

Grupamento de madeiras para secagem convencional

Grouping wood species to kiln drying

Ariel de Andrade
Ivaldo Pontes Jankowsky
Marcos André Ducatti

RESUMO: O objetivo principal do trabalho foi indicar programas de secagem para madeiras de diferentes espécies e analisar a possibilidade de grupamento visando a secagem convencional. Para elaboração dos programas foi aplicada a metodologia de secagem drástica a 100°C, que correlaciona a intensidade de defeitos, tempo e velocidade de secagem com o possível comportamento na secagem convencional. De acordo com os resultados obtidos foi possível indicar programas de secagem específicos para as madeiras de Imbuia (*Ocotea porosa*), Itaúba (*Mezilaurus itauba*), Mandioqueira (*Qualea* sp.), Peroba-Mica (*Aspidosperma* sp.) e Pinus hondurensis (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*); e agrupar as madeiras de Eucalipto grandis (*Eucalyptus grandis*), Eucalipto tereticornis (*Eucalyptus tereticornis*), Freijó (*Cordia goeldiana*), Jatobá (*Hymenaea* sp.), Jutaí-Cica (*Martiodendron* sp.), Pau-Marfim (*Balfourodendron riedelianum*), Tamboril (*Enterolobium contortisiliquum*) e Tauari (*Couratari* sp.) em 2 programas básicos.

PALAVRAS-CHAVE: Secagem, Madeira, Programa de secagem, Grupamento de espécies

ABSTRACT: The main objective of this research was to indicate kiln schedule for different lumbers and to study the possibility of grouping some of those species in the same basic kiln schedule. Kiln drying schedule suggestion was based on the 100°C screening. This methodology correlates the drying rate and defects intensity at 100°C to the expected behavior in the kiln drying. It was possible to indicate specific kiln drying schedule to Imbuia (*Ocotea porosa*), Itaúba (*Mezilaurus itauba*), Mandioqueira (*Qualea* sp.), Peroba-Mica (*Aspidosperma* sp.) and Pinus hondurensis (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*) lumbers; and grouping Eucalypto grandis (*Eucalyptus grandis*), Eucalipto tereticornis (*Eucalyptus tereticornis*), Freijó (*Cordia goeldiana*), Jatobá (*Hymenaea* sp.), Jutaí-Cica (*Martiodendron* sp.), Pau-Marfim (*Balfourodendron riedelianum*), Tamboril (*Enterolobium contortisiliquum*) and Tauari (*Couratari* sp.) lumbers in two basic kiln drying schedules.

KEYWORDS: Kiln drying, Kiln schedules, Species grouping

INTRODUÇÃO

A madeira sempre ocupou lugar de destaque dentre os diversos materiais usados pelo homem. Atualmente, com o desenvolvimento técnico e científico, busca-se cada vez mais conhecer e aprimorar os diversos processos que envolvem a industrialização da madeira,

visando melhorar sua utilização e aproveitamento.

A secagem é uma fase de grande importância nos processos de transformação da madeira em produtos, pois proporciona, entre outras vantagens, melhoria das características

de trabalhabilidade e redução tanto da movimentação dimensional como da possibilidade de ataque por fungos e insetos. Além disso, quando o processo é realizado em secadores e conduzido de maneira adequada, obtém-se considerável redução do tempo de secagem e maior controle sobre os defeitos.

Entretanto, o processo de secagem artificial nas indústrias brasileiras é ainda considerado uma fase extremamente crítica, pois trata-se de uma operação que requer considerável investimento prévio e representa parcela significativa do custo operacional. Além disso, o nível de perdas de madeira, gerado pela falta de informações sobre as espécies e secagens mal conduzidas, também é elevado. De acordo com Ducatti (1997, comunicação pessoal), a quantidade de peças defeituosas ou tensionadas, após o processo, pode ser de até 100% do material seco. Um dos fatores que contribui para esta situação é a carência de programas de secagem apropriados para as diversas madeiras usadas na indústria.

A indicação de programas para madeiras pouco conhecidas e o posterior ajuste dos mesmos, usualmente segue a técnica da tentativa e erro. Esta metodologia é lenta e os programas já existentes podem não ser indicados para espécies não tradicionais. Assim, pesquisas vêm sendo realizadas para desenvolver técnicas alternativas que possibilitem elaborar e/ou modificar os programas visando aumentar a eficiência do processo.

Hildebrand (1970) salienta que os valores encontrados nos programas de secagem já existentes são guias para a primeira operação de secagem e modificações podem ocorrer com a experiência obtida.

