidade de secagem. No entanto durante a retirada d'água livre não é necessário utilizar temperaturas elevadas, pois o efeito do aquecimento não aumenta significativamente a taxa de secagem nessa fase (06). O aumento da temperatura influi na umidade relativa do ar acelerando a difusão, responsável pela retirada da água presa (abaixo de 30%).

3.2. Umidade relativa do ar (URA)

A umidade relativa do ar é a razão entre a quantidade de vapor d'água contida num determinado volume de ar e a quantidade máxima de vapor d'água que este mesmo volume poderá conter, na mesma temperatura. Portanto quanto maior a temperatura maior a quantidade de água que o ar poderá conter, acelerando assim a evaporação na superfície da madeira e estimulando a retirada da umidade.

3.3. Circulação do ar

Conforme o ar em volta da madeira vai absorvendo umidade, este irá perdendo o seu poder de absorção e, se não for substituído, tenderá a um equilíbrio que fará desaparecer o fluxo de transferência da umidade da madeira para o ar. A circulação do ar é importante na remoção desse ar, substituindo o ar com alta umidade por ar seco dando sequência a secagem e na distribuição homogênea do calor por toda a pilha, transferindo energia para a superfície da madeira.

3.4. Características intrínsecas da madeira

A velocidade de secagem depende ainda de algumas característica da própria madeira.

Espécie: Algumas madeiras secam mais rapidamente que outras sob as mesmas condições. Folhosas, normalmente, precisam de mais tempo que coníferas para secar. O peso específico da madeira é um bom indicativo de sua velocidade de secagem — madeiras mais densas levam mais tempo para secar que madeiras leves. Ocorre que o peso específico está muito relacionado com a permeabilidade que é um dos fatores intrínsecos da madeira que mais influem na secagem.

Espessura: O tempo de secagem tem sido estimado em função do quadrado¹ da espessura:

¹ Há divergências com relação ao expoente 2, sendo que alguns autores sugerem de 1,5 a 1,7.

$$\text{(Equação 02)} \quad \left(\frac{e_2}{e_1}\right)^2 \cdot t_1 = t_2$$

onde: e_2 = espessura da tábua 2

e_1 = espessura da tábua 1

t_1 = tempo gasto para secar a tábua de espessura 1

t_2 = tempo estimado para secar a tábua de espessura 2

Exemplo: Seca-se uma peça de cedro desde verde até 10%, de 2,5cm de espessura, em 6 dias. Quantos dias serão necessário para secar outra peça de cedro com 7,5cm de espessura sob as mesmas condições?

$$e_1 = 2,5 \text{ e } e_2 = 7,5 \quad t_1 = 6 \text{ dias} \quad t_2 = ?$$

$$\text{(Equação 02)} \quad \left(\frac{7,5}{2,5}\right)^2 \cdot 6 = t_2 \quad t_2 = 54 \text{ dias}$$

Cerne e alburno: O alburno, tanto em folhosas como em coníferas, seca mais rápido que o cerne devido a sua alta permeabilidade, apesar de que o alburno quase sempre tem um teor de umidade mais alto que o do cerne. A menor permeabilidade do cerne é devida, entre outras coisas, ao fato de que os extrativos obstruem as pequenas aberturas existentes nas paredes das células que o compõem.

Orientação do corte: O fluxo de umidade no sentido longitudinal é 10 a 15 vezes maior que no transversal (radial ou tangencial) sendo que esse fluxo é de 20 a 50% maior no sentido radial que no tangencial (figura 01).

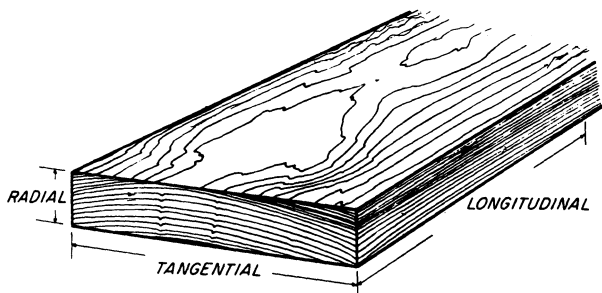


Figura 01 – Principais orientações em uma peça de madeira

4. MÉTODOS DE SECAGEM

4.1. Secagem natural

Consiste em empilhar convenientemente a madeira em local ventilado e preferencialmente coberto, a fim de evitar a incidência dos raios solares e da chuva, fazendo-se o controle do teor de umidade em intervalos regulares até que este atinja o valor desejado, que estará em função do uso final a que a madeira se destina ou até onde as condições climáticas da região permitirem.

Empilhamento: O método padrão de empilhamento é aquele em que as tábuas pré-selecionadas são colocados lado a lado formando camadas superpostas (Figura 2). Entre uma camada e outra colocam-se sarrafos ou tabiques chamados separadores, para permitir a passagem do ar entre as tábuas e retirar a umidade da madeira. Os separadores devem ser de madeira seca e sem empenos sendo que sua espessura consta na tabela 02.

Tabela 02 — **Valores recomendados para as dimensões da secção dos separadores e as distâncias entre eles, em função das diferentes espessuras das tábuas, de acordo com Hildebrand, 1970 (06).**

Tábua (mm)	Separadores (mm)		
	Espessura	Largura	Espaçamento
030	16	25	400 — 800
3060	25	25	600 — 1000
acima de 60	40	40	800 — 1200

Os valores da tabela 02 são apenas uma orientação de dimensões que vêm apresentando bons resultados. A espessura dos separadores pode variar em função do clima da região. Em lugares úmidos usam-se separadores mais espessos para acelerar a secagem (até uma vez e meia a espessura das tábuas). Em lugares secos procede-se inversamente reduzindo-se a espessura dos separadores. É importante que no empilhamento os separadores fiquem alinhados verticalmente, um na mesma direção do outro, para que haja uma boa distribuição do peso, evitando empenos nas tábuas.

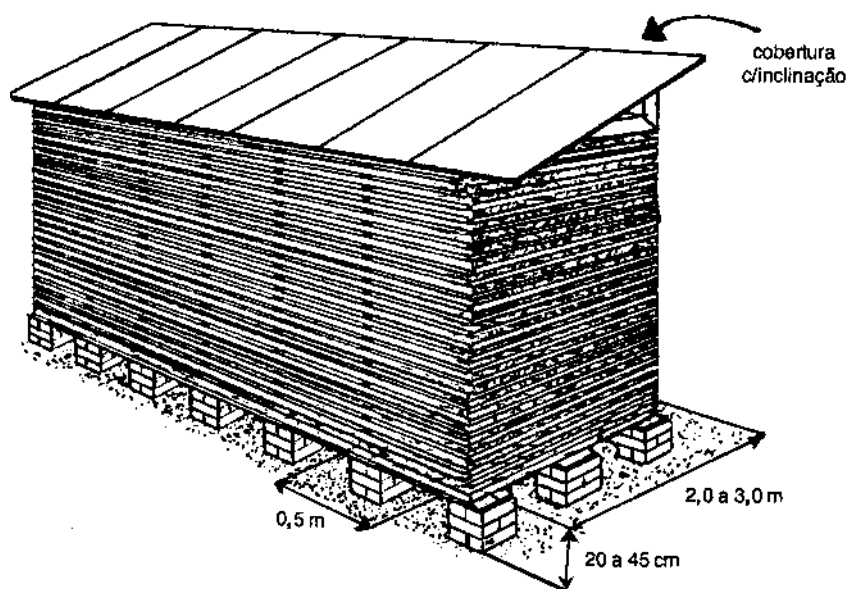


Figura 02 – Empilhamento padrão (“gradeado” ou “tipo caixa”).

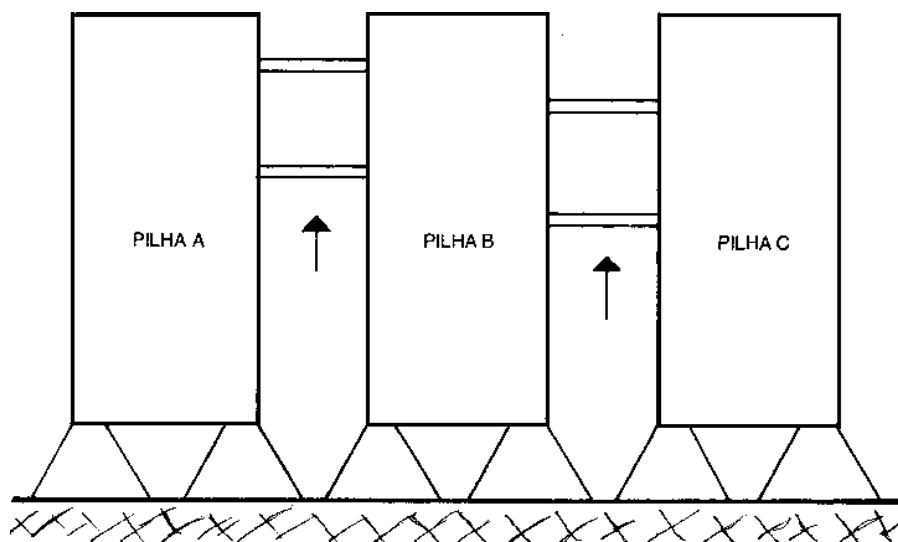


Figura 03 – Tipo de amarração entre as pilhas para aumentar a estabilidade.

A base das pilhas (fundações) faz parte do sistema de ventilação e destina-se a manter as pilhas a uma altura segura do solo. Pode ser de concreto ou de madeira. Quando de madeira devem ser usadas madeiras

com grande resistência mecânica e resistência natural ao ataque de fungos e insetos. Pode-se usar madeira tratada preferencialmente com creosoto sob pressão, de forma a ser o mais durável possível. A altura mínima para as fundações é de 20cm sendo que a ideal está em torno de 45cm.

No caso do empilhamento a descoberto, para evitar a incidência direta no sol ou chuva na madeira, as pilhas devem ser cobertas com telhas, plástico ou mesmo tábuas consideradas inservíveis (refugos). É também desejável uma pequena inclinação na cobertura da pilha para escoamento da água.

