

## **EQUIPAMENTO E PROCESSOS PARA SECAGEM DE MADEIRA**

Ivaldo P. Jankowsky\*

---

### **RESUMO**

O crescente interesse na utilização da madeira de Eucalipto como matéria-prima para a indústria de móveis e de outros produtos manufaturados a base de madeira tem suscitado a discussão sobre processos e equipamentos para a secagem desse material.

A madeira de Eucalipto, de uma forma geral, é de difícil secagem; ou seja, a secagem é lenta e a propensão a defeitos é elevada. Para que se possa obter sucesso é necessário conhecer as características do material, os equipamentos mais adequados e os processos físicos envolvidos na retirada da umidade.

Devido a sua estrutura anatômica desfavorável ao fluxo de fluidos líquidos, a fase inicial da secagem da madeira de Eucalipto deve ser cuidadosamente conduzida. Isso requer não só um programa de secagem mas também que o secador esteja operando sem criar zonas diferenciadas em seu interior.

A secagem convencional ainda é o processo mais utilizado para madeiras de folhosas, sendo que para madeiras de secagem problemática é aconselhável a pré-secagem ao ar ou, preferencialmente, em pré-secadores.

Os desumidificadores são uma alternativa tecnicamente adequada para a madeira de Eucalipto, mas algumas desvantagens como o alto custo operacional podem torna-los não econômicos.

Uma técnica promissora é a secagem a vácuo com aquecimento por radiofrequência, cujo desenvolvimento nos últimos anos tem permitido bons resultados a nível industrial. A maior limitação deste método ainda é o aspecto econômico.

### **INTRODUÇÃO**

A adequada secagem da madeira serrada, antes da sua transformação em bens e produtos, é reconhecidamente a fase mais importante de todo o processamento que visa agregar valor ao produto final.

A madeira pode ser considerada como adequadamente seca quando apresenta os seguintes atributos (LAMB, 1994) :

- livre de defeitos visíveis, tais como rachaduras, empenamentos, colapso e manchas;
- um teor de umidade compatível com o uso pretendido;
- um mínimo de variação no teor de umidade, tanto dentro de cada peça individualmente como entre todas as peças;
- livre das tensões de secagem.

O nível aceitável para cada um desses fatores irá variar de acordo com o tipo de madeira e com a aplicação dessa madeira. Usos em que a aparência visual da madeira é importante, tais como móveis e

---

\* Professor Doutor, Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo

**IVALDO P. JANKOWSKY**

produtos com função decorativa, irão requerer padrões de qualidade muito mais rígidos do que usos exclusivamente estruturais.

Atingir padrões rígidos de qualidade requer uma solução de compromisso entre a madeira, o equipamento e a forma como é conduzido o processo de secagem. O equilíbrio entre os três componentes torna-se mais delicado quando o objetivo é a secagem da madeira de Eucalipto.

Por ser um tipo de madeira considerada como de difícil secagem (secagem lenta e propensa a inúmeros defeitos), maior atenção deve ser dirigida para o secador e para o controle do processo.

### ***O COMPORTAMENTO DA MADEIRA DE EUCALIPTO DURANTE A SECAGEM***

O estoque disponível de madeira de Eucalipto vem aumentando em diversos países, principalmente no hemisfério Sul. Por se tratar, na grande maioria das situações, de matéria-prima proveniente de plantações de ciclo curto, tem-se como principal obstáculo a necessidade de secar material jovem e propenso a apresentar sérios defeitos durante a secagem.

O processo de secagem típico para a madeira de Eucalipto emprega baixas temperaturas, o que implica em longos tempos de secagem (NEUMANN, 1990). Praticamente todos os defeitos passíveis de se manifestarem durante a secagem, tais como rachaduras, empenamentos de diferentes formas, gradientes de umidade, colapso, tensões de secagem e endurecimento superficial, são citados como de ocorrência na madeira de Eucalipto (CAMPBELL & HARTLEY, 1984).