De acordo com Rasmussen (1961), os programas básicos para espécies folhosas são usados para secar madeira desde a condição úmida, entretanto, eles podem sofrer modificações para aplicação em materiais já secos ao ar. O referido autor frisa que, quando certa espécie é

submetida a um programa e não apresenta defeitos ou degradações significativas, modificações podem ser feitas visando redução no tempo de secagem. Pratt (1974) recomenda a elevação de temperatura de bulbo seco em 5°C e/ou diminuição da umidade relativa de 5% em cada etapa do programa original visando a redução do tempo de secagem. Caso os resultados obtidos sejam satisfatórios, modificações podem ser feitas, gradualmente, até que um programa ótimo seja estabelecido.

Estudos conduzidos por McMillen (1969) mostraram que peças de *Quercus rubra*, com uma polegada de espessura, podem ser secas empregando-se programas acelerados, sem a geração de defeitos e com redução significativa da duração de secagem, neste caso, em até 29%. A aceleração do programa baseou-se em empregar maiores velocidades do ar e pequenos aumentos na temperatura, no início e quando o teor de umidade da madeira estava entre 45 e 18%. No final da secagem, a temperatura sofreu um aumento maior. Estes aumentos foram baseados em dados de deformação e tensão obtidos anteriormente.

Bangi et al. (1991) descrevem uma técnica para efetuar modificações em programas de secagem baseada em relações matemáticas que envolvem a umidade da madeira e pressões de vapor. Entretanto, esta técnica visa reduzir o tempo de secagem e o consumo de energia, não considerando a possível degradação do material.

Galvão (1976), baseado nas sugestões de Rietz (1970), elaborou um programa de secagem acelerado para madeira de Jatobá (*Hymenaea stilbocarpa*). No início do processo, as condições de secagem tradicionais eram mantidas, isto é, altas umidades relativas e baixas temperaturas. Posteriormente, a umidade relativa foi reduzida e, quando a madeira atingiu um teor de umidade de 20%, a temperatura foi elevada de 52°C para 80°C. Esta técnica de aceleração foi desenvolvida baseada nas tensões

geradas durante a secagem e os resultados obtidos neste trabalho mostraram que mesmo quando a secagem acelerada foi 42% mais rápida do que o processo convencional, não acarretou em um aumento na ocorrência de rachaduras e colapso. Entretanto, foi constatado um aumento no índice de empenamentos, mas o autor explica que isto também ocorreu devido à desuniformidade da espessura das tábuas e irregularidades da grã.

Simpson e Verrill (1997) estudaram a possibilidade de empregar a massa específica básica para estimar programas de secagem. Em geral os resultados obtidos foram satisfatórios, entretanto, os autores comentam a existência de exceções e este método de estimação deve ser aplicado apenas quando não são conhecidas outras informações sobre a madeira.

Brandão (1989), a partir de estudos desenvolvidos por Terazawa (1965), propôs uma metodologia de indicação de programas baseada na relação entre os defeitos decorrentes de uma secagem a 100°C e os parâmetros do programa (temperatura inicial, temperatura final e potencial de secagem).

Empregando uma metodologia similar, Ciniglio (1998) apresentou programas de secagem para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*. O referido autor considerou os resultados satisfatórios, com reduzida ocorrência de defeitos na secagem convencional conduzida em laboratório.

Cada espécie ou tipo de madeira apresenta comportamento próprio durante o processo de secagem; entretanto, existem espécies com características similares e que poderiam ser grupadas em um mesmo programa.

Relacionando características de massa específica e contração das madeiras com tempe-

ratura e gradiente de secagem, Durand (1985) desenvolveu equações que permitem elaborar programas. Neste estudo, 50 espécies foram grupadas em 7 programas básicos, que são classificados de muito lento até muito rápido.

Simpson e Baah (1989) aplicaram um modelo matemático para agrupar espécies na secagem. O modelo correlacionou o tempo de secagem com a massa específica básica, teor de umidade inicial e final, espessura das peças, temperatura e umidade de equilíbrio.

Mendes et al. (1995) gruparam madeiras de 6 espécies amazônicas em 2 ou 3 grupos, considerando características como duração de secagem (tempo necessário de 30% até 10% de umidade), absorção de água (tempo necessário para reumidecimento de 10% até 90%, quando as amostras são imersas em água), espessura e temperatura.