Uma pilha de madeira tem em média 2m de largura. Em lugares muito úmidos esta largura pode ser reduzida a um metro para evitar que as tábuas no centro fiquem muito úmidas e sujeitas a degradação. Pilhas muito estreitas ficam com a estabilidade comprometida devendo ser amarradas umas as outras (figura 03). A altura das pilhas está em função da facilidade para empilhar, situando-se em torno de 2,5m. Pode-se fazer pilhas com até 6.0m de altura desde que se disponha de uma empilhadeira ou outro recurso para isso (andaimes).

Existe outro tipo de empilhamento, muito usado em regiões tropicais que é o empilhamento tipo tesoura. Consiste em dispor as peças de forma inclinada, apoiadas a uma estrutura de madeira (figura 04). É muito utilizada em lugares úmidos, principalmente como pré-secagem, devido a alta velocidade de secagem que apresenta. Além disso, a montagem é bastante rápida quando as armações já estão prontas, e dispensa a colocação de separadores, pois estes já fazem parte da armação. Apresenta desvantagens tais como: tendência a empenos como torcedura e arqueamento; a parte superior da peça seca mais rápido que a inferior causando desuniformidade de umidade ao longo da peça; a maior velocidade de secagem pode causar rachaduras, principalmente em regiões de clima seco.

Quanto à distribuição das pilhas no pátio, existe uma influência tanto na direção predominante do vento como da distância entre as pilhas. Reduzindo-se o espaço entre as pilhas aumenta-se o tempo de secagem, ocorrendo o contrário quando essa distância é aumentada. Quando as pilhas são colocadas com o seu comprimento perpendicular à direção

predominante dos ventos a velocidade de secagem aumenta, e diminui, se o comprimento é colocado paralelamente à essa direção (figura 06).

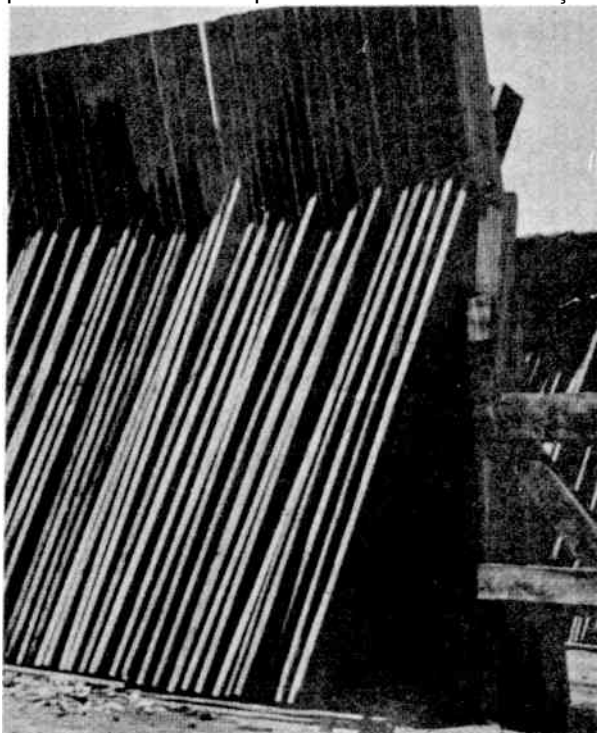


Figura 04 – Empilham “tipo tesoura” usado para pré-secagem.

Acompanhamento da perda de umidade: deve-se, primeiramente, determinar o teor de umidade da pilha, antes da secagem. Como não é prático tomar o teor de umidade de cada tábua da pilha, escolhem-se amostras-teste, as quais serão representativas da umidade da pilha, baseando-se na média de seus teores de umidade. Estas amostras ficam distribuídas na pilha, em lugares previamente estabelecidos, sendo retiradas periodicamente para pesagens (figura 07). Para se determinar o teor de umidade de cada amostra-teste, procede-se como na figura 07. O corpo de prova C é pesado e colocado em estufa a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ para determinação do seu teor de umidade, conforme explicação anterior (ver item 2.1.). O teor de umidade do corpo de prova C é então o teor da umidade inicial (TUI) da amostra-teste. Deve-se fazer o mesmo com pelo menos três amostras-teste por pilha, fazendo-se a média de seus três

teores de umidade, que representarão a umidade da pilha. Para se calcular o teor de umidade da pilha em um instante qualquer da secagem usa-se a equação 03:

$$\text{(Equação 03) } TUa = \frac{Pa (TUi + 100)}{Pi} - 100$$

onde:

TUa = Teor de umidade de uma amostra-teste em um instante qualquer da secagem (%).

Pa = Peso da amostra-teste, nesse mesmo instante (kg)

TUi = Teor de umidade inicial da amostra-teste (%)

Pi = Peso inicial da amostra-teste (kg)

Exemplo: Determinou-se o teor de umidade inicial de uma amostra teste, através do método da estufa, sendo igual a 60%. Sabendo-se que o peso inicial (Pi) da amostra-teste era de 12,0 kg e que seu peso atual (Pa) é de 9,0 kg, qual seu teor de umidade atual (TUa)?

Aplicando-se a equação 03, tem-se:

$$TUa = \frac{9,0 (60 + 100)}{12,0} - 100$$

$$TUa = 20\%$$

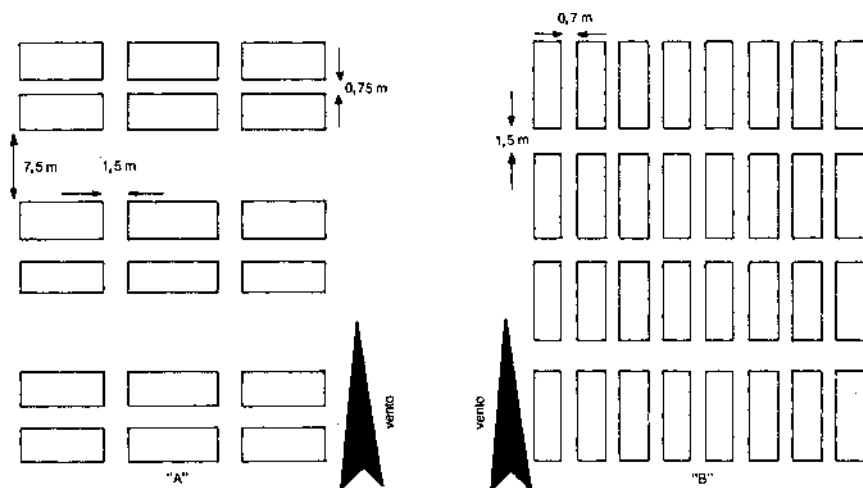


Figura 05 — Disposições nas pilhas no pátio determinadas através de empilhamento convencionais: "A" — disposição com maior índice de evaporação. "B" — disposição com menor índice de evaporação, de acordo com Finighan & Liversidge. (03)

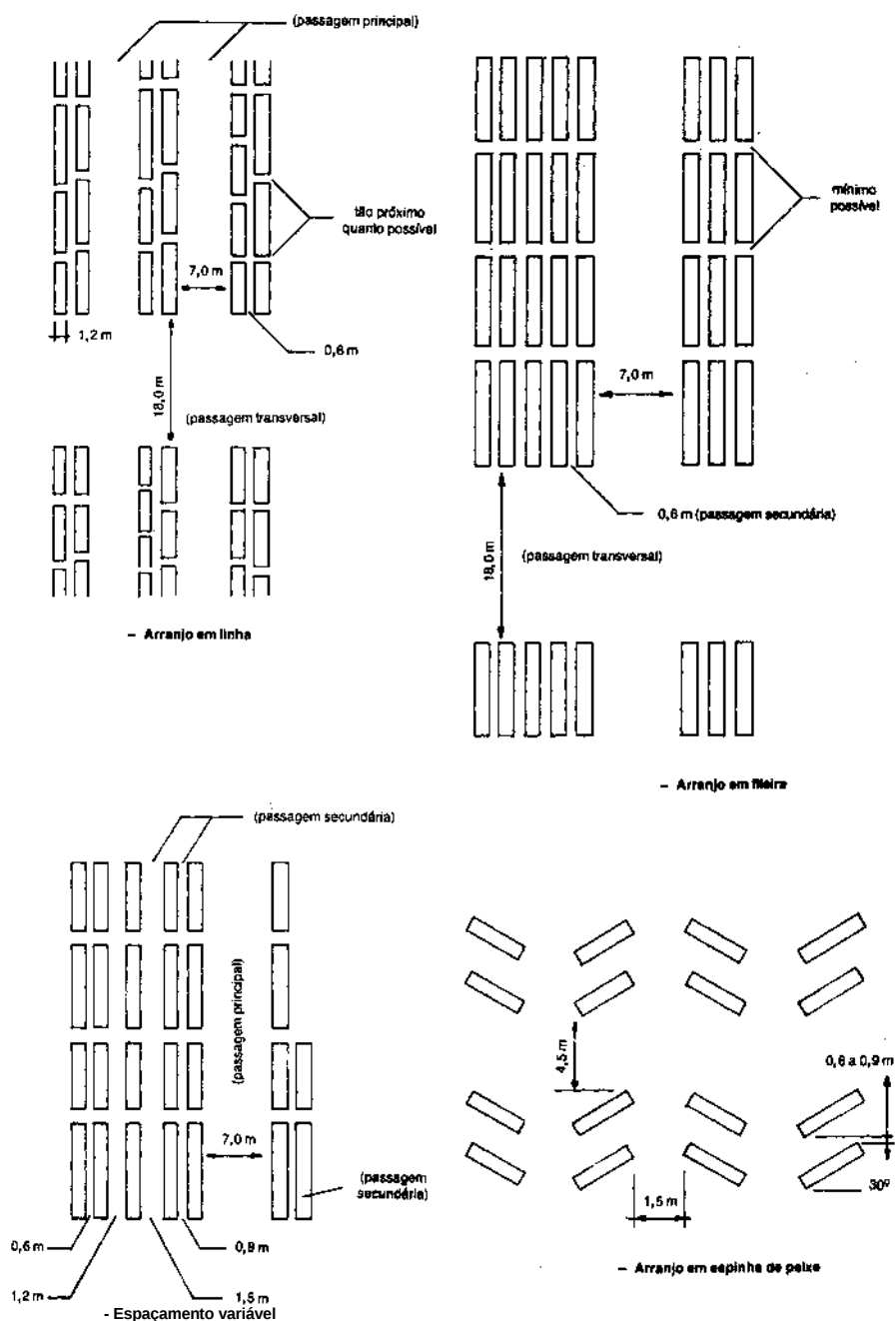


Figura 06 — Diversos arranjos para a formação do pátio de secagem, apresentados por Ponce & Watai, 1985 (10).

