

SECAGEM ACELERADA: PROGRAMA PARA A MADEIRA DE JATOBÁ (*Hymenaea stilbocarpa* Hayne)

A. Paulo M. Galvão^(*)

O. D. C. 847.2

SUMMARY

A hardwood, *Hymenaea stilbocarpa*: Hayne (jatobá), 3,7 cm in thickness was kiln dried using a conventional and an accelerated schedule. The accelerated schedule (Table I) is based on REITZ (1970) suggestions. The accelerated schedule saved time, however some warping occurred. This defect was partially due to the irregular wood grain and non uniform thickness of the boards. The accelerated schedule did not cause honeycombing, collapse and surface or end checks. Suggestions are given for commercial application of the accelerated schedule.

1. INTRODUÇÃO

Os programas de secagem constituem numa seqüência estudada de temperaturas de termômetro seco e úmido, visando a rápida redução da umidade da madeira a um teor pré-determinado, com o menor número possível de defeitos. Nos programas tradicionais do tipo umidade/temperatura passa-se de uma etapa à outra dentro da seqüência, em função do teor de umidade da madeira em secagem. As alterações de temperatura e umidade relativa são relativamente suaves.

Considerando-se as vantagens econômicas da redução do período de tempo de secagem seria desejável utilizar altas temperaturas e baixas umidades relativas desde o início do processo. Porém, baixos gradientes de secagem associados a altas temperaturas iniciais e à presença de água livre na estrutura da madeira favorecem a ocorrência de rachaduras, encruamento e colapso.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar subsídios para a elaboração de programas acelerados de secagem e analisar os resultados obtidos na utilização dessa técnica com madeira de jatobá destinada à manufatura de móveis para exportação. Visou-se estabelecer um programa acelerado que permitisse reduzir economicamente o período de tempo dispendido na secagem.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Altas temperaturas, eliminação das camadas superficiais das peças da madeira, vaporização preliminar e secagem automática programada têm sido estudadas como técnicas capazes de acelerar o processo de secagem.

^(*) Professor Assistente Dr. Curso de Engenharia Florestal, Depto. de Silvicultura - ESALQ-USP.

Nos programas tradicionais de secagem, as temperaturas mais elevadas de termômetro seco estão geralmente entre 65°C e 85°C. A secagem a altas temperaturas utiliza valores acima do ponto de ebulição da água. LOWERY et alii (1968) procederam a uma revisão sobre a secagem de madeira a altas temperaturas discutindo as principais características físicas do método. Concluíram que as principais vantagens são: menores períodos de tempo, menor consumo de energia, redução da retração e menor umidade de equilíbrio da madeira. Como desvantagem apontaram: custo inicial mais elevado do equipamento, necessidade de maior capacidade de aquecimento, descoloração da madeira, queda de nós, problemas de condicionamento, perda da resistência e maior número de defeitos de secagem em algumas espécies.

Uma revisão sobre secagem de folhosas a altas temperaturas é apresentada por WENGERT (1972) que salienta ser bastante baixa a umidade de equilíbrio máxima proporcionada pelo método, por exemplo, somente 7% a 121°C. De acordo com a revisão desse autor, os quatro principais defeitos que essa técnica acelerada acarreta à madeira são: colapso, rachamentos de topo, rachaduras em favos e descoloração. Entretanto, o período de tempo de secagem é reduzido, sendo a quantidade de energia requerida 25 a 60% menor. Esse método de secagem requer maior investimento inicial em equipamentos sendo os custos de manutenção mais elevados.

A retirada das camadas superficiais de madeira das peças, geralmente o suficiente para eliminar a marca dos dentes da serra, cerca de 3 mm, leva a redução de 7 a 10% no período de tempo de secagem em relação a material não aparelhado, de acordo com WENGERT & BALTES (1971). Essa redução é atribuída à diminuição da espessura das peças. Outro benefício da técnica, de acordo com MCMILLEN (1969), seria reduzir as rachaduras superficiais pela completa eliminação das diminutas rupturas ocorridas no desdobro, a partir das quais as rachaduras poderiam ser iniciadas. Além disso, de acordo com MCMILLEN & BATES (1962), o aparelhamento antes da secagem permite aumentar a capacidade de estufa pela introdução de maior volume de madeira e diminui a possibilidade de empenamentos devido a espessura uniforme das peças. Para RIETZ (1966) a retirada das camadas superficiais reduz as rachaduras superficiais e proporciona uma carga com teor de umidade mais uniforme.