O grupamento da madeira de diferentes espécies deve ser considerado como alternativa pelas indústrias, pois o fornecimento de matéria-prima, principalmente da floresta tropical, está ficando comprometido devido ao esgotamento das reservas existentes. Para as empresas, essa possibilidade apresenta a vantagem da redução do estoque, pois deixa de ser necessário manter estoques elevados para carregar o secador com material homogêneo. Além disso será favorecida a utilização de um número maior de espécies, incluindo as não tradicionais ou de baixa frequência na floresta.

O principal objetivo do trabalho foi indicar programas de secagem para madeiras de diferentes espécies e analisar a possibilidade de grupamento visando a secagem convencional, contribuindo com informações que proporcionem melhor aproveitamento dos recursos florestais.

METODOLOGIA

As madeiras empregadas neste estudo estão sendo utilizadas no mercado e foram obti-

das em diferentes fornecedores situados nas regiões Sul e Sudeste do Brasil.

Os parâmetros dos programas de secagem (temperatura inicial, temperatura final e potencial de secagem) foram determinados no Laboratório de Secagem de Madeiras do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, com base na metodologia descrita em detalhes por Ciniglio (1998).

Essa metodologia é baseada na hipótese de que pequenas amostras de madeira, quando submetidas a secagens drásticas, apresentarão comportamento proporcional à expectativa prevista para a secagem convencional. Dessa forma é possível, com auxílio de um modelo matemático, estimar os parâmetros desse programa de maneira confiável e rápida.

No mínimo, 4 tábuas de cada uma das espécies avaliadas (Tabela 1), preferencialmente bem úmidas, foram selecionadas ao acaso em diferentes fornecedores. As dimensões mínimas das tábuas eram de 900 x 150 x 27 mm (comprimento, largura e espessura). Após serragem e aplainamento, de cada tábua foram retirados 18 corpos de prova, utilizados para secagem a 100°C, determinação do teor de umidade inicial e massa específica básica, conforme ilustrado

na Figura 1. Para cada um dos ensaios foram utilizados 24 corpos de prova.

Para a determinação do teor de umidade foi empregado o clássico método gravimétrico, descrito em diversos manuais de secagem (Rasmussen, 1961; Pratt, 1974; Galvão e Jankowsky, 1985), onde as amostras úmidas são submetidas à secagem em estufa a 103°C \pm 2 até massa constante.

A massa específica básica foi determinada empregando-se o método da balança hidrostática, também usado por Barrichello (1983).

No ensaio para determinação dos programas as amostras foram submetidas à secagem em estufa de laboratório a 100°C, sem sistema de circulação forçada de ar. Durante esta secagem drástica, a evolução dos defeitos (rachaduras de topo e superfície) e a perda de massa foram acompanhados através de medições periódicas, até que o teor de umidade atingisse cerca de 5%. Em cada avaliação eram medidos a largura e o comprimento das rachaduras de topo e de superfície, considerando-se sempre a maior intensidade de ocorrência do defeito (Ciniglio, 1998).

Após a secagem drástica, as amostras foram cortadas transversalmente para verificação da ocorrência de rachaduras internas e colapso, sendo, então reconduzidas para a estufa a 103°C \pm 2 até atingirem massa constante (valor usado no cálculo dos teores de umidade e velocidades de secagem).

Os valores médios das variáveis do ensaio a 100°C (Tabela 2), foram usados na estimativa dos parâmetros de secagem, através das equações descritas na Tabela 3.

Com base nos parâmetros encontrados, os programas de

Tabela 1. Relação de espécies.

(List of species).

Nome Comum	Nome Científico
Eucalipto grandis	<i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden
Eucalipto tereticornis	<i>Eucalyptus tereticornis</i> Sm.
Freijó	<i>Cordia goeldiana</i> Huber
Imbuia	<i>Ocotea porosa</i> (Nees & Mart. ex Nees) L.Barroso
Itaúba	<i>Mezilaurus itauba</i> (Meins.) Taub. ex Mez
Jatobá	<i>Hymenaea</i> sp.
Jutaí-Cica	<i>Martiodendron</i> sp
Mandioqueira	<i>Qualea</i> sp
Pau-Marfim	<i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl.
Peroba-Mica	<i>Aspidosperma</i> sp
Pinus hondurensis	<i>Pinus caribaea</i> Mor. var. <i>hondurensis</i> Bar. & Golf.
Tamboril	<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong
Tauari	<i>Couratari</i> sp.

