

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS
ISSN 0100-3453

Secagem da madeira serrada de eucalipto

**Ivaldo Pontes Jankowsky
Gilson Roberto Vasconcelos dos Santos
Ariel de Andrade**

CIRCULAR TÉCNICA



Nº 199 DEZEMBRO 2003

<http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/>

Secagem da madeira serrada de eucalipto

Drying of Eucalyptus lumber

Ivaldo Pontes Jankowsky
Gilson Roberto Vasconcelos dos Santos
Ariel de Andrade

RESUMO: A transformação da madeira de *Eucalyptus* em produtos de maior valor agregado requer a secagem adequada do material, com distribuição uniforme da umidade e livre de tensões. Uma das principais características da madeira de *Eucalyptus*, em relação à secagem, é a sua reduzida permeabilidade, o que implica em secagem lenta e com temperaturas iniciais abaixo de 40°C. O processo convencional permite a obtenção de madeira com o padrão desejável de qualidade, mas o longo tempo de permanência do material no secador aumenta o custo operacional da secagem e reduz a produtividade do secador. Dentre as alternativas já estudadas no Brasil, a combinação da pré-secagem ao ar com o processo convencional apresenta resultados satisfatórios, e a vaporização intermediária para a recuperação da madeira colapsada, no decorrer da secagem convencional, mostra ser uma possibilidade promissora. Embora não sejam métodos usuais na indústria nacional, a secagem a vácuo e o uso de pré-secadores são alternativas com potencial de sucesso, mesmo considerando que a secagem a vácuo ainda apresenta o inconveniente do elevado índice de tensões residuais de secagem na madeira seca.

PALAVRAS-CHAVE: Eucalipto, Secagem, Métodos de secagem

ABSTRACT: Manufacture of added value products from *Eucalyptus* lumber requires its correct drying, which means to get lumber with uniform moisture distribution and stress free. One of the most important characteristic of *Eucalyptus* lumber affecting its drying process is the low permeability, and as a consequence the drying is slow and requires initial temperatures below 40°C. It is possible to get dried lumber with a reasonable quality standard through conventional kiln drying, but the long drying time increases operational cost and decreases kiln productivity. Among the alternatives studied in Brazil, good results has been obtained with air drying followed by conventional kiln drying, and intermediate steaming during kiln drying to recovery collapsed wood can be a promising alternative. Pre-drying and vacuum drying are methods not used in Brazilian mills. Even considering the high incidence of stressed lumber after vacuum drying, those methods could be good alternative to dry *Eucalyptus* lumber.

KEYWORDS: Eucalypt lumber, Drying, Drying methods

INTRODUÇÃO

Embora o gênero *Eucalyptus* tenha sido introduzido em países do Cone Sul no final do século passado, foi a partir da década de 60 que se verificou um aumento expressivo da área plantada. A política de incentivos no Brasil (final da década de 60) e na Argentina (década de 70) promoveu o conhecimento das espécies mais adequadas e das vantagens da cultura florestal, verificando-se posteriormente o incremento das plantações no Chile (décadas de 70 e 80), no Uruguai e no Paraguai (década de 90).

As primeiras florestas de *Eucalyptus* foram plantadas visando combustível para locomotivas (Brasil) e estacas para mineração (Chile); os plantios extensivos a partir dos anos 70 visava produção de matéria-prima para pasta celulósica, chapas de fibras e carvão vegetal. Contudo, o excelente desenvolvimento das árvores, as características da madeira e a crescente preocupação com as florestas naturais motivaram também a produção de madeira serrada para diferentes aplicações (Luengo Mendonza, 1995; Sanchez Acosta, 1998).

Atualmente o eucalipto deixou de ser uma matéria-prima alternativa para a indústria madeireira e é uma realidade a sua transformação em produtos à base de madeira maciça.

Entretanto, existe a necessidade de adequação dos processos de beneficiamento da madeira, pois a utilização do eucalipto implica no processamento de árvores jovens e com diâmetros reduzidos. O grande desafio é buscar alternativas de processo técnica e economicamente viáveis, objetivando madeira e produtos derivados com razoável padrão de qualidade, bem como a redução nos custos de beneficiamento.

CARACTERÍSTICAS DE SECAGEM DO EUCALIPTO

Em qualquer processo de transformação da madeira em manufaturados, a secagem é a fase intermediária que mais agrega valor ao produto final, pois tornará o material o mais estável possível e facilitará o acabamento mecânico da superfície, a aplicação de adesivos, tintas e vernizes, dentre outros benefícios.

A madeira é um material poroso e higroscópico, contendo água no estado líquido dentro de suas fibras e água adsorvida junto aos componentes da parede celular. Conforme descrito por Rosen (1983) e Jankowsky (1995), durante a secagem de um material poroso, por convexão, ocorrem três estágios distintos (Figura 1), com variação diferenciada na taxa de secagem para cada intervalo do processo, as quais determinam a curva característica de secagem do material.