As rachaduras associadas com as tensões de crescimento e os defeitos de secagem trazem como resultado uma perda significativa de madeira. Experiências a nível industrial (JANKOWSKY & CAVALCANTE, 1992) mostraram que a secagem de madeira com 28 mm de espessura, da condição verde até um teor final de 15% de umidade, pode demorar de 4 a 6 semanas. As perdas causadas por empenamentos e por colapso foram da ordem de 30 a 40%.

VERMAAS (1995) discute as características e as principais causas da ocorrência de defeitos como as rachaduras e os empenamentos. O colapso e possíveis métodos de prevenção foram discutidos com maiores detalhes por JANKOWSKY & CAVALCANTE (1992).

A principal causa do colapso é a tensão capilar, que se manifesta nas fases iniciais da secagem quando o teor de umidade da madeira está acima do ponto de saturação das fibras (SKMR, 1972; CHAFE, 1986, 1987). Diversos tratamentos anteriores a secagem tem sido estudados nos últimos anos (ELLWOOD & ECKLUND, 1963; KININMONTH, 1973; CAVALCANTE, 1991), mas o método mais eficiente até o momento tem sido o condicionamento com altas temperatura e umidade relativa ao final da secagem.

NEUMANN (1989) recomenda o condicionamento com alta umidade relativa quando a madeira atinge um teor de umidade de 20%, visando recuperar a madeira colapsada. Por outro lado, ALEXIOU (1989), recomenda o condicionamento com temperatura e umidade relativa elevadas ao final da secagem, como forma de recuperar o colapso e também aliviar as tensões de secagem.

### ***ASPECTOS BÁSICOS DO PROCESSO DE SECAGEM***

Os processos mais amplamente utilizados até o momento, para a secagem de madeira serrada, tem como base o deslocamento de uma corrente de ar pela superfície da madeira, caracterizando uma secagem por convecção. Enfocando o fenômeno pela ótica da mecânica de fluidos, a energia (calor sensível) da corrente de ar é transferida para a superfície da madeira, promovendo a vaporização da água ali existente e, que no estado de vapor, é transferida para a corrente de ar.

Simultaneamente, parte da energia recebida pela superfície provocará o aumento da temperatura nessa região, dando início ao transporte de calor da superfície para o centro da peça. A vaporização da água presente na superfície irá gerar um gradiente de umidade, principalmente no sentido da espessura, dando início a movimentação da água do interior até a superfície da peça.

## ***EQUIPAMENTOS E PROCESSOS PARA SECAGEM DE MADEIRAS***

A movimentação interna da água ocorre nas fases de líquido, de vapor e como água higroscópica (quimicamente ligada aos componentes da parede celular). A movimentação na fase líquido é fundamentalmente um fenômeno de capilaridade, sendo afetado pela estrutura anatômica da madeira. A movimentação nas outras fases é basicamente um fenômeno difusivo, afetado não só pelas condições termodinâmicas da corrente de ar como também por características da própria madeira, principalmente a massa específica.

O desenvolvimento dos computadores tem facilitado o estudo dos princípios físicos envolvidos na secagem de madeiras, sendo que diversos modelos matemáticos foram propostos visando estabelecer os efeitos das diversas variáveis envolvidas no processo (ROSEN, 1987).

Contudo, a retirada da água do interior da madeira provoca o aparecimento de esforços internos, causados pela tensão capilar e pela retração volumétrica, os quais irão provocar deformações classificadas como defeitos de secagem. , Características da madeira, como a retratibilidade e a massa específica, e o seu relacionamento com as variáveis do processo tem sido estudadas como uma forma de prever o comportamento da madeira durante a secagem (DURAND, 1985; BRANDÃO, 1989; SIMPSON, 1992).

O objetivo principal da secagem artificial é promover o equilíbrio entre a velocidade de evaporação da água na superfície da madeira, a taxa de movimentação interna (tanto de calor como de umidade) e as reações da madeira durante o processo; de forma a promover a secagem o mais rapidamente possível e com um nível de perdas ou um padrão de qualidade aceitável para o produto que se pretende. Para se atingir esse objetivo é necessário não só o conhecimento sobre a termodinâmica da secagem como também sobre as características da madeira e sobre o funcionamento do secador.