A redução mais rápida de umidade por efeito da vaporização inicial de madeira, durante períodos de 0,5 a 12 horas, foi comprovada experimentalmente por SIMPSON (1975) em diversas espécies.

A compressão dinâmica transversal, relatada por SPRAGUE (1972), é outra técnica capaz de acelerar a secagem. A compressão ocasiona numerosas fraturas nas passagens naturais da umidade na madeira, permitindo movimentação da água com menor restrição. Reduções do período de secagem em 1/6 em relação aos métodos convencionais foram observadas.

A aceleração de secagem por meio de programação e controle automático dos secadores foi constatada por WENGERT & BALTES (1971) e WENGERT & EVANS (1971). Verificaram também a redução dos defeitos de secagem da madeira em relação aos métodos convencionais.

A técnica destinada a acelerar a secagem preconizada por RIETZ (1970), pode ser executada em secadores comuns. O método baseia-se nas tensões desenvolvidas durante a secagem da madeira, enquanto os processos tradicionais utilizam a umidade média da madeira como indicadores das etapas dos programas.

Abaixo da umidade de saturação ao ar a adsorção de água da madeira é acompanhada do seu inchamento enquanto a desorção é caracterizada pela retração. MCMILLEN (1963) explica que quando uma peça de madeira é impedida de retrair, surgem tensões de tração as quais são balanceadas por tensões de compressão que se originam em outro local da mesma. Quando a madeira é tensionada ela se deforma. Uma deformação elástica é produzida por tensões de curta duração, abaixo do limite de proporcionalidade, desaparecendo com a retirada da carga. Entretanto, tensões acima do limite de proporcionalidade ou exercidas durante longo período de tempo produzem deformações que não desaparecem com a retirada da carga. Essa deformação permanente pode ocorrer na secagem podendo ser denominada fixação. Portanto, a madeira com fixação, caracteriza-se por apresentar deformação permanente ou tensões não aliviadas. Os testes de encruamento visam determinar a distribuição das tensões na madeira em secagem.

Na elaboração ou modificação de programas, de acordo com MCMILLEN (1963) deve-se evitar que os gradientes acarretem tensões que excedam ao limite de proporcionalidade da madeira. No início da secagem, a parte externa das peças de madeira está sob tração enquanto a interna está sob compressão. Os gráficos relacionando tensão e tempo apresentados por RIETZ (1970) e MCMILLEN (1963) mostram que a tração e a compressão decrescem após terem atingido um valor máximo. As tensões máximas de tração das camadas externas são alcançadas num período relativamente curto de secagem. Posteriormente, há uma reversão, isto é, as camadas externas passam a apresentar tensões compressão. Baseado nesses fatos, RIETZ (1970) considera que após as forças máximas de tração terem sido atingidas e principiarem a decrescer, não tendo ocorrido rachaduras superficiais, o abaixamento da umidade relativa pode ser efetuado bruscamente sem ocorrência de tensões que possam causar os defeitos de secagem mencionados.

As modificações propostas por RIETZ (1970), são baseadas nas tensões. Entretanto, como não há uma forma convenientemente prática e rápida para avaliá-las, a umidade da madeira é utilizada como referência. Dessa forma, esse autor preconiza que o gradiente de umidade seja mantido tão inclinado quanto possível e que a temperatura usada seja a maior possível desde que não reduza significativamente a resistência da madeira à tração perpendicular às fibras. A primeira condição é obtida pelo abaixamento da umidade relativa, o mais cedo possível, a um mínimo que, entretanto, não deverá provocar rachaduras nas peças em secagem. Por outro lado, as temperaturas iniciais deverão ser mantidas até que toda a água livre tenha se evaporado. Temperaturas máximas de 81°C até 92°C são sugeridas.