Na primeira fase (taxa de secagem constante) ocorre a evaporação da água na superfície do material e a movimentação da água líquida, do interior até a superfície de evaporação, por forças de capilaridade. Pela superfície ocorre o deslocamento de uma corrente de ar, caracterizando uma secagem por convexão. 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. As condições externas exercem grande efeito sobre o processo, regulando a taxa de secagem nessa fase.

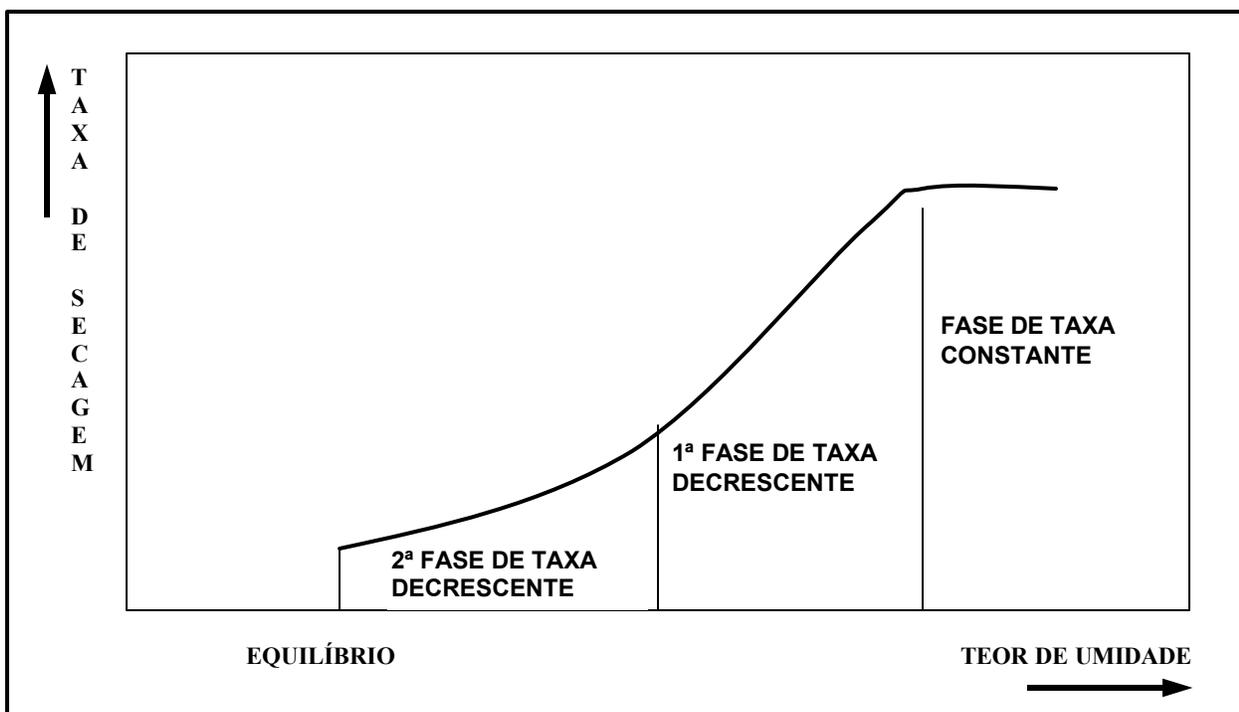


Figura 1.
Curva característica de secagem para materiais porosos (Rosen, 1983).
(Characteristic drying curve for porous materials (Rosen, 1983))

À medida que o material perde umidade, a vaporização da água na superfície provocará um gradiente de umidade (principalmente no sentido da espessura) e, simultaneamente, parte da energia aquecerá o material. Neste ponto, em que a quantidade de água líquida que chega até a superfície é menor que a quantidade de água evaporada, tem início a primeira fase de taxa de secagem decrescente, durante a qual a linha de vaporização penetra no material em direção ao centro.

A movimentação interna da água ocorre nas fases de líquido, vapor e como água higroscópica. Assim, como a movimentação na fase líquida é fundamentalmente um fenômeno de capilaridade, sendo afetada 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. A influência do material na taxa de secagem passa a ser significativa.

No estágio final de secagem (segunda fase de taxa decrescente), iniciado quando a linha de evaporação de água fica restrita ao centro da madeira, não há mais água livre no material. A continuação da secagem passa a ser controlada pela resistência interna da madeira até o teor de umidade de equilíbrio ser alcançado.

Uma interpretação mais simples da curva característica da secagem de um material poroso, quando aplicada à madeira, significa que a perda de umidade na fase de taxa constante depende da permeabilidade (estrutura anatômica) e das características da corrente de ar (temperatura, umidade relativa e velocidade do deslocamento). Posteriormente, a primeira fase de taxa decrescente depende tanto da permeabilidade quanto da massa específica do material, enquanto que na segunda fase de taxa decrescente a secagem depende quase que exclusivamente da massa específica. Dessa forma, é possível afirmar que a velocidade de secagem depende mais das características da madeira do que da temperatura e da umidade relativa do ar; ou seja, o processo de secagem deve ser necessariamente ajustado para a madeira que está sendo processada.