A medida em que aumenta o conhecimento sobre os princípios físicos envolvidos na secagem de madeiras, torna-se mais fácil propor soluções ou encontrar formas de aprimorar o processo. Porém, não se pode esquecer que a madeira é um material oriundo de um ser vivo, sujeito as leis genéticas e as influências do meio em que vegeta. A grande variabilidade existente nas propriedades físicas da madeira de Eucalipto, tanto entre espécies como entre árvores de uma mesma espécie, nem sempre pode ser prevista por modelos matemáticos de aplicação generalizada.

Da mesma forma, secadores mal dimensionados, ou com funcionamento inadequado, podem provocar diferentes condições de temperatura e umidade relativa dentro da câmara de secagem. Essa situação irá resultar em perdas que não podem ser atribuídas ao processo ou as características da matéria-prima.

### ***SECADORES CONVENCIONAIS***

São definidos como secadores convencionais as câmaras de secagem que operam a temperaturas entre 40 e 90°C (SIMPSON, 1991). Esse tipo de equipamento dispõe de um sistema de aquecimento, um sistema de umidificação do ar, um conjunto de dampers ou janelas que permitem a troca de ar entre o interior do secador e o meio externo, e um sistema de ventilação que promove a circulação do ar entre as peças da madeira em secagem.

O sistema de aquecimento mais comum é uma bateria de trocadores de calor que pode utilizar como fluido térmico o ar quente, água quente, vapor d'água ou óleo térmico. O fluido mais comum é o vapor a pressões entre 3,0 e 8,0 kgf/cm<sup>2</sup> (300 a 800 kPa), tanto que os secadores convencionais são também conhecidos como secadores a vapor. A umidificação do ar é obtida pela liberação de vapor de baixa pressão ou com a aspersão de água fria dentro do secador.

A circulação do ar é promovida por um conjunto de ventiladores, posicionados lateralmente em relação a madeira, ou sobre o falso teto acima das pilhas. Os dampers são posicionados de tal forma que a própria ação dos ventiladores faz com que o ar quente e úmido do interior do secador seja expelido, admitindo ar do meio externo.

O carregamento da madeira pode ser feito através de empilhadeiras frontais ou com o auxílio de vagonetes. Normalmente os secadores para carga com empilhadeiras são recomendados para madeiras

**IVALDO P. JANKOWSKY**

de secagem mais lenta, em que o aumento na profundidade do secador permite aumentar a sua capacidade sem alterar significativamente o tempo total de secagem. Já o sistema de vagonetes é mais indicado para madeira de rápida secagem, em que o tempo de carga e descarga é consideravelmente reduzido e permite aumentar o rendimento do secador.

Os secadores convencionais são os mais utilizados em praticamente todo o mundo, principalmente para a secagem da madeira de folhosas. A Tabela 1 resume informações de um levantamento efetuado nos Estados Unidos (RICE et al, 1994), destacando os estados em que predomina a secagem da madeira de folhosas. Nota-se que 82% dos secadores em operação nesses estados, que produzem perto de 4,0 milhões de m<sup>3</sup> de madeira seca anualmente, é do tipo convencional.

Um detalhe importante a ser destacado é o intensivo uso da pré-secagem. A capacidade instalada em pré-secadores nesses estados é de 70% da capacidade total dos secadores convencionais. Cerca de 60% da madeira de carvalho (espécies de secagem difícil) é previamente seca em pré-secadores ou ao ar antes de ser submetida a secagem convencional.

Quando se discute a eficiência e a produtividade dos secadores convencionais é simples entender a importância da pré-secagem, principalmente para madeiras de secagem lenta e propensa a defeitos.

**TABELA 1.** Volume de madeira seca produzida anualmente nos estados de New York, Ohio, Pennsylvania, Kentucky e Tennessee, relacionado com a quantidade e o tipo de secadores.