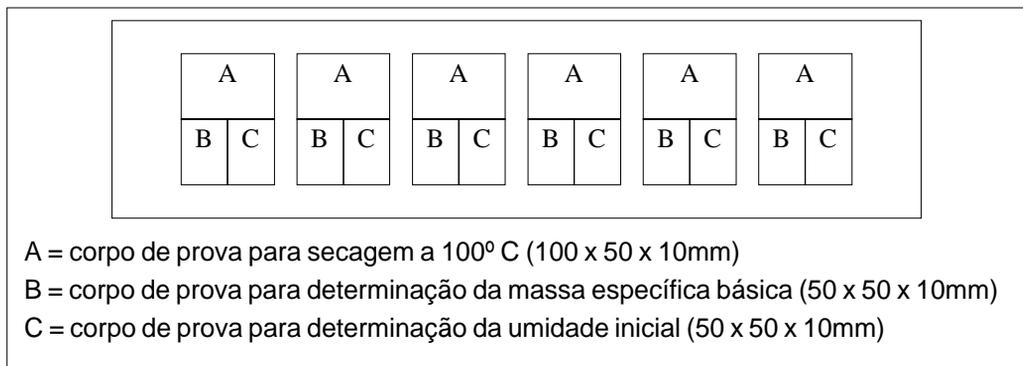


Figura 1. Esquema de retirada dos corpos de prova.

(Sampling diagram).

Tabela 2. Variáveis do ensaio a 100°C.

(Variables of the 100°C screening).

Variável	Descrição	Faixa de Umidade	Unidade
T1	Tempo de secagem	Ui* a 5%	hora
T2	Tempo de secagem	Ui a 30%	hora
T3	Tempo de secagem	30 a 5%	hora
V1	Velocidade de secagem	Ui a 5%	g/cm ² .h
V2	Velocidade de secagem	Ui a 30%	g/cm ² .h
V3	Velocidade de secagem	30 a 5%	g/cm ² .h
R1	Rachadura de topo	Ui a 5%	unidade
R2	Rachadura de topo	Ui a 30%	unidade
R3	Rachadura de topo	30 a 5%	unidade

* Ui = umidade inicial

Tabela 3. Equações para determinação dos parâmetros do programa de secagem.

(Equations to determinate kiln schedule parameters).

Parâmetro	Equação
TI =	$27,9049 + 0,7881T2 + 419,0254V3 + 1,9483R1$
TF =	$49,2292 + 1,1834T2 + 273,8685V1 + 1,0754R3$
PS =	$1,4586 - 30,4418V2 + 42,9653V3 + 0,1424R2$

Onde: TI = Temperatura inicial; TF = Temperatura final; PS = Potencial de secagem

secagem foram elaborados com auxílio de cartas psicrométricas, mas poderiam ter sido tam-

bém selecionados a partir de programas padrões já existentes na literatura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 4. Valores médios do teor de umidade inicial (U_i), da massa específica básica (m_{e_b}) e das variáveis do ensaio a 100°C.

(Average values of initial moisture content (U_i), specific gravity (m_{e_b}) and results of 100°C screening).

Espécie	U_i (%)	m_{e_b} (g/cm ³)	T2 (h)	V1 (g/cm ² .h)	V2 (g/cm ² .h)	V3 (g/cm ² .h)	R1 (Un.)	R2 (Un.)	R3 (Un.)
E. grandis	84,5	0,54	4,41	0,0186	0,0359	0,0186	1,33	1,29	1,33
E. tereticornis	48,3	0,80	2,84	0,0107	0,0283	0,0073	2,25	2,25	2,21
Freijó	49,5	0,56	1,93	0,0123	0,0305	0,0085	1,17	1,17	1,08
Imbuia	97,2	0,55	9,56	0,0114	0,0239	0,0047	1,13	1,13	1,00
Itaúba	67,8	0,69	8,96	0,0085	0,0171	0,0049	3,00	3,00	2,63
Jatobá	52,6	0,78	2,53	0,0119	0,0336	0,0082	2,25	2,13	2,21
Jutai-Cica	48,6	0,87	2,47	0,0172	0,0403	0,0112	1,00	1,00	1,00
Mandioqueira	68,9	0,65	2,68	0,0298	0,0537	0,0177	2,75	2,63	2,71
Pau-Marfim	57,8	0,65	2,27	0,0177	0,0432	0,0108	1,75	1,75	1,63
Peroba-Mica	70,6	0,60	2,91	0,0217	0,0446	0,0119	2,50	2,08	2,04
Pinus caribaea	162,7	0,41	3,54	0,0495	0,0786	0,0168	2,75	2,75	2,67
Tamboril	77,8	0,41	2,99	0,0191	0,0347	0,0103	1,00	1,00	1,00
Tauari	59,6	0,59	2,45	0,0195	0,0336	0,0096	2,17	2,17	1,63

A Tabela 4 relaciona os valores médios da umidade inicial, da massa específica básica e dos resultados obtidos no ensaio de secagem a 100°C.