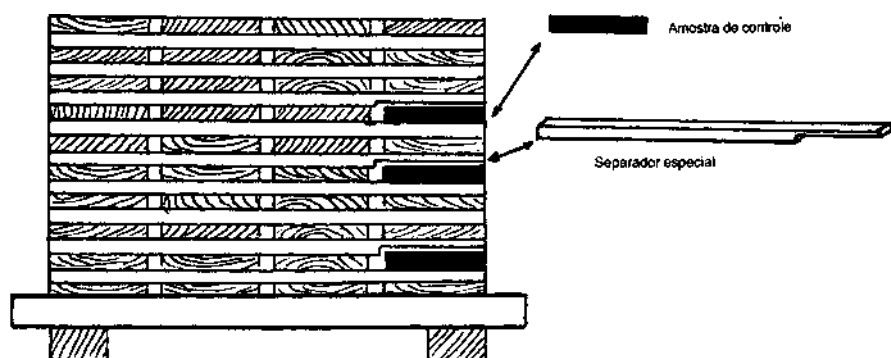


Figura 07 — Representação esquemática de um tipo de distribuição de amostras de controle numa pilha de madeira.

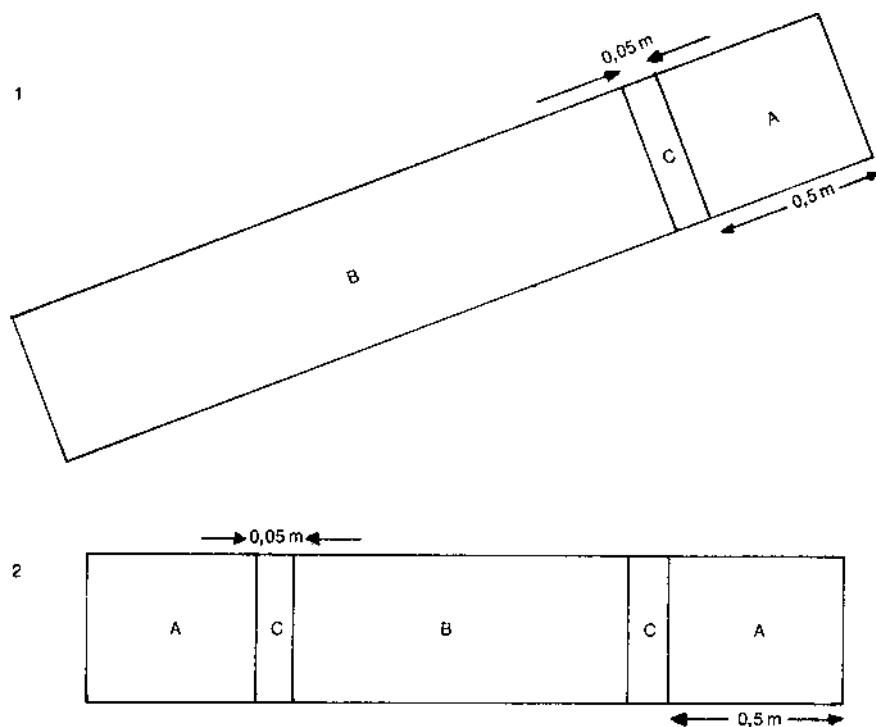


Figura 08 — Duas maneiras de se retirar corpos-de-prova para verificação do teor de umidade de uma amostra de controle.

4.2. Secagem solar

É considerado um processo intermediário entre a secagem ao ar livre, que não possui nenhuma forma de controle, e a secagem artificial, que possui controle de aquecimento, umidade relativa e circulação do ar. O secador solar utiliza a mesma fonte energética da secagem ao ar livre, isto é, a energia solar, porém com mais eficiência. A teoria de funcionamento desse processo está no princípio do efeito estufa onde a energia solar incide sobre uma cobertura transparente ou translúcida, a qual permite a passagem da energia solar incidente para o seu interior (ondas curtas). Esta energia atinge uma superfície plana pintada de preto e é convertida em calor (ondas longas) que é refletida pela superfície transparente, sendo capturada na estufa. Utilizando-se ventiladores faz-se o ar circular por essa área de aquecimento e através da pilha de madeira, provocando a secagem. Nos secadores solares mais simples o ar pode ser aquecido cerca de 20°C acima da temperatura ambiente com uma temperatura máxima de 50-60°C, podendo levar a madeira a um teor de umidade final menor que a secagem ao ar livre (figura 08).

Durante a secagem, o ar precisa ser renovado. Os secadores solares têm para isso, aberturas, as quais são utilizadas para determinar a velocidade de secagem através de controles da temperatura e principalmente da umidade. A principal desvantagens da secagem solar é, da mesma forma que a secagem livre, a dependência das condições climáticas, o que a torna bastante limitada.

Existem estudos para a utilização na secagem de madeira, de captadores solares mais complexos como os concentradores cilindro-parabólicos usados para aquecimento de líquidos que transferem calor para as estufas através de circulação em serpentinas (trocadores de calor), (09).

4.3. Secagem convencional

É o método de secagem artificial tradicional em que a madeira é seca numa estufa, operando numa faixa de 40 a 100°C, com total controle de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar. O sistema de

aquecimento mais comum é através de serpentinas a vapor produzido em caldeira. A circulação do ar é realizada por um ou mais ventiladores, de acordo com a capacidade da câmara, que usualmente é de 7 a 20 m³ e ocasionalmente, pode chegar a 100m³ (figura 10).

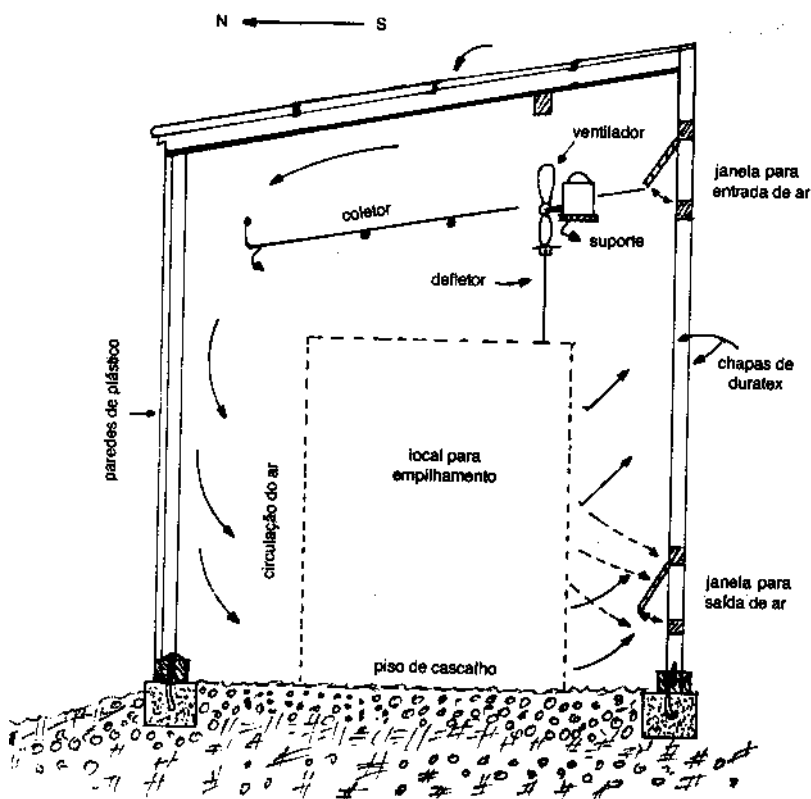


Figura 09 — Esquema típico de um secador solar, Vital e Collon, 1974 (16).

Controles — Uma câmara de secagem pode ser controlada manualmente ou automaticamente. Quando o controle é manual, requer um operador experientado que procurará manter as condições necessárias à secagem, abrindo ou fechando registros de acordo com um plano pré-estabelecido

para a madeira que estiver secando. Exige também o acompanhamento da perda de umidade através de pesagens de amostras-teste (Figura 08). A indústria produz sofisticados sistemas automáticos para facilitar esses controles. Os parâmetros pré-estabelecidos são fixados num painel de controle, de acordo com as características da madeira, de forma a requerer um mínimo de manipulações e ajustes para conduzir o processo. A perda da umidade é acompanhada no painel por meio de sensores ligados a algumas tábuas dentro da estufa registrando o teor de umidade. O painel pode ter ainda sensores para temperatura, umidade relativa e umidade de equilíbrio dentro da câmara, que são ajustados automaticamente de acordo com os parâmetros fixados no painel.

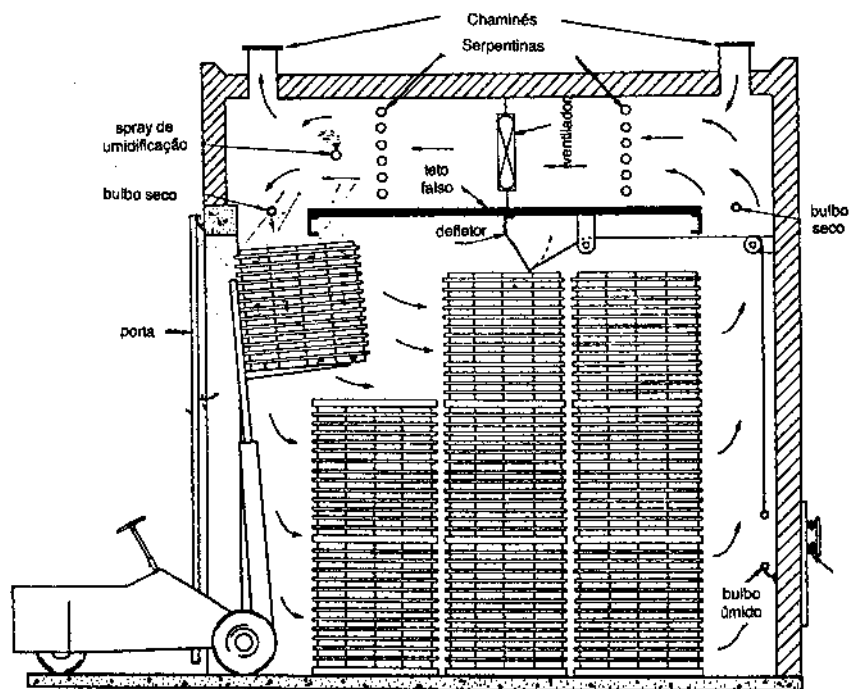


Figura 10 — Esquema de um modelo de estufa convencional segundo Rasmussen, 1961 (10).