Em seu trabalho, MCMILLEN (1963) faz ainda considerações a respeito de temperatura, umidade relativa e seu relacionamento, com as tensões nos programas de secagem. Assim, no tocante à temperatura, considera que o valor crítico máximo deve ser determinado empiricamente até que seu relacionamento com a resistência da madeira perpendicularmente às fibras seja conhecido. Maiores temperaturas podem ser usadas à medida que a umidade decresce abaixo da umidade de saturação ao ar, a partir da qual aumenta rapidamente a resistência da madeira. Entretanto, é necessário considerar o teor de umidade no centro das peças em secagem e não seu valor médio. A umidade relativa deve ser alta no início da secagem, podendo ser reduzida quando as tensões reverterem. Recomenda esse autor que a redução da umidade relativa, nas etapas intermediárias dos programas de secagem, seja efetuada através do aumento aproximadamente geométrico das diferenças entre termômetro seco e úmido.

Para MCMILLEN (1963), as possibilidades da redução abrupta da umidade relativa, após as tensões de tração das camadas externas terem ocorrido, depende da espécie, isto é, não pode ser generalizada. Para as espécies sobre as quais não há informações, recomenda evitar o abaixamento brusco da umidade relativa no início das etapas intermediárias, efetuando a elevação geométrica das depressões como adotado nos programas tradicionais do Forest Products Laboratory.

De acordo com RASMUSSEN (1961), as modificações dos programas para reduzir o período de secagem devem ser tentadas quando se dispõe de experiência suficiente com a espécie. As modificações devem ser efetuadas de maneira sistemática tentando-se inicialmente passar de uma depressão do termômetro úmido para outra. A segunda alteração refere-se às temperaturas e finalmente deve-se tentar modificar as etapas dentro do programa.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se peças de madeira de jatobá (*Hymenaea stilbocarpa* Hayne) com dimensões aproximadas de 10 cm x 3.7 cm x 200 cm.

O secador utilizado tem a capacidade de 6 m³, é semi-automático com circulação forçada do ar, proporcionando velocidade aproximada de 4 m/s, por meio de 5 circuladores situados na parte superior do equipamento.

Foi efetuada a secagem de 7 cargas, sendo 5 exploratórias e 2 que se constituíram no experimento propriamente dito. Posteriormente, para estudar o comportamento da madeira em relação a defeitos, mais uma secagem acelerada foi efetuada, modificando-se apenas as condições de condicionamento para 80°C de Ts e 75°C de Tu que correspondem a 12,2% da umidade de equilíbrio. Cada carga era constituída de 408 peças dispostas em 17 camadas, separadas entre si por tabiques de 2 cm x 3 cm posicionados de forma a que o espaço entre elas fosse de 2 cm. A distância entre os tabiques era de aproximadamente 40 cm.

As cargas tinham 6 m de comprimento por 1 m de largura e altura aproximada de 1 m. Colocaram-se anteparos no vão situado entre a carga e o teto da estufa para evitar que a corrente de ar fosse desviada, diminuindo a circulação de ar entre as camadas das peças.

O número de amostras de controle foi de 6, sendo a sua retirada e manuseio efetuada de acordo com RASMUSSEN (1961). Determinou-se a densidade das amostras a 0% de umidade, sendo o volume avaliado pela medição direta das mesmas com paquímetro de 0,1 mm de precisão.

O programa acelerado baseou-se nas sugestões de RIETZ (1970). Assim, na fase inicial de secagem utilizaram-se condições tradicionais, isto é, baixas temperaturas e altas umidades relativas. A umidade relativa foi abruptamente abaixada quando E revelou-se inferior a 0,7. Esse valor foi estimado pela seguinte expressão:

$$E = \frac{U_c - U_e}{U_i - U_e}, \text{ onde (1)}$$

E = fração total da água evaporável que permanece na madeira.

U_c = umidade corrente (%)

Ue = umidade de equilíbrio (%) correspondente às condições do secador

Ui = umidade inicial (%)

Previa-se a elevação abrupta da temperatura para 80°C quando a umidade média das peças diminuísse para teor equivalente ou inferior a 20%.

De uma forma geral o programa acelerado adotado e testado pode ser esquematizado como aparece no quadro I.

Quadro I - Programa acelerado utilizado na secagem da madeira de jatobá

ETAPA	TS (°C)	TU (°C)	UR (%)	EU (%)
Inicial/Aquecimento e umidade superior a 40%	50	45	75	12,7
Umidade inferior a 40%	52	46	73	12,0
$E \leq 0,7$	52	34	25	5,0
Umidade inferior a 20%	80	61	41	5,1
Uniformização	80	65	51	6,2
Condicionamento (*)	80	74	77	10,7
(*) Durante 6 horas				

Para fins de comparação outra carga de madeira foi submetida a secagens em condições aproximadas a de um programa tradicional simplificado, como pode ser verificado no quadro II.