Estado	Produção (1.000 m <sup>3</sup> )	Nº de Secadores				Capacidade (1.000 m <sup>3</sup> )	
		Convencional	Desumidificação	Pré-secador	Outros	Total	Pré-secagem
NY	616	294	17	17	8	34,9	21,6
OH	529	208	21	26	0	23,2	19,7
PA	891	419	31	21	17	57,8	32,8
KY	698	174	40	20	32	31,4	29,3
TN	1.225	359	23	21	12	51,5	36,3
<b>Total</b>	<b>3.959</b>	<b>1.454</b>	<b>132</b>	<b>105</b>	<b>69</b>	<b>198,8</b>	<b>139,7</b>

Para que um secador convencional possa ser considerado eficiente é necessário que as condições do meio de secagem (corrente de ar) sejam o mais uniformes possíveis em todo o volume do secador. Isso significa que devem ser atendidas as seguintes condições básicas:

- a distribuição de calor através dos trocadores deve ser similar em toda a extensão do secador. Pressão inadequado do vapor, rede hidráulica para a distribuição do vapor nos trocadores mal dimensionada ou inadequadamente posicionada, ou falhas no funcionamento dos purgadores podem criar regiões em que a troca térmica é mais acentuada, gerando diferentes temperaturas dentro do secador;
- a velocidade de circulação do ar deve ser uniforme em toda a área transversal da pilha de madeira. Os fenômenos de transferência de calor e massa são afetados pela velocidade de deslocamento da corrente de ar, e diferenças no fluxo de ar dentro do secador irá provocar taxas diferenciadas de secagem para o mesmo tipo de madeira;
- a velocidade do ar deve estar dentro de uma faixa adequada para a madeira em secagem. Altas velocidades de secagem no início do processo favorecem a vaporização da umidade superficial, o que nem sempre é desejável na secagem da madeira de Eucalipto. Para a secagem de folhosas em geral, velocidades de circulação do ar em torno de 2,0 m/s são consideradas como as mais econômicas (HILDEBRAND, 1970);
- o volume de ar admitido ou expelido através dos dampers deve ser igual em toda a extensão do secador. Se o damper de um extremo do secador abre ou fecha mais do que o damper localizado

no outro extremo, surgirão zonas dentro do secador em que a temperatura e a umidade relativa do ar serão diferentes. Esse problema pode ser agravado por uma inadequada circulação do ar.

Quando extremamente úmida, a madeira de Eucalipto requer, de uma forma geral, condições suaves de secagem; ou seja, baixas temperaturas (inferiores a 45°C) e alta umidade relativa (CAMPBELL & HARTLEY, 1984). Condições mais agressivas de secagem irão certamente causar defeitos e perda de madeira.

O aumento da temperatura provocará um aumento na incidência do colapso e das rachaduras em favo. A redução na umidade relativa do ar ou uma velocidade de secagem acima da recomendada causará uma rápida secagem na superfície que, devido a reduzida permeabilidade da madeira, resultará em rachaduras superficiais, endurecimento superficial, aumento na incidência do colapso e um acentuado gradiente de umidade entre a superfície e o interior da peça.

Qualquer falha no funcionamento do secador que venha a criar regiões com diferentes condições de secagem irá, com certeza, acarretar o aumento na incidência de defeitos.

Após a madeira ter perdido a totalidade da água capilar; ou seja, quando o teor de umidade está próximo ao ponto de saturação das fibras (28% em média), as condições de secagem podem ser mais drásticas. Incrementos na temperatura e decréscimos na umidade relativa permitirão aumentar a taxa de secagem sem ocasionar maior incidência de defeitos. O condicionamento ao final do processo (ou alternativamente quando o teor de umidade estiver entre 15 e 20%) permitirá a recuperação de parte da madeira colapsada e o relaxamento das tensões residuais da secagem.