Empilhamento – pode ser realizado diretamente dentro da câmara, ou externamente, sobre vagões que são conduzidos por meio de trilhos para dentro da estufa. O empilhamento pode ser cruzado ou longitudinal: cruzado – o comprimento das tábuas é perpendicular ao comprimento do secador, longitudinal – quando o comprimento das tábuas é paralelo ao comprimento da câmara. De qualquer forma é importante que a direção do ar circulante seja perpendicular ao comprimento das tábuas para que haja uma perfeita ventilação entre as camadas da pilha. No caso de ventilação ser paralela ao comprimento da pilha, terão que ser usados separadores especiais (vazados, de forma a permitir a passagem do ar).

Programas de secagem – um programa de secagem é um plano para se aplicar a combinação correta de temperatura e umidade relativa à carga de madeira na estufa, no momento apropriado, durante o processo de secagem. O programa correto deve possibilitar a obtenção da madeira seca com o mínimo de defeitos, no menor tempo possível.

Os principais fatores envolvidos na escolha de um programa de secagem são:

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

Para a maioria das espécies usadas comercialmente já existem programas de secagem elaborados por instituições de vários países. Além disso, diversas indústrias que fabricam secadores para madeira vêm acumulando programas que são fornecidos junto com seus equipamentos. Um bom operador de secadores tratará de fazer suas próprias modificações e adaptações, a partir de um programa básico, de maneira a obter uma secagem mais econômica e eficiente em sua própria estufa.

A aplicação de um programa de secagem é feita de maneira que o operador (controle manual) troca as condições dentro da estufa baseando-se em dados momentâneos do teor de umidade, obtidos através de amostras-teste, de acordo com o programa. Quando se seca sempre madeira da mesma espécie e da mesma espessura, destinando-se ao mesmo uso final, o programa pode ser baseado no tempo, isto é, as condições dentro da estufa são modificados dentro de intervalos de tempo conhecidos, determinados em secagem anteriores.

Exemplo de programa de secagem:

Programa para Mogno (*Swietenia macrophylla*), apresentado por Rasmussen, 1961 (11).

Teor de Umidade %	Temperatura °C		Umidade de Equilíbrio %	Umidade relativa do ar (% aprox.)
	Bulbo seco	Bulbo úmido		
Verde.....60	50	45	12,8	75
60.....40	50	44	11,7	70
40.....30	50	42	9,6	60
30.....25	55	43,5	7,5	50
25.....20	60	46	6,7	45
20.....15	70	52,5	5,5	40
15.....10	75	57,5	5,2	40
Igualação	75	64,0	8,0	60
Acondicionamento	75	71,5	14,0	85

A última etapa da aplicação de um programa de secagem é com relação controle de qualidade e as condições de umidade necessária ao produto final a ser confeccionado. Se esse uso final da madeira seca tolerar uma certa variação de umidade, o processo de igualação pode ser dispensado. Entretanto, em determinados usos como na fabricação de móveis, a uniformidade e a ausência de esforços como o endurecimento superficial são indispensáveis.

Para a igualação da umidade das peças ao final da secagem procede-se da seguinte maneira:

1. Quando a amostra mais seca alcançar um teor de umidade de cerca de 2% abaixo da média desejada para toda a carga, estabelece-se um teor de umidade de equilíbrio na estufa, igual ao dessa amostra (tabela 03).
2. Mantém-se então essas condições até que a amostra mais úmida atinja o teor de umidade final desejado para a carga.

Para o acondicionamento, o procedimento usual é o seguinte:

1. Quando a amostra mais úmida atingir o teor de umidade médio desejado, deve-se elevar a umidade de equilíbrio dentro da câmara, 4% acima desse teor de umidade médio desejado (tabela 04).

Tabela 03 — Teores de umidade de amostras-teste para igualação de uma carga de madeira de acordo com Rasmussen, 1961(11).

Teor de umidade médio desejado (%)	Teor de umidade da amostra mais seca (%)	Teor de umidade de equilíbrio durante a igualação (%)	Teor de umidade da amostra mais úmida ao final (%)
5	3	3	5
6	4	4	6
7	5	5	7
8	6	6	8
9	7	7	9
10	8	8	10
11	9	9	11

2. Continuar com o acondicionamento até que as amostras demonstrem que os esforços foram aliviados. Usualmente isso requer de 12 a 18 horas por polegada de espessura, para madeira de baixa densidade e de 20 a 24 horas por polegada de espessura, para madeira de alta densidade.

O teste do garfo (capítulo 05) para verificar o endurecimento é o mais confiável para determinar quando se deve parar com o processo de acondicionamento. Em muitos casos, a experiência do operador com diversas madeiras dá uma boa noção quanto ao tempo necessário de acondicionamento.

Tabela 04 - Teores de umidade de amostras-teste para acondicionamento de uma carga de madeira na estufa de acordo com Rasmussen, 1961 (11).

Teor de umidade médio desejado (%)	Teor de umid. de equilíbrio durante o acondicion. (%)	
	Coníferas	Folhosas
5	8	9
6	9	10
7	10	11
8	11	12
9	12	13
10	13	14
11	14	15

4.4. Secagem por desumidificação

A secagem por desumidificação é conhecida também como secagem a baixas temperaturas. Seu princípio básico está na redução da quantidade de vapor d'água do ar, forçando-o a passar por um desumidificador. Um desumidificador é termodinamicamente semelhante a um condicionador de ar, isto é, uma bomba de calor, aparelho usado para remover calor de um ambiente com temperatura mais baixa para um ambiente de temperatura mais alta, com realização de trabalho mecânico. É basicamente composto por um evaporador, um condensador, um compressor e uma válvula de controle. O evaporador e o condensador são trocadores de calor que utilizam um fluido circulante para a refrigeração, movimentado pelo compressor. A válvula de termo-expansão regula a pressão e o fluxo do fluido.

A um desumidificador acoplado a uma câmara de secagem dá-se o nome de **secador por desumidificação** (figura 11). Como na secagem convencional, o ar é movimentado através da pilha de madeira por um ou mais ventiladores. Entretanto o ar úmido que vem da pilha é forçado a circular dentro do desumidificador para que parte do vapor d'água seja removida (evaporador) e para que o ar seja aquecido (condensador) (figura 12).

Por se processar à baixa temperatura, (em torno de 40°C) a secagem por desumidificação é bastante lenta quando comparada à secagem convencional. Entretanto, por não necessitar de caldeira, seu custo de instalação é bem menor. Estudos têm revelado também, que há um menor consumo de energia quando se seca madeira até cerca de 20% de umidade, situando-se abaixo de 50% do consumo da secagem convencional (02) e há menor incidência de defeitos na madeira, causados pela secagem.

Apenas para situar em termos de velocidade de secagem, peças de cerejeira de 2 polegadas de espessura levaram cerca de 30 dias para ir de um teor de umidade inicial de 50%, até 15% de umidade final, em secadores por desumidificação.

5. DEFEITOS NA SECAGEM

5.1. Causas

Os defeitos que ocorrem na madeira durante a secagem causam significativos prejuízos para quem seca madeira e desestimula a utilização de determinadas espécies susceptíveis a esses defeitos, contribuindo para a exploração seletiva, responsável pelo reduzido número de espécies atualmente comercializadas, principalmente no setor moveleiro.

De uma maneira geral empenos e rachaduras são causados por diferenças de contração da madeira ao secar (tanto por anisotropia quanto por gradientes de umidade desenvolvidos na madeira durante o processo de secagem), por tensão hidrostática (que se desenvolve nas paredes das células podendo causar o colapso) e por tensões de crescimento.