Os parâmetros dos programas de secagem, estimados com base nas equações da Tabela 3 e nos resultados da Tabela 4, constam na Tabela 5.

De uma forma geral, os parâmetros determinados mostram-se coerentes, comprovando a adequação da metodologia. Um exemplo disto são os valores elevados encontrados para o Pinus, que é uma espécie geralmente de rápida secagem e os valores baixos para o Eucalipto, que é uma espécie reconhecidamente de difícil secagem. A Tabela 6 compara os parâmetros obtidos neste trabalho com indicações disponíveis na literatura especializada para madeiras com até 38 mm de espessura. Os potenciais de secagem apresentados são correspondentes à faixa de 30% de umidade da madeira.

Tabela 5. Parâmetros dos programas de secagem. (Kiln schedules parameters).

Espécie	Parâmetros		
	Temp. inicial (°C)	Temp. final (°C)	Potencial de Secagem
Eucalipto grandis	41,7	65,7	2,17
Eucalipto tereticornis	39,0	62,7	2,01
Freijó	36,8	61,1	1,88
Imbuia	42,4	68,3	1,95
Itaúba	44,4	67,7	2,05
Jutai-Cica	39,0	64,3	2,00
Jatobá	39,0	63,8	2,03
Mandioqueira	47,6	70,1	2,59
Pau-Marfim	40,5	65,6	2,12
Peroba-Mica	43,3	67,6	2,32
Pinus caribaea	56,8	77,9	3,45
Tamboril	40,2	62,3	2,11
Tauari	42,2	64,5	2,15

Verifica-se que os valores encontrados neste trabalho são similares aos disponíveis na literatura, principalmente para as madeiras de Jatobá e Pinus, comprovando a adequação da metodologia. É importante destacar que os procedimentos visam a indicação de programas conservadores, isto é, com menores potenciais e condições mais suaves. Esses programas, apesar de aumentarem a duração do processo, reduzem a possibilidade de ocorrência de defeitos.

A partir dos resultados obtidos foi possível sugerir programas de secagem para as madeiras estudadas (Tabela 7), com espessura de até 28 mm. Para espessuras maiores é recomendável a adoção de programas mais suaves.

Como se pode observar na Tabela 5, algumas espécies apresentaram valores dos parâmetros bastante aproximados, o que permite indicar o mesmo programa de secagem básico. Embora diferentes espécies possam ser

Tabela 6. Comparação dos programas de secagem com informações disponíveis em literatura. (Kiln schedule compared to available literature).

Espécie	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Potencial de secagem	Fonte
Jatobá	39	64	2,03	Presente pesquisa
	40	60	1,99	Xylema (1996)
	40	70	2,26	Xylema (1996)
	50	70	2,43	Hildebrand (1970)
	43,5	71	2,91	FPL (1998)
	40	65	2,96	Pratt (1974)
Mandioqueira	48	70	2,59	Presente pesquisa
	45	70	2,97	Xylema (1996)
	40	65	3,57	Boone et al. (1988)
	43,5	71	5,26	FPL* (1998)
Pau-Marfim	41	66	2,12	Presente pesquisa
	45	60	2,24	Xylema (1996)
	40	70	2,26	Xylema (1996)
	46	62	2,63	Brotero (1941)
	49	82	2,91	FPL (1998)
	50	75	2,91	Boone et al. (1988)
	49	82	5,26	Martins (1988)
<i>Pinus caribaea</i>	57	78	3,45	Presente pesquisa
	60	75	3,85	Pratt (1974)
	57	76,5	3,95	FPRL*
	60	82	4,55	Boone et al. (1988)
Tauari	42	64	2,15	Presente pesquisa
	60	70	2,44	Brasil (1981)
	55	70	3,00	Xylema (1996)
	70	80	4,62	Martins et al. (1997)

* Forest Products Research Laboratory, citado por Mendes et al. (1998)

Tabela 7. Indicação de programas de secagem (para madeira com até 28 mm de espessura).

(Suggested kiln schedules (up to 28 mm thick)).