Quadro II: Programa tradicional simplificado utilizado para fins de comparação com o programa acelerado.

ETAPA	TS (°C)	TU (°C)	UR (%)	EU (%)
Umidade da madeira no início da etapa (%)				
36	50	48	87	18,1
24	60	52	64	9,8
14	65	50	45	6,4
10,5	65	46	35	4,5
Condicionamento	65	60	77	12,3

A uniformização, o condicionamento e os testes para verificar encruamento, foram efetuados de acordo com as recomendações de RASMUSSEN (1961). O período adotado de 6 horas de condicionamento foi estabelecido com base em secagens e testes exploratórios.

Todas as peças das cargas foram examinadas quanto a presença de defeitos de secagem sendo que, as amostras de controle eram particularmente inspecionadas quanto à ocorrência de colapso nas diferentes etapas da secagem. Ao final da secagem, antes do condicionamento, quando se procedia a retirada de corpos de prova para os testes de tensão, a secção transversal das amostras de controle eram cuidadosamente examinadas para verificar a presença de rachaduras em favos. As amostras de controle, após a secagem, foram também aparelhadas para serem mais propriamente examinadas quanto à ocorrência de rachadura e descoloração.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos serão discutidos visando avaliar as possibilidades de utilizar programas acelerados de acordo com indicações básicas de RIETZ (1970), na secagem da madeira de jatobá destinada à manufatura de móveis.

O quadro III mostra a umidade inicial e final de duas cargas de madeira submetidas à secagem pelos processos tradicional e acelerado. As curvas de secagem e as condições da estufa são apresentados na figura I.