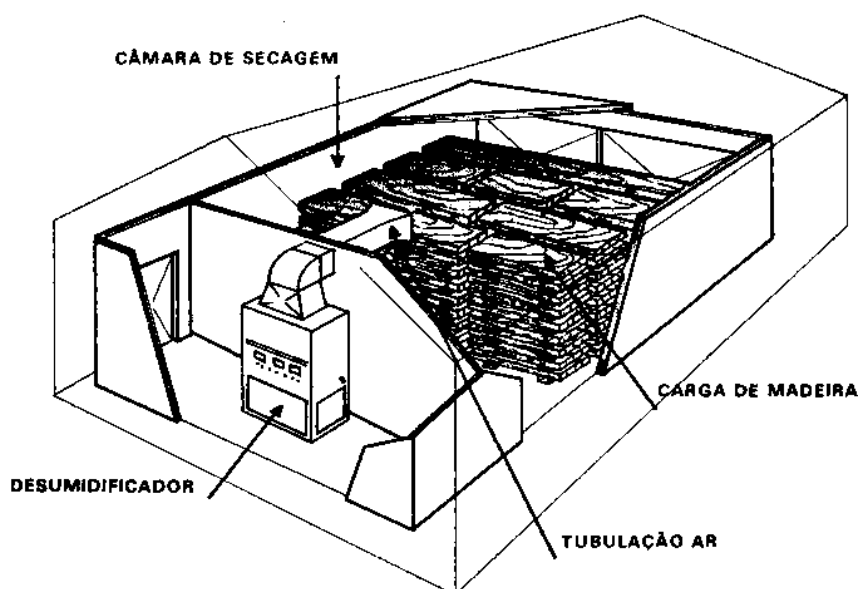


Figura 11 — Exemplo de um desumidificador acoplado à uma câmara de secagem

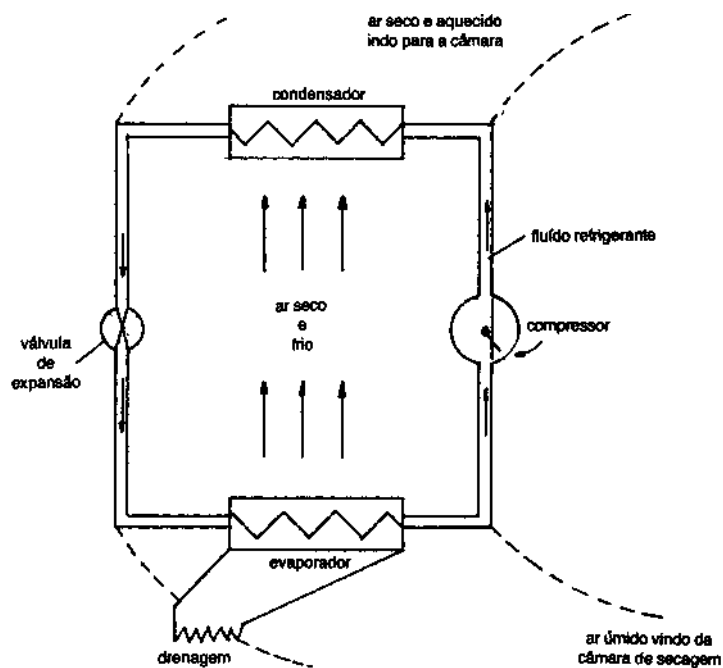


Figura 12 — Esquema de funcionamento de um desumidificador

Existem cinco formas comuns de empenos: encanoamento, arqueamento, encurvamento, torcimento e forma de diamante (figura 13). O encanoamento é causado pela maior contração paralela aos anéis de crescimento em relação à contração perpendicular. Ocorre preferencialmente em tábuas retiradas tangencialmente a tora. O arqueamento e o encurvamento são causados pela diferença na contração longitudinal entre duas faces opostas, da mesma peça de madeira. É que a madeira da parte mais central da tora se contrai mais, longitudinalmente, que a da parte externa, causando esses tipos de empenos. O torcimento é causado pela combinação de contrações diferentes e desvios da grã, como grã espiralada, diagonal, intercruzada, ondulada, etc. A forma diamante é característica de peças com secção quadrada. É resultante da diferença entre as contrações tangencial e radial, em peças de secção quadrada, quando os anéis de crescimento vão, diagonalmente, de um canto ao outro da secção.

A tensão hidrostática nos lumens celulares é considerada a causa de um sério defeito na madeira, denominado colapso. As explicações teóricas do mecanismo do colapso fogem aos nossos objetivos, porém pode-se dizer que o fator limitante na secagem das madeiras propensas ao colapso, é freqüentemente, o problema da remoção da água livre ou capilar contida na forma líquida nas cavidades celulares, com temperaturas elevadas nessa fase inicial da secagem. Pode-se desenvolver uma tensão hidrostática dentro dos lumens das células que, quando excede o limite proporcional, causam uma contração violenta das paredes celulares, com a madeira apresentando-se externamente, toda contraída e ligeiramente ondulada.

Embora não estejam diretamente relacionadas com a secagem as tensões de crescimento podem causar também sérios empenos na madeira. Tensões longitudinais de crescimento podem causar arqueamento e encurvamento logo após o desdobro das toras. Como essas tensões se desenvolvem durante o crescimento da árvore, quando a tora é desdobrada ocorre o desequilíbrio dessas tensões, causando os empenos e rachaduras antes da secagem.

Diferenças de umidade entre a superfície e o interior de uma peça podem causar tensões denominadas endurecimento superficial. Quando a

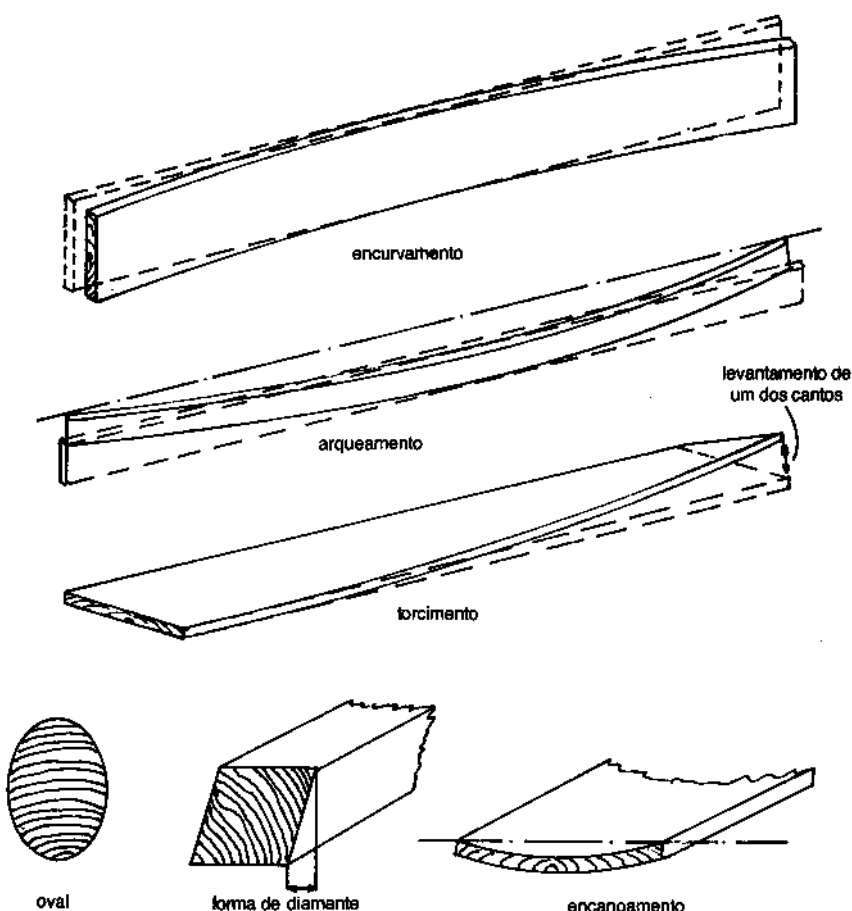


Figura 13 — Formas mais comuns de empenos ocorrentes na madeira, Simpson, 1983 (14).

superfície seca primeiro que o centro, as camadas da superfície tendem a contrair, no que são impedidas pelas células do centro que ainda estão úmidas. Então a superfície fica sob tensão e o centro sob compressão. Conforme a secagem progride o centro começa a secar e conseqüentemente, a contrair. Entretanto, como a superfície foi impedida de contrair anteriormente, suas camadas de células vão impedir a contração normal do centro, causando o processo inverso, isto é, a superfície fica sob compressão e o centro, sob tensão. Se as tensões forem muito fortes, no primeiro caso causam rachaduras superficiais e, no segundo caso, podem

causar rachaduras internas em favo-de-mel (honeycomb).

O endurecimento superficial é constatado através do teste do garfo (figura 14). Este teste é usualmente empregado durante o período de acondicionamento, para verificar se todas as tensões já foram eliminadas, porém pode-se aplicar o teste do garfo durante a secagem para acompanhar o desenvolvimento de possíveis ocorrências de endurecimento superficial.

Rachaduras nos extremos das peças (rachas de topo) são causadas devido à secagem rápida dessas partes em relação ao resto. Os extremos começam a contrair rapidamente e como o restante da peça não acompanha, ocorrem as rachaduras que, em casos mais sérios, podem transformar-se em verdadeiras fendas causando grandes perdas de madeira.

5.2. Redução da incidência de defeitos na madeira

Apesar de que pouco pode ser feito para prevenir a ocorrência de defeitos, algumas providências podem ser tomadas para minimizá-los.

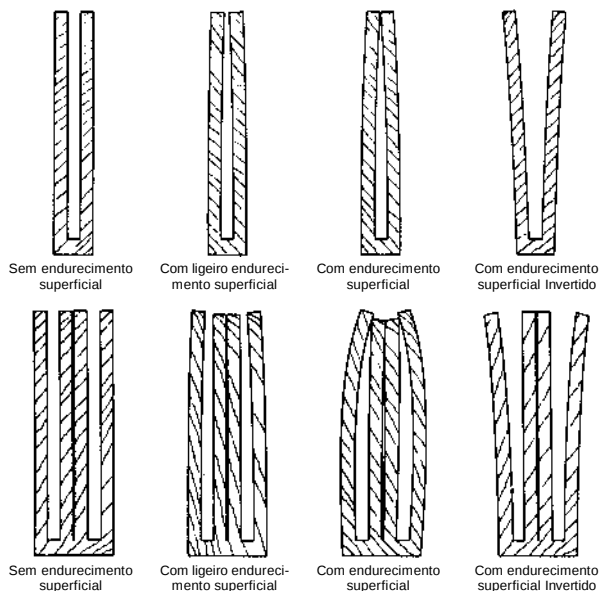


Figura 14 — “Teste do garfo” utilizado para verificação do endurecimento superficial.

Empenos e rachaduras na madeira podem ser reduzidos através do **desdobro adequado, empilhamento, colocação de pesos e procedimentos de secagem**, de acordo com as considerações feitas por Simpson, 1983 (14).