Uma vez que a pré-secagem é conduzida em condições bastante suaves, o risco da ocorrência de defeitos é bem menor. A madeira passa a ser submetida a secagem convencional quando o seu teor de umidade permita suportar condições de processo mais agressivas.

Outros dois aspectos bastante importantes na secagem convencional são o tipo de programa de secagem a ser utilizado e a forma de controle do secador para executar o programa selecionado.

Os programas de secagem podem ser classificados em dois tipos:

- programas baseados na umidade da madeira, em que os valores de temperatura e umidade relativa no interior da câmara de secagem são regulados em função do teor de umidade da madeira. Nessa categoria estão incluídos os tradicionais programas umidade-temperatura desenvolvidos pelo Laboratório de Produtos Florestais em Madison (SIMPSON, 1991), aqueles baseados no potencial de secagem (HILDEBRAND, 1970), e os programas de mudanças contínuas (CCS) (TOENNISSON & LITTLE, 1994);
- programas baseados no tempo de secagem, em que as condições do secador são ajustadas em função do tempo de processo. Os programas baseados no tempo de secagem geralmente são desenvolvidos a partir da experiência acumulada com o uso dos programas baseados na umidade da madeira (WENGERT, 1994).

Na secagem de folhosas predomina o uso dos programas baseados na umidade, fato confirmado no levantamento efetuado por RICE et al (1994), conforme dados da Tabela 2. Contudo, a condução de uma secagem com base no teor de umidade da madeira implica em se ter um acompanhamento contínuo dessa variável.

O tradicional método de preparação e pesagens periódicas das amostras de controle, usualmente conjugado ao controle manual das válvulas de aquecimento e umidificação, ainda é válido e razoavelmente preciso; mas inviável quando se pretende a otimização do processo, tanto em termos de produtividade como em qualidade.

**TABELA 2.** Tipo dos programas de secagem utilizados para a secagem convencional nos estados de New York, Ohio, Pennsylvania, Kentucky e Tennessee (predominantemente para madeira de folhosas).

ESTADO	TIPO DE PROGRAMA (%)		PRÉ-SECAGEM (%) ANTERIOR A SECAGEM
	UMIDADE	TEMPO	
NY, OH, PA	68,8	20,2	36,0
KY, TN	58,5	26,6	38,2

Os controles computadorizados atualmente disponíveis no mercado permitem o controle totalmente automático de todo o processo de secagem, resultando em produtividade máxima. A maior limitação dos controles automáticos é a determinação do teor de umidade da madeira.

Dos métodos atualmente disponíveis para aplicação na secagem de folhosas, podem ser citados a determinação da reatividade (resistência e condutância) e da resistência elétrica da madeira. A medição da reatividade elétrica tem mostrado resultados satisfatórios, mas necessita ainda de calibrações empíricas e está sujeita a limitações de ordem prática (WENGERT, 1994).

O método de medição da resistência elétrica através de sensores cravados na madeira vem sendo empregado a mais de 40 anos, e a sua fundamentação teórica já é bem conhecida (WENGERT, 1994). O desenvolvimento da tecnologia de microprocessadores permitiu incorporar aos equipamentos de medição formas de efetuar correções para minimizar o efeito da temperatura e da diferença na composição química de diferentes madeiras. Da mesma forma, tornou-se mais simples incorporar aos medidores novas curvas de correção ou de calibração.

### ***DESUMIDIFICADORES***

Sob muitos aspectos os desumidificadores, também chamados de secadores a baixas temperaturas ou secadores de condensação, são similares aos secadores convencionais, mas as diferenças existentes são suficientes para uma abordagem em separado.

As vantagens dos desumidificadores (SIMPSON, 1991) em relação aos secadores convencionais são:

- operam sem a necessidade de uma caldeira ou fornalha para aquecer o fluido térmico;
- são mais eficientes do ponto de vista energético;
- oferecem boas condições de controle do processo para as madeiras consideradas de difícil secagem (como é o caso da madeira de diferentes espécies de Eucalipto), principalmente as que requerem baixas temperaturas e altas umidades relativas;
- na maioria das aplicações a câmara de secagem pode ser de simples construção e, conseqüentemente, requerem menor investimento.