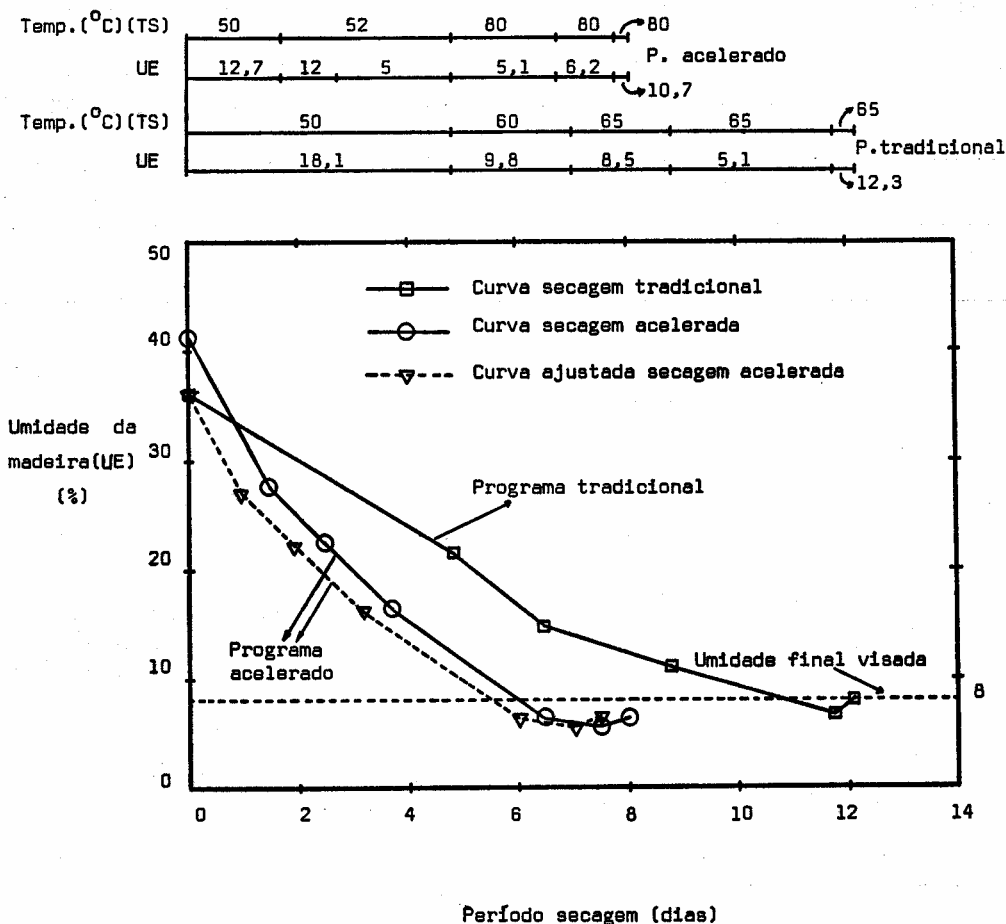


FIGURA 1 - Condições da estufa e curvas de secagem da madeira de jatobá, resultantes do programa tradicional e acelerado, cada ponto é média de 6 amostras.

Quadro III: Período de tempo de secagem da madeira de jatobá no método tradicional e acelerado, umidade médias inicial e final e respectivos intervalos de variação.

Programa	Umidade (%)				Período de secagem (dias)
	Inicial		Final		
	Média	Variação	Média	Variação	
Tradicional	36,0	24,9 - 44,2	8,6	13,4 - 5,8	12,1
Acelerado	41,4	39,6 - 42,4	7,0	9,9 - 5,3	8,0

Verifica-se pelo exame do quadro III e figura 1 que o programa acelerado permitiu secar a madeira em um período de tempo menor que o programa tradicional adotado, em

cerca de 34%. Essa redução ocorreu apesar de maior umidade inicial da madeira no método tradicional, adotado, em cerca de 34%. Comparação entre o tempo de secagem dos dois métodos ajustou-se a curva representativa do programa acelerado, como pode ser verificado na figura 1. Com esse ajustamento a diferença entre períodos de secagem foi de 4,6 dias, ou seja, 38%. Entretanto, considerando-se que as umidades finais nos dois tratamentos não são iguais é conveniente estimar a diferença entre os programas, para o teor final visado de 8%. Com o auxílio da figura 1 verifica-se que a secagem acelerada foi 42% mais rápida que a tradicional adotada.

Entretanto, é necessário considerar, também, que o período de tempo da secagem tradicional teria sido menor se no programa adotado estivessem previstas alterações para condições mais enérgicas à medida que a umidade da madeira diminuísse, como ocorre com os programas normalmente utilizados. Por outro lado, também, a secagem acelerada teria sido mais rápida se as condições mais enérgicas de 52°C de T_a e 34°C de T_u fossem aplicadas mais cedo como previsto no programa.

Calculando-se com o auxílio da expressão (1) a umidade corrente da madeira U_c correspondente ao valor $E = 0,7$, considerando-se como 70% o teor de água da madeira verde, obtém-se 52,8%. Portanto, as condições de secagem de 52°C - 34°C poderiam ter sido acionadas quando a umidade da amostra mais umidade fosse de 52,8%. Assim, como a umidade inicial da amostra mais úmida era 44,2%, as condições correspondentes a $E = 0,7$ poderiam ter sido utilizadas desde o início de secagem, isto é, 2,8 dias antes de sua efetiva aplicação. Contudo, considerando-se que é recomendável condições mais suaves no primeiro dia para permitir o acomodamento de tensões e prevenir defeitos, pode-se estimar que o atraso efetivo para aplicação foi de 1,8 dias.

Ressalte-se que as condições de 52°C de T_s e 34°C de T_u correspondem a aproximadamente 5% de umidade de equilíbrio que proporcionaram gradientes de secagem superiores a 4 no programa adotado, os quais poderiam ter chegado a 6 se as alterações da temperatura tivessem sido efetuadas como discutido anteriormente. Em contrapartida, os gradientes de um programa tradicional aplicáveis à madeira de jatobá são inferiores a 3 como se pode inferir dos programas apresentados por RASMUSSEN (1961); BROTERO (1941) e YAMAMOTO (1964). Os programas acelerados do tipo em estudo, prevêm temperaturas mais elevadas e proporcionam maiores gradientes de umidade à madeira em secagem que os programas tradicionais. Temperaturas maiores aumentam o coeficiente de difusão da água higroscópica, permitindo secagem mais rápida. Baixas pressões relativas de vapor conduzem a maiores gradientes de umidade na madeira que levam à mais rápida remoção da água nela contida.