E. tereticornis, Freijó, Jatobá e Jutai-Cica						E. grandis, Pau-Marfim, Tamboril e Tauri					
Umidade da madeira (%)	TS (°C)	TU (°C)	UR (%)	EU (%)	Potencial de secagem	Umidade da madeira (%)	TS (°C)	TU (°C)	UR (%)	EU (%)	Potencial de secagem
aquecimento	40,0	39,0	94,0	21,6	-	aquecimento	40,0	39,0	94,0	21,6	-
até 50	40,0	38,5	91,0	19,8	-	até 50	40,0	38,0	88,0	18,3	-
50	40,0	38,0	88,0	18,3	2,7	50	40,0	37,5	85,0	17,0	2,9
40	40,0	37,5	85,0	17,0	2,4	40	40,0	36,5	80,0	15,1	2,7
30	40,0	36,5	80,0	15,1	2,0	30	40,0	36,0	77,0	14,1	2,1
25	47,0	41,5	69,0	12,0	2,1	25	48,0	42,0	69,0	11,5	2,2
20	54,0	46,5	64,0	10,0	2,0	20	56,0	48,0	62,0	9,5	2,1
15	60,0	48,5	52,0	7,6	2,0	15	65,0	52,0	50,0	7,0	2,1
10	60,0	41,0	31,0	4,9	2,1	10	65,0	44,0	31,0	4,7	2,1
5	60,0	32,0	13,0	2,6	1,9	5	65,0	34,0	12,0	2,4	2,1
Imbuia						Peroba-Mica					
Umidade da madeira (%)	TS (°C)	TU (°C)	UR (%)	EU (%)	Potencial de secagem	Umidade da madeira (%)	TS (°C)	TU (°C)	UR (%)	EU (%)	Potencial de secagem
aquecimento	40,0	39,0	94,0	21,6	-	aquecimento	40,0	39,0	94,0	21,6	-
até 50	40,0	38,5	91,0	19,8	-	até 50	40,0	38,5	91,0	19,8	-
50	40,0	38,0	88,0	18,3	2,7	50	40,0	37,5	85,0	17,0	2,9
40	40,0	37,5	85,0	17,0	2,4	40	40,0	36,5	80,0	15,1	2,7
30	40,0	36,5	80,0	15,1	2,0	30	40,0	35,0	72,0	12,8	2,3
25	50,0	45,0	74,0	12,6	2,0	25	50,0	43,0	65,0	10,5	2,4
20	60,0	53,0	67,0	10,2	2,0	20	60,0	50,5	58,0	8,5	2,4
15	70,0	58,0	56,0	7,6	2,0	15	70,0	55,0	48,0	6,5	2,3
10	70,0	50,0	35,0	5,0	2,0	10	70,0	47,0	29,0	4,3	2,3
5	70,0	41,0	18,0	3,1	1,9	5	70,0	37,0	13,0	2,0	2,5
Mandioqueira						Itaúba					
Umidade da madeira (%)	TS (°C)	TU (°C)	UR (%)	EU (%)	Potencial de secagem	Umidade da madeira (%)	TS (°C)	TU (°C)	UR (%)	EU (%)	Potencial de secagem
aquecimento	45,0	44,0	94,0	21,2	-	Aquecimento	45,0	44,0	94,0	21,2	-
até 50	45,0	43,0	89,0	18,4	-	Até 50	45,0	43,5	91,0	19,4	-
50	45,0	42,0	84,0	16,2	3,1	50	45,0	43,0	89,0	18,4	2,7
40	45,0	41,0	79,0	14,2	2,8	40	45,0	42,5	86,0	17,0	2,4
30	45,0	39,0	68,0	11,5	2,6	30	45,0	41,5	81,0	15,1	2,0
25	52,0	44,0	61,0	9,5	2,6	25	52,0	47,0	74,0	12,4	2,0
20	61,0	50,0	54,0	7,7	2,6	20	61,0	54,0	67,0	10,1	2,0
15	70,0	53,0	42,0	5,7	2,6	15	70,0	57,5	54,0	7,3	2,1
10	70,0	45,0	25,0	3,8	2,6	10	70,0	50,0	35,0	5,0	2,0
5	70,0	37,0	13,0	2,0	2,5	5	70,0	38,0	15,0	2,4	2,1
Pinus hondurensis											
Umidade da madeira (%)	TS (°C)	TU (°C)	UR (%)	EU (%)	Potencial de secagem						
aquecimento	55,0	54,0	95,0	21,0	-						
até 50	55,0	51,5	82,0	14,6	-						
50	55,0	50,5	82,0	13,0	3,8						
40	55,0	48,0	66,0	10,3	3,9						
30	55,0	45,5	56,0	8,5	3,5						
25	63,0	51,0	51,0	7,3	3,4						
20	71,0	54,0	42,0	5,7	3,5						
15	80,0	56,0	32,0	4,2	3,6						
10	80,0	50,0	22,0	2,9	3,5						
5	80,0	41,0	11,0	1,5	3,3						

Onde: TS = Temperatura de bulbo seco
TU = Temperatura de bulbo úmido
UR = Umidade relativa do ar
UE = Umidade de equilíbrio

grupadas, com a indicação de um programa único, não significa que as madeiras irão apresentar o mesmo comportamento quando em secagem.