Por outro lado, apresentam como desvantagens:

- operam exclusivamente com energia elétrica, o que pode implicar em elevados custos de secagem;
- a temperatura máxima do processo está limitada a, no máximo, 80°C; sendo que para muitos equipamentos o limite é de 50°C;
- em alguns casos podem ocorrer problemas com a presença de substâncias químicas no condensado.

## ***EQUIPAMENTOS E PROCESSOS PARA SECAGEM DE MADEIRAS***

O desumidificador consiste de um compressor, da válvula de descompressão, e de dois trocadores de calor (o vaporizador e o condensador). Possui ainda dutos e ventiladores para retirada do ar frio e úmido da câmara de secagem e insuflamento do ar quente e seco.

Para auxiliar no aquecimento do ar desumidificado que retoma para a câmara de secagem é empregada uma resistência elétrica.

A circulação do ar dentro da câmara de secagem é forçada por um conjunto de ventiladores, normalmente posicionados acima das pilhas de madeira. Como a umidade do ar é retirada pelo desumidificador, não existe a troca de ar entre a câmara e o ambiente exterior.

A corrente de ar circula através das pilhas de madeira no interior da câmara de secagem, da mesma forma que nos secadores convencionais. A medida em que o ar retira a umidade da superfície da madeira, torna-se úmido e frio, sendo então succionado pelo desumidificador.

A massa de ar frio passa inicialmente pelo vaporizador (que é um trocador de calor com gás resfriado), onde sofre resfriamento e ocorre a condensação da sua umidade. A seguir, a massa de ar passa através do condensador (um trocador de calor com gás comprimido e, portanto, quente), quando irá sofrer aquecimento, suplementado por uma resistência elétrica. Dessa forma, ao ser novamente insuflada para o interior da câmara de secagem, a massa de ar está quente e seca, reiniciando a secagem da madeira.

O acompanhamento do processo é efetuado pelo controle da temperatura e da umidade relativa do ar. A temperatura é controlada por um termostato que regula as resistências auxiliares de aquecimento, e a temperatura máxima do processo é função da capacidade do compressor e do fluido térmico usado no desumidificador.

O controle da umidade do ar pode ser realizado de duas maneiras distintas:

- através de umidostatos, ou seja, de sensores para medir a umidade do ar, e que são regulados para acionar o compressor quando a umidade relativa atinge um valor pré-determinado;
- através de temporizadores, que permitem regular o intervalo de tempo para acionamento e desligamento do compressor.

Embora nenhum dos dois sistemas de controle seja baseado no teor de umidade da madeira, a utilização de umidostatos permite um melhor controle do processo e a aplicação de um programa simplificado de secagem.

Os sistemas computadorizados para o controle dos secadores convencionais também podem ser empregados no controle dos desumidificadores, operando programas de secagem com base no teor de umidade da madeira.

## ***SECAGEM A VÁCUO***

A característica principal da secagem a vácuo é a redução da temperatura de ebulição da água quando submetida a pressões abaixo da pressão ambiente. A redução da pressão no interior do secador permite taxas de secagem razoáveis a baixas temperaturas, o que pode ser vantajoso na secagem de madeiras espessas ou susceptíveis a defeitos como rachaduras superficiais, colapso e rachaduras internas (SMITH et al, 1994).

Embora conhecido desde a década de 20, esse processo foi por muito tempo considerado como anti-econômico. A partir da década de 60 o método começou a ser reavaliado e melhor estudado, resultando em aprimoramentos e melhores possibilidades de aplicação a nível industrial.

Uma descrição das possíveis alternativas da secagem a vácuo é apresentada por KANAGAWA (1993). A câmara de secagem é usualmente cilíndrica para capacidades inferiores a 15 m<sup>3</sup>, e de formato retangular para capacidades maiores. O isolamento térmico é um aspecto importante, uma vez que a transmissão de calor é difícil sob pressão reduzida; da mesma forma que um fechamento perfeito é condição indispensável para manter a pressão interna.