Do exposto pode-se inferir que as duas secagens apresentadas no quadro III e figura 1, poderiam ter sido mais rápidas, sendo o método tradicional mais lento. As possibilidades de maior rapidez dos programas acelerados ficam evidenciadas.

A madeira do processo tradicional não apresentava defeitos decorrentes da secagem. Entretanto, 12,5% das peças da carga submetida ao processo acelerado apresentavam os seguintes defeitos de secagem: 8,6% com empenos torcidos e 3,9% com empenos longitudinais. Se de um lado eles poderiam ter sido provocados exclusivamente pelas condições mais enérgicas do método acelerado, por outro lado, o exame das peças evidenciou irregularidades da grã, normalmente apontadas como responsáveis por defeitos do tipo em questão. Assinale-se que as peças defeituosas estavam situadas nas 3 camadas superiores, fato que ocorre com relativa freqüência em secagem. Normalmente, a colocação de pesos sobre a última camada reduz o aparecimento dos mesmos. Para evitar esse

inconveniente, em seu experimento, WENGERT (~972) colocou ferro sobre a parte superior da carga para obter pressões de aproximadamente 48,8 kg/m². O FOREST PRODUCTS LABORATORY (1965) descreve um método que utiliza um dispositivo destinado a aplicar pressão no topo das cargas.

O aparecimento de defeitos nas peças submetidas ao processo acelerado deve ser levado à conta de vários fatores atuando conjunta ou isoladamente: maior temperatura que ocasiona a redução mais acentuada da resistência da madeira, a desuniformidade da espessura das peças que, variando de 3,5 a 4,0 cm, levou ao empilhamento imperfeito e às irregularidades da grã, isto é, desvios dos elementos anatômicos em relação ao eixo longitudinal das peças.

Em decorrência dos resultados anteriormente discutidos e com fim específico de melhor avaliar o método acelerado em relação ao aparecimento de defeitos, procedeu-se à secagem de mais uma carga de madeira. Ela era constituída de 408 peças cuja amostragem de controle indicava umidades variando de 44,0% a 22,8%. Constatou-se antes da secagem em estufa que 9 peças, 2,2% da carga, apresentavam empeno longitudinal. Após a secagem pelo método acelerado em estudo, procedeu-se a nova contagem de defeitos, observando-se o aparecimento de 15 empenos entre longitudinais e torcidas, que correspondem a 3,7% em relação ao total. Assim, o total de defeitos foi inferior ao constatado na outra carga, submetida à secagem acelerada.

Face ao exposto, pode-se concluir que os empenos longitudinais apareceram também por razões que independem das condições do método acelerado. Acredita-se que a colocação de pesos na parte superior da carga deverá evitar, ou pelo menos reduzir o aparecimento de empenos. Da mesma forma, é desejável maior uniformidade na espessura das peças. Considerando esse aspecto do problema, é interessante estudar-se o efeito do aparelhamento inicial, como preconizado por RIETZ (196) e MCMILLEN & BALTES (1972), que além de diminuir as possibilidades de empenamento, reduziria o tempo requerido para a secagem aumentando também a capacidade da estufa.

Não se observou, em nenhuma das secagens efetuadas, o aparecimento de rachaduras superficiais ou de topo. Também não foram constatadas rachaduras em favos e colapso, defeitos graves, típicos de secagens mal conduzidas ou programas impróprios. Esses fatos aliados à ausência de colapso e rachaduras em favos nos corpos de prova que foram submetidos à temperatura de 103°C, na determinação do teor de umidade das amostras de controle, permitem prever que a temperatura crítica para a secagem de jatobá é superior aos 80°C utilizados. Evidentemente, altas temperaturas devem ser evitadas quando houver necessidade da máxima resistência que a madeira oferecer, porque valores superiores à 70°C tendem a reduzi-la, de acordo com RASMUSSEN (1961). Os resultados dos testes de tensão após o condicionamento revelaram que 2 corpos de prova do programa acelerado e 6 do tradicional apresentavam-se normais. Ligeiro encruamento foi observado em 4 corpos de prova do método acelerado. Entretanto, condições de 80°C de Ts e 75°C de Tu durante 6 horas, utilizadas na secagem para reavaliação de defeitos revelaram-se capazes de condicionar a madeira de jatobá submetida a secagem acelerada, pois, os testes de tensão revelaram a ausência do encruamento.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