A análise dos resultados obtidos permite agrupar espécies de acordo com o comportamento previsto em secagem, mas é importante ressaltar que a secagem conjunta de diferentes espécies deve ser conduzida com muito cuidado, atendendo-se para características específicas como teor de umidade inicial, velocidade de secagem e a tendência em apresentar defeitos. É recomendável que a secagem conjunta seja controlada pela espécie que apresente maiores dificuldades, ou seja, maior tendência a defeitos e menor velocidade de secagem.

A possível diferença de comportamento entre espécies de um mesmo grupo pode ser estimada, como exemplo, para as madeiras de Tauari e Pau-Marfim, que apresentam umidades iniciais aproximadas e uma velocidade de secagem na faixa de umidade capilar de 0,0336 e 0,0432 g/cm².h, respectivamente. Embora grupadas em um mesmo programa de secagem, uma simulação prática (considerando-se a secagem de tábuas com 2500 x 100 x 25 mm) mostra que a massa de água removida em 1 m³ de madeira seria de 26,88 kg/h no caso do Tauari e 34,56 kg/h para o Pau-Marfim, refletindo a diferença de 30% na taxa de secagem individual das espécies consideradas. Neste caso, a secagem conjunta dessas espécies deve ser controlada pela madeira de Tauari, que apresenta uma secagem mais lenta.

Um outro exemplo pode ser observado entre as espécies Eucalipto tereticornis e Jutai-Cica, que apresentaram massa específica e parâmetros de secagem similares. Considerando as velocidades de secagem entre 30 e 5% de umidade, a do Jutai-Cica foi cerca de 53% maior

em comparação ao Eucalipto tereticornis. A secagem conjunta dessas espécies deve ser controlada por amostras de Eucalipto tereticornis.

Com relação à ocorrência de rachaduras, verifica-se na Tabela 4 que as madeiras de Tamboril e Jutai-Cica são menos suscetíveis à incidência desse defeito. Assim, provavelmente essas espécies poderão ser submetidas à secagem com condições mais severas do que as indicadas no programa básico (Tabela 7), visando reduzir a duração da secagem.

Vários autores como Martins (1988) e Ponce e Watai (1985) comentam que geralmente as madeiras mais densas requerem mais tempo para secar e tendem a apresentar maiores defeitos. Entretanto, como é observado nas Tabelas 4 e 5, a massa específica básica é um fator que não deve ser considerado isoladamente para indicação de programas de secagem, já que não explica todas as variações existentes. Isto pode ser verificado observando-se as madeiras de Mandioqueira e Pau-Marfim, que são espécies de mesma massa específica e programas de secagem diferentes. No sentido inverso tem-se as madeiras de Pau-Marfim, Tamboril e Tauari que apresentam diferentes massas específicas e podem ser grupadas no mesmo programa.

Esta observação permite inferir que outros fatores, além da massa específica, afetam o comportamento da madeira em relação à sua secagem. Considerando-se que a movimentação da água líquida, e do vapor d'água, ocorram através do lume dos diferentes elementos anatômicos e das pontoações entre esses elementos (Siau, 1971), é válido supor que as diferenças observadas na velocidade de secagem entre espécies de massa específica similar é decorrente de diferenças na estrutura anatômica e, conseqüentemente, da permeabilidade das espécies.

CONCLUSÃO

Com base na discussão dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

✓ os parâmetros de secagem obtidos (temperatura inicial, final e potencial de secagem) mos-

tram-se coerentes e seguros, confirmando a adequação da metodologia para indicação de programas de secagem;

✓ os resultados do ensaio a 100°C possibilitaram a indicação de programas de secagem específicos para as madeiras de Imbuia, Itaúba, Mandioqueira, Peroba-Mica e *Pinus hondurensis*; e agrupar as espécies *Eucalypto grandis*, *Eucalypto tereticornis*, Freijó, Jatobá, Jutai-Cica, Pau-Marfim, Tamboril e Tauari em 2 programas de secagem básicos;

✓ é possível agrupar espécies em um mesmo programa de secagem, entretanto características específicas como o teor de umidade inicial, a velocidade de secagem e a tendência aos defeitos devem ser considerados;

✓ a massa específica básica, isoladamente, não é um bom parâmetro para indicação de programas e agrupamento de espécies para secagem.