## **IVALDO P. JANKOWSKY**

Como equipamentos complementares são necessários a bomba de vácuo para reduzir a pressão dentro da câmara de secagem. e o condensador para retirar do sistema a água que é evaporada da madeira.

A diferença entre os diversos secadores a vácuo é a fonte de aquecimento. As fontes de calor para a secagem da madeira podem ser agrupadas em quatro tipos:

- aquecimento descontínuo com vapor, obtido através de ciclos de vaporização a pressão ambiente e secagem sob pressão reduzida. Tem como inconveniente a falta de controle sobre a temperatura da madeira, que pode atingir valores demasiadamente altos para o processo;
- aquecimento por radiação através de trocadores de calor, com o ar aquecido circulando pela madeira por convecção forçada (uso de ventiladores). O aquecimento é obtido sob pressão reduzida, de forma contínua e controlada, mas a eficiência térmica é baixa;
- aquecimento por contato com pratos aquecidos (similares a uma prensa de pratos múltiplos), colocados entre as camadas de madeira a serem secas. O aquecimento é obtido sob pressão reduzida, uniforme de forma contínua e controlada, porém a capacidade da câmara é prejudicada pelos pratos de aquecimento e existe o inconveniente do empilhamento da madeira entre as placas;
- aquecimento por radiofrequência. A geração de um campo eletromagnético ao redor da madeira gera calor pela movimentação das moléculas de água. O aquecimento é contínuo e controlado, mas pode concentrar-se nas partes mais úmidas da madeira. O aquecimento é mais pronunciado no centro do que na superfície das peças, favorecendo a movimentação interna da água. Embora apresente vantagens como a possibilidade de empilhar a madeira sem separadores e redução significativa no tempo de secagem, o consumo de energia elétrica ainda limita a sua aplicação em larga escala.

A secagem a vácuo com aquecimento por radiofreqüência aparenta ser a técnica mais promissora para aplicação industrial em larga escala. Resultados divulgados por AVRAMIDIS (1992, 1994) demonstraram ser possível secar madeira de coníferas, principalmente peças espessas (5,0 a 15,2 cm de espessura), em períodos inferiores a 40 horas, mantendo um nível de qualidade igualou superior ao da secagem convencional.

SMITH et al (1994) relata a secagem da madeira de carvalho com 5,2 cm de espessura em períodos de tempo inferiores a 60 horas, mantendo qualidade similar a obtida na secagem convencional.

Embora a evolução nos equipamentos tenha reduzido o consumo de energia sem alterar a eficiência do secador (SMITH et al, 1994), o investimento inicial elevado e o custo da energia elétrica gasta durante o processo ainda são fatores limitantes para a popularização do método.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALEXIOU, P. N. - Accelerating the kiln drying of regrowth *Eucalyptus pilularis* Sm. In: IUFRO Wood Drying Symposium. Seattle, 1989. p. 116-25.

AVRAMIDIS, S.; LIU, F. & NEILSON, B. J. - Radio-frequency/vacuum drying of softwoods : drying of thick western redcedar with constant electrode voltage. Forest Products Journal, Madison, 44(1 ):41-7. 1994.

AVRAMIDIS, S. & ZWICK, R. L. - Exploratory radio-frequency/vacuum drying of three B.C. coastal softwoods. Forest Products Journal, Madison, 42(7/8): 17-24. 1992.