O objetivo do presente trabalho foi estudar a secagem acelerada da madeira em estufa, visando estabelecer um programa que permitisse diminuir o período de tempo

dispendido na redução do teor de umidade de madeira da folhosa **Hymenaea stilbocarpa** (jatobá), sem significativo aumento de defeitos. No programa acelerado estabelecido, utilizaram-se os princípios básicos sugeridos por RIETZ (1970). Assim, a umidade relativa no secador era bruscamente reduzida quanto a fração total da água evaporável que permanecia na madeira (E), era menor ou igual a 0,7 e a temperatura elevada para 80°C quando a amostra mais úmida atingisse um teor de umidade inferior a 20%. As peças das cargas e as amostras de controle foram avaliadas quanto à presença de defeitos de secagem.

Da discussão dos resultados as seguintes conclusões podem ser tiradas:

- 1 - O programa acelerado é mais rápido que o tradicional;
- 2 - O programa acelerado não ocasionou colapso e rachaduras superficiais, de topo e em favo;
- 3 - A madeira submetida à secagem pelo processo acelerado apresentou maior porcentagem de empenamentos. Contudo, isso ocorreu também, como consequência da desuniformidade da espessura das peças e irregularidades da grã.
- 4 - O programa estudado é viável para a secagem de madeira de jatobá destinada à manufatura de móveis, recomendando-se, porém, a alteração do condicionamento para 80°C de Ts e 75°C de Tu. Recomenda-se, também, a colocação de pesos sobre a camada superior da pilha.

Como consequência dos resultados obtidos há evidências da possibilidade de utilizar temperatura superiores a 80°C na secagem comercial da madeira de jatobá.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BROTERO, F. A. - **Secagem da madeira em estufa**. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1941.
- FOREST PRODUCTS LABORATORY - **News and views of this kiln drying business: warp reduction**. Madison, FPL, 1965. 2 p. (USDA Forest Service research note, FPL-0108).
- FOREST PRODUCTS LABORATORY - **Wood handbook**. Washington, USDA, 1955. 528p.
- LOWERY, D. P.; KRIER, J. P. & HANN, R. A. - **High temperature drying of lumber: a review**. Ogden, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1968. 10 p. (USDA. Forest Service research paper. INT- 48).
- MCMILLAN, J. M. - **Accelerated kiln drying of presurfaced: 1 - inch northern red oak**. Madison. FPL, 1969. 29 p. (USDA Forest Service Research report, 122).
- MCMILLEN, J. M. - **Stresses in wood during drying**. Madison, FPL, 1963. 52 p. (USDA Forest Service research report. 1952).
- MCMILLEN, J. M. & BALTES, R. C. - **New kiln schedule for presurfaced oak lumber**. **Forest products journal**, Madison, **22(5)**: 19-26, mai. 1972.

- RASMUSSEN, E. F. - **Dry kiln operator's manual**. Madison, FPL, 1961. 197 p. (Agriculture handbook. 188)
- RIETZ, C. R. - **Accelerating the kiln drying of hardwoods**. Madison, FPL, 1970. 6 p.
- RIETZ, C. R. - **Presurfacing green oak lumber to reduce surface checking**. Madison, FPL. 1966. 2 p. (USDA Forest Service research note, FPL-0146).
- SIMPSON, W. T. - Effect of steaming on the drying rate of several species of wood. **Wood science**, Madison. **7**(3): 247-55, 1975.
- SPRAGUE, E. D. - Wood drying review. **Forest products journal**. Madison. **22**(2): 17-21, fev. 1972.
- WENGERT, E. M. - **Review of high temperature kiln - drying of hardwoods**. Madison. FPL, 1972. 3 p.
- WENGERT, E. M. & BALTES, R. C. - **Accelerating oak drying by pre-surfacing, accelerated schedules and kiln automation**. Madison, FPL, 1971. 10 p. (USDA. Forest Service research note. FPL-0214).
- WENGERT, E. M. & EVANS, P. G. - Automatic programming and control for steam - heated lumber dry kilns. **Forest products journal**. Madison. **21**(2) : 56-9. fev. 1971.
- Y AMAMOTO, A. K. - Secagem da madeira. **Boletim técnico. Preservação de madeiras**, São Paulo. **2**(1): 85-145, 1973.