Desdobro – a primeira operação para se controlar a tendência a empenos é o ato de serrar. Aqui observa-se a correta orientação em relação aos anéis de crescimento, madeira juvenil e de reação, e desvios localizados da grã em relação às faces e às laterais das tábuas. No desdobro da madeira uma orientação planejada dessas características, pode reduzir o efeito de suas diferentes contrações, minimizando o aparecimento de defeitos. Se a madeira é susceptível ao encanoamento de ser desdobrada de forma a ter sua largura no sentido radial (quarter saw) em vez de no sentido tangencial (flat saw). Se os anéis de crescimento estiverem orientados perpendicularmente à largura

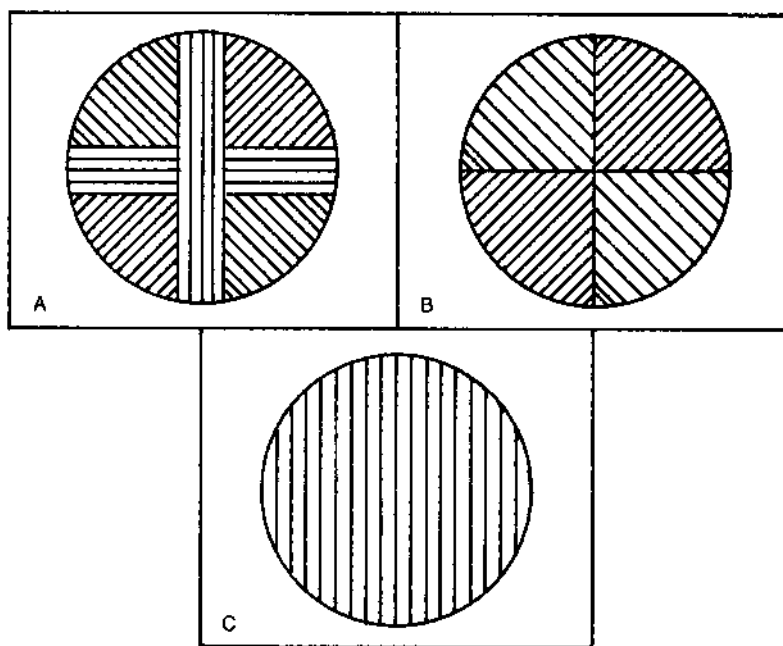


Figura 15 - "A" e "B" tipos de desdobro "quarter saw". "C" desdobro tipo "flat saw".

da peça de madeira, há uma sensível redução do encanoamento. A parte mais próxima da medula pode conter madeira juvenil ou de reação, que freqüentemente apresenta contração longitudinal anormalmente alta. Por este motivo, é aconselhável desprezar a parte central das toras evitando que as últimas tábuas a serem desdobradas incluam porção de medula em uma de suas faces o que fatalmente causaria encurvamento nessas tábuas. Procedimentos de manutenção para garantir um perfeito funcionamento das serras evitando desvios na espessura das peças desdobradas, facilitarão o seu perfeito apoio sobre os separadores durante o empilhamento.

Empilhamento – a espessura uniforme é uma das primeiras providências para garantir um bom apoio das peças sobre os separadores durante o empilhamento. As fundações das pilhas devem proporcionar um apoio firme e plano, evitando distorções que podem causar encanoamento e torcimento. Separadores de dimensões adequadas são importantes para manter a correta ventilação. Separadores quebrados ou empenados devem ser evitados pois podem causar empenos. O correto espaçamento dos separadores (tabela 02) e seu perfeito alinhamento, um verticalmente sobre o outro, evita uma série de problemas. Deve-se evitar pontas livres na formação das pilhas. Quando as tábuas forem de tamanhos diferentes, deverá haver separadores nas extremidades, sempre que possível. Quando não for possível, o balanço ou ponta livre não deve exceder a 0,3m. As pilhas devem ser cobertas para evitar a exposição ao sol e a chuva que causam contrações e inchamentos alternados podendo agravar os empenos. Para se evitar rachaduras nos extremos pode-se vedar os topos das peças com tinta a óleo, cera, verniz, resina, etc. Podem também ser utilizados nos extremos, separadores mais largos (cerca de 60mm) para retardar a secagem e evitar rachaduras. Esses separadores podem ficar proeminentes cerca de 30mm em relação ao topo das peças, diminuindo a incidência dos raios solares sobre as pontas, mantendo-se mais úmidas. Quando utilizado o empilhamento inclinado, esse não pode exceder de 3 a 4 dias para peças com uma polegada de espessura ou uma semana, para peças de duas polegadas. Logo após esse período, a madeira deve ser empilhada horizontalmente (gradeado) ou empacotada para embarque se tiver secado o suficiente.

Colocação de pesos – na prática, observa-se que as tábuas da parte de baixo da pilha apresentam menor índice de empenos que as de cima. Isso ocorre porque o peso das tábuas de cima impede que as de baixo empenem. Uma maneira de impedir que as tábuas de cima empenem é a colocação de pesos como blocos de concreto por exemplo, sobre as pilhas. Segundo as pesquisas, um controle efetivo é conseguido usando-se pesos de 250 a 1000kg/m² dependendo da madeira, espessura e nível de empenos que ela apresentar.

Procedimentos na secagem – na secagem convencional, a aplicação de um programa de secagem correto pode reduzir bastante a ocorrência de defeitos. Programas com temperaturas baixas no início da secagem são recomendados para madeiras com tendências a defeitos. Umidades relativas baixas, no início da secagem, podem causar rachaduras superficiais e endurecimento superficial. O acondicionamento, ao final da secagem, para aliviar essas tensões é essencial para madeiras que vão ser serradas novamente.

Na secagem natural em regiões de clima seco, existe sempre a possibilidade da ocorrência de rachaduras e empenos, principalmente em determinados meses do ano em que a umidade relativa do ar atinge níveis críticos. Pode-se minimizar esses defeitos procurando desacelerar a secagem utilizando-se pulverização periódica de água sobre as pilhas para elevar a umidade relativa, num processo semelhante à umidificação na secagem artificial. Separadores menos espessos (até 10mm), pilhas mais largas e mais próximas umas das outras também podem contribuir favoravelmente para a menor incidência de empenos e rachaduras, apesar de reduzir sensivelmente a velocidade de secagem. Nessa situação é necessário optar entre a maior velocidade de secagem com possibilidade de defeitos e uma secagem mais lenta, porém com material de melhor qualidade.

6. ARMAZENAMENTO DE MADEIRA

Um dos grandes problemas encontrados pelos madeireiros e para quem trabalha com madeira de maneira geral é o do armazenamento ou

estocagem. Tanto a madeira verde com a seca necessitam de cuidados especiais para o armazenamento buscando sempre preservar a qualidade do produto e reduzir as perdas causadas por defeitos produzidos pela ação do clima e pelo ataque de organismos xilófagos (fungos e insetos).

De acordo com Rietz & Page, 1971 (12), diversos tipos de armazenamentos podem ser aplicados na prática, sendo que entre esses destacam-se:

- ao ar livre
- galpões abertos
- galpões fechados
 - sem aquecimento
 - com aquecimento
 - com ar condicionado

— Ao ar livre

Em se tratando de madeira verde ou parcialmente seca, o procedimento deverá ser o mesmo descrito na secagem ao ar livre. No caso da madeira seca, esta poderá ser armazenada ao ar livre sempre que



Figura 16 - **Proteção temporária para estocagem ao ar livre, Rietz & Page, 1971 (12).**

seu teor de umidade for igual ou superior à umidade de equilíbrio média local. Se a madeira tiver sido seca até um teor de umidade menor que a umidade de equilíbrio, tenderá a absorver umidade. Quanto maior esse diferencial, maior será, o ganho de umidade da madeira exposta. Este ganho dependerá ainda da secção transversal das peças de madeira e do grau de proteção dado às pilhas (cobertura, proteção lateral, etc.).

Pilhas sólidas (sem tabiques) podem ser utilizadas quando o teor de umidade da madeira for inferior a 20%, porém devem ser muito bem protegidas contra a chuva porque a água que penetra nesse tipo de pilha é de difícil evaporação, podendo propiciar o desenvolvimento de fungos. Essas pilhas devem ser cobertas com lonas, plástico ou outro material impermeável qualquer.

Madeiras com teor de umidade acima de 20% que precisam ser estocadas, ou se for necessária uma secagem complementar, devem ser empilhadas com o uso de tabiques conforme o procedimento da secagem ao ar livre.

A madeira seca em estufa a um teor de umidade abaixo do teor de umidade de equilíbrio, se estocada ao ar livre, tenderá a absorver umidade principalmente em dias úmidos. Recomenda-se o empilhamento sem tabiques (pilhas sólidas) porém devem ser bem protegidas contra a chuva, com lonas ou, dependendo do uso, devem ser envoltas em plástico.

– Galpões abertos

Os galpões abertos (sem paredes laterais) proporcionam uma excelente proteção a madeira verde ou parcialmente seca. Dependendo das condições climáticas até a madeira seca em estufa pode ser armazenada nesse tipo de galpão.

Os galpões abertos devem ser localizados em áreas ventiladas e bem drenadas. Devem ser grandes o bastante para permitir o remanejo da madeira e ter o piso suficientemente resistente para o caso da utilização de empilhadeira.

No caso de estocagem de madeira verde, esta deve ser entabizada devendo também ser mantido um bom espaçamento entre as pilhas, para a ventilação. Como o galpão protege a madeira do sol e da chuva, há uma sensível diminuição do fendilhamento e das rachaduras nos extremos das peças estocadas. Tratando-se de madeira parcialmente seca porém com teor de umidade acima de 20%, deve ser entabizada. Se o teor de umidade for abaixo de 20%, as pilhas sólidas são recomendáveis.



Figura 17 — **Galpão aberto, para armazenamento de madeira serrada, Rietz & Page, 1971 (12).**

Os galpões abertos não oferecem uma boa proteção contra a absorção de umidade, portanto a madeira seca em estufa a um teor de umidade inferior ao teor de umidade de equilíbrio, tenderá a absorver umidade. Porém esta absorção tenderá ser mais lenta nos galpões abertos do que ao ar livre. Essa absorção poderá ainda ser retardada utilizando-se pilhas sólidas (sem tabiques).

- Galpões fechados

Oferecem uma boa proteção contra chuva, sol, vento etc. Podem ser usados para estocar madeira verde ou parcialmente seca, porém o seu uso mais indicado é a estocagem de madeira seca ao ar livre ou em estufa.