AUTORES

ARIEL DE ANDRADE é Engenheiro Florestal, bolsista da Capes, Mestre em Ciência e Tecnologia de Madeiras pela ESALQ / USP. Email: aandrade@esalq.usp.br

IVALDO PONTES JANKOWSKY é Professor Doutor do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ / USP. Caixa Postal 9 –

13400-970 – Piracicaba, SP - Email: ipjankow@esalq.usp.br

MARCOS ANDRÉ DUCATTI é Engenheiro Florestal, bolsista do Cnpq, Mestre em Ciência e Tecnologia de Madeiras pela ESALQ / USP. Email: maducatti@yahoo.com

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANGI, A.P.; BELLO, E.D.; BRAMHALL, G. A technique for calculating kiln-schedule modifications to reduce kiln-drying time of some philippine lumber species. **FPRDI journal**, v.20, n.1/2, p.57-65, 1991.

BARRICHELLO, L.E.G. Densidade básica: subsídios para determinação (1ª parte). **Informações SQCE**, n.3, p.1-6, 1983.

BOONE, R.S. **Dry kiln chedules for commercial woods: temperate and tropical**. Madison: USDA. Forest Service. Forest Products laboratory, 1988. 158p.

BRANDÃO, A.T.O. **Determinação de metodologia para a indicação de programas de secagem de madeiras**. Piracicaba, 1989. 100p. Tese (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

BRASIL INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Madeiras da Amazônia: características e utilização, Floresta Nacional do Tapajós**. Brasília: IBDF, 1981. v.1 113p.

BROTERO, P.A. **Secagem de madeiras em estufa**. São Paulo: IPT, 1941. 47p.

CINIGLIO, G. **Avaliação da secagem de madeira serrada de *E. grandis* e *E. urophylla***. Piracicaba, 1998. 69p. Tese (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

DURAND, P.Y. Contribution à l'étude de la détermination des tables de séchage à partir des caractères physiques du bois. **Bois et forêts des tropiques**, n.207, p.63-78, 1985.

FPL - FOREST PRODUCTS LABORATORY. **FPL statistics group: www hardwood drying schedules**. <http://www.fpl.fs.fed.us/drying.html> (out.1998)

GALVÃO, A.P.M. Secagem acelerada: programa para a madeira de jatobá (*Hymenea stilbocarpa* Hayne). **IPEF**, n.12, p.151-161, 1976.

GALVÃO, A.P.M.; JANKOWSKY, I.P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111p.

HILDEBRAND, R. **Kiln drying of sawn timber**. Berlin: Maschinenbau GmbH, 1970. 198p.

MARTINS, V.A. **Secagem de madeira serrada**. Brasília: IBDF/DPq-LPF, 1988. 56p.

- MARTINS, V.A.; MARQUES, M.H.B.; MENDES, A.S. Madeiras da Amazônia de secagem rápida. **Madeira e tecnologia**, n.7, p.44-50, 1997.
- McMILLEN, J.M. Accelerated kiln drying of presurfaced 1-inch Northern Red Oak. **USDA. Forest Service, FPL research paper**, n.122, p.1-29, 1969.
- MENDES, A.S.; MARTINS, V.A.; MARQUES, M.H.B. **Programas de secagem para madeiras brasileiras**. Brasília: IBAMA, 1998. 114p.
- MENDES, A.S.; SIMPSON, W.T.; VERRILL, S.P. Laboratory test for grouping tropical species for kiln drying. **Wood science and technology**, v.29, p.353-362, 1995.
- PONCE, R.M.; WATAI, L.T. **Manual de secagem de madeira**. Brasília: MIC/STI-IPT, 1985. 70p. (Série documentos, 22).
- PRATT, G.H. **Timber drying manual**. London: Department of the Environment / Building Research Establishment, 1974. 152p.
- RASMUSSEN, E.F. **Dry kiln operator's manual**. Madison: USDA / Forest Service, 1968. 197p.
- SIAU, J.F. **Flow in wood**. New York: Syracuse University Press, 1971. 131p.
- SIMPSON, W.T.; BAAH, C.K. **Grouping tropical wood species for kiln drying**. Madison: USDA. Forest Service. Forest Products Laboratory, 1989. 14p.
- SIMPSON, W.T.; VERRILL, S.P. Estimating kiln schedules for tropical and temperate hardwoods using specific gravity. **Forest products journal**, v.47, n.7/8, p.64-68, 1997.
- XYLEMA Ltda. **Biblioteca de programas de secagem**. 1996. (não publicado)