BRANDÃO, A T. O. - Determinação de metodologia para a indicação de programas de secagem. Piracicaba, ESALQ/USP, 1989. 100 p. (dissertação de mestrado)



- CAMPBELL, G. S. & HARTLEY, J. - Drying and dried wood. In: HILLIS, W. E. & BROWN. AG. - Eucalypts for wood production. Academic Press, 1984. p. 322-7.
- CAVALCANTE, A A - Ocorrência do colapso na secagem da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. Piracicaba, ESALQ/USP, 1991.76 p. (dissertação de mestrado)
- CHAFE, S. C. - Collapse, volumetric shrinkage, specific gravity and extractives in *Eucalyptus* and other species. Part II: The influence of wood extractives. Wood Science and Technology, 21(1):27-41.1987.
- CHAFE, S. C. - Radial variation of collapse, volumetric shrinkage, moisture content and density in *Eucalyptus regnans*. Wood Science and Technology, 20(3):253-62.1986.
- DURAND, P. Y. - Contribution a l'etude de la détermination des tables de séchage à partir des caractères physiques du bois. Bois et Forêts des Tropiques, Nogent-sur-Marne, (207):63-81. 1985.
- ELLWOOD, E. L. & ECKLUND, B. A - The effect of organic liquids on collapse and shrinkage of wood. I: Effect of degrees of replacement. Forest Products Journal, Madison, 13(7): 291-6. 1963.
- HILDEBRAND, R. - Kiln drying of saw timber. Nürtingen, R.H.Maschinenbau. 1970. 198 p.
- JANKOWSKY, I. P. & CAVALCANTE, AA - Collapse prevention in the drying of eucalypt wood. In: III IUFRO International Wood Drying Conference. Viena, 1992. p. 357-61.
- KANAGAWA, Y. - Perspectives of the vacuum drying of wood development. In: Vacuum Drying of Wood'93 (International Conference on Wood Drying). High Treats, 1993. p.7-11.
- KININMONTH, J. A - Permeability and fine structure of certain hardwoods and effect on drying. III: Problems in drying heartwood. Forest Research Institute, 1973. p.26-31.
- LAMB, F. M. - Targeting and achieving the final moisture content. In: Profitable Solutions for Quality Drying of Softwoods and Hardwoods. Charlotte, 1994. p. 54-6.
- NEUMANN, R. J. - Hacia un secado de madera mas eficiente. In: IUFRO XIX World Congress Division 5 Proceedings. Montreal, 1990. p. 191-203.
- NEUMANN, R. J. - Kiln drying young *Eucalyptus globulus* boards from green. In: IUFRO Wood Drying Symposium. Seattle, 1989. p. 107-15.
- RICE, R. W. et al. A survey of firms kiln-drying lumber in the United States: volume, species, kiln capacity, equipment and procedures. In: Profitable Solutions for Quality Drying of Softwoods and Hardwoods. Charlotte, 1994. p. 31-9.
- ROSEN, H. N. - Recent advances in the drying of solid wood. Advances in Drying, 4:99-146. 1987.
- SIMPSON, W. T. - Dry kiln operator's manual. Madison, Forest Products Laboratory, 1991.274 p. (Agricultural Handbook 188).

*IVALDO P. JANKOWSKY*

SIMPSON, W. T. - Grouping tropical wood species and thicknesses by similar estimated kiln drying time using mathematical models. In: III IUFRO International Wood Drying Conference. Viena, 1992. p. 38-44.

SKAAR, C. - Waer in wood. Syracuse University Press, 1972. 218 p.

SMITH, W. B.; SMITH, A & NEUHAUSER, E. F. - Radio-frequency vacuum drying of red oak. In: Profitable Solutions for Quality Drying of Softwoods and Hardwoods. Charlotte, 1994. p. 101-8.

TOENISSON, R. L. & LITTLE, R. L. - Continuously changing hardwood drying schedules. In: Profitable Solutions for Quality Drying of Softwoods and Hardwoods. Charlotte, 1994. p. 76-83.

VERMAAS, H. F. - Drying Eucalypts for quality: material characteristics, pre-drying treatments, drying methods, schedules and optimization of drying quality. In: Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria. São Paulo, 1995. 16 p.

WENGERT, E. M. -New techniques and equipment for measuring moisture content. In: Profitable Solutions for Quality Drying of Softwoods and Hardwoods. Charlotte, 1994. p. 84-9.