A madeira verde, se entabizada em galpões fechados, terá sua secagem retardada e necessitará então de janelas para ventilação e de ventiladores para movimentar o ar fazendo-o circular pelas pilhas de madeira. Madeira parcialmente seca pode ser estocada em galpões fechados sem grandes riscos de apresentar defeitos de secagem. Se o teor de umidade estiver acima de 20%, deve ser entabizada. Se estiver abaixo de 20% e não for desejável que continue secando, pode ser empilhada sem separadores (pilha sólida). Para continuar secando, a madeira deve ser entabizada podendo, complementarmente serem instalados ventiladores para movimentar o ar através das pilhas.

Madeira seca em estufa, (com teor de umidade abaixo do teor de umidade de equilíbrio), quando estocada em galpões fechados, pode absorver umidade em épocas chuvosas, devido ao aumento da umidade relativa do ar. Devido à proteção dada pelo galpão, essa absorção ocorre de uma maneira muito lenta, devendo contudo em épocas úmidas, reduzir-se o período de estocagem. Se a madeira for empilhada com separadores isso acelerará a absorção de umidade.

Se a madeira seca, com teor de umidade em torno de 10 a 12%, ou produtos fabricados ficarem estocados por longos períodos em condições de

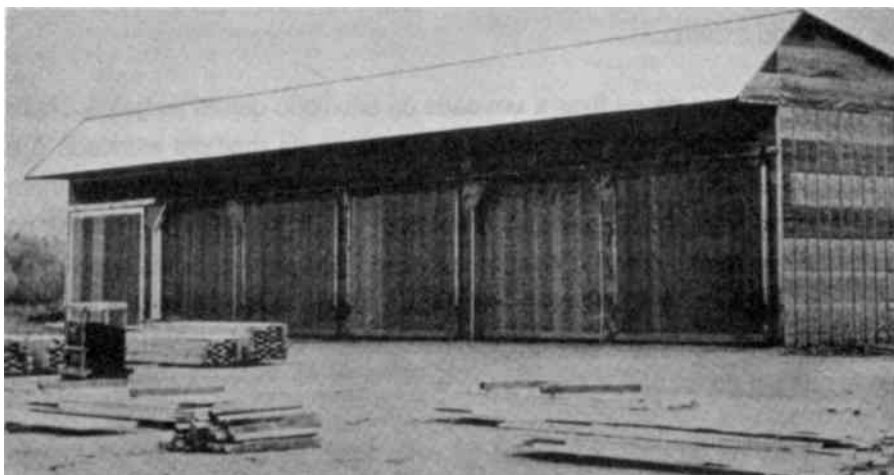


Figura 18 — Galpão fechado, para armazenamento de madeira serrada, Rietz & Page, 1971 (12).

alta umidade relativa, poderá ocorrer uma excessiva absorção de umidade que poderá resultar em problemas tais como: inchamento da peça inteira ou de algumas partes, empenamentos, rompimento de uniões e rompimento nas linhas de cola em painéis mesmo quando empilhados sem separadores (absorção nas extremidades). Quando a madeira que absorveu umidade for exposta a condições de umidades relativas mais baixas, tenderá a secar, podendo aparecer rachaduras, redução das dimensões com rompimento de uniões em produtos acabados e empenamentos.

Como a elevação da temperatura provoca a diminuição da umidade relativa do ar e, conseqüentemente, da umidade de equilíbrio, pode-se aquecer os galpões fechados, através de serpentinas a vapor, resistências elétricas ou outro meio qualquer. Como a temperatura requerida é normalmente de 5 a 10°C acima da temperatura ambiente, a quantidade de calor necessária não é muito grande. É desejável, nesse caso, a circulação do ar, que poderá ser proporcionada por ventiladores.

Os galpões fechados e aquecidos são excelentes para o armazenamento de madeira seca em estufa até um teor de umidade de 12% ou menos. Com o aquecimento, pode-se fixar a umidade de equilíbrio dentro do galpão num valor igual ou bem próximo ao teor de umidade da madeira estocada, reduzindo ao mínimo a influência da flutuação do teor de umidade de equilíbrio externo.

Outra forma de se fixar a umidade de equilíbrio dentro do galpão, num valor igual ou bem próximo ao teor de umidade da madeira estocada é a utilização de aparelhos de ar condicionado. Como esses aparelhos resfriam o ar forçando-o a passar através de um trocador de calor (superfície fria), no processo de resfriamento o ar perde umidade por condensação, abaixando, assim a umidade relativa dentro do galpão. Ligando-se e desligando-se os aparelhos pode-se conseguir um controle, até certo ponto preciso, da umidade relativa do ar.

A escolha do melhor sistema de estocagem estará sempre em função do teor de umidade desejado, das condições climáticas locais e, obviamente, das possibilidades de investimento da empresa.

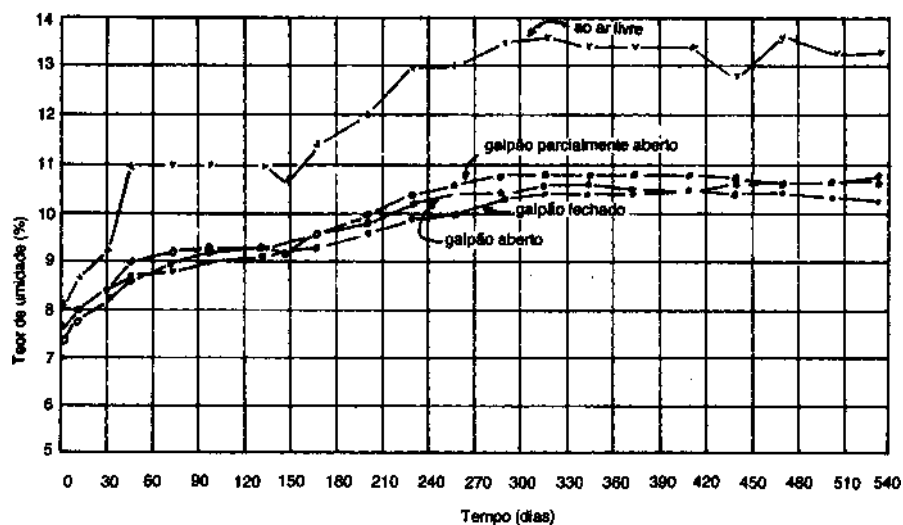


Figura 19 — Variação do teor de umidade de madeira seca em estufa, em diversos tipos de estocagem, Rasmussem, 1961. (11)

7- ANEXOS

FICHA PARA ACOMPANHAMENTO DA SECAGEM

PROJETO <u>Seminário</u> ESPÉCIE <u>MOGNO</u> CAPAC. SECADOR <u>10 m³</u> SECADOR N° <u>01</u> $TUa = Pa \frac{(TUi + 100)}{Pi} - 100$	DATA DE INÍCIO <u>26/05/84</u> DATA DO TÉRMINO <u> / / </u> ESPESSURA <u>1" (2,5 cm)</u> COMPRIMENTO <u>4 m</u> LARGURA <u>8" (20 cm)</u>	AMOSTRAS – CONTROLE DE UMIDADE				AMOSTRAS - TESTES	
	AMOSTRA N°	PESO VERDE (g)	PESO SECO (g)	T.U. (%)	PESO INICIAL (kg)	TEOR DE UMIDADE INICIAL (%)	
	01	480	300	60	12	060	
	02	510	340	50	14	050	
		03	490	320	53	13	053

DATA	HORA	OBSERVAÇÕES	AMOSTRA - TESTE N°01		AMOSTRA - TESTE N°02		AMOSTRA - TESTE N°03		MÉDIA DAS TRÊS (%)
			Pa (kg)	TUa (%)	Pa (kg)	TUa (%)	Pa (kg)	TUa (%)	
26/05	14:00	1ª Pesagem	12	60	14	50	13	53	54,3
27/05	14:00	2ª Pesagem	10,5	40	13,1	40	12,3	45	42
28/05	14:00	3ª Pesagem	9,8	30	12	28,5	11,8	39	32,5
29/05	14:00	4ª Pesagem	9,0	20	11,7	25	11,5	33	26

FOLHA DE TRABALHO - TEOR DE UMIDADE

EXPERIMENTO *Seminário de recagem*

PROJETO Nº 01

ESPÉCIE *Freijó*

SECAGEM N° 01

TAMANHO 1" espessura

OBSERVAÇÕES 01

[illegible]

Umidades de equilíbrio de madeira - média mensal em diferentes cidades do Brasil, calculadas com base na tabela apresentada por Smith, 1963 (GALVÃO,1975) (05).

CIDADES	MESES											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Belém	19,9	21,0	21,0	20,4	18,8	17,5	17,0	17,0	17,5	17,0	16,6	17,9
Belo Horizonte	14,6	14,1	14,6	14,2	14,0	13,7	12,4	11,2	11,5	12,8	14,1	16,1
Curitiba	16,9	17,6	17,7	17,8	14,4	17,3	16,3	15,7	16,3	17,0	16,2	16,5
Fortaleza	14,9	15,8	16,6	16,6	15,9	15,2	14,3	13,6	13,9	13,6	13,9	14,3
Goiânia	16,4	16,8	16,8	15,3	13,7	12,7	11,4	9,6	9,8	12,5	15,2	16,8
Manaus	19,3	19,3	19,3	19,3	18,3	17,0	15,9	14,9	15,2	15,5	16,6	17,9
Piracicaba	14,0	14,6	14,3	13,4	13,7	12,4	11,0	11,0	11,0	12,0	12,2	13,2
Porto Alegre	12,9	14,0	14,3	15,4	16,6	17,4	16,6	15,6	15,2	14,4	13,1	12,5
Recife (Olinda)	14,6	14,9	15,5	16,3	16,7	17,2	16,8	16,0	15,2	14,6	14,6	14,6
Rio de Janeiro	15,2	15,2	15,5	15,6	15,7	15,3	15,0	14,7	15,3	15,3	15,6	15,6
Salvador	15,5	15,2	15,9	16,7	16,7	16,4	16,0	15,6	16,0	16,0	16,0	15,9
São Paulo	16,8	16,8	16,1	16,5	15,8	15,6	15,3	13,9	14,2	17,0	15,7	16,9

**Teor de umidade final recomendado para certos produtos de madeira,
Ponce e Watai,1985. (10)**

Produtos	%
Madeira serrada comercial	16-20
Madeira para construção externa	12-18
Madeira para construção interna	8-11
Painéis (compensado, aglomerado, laminado, etc.)	6-8
Pisos e lambris	6-11
Móveis para interiores	6-10
Móveis para exteriores	12-16
Equipamentos esportivos	8-12
Brinquedos para interiores	6-10
Brinquedos para exteriores	10-15
Equipamentos elétricos	5-8
Embalagens (caixas)	12-16
Formas para calçados	6-9
Coronhas de espingarda	7-12
Instrumentos musicais	5-8
Implementos agrícolas	12-18
Barcos	12-16
Aviões	6-10

**Umidade de equilíbrio máxima, mínima e média da madeira em diferentes
cidades do Brasil, Galvão,1975. (05)**

Cidades	Umidades de Equilíbrio (%)		
	Máxima	Mínima	Média
Belém	21,0	16,6	18,8
Belo Horizonte	16,1	11,2	13,6
Curitiba	17,8	15,7	16,7
Fortaleza	16,6	13,6	15,1
Goiânia	16,8	9,6	13,2
Manaus	19,3	14,9	17,1
Piracicaba	14,6	11,0	12,8
Porto Alegre	17,4	12,5	14,9
Recife (Olinda)	17,2	14,6	15,9
Rio de Janeiro	15,7	14,7	15,2
Salvador	16,7	15,2	16,0
São Paulo	17,0	13,9	15,4

PROGRAMAS DE SECAGEM DE ALGUMAS MADEIRAS IMPORTANTES*

PINHO DO PARANÁ (2) **

Teor de umidade da Madeira	Temperatura do bulbo seco	Temperatura do bulbo úmido	Umidade relativa do ar (dentro da câmara)
SAT — 60	40,5	38	85
60 — 40	40,5	37	80
40 — 35	40,5	35,5	70
35 — 30	43,5	36	60
30 — 25	46	36	50
25 — 20	51,5	38	40
20 — 15	60	40,5	30
15 — 10	65,5	44,5	30

SAT — Madeira saturada

PEROBA/PEROBA ROSA/PAU MARFIM (5)

Teor de umidade da Madeira	Temperatura do bulbo seco	Temperatura do bulbo úmido	Umidade relativa do ar (dentro da câmara)
SAT — 50	49	47	88
50 — 40	49	46	85
40 — 35	49	44,5	76
35 — 30	49	41	62
30 — 25	54,5	38	35
25 — 20	60	32	14
20 — 15	65,5	38	18
15 — 10	82,0	54,5	26

SUCUPIRA (1)

Teor de umidade da Madeira	Temperatura do bulbo seco	Temperatura do bulbo úmido	Umidade relativa do ar (dentro da câmara)
SAT — 30	50	47,5	86
30 — 25	50	45,5	80
25 — 20	70	65	79
20 — 15	70	64	75
15 — 10	70	59	59

* — Passíveis de serem modificados a critério das indústrias

** — Fontes citadas na última página dos programas

PROGRAMAS DE SECAGEM

JATOBÁ e VIOLA (5)

Teor de umidade da Madeira	Temperatura do bulbo seco	Temperatura do bulbo úmido	Umidade relativa do ar (dentro da câmara)
SAT — 40	43,5	41	87
40 — 35	43,5	41	84
35 — 30	43,5	39	75
30 — 35	49	40	62
25 — 20	54	38	35
20 — 15	60	32	18
15 — 10	71	43	21

CEREJEIRA (4)

Teor de umidade da Madeira	Temperatura do bulbo seco	Temperatura do bulbo úmido	Umidade relativa do ar (dentro da câmara)
SAT — 45	57	51,6	80
45 — 40	60	54,4	75
40 — 35	62,7	56,1	70
35 — 30	65,5	55,5	60
30 — 25	68,3	55	50
25 — 20	71,1	51,1	35
20 — 15	73,8	44,4	20
15 — 10	73,8	44,4	20

JACAREÚBA (5)

Teor de umidade da Madeira	Temperatura do bulbo seco	Temperatura do bulbo úmido	Umidade relativa do ar (dentro da câmara)
SAT — 50	38	34	77
50 — 40	38	32	68
40 — 35	38	29,5	47
35 — 30	38	24	30
30 — 25	43,5	21	19
25 — 20	49	21	8
20 — 15	54,5	27	10
15 — 10	65,5	38	17

ANDIROBA (5)

Teor de umidade da Madeira	Temperatura do bulbo seco	Temperatura do bulbo úmido	Umidade relativa do ar (dentro da câmara)
SAT — 40	43,5	41	87
40 — 35	43,5	41	84
35 — 30	43,5	39	75
30 — 25	49	40	62
25 — 20	54	38	35
20 — 15	60	32	18
15 — 10	71	43	21

CEDRO (5)

Teor de umidade da Madeira	Temperatura do bulbo seco	Temperatura do bulbo úmido	Umidade relativa do ar (dentro da câmara)
SAT — 50	60	56	84
50 — 40	60	54	75
40 — 35	60	52	69
35 — 30	60	49	52
30 — 25	66	52	48
25 — 20	71	54	43
20 — 15	77	57	41
15 — 10	82	54	28

FREIJÓ e IPÊ (3)

Teor de umidade da Madeira	Temperatura do bulbo seco	Temperatura do bulbo úmido	Umidade relativa do ar (dentro da câmara)
SAT — 60	48,5	46	85
60 — 40	48,5	45	80
40 — 30	51,5	46,5	75
30 — 25	54,5	47	65
25 — 20	60	49	55
20 — 15	68	53	45
15 — 10	16	58	40

PAU AMARELO (1)

Teor de umidade da Madeira	Temperatura do bulbo seco	Temperatura do bulbo úmido	Umidade relativa do ar (dentro da câmara)
SAT — 30	60	55,5	19
30 — 25	60	51	62
25 — 20	70	58	56
20 — 15	70	53	42
15 — 10	70	56	28

GOIABÃO (1)

Teor de umidade da Madeira	Temperatura do bulbo seco	Temperatura do bulbo úmido	Umidade relativa do ar (dentro da câmara)
SAT — 30	70	62	68
30 — 25	70	55	47
25 - 15	80	63	46
15— 10	80	50	22

MOGNO (2)

Teor de umidade da Madeira	Temperatura do bulbo seco	Temperatura do bulbo úmido	Umidade relativa do ar (dentro da câmara)
SAT — 60	50	45	75
60 — 40	50	44	70
40 — 30	50	42	60
30 — 25	55	43,5	50
25 — 20	60	46	45
20 — 15	70	52,5	40
15 — 10	75	57,5	40

Fontes:

1. IBDF/DPq/Laboratório de Produtos Florestais (programas experimentais).
2. USDA/FS/Agriculture Handbook n° 188 (11).
3. F.P.R.L./Technical note n° 37, Princes Risborough, Engl. 1969.
4. Informação prática da indústria "João Rosa Ind. de Móveis Ltda." — GO.
5. FPRS/News-Digest (Suggested Kiln for Foreign Woods).

BIBLIOGRAFIA

1. BRAMHALL, G. & WELLWOOD, R.W. **Kiln drying of western canadian lumber.** Vancouver. Dep. of Fisheries and the Environment. Canadian Forest Services, 1976. 112 p.
2. EGGEN, G. & TRONSTAD, S. **Dehumidification drying - Conventional drying comparative tests on energy consumption.** (in: wood drying papers presented at the IUFRO Division V Conference - Oxford, England, Forest Research Institute F.S.633:19-27. New Zealand, 1980).
3. FINIGHAN, R. & LIVERSIDGE, R.M. **An examination of some factors affecting the performance of air seasoning yards.** Australia, CSIRO. Division of Building Research, 1972. 9p.
4. FINIGHAN, R. & LIVERSIDGE, R.M. **The principles of air seasoning.** Australia CSIRO. Division of Forest Products, 1967. 17 p.
5. GALVÃO, A.P.M. **Estimativa da umidade de equilíbrio da madeira em diferentes cidades do Brasil.** Piracicaba, SP, IPEF, 1975. p. 53-65 (IPEF,11).
6. HILDEBRAND, R. **Kiln drying of sawn timber.** Western Germany. Maschinenbau G.m.b.H. 1970. 200 p.
7. JANKOWSKY, I.P. **Programas de secagem: fundamentos teóricos e sua aplicação para madeira de *Pinus* spp.** Piracicaba, SP, Silvicultura, 9 (34): 21-3, 1984.
8. MENDES, A. DE SOUZA. **Secagem ao ar livre.** Manaus, AM. INPA, 1984.24 p.
9. MENDES, A. DE SOUZA. **Utilização de coletor solar parabólico na secagem da madeira.** Curitiba. Universidade Federal do Paraná. Tese de pós graduação em Engenharia Forestal, 1985.86 p.

10. PONCE, R.M. & WATAI, LT. **Manual de secagem da madeira.** Brasília. Série documentos nº 22, MIC/STI–IPT, 1985. 70 p.
11. RASMUSSEN, EDMUND F. **Dry Kiln operator's manual.** Madison, USA. Agriculture Handbook nº 188, Forest Products Lab., USDA, 1961. 198 p.
12. RIETZ, R.C. & PAGE, RUFUS H. **Air drying of lumber: a guide to industry practices.** Madison, USA. Agriculture Handbook nº 402, Forest Service, USDA, 1971. 110 p.
13. SEMINÁRIO SOBRE SECAGEM DE MADEIRA – TEORIA, TÉCNICA E PRÁTICA. São Bento do Sul, SC. CEAG-SC, 1976. 109 p.
14. SIMPSON, W.T. **Methods of reducing warp when drying.** Asian Timber 2 (5) 80-81, 1983.
15. TOMASELLI, IVAN. **Condições de secagem artificial de madeiras serradas no Paraná e Santa Catarina.** Curitiba, Universidade Federal do Paraná. Tese de pós graduação em Engenharia Florestal, 1974. 111 p.
16. VITAL, B.R. & COLLON, J.L. **Secador solar para madeira.** Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. Imprensa Universitária, 1974. 34 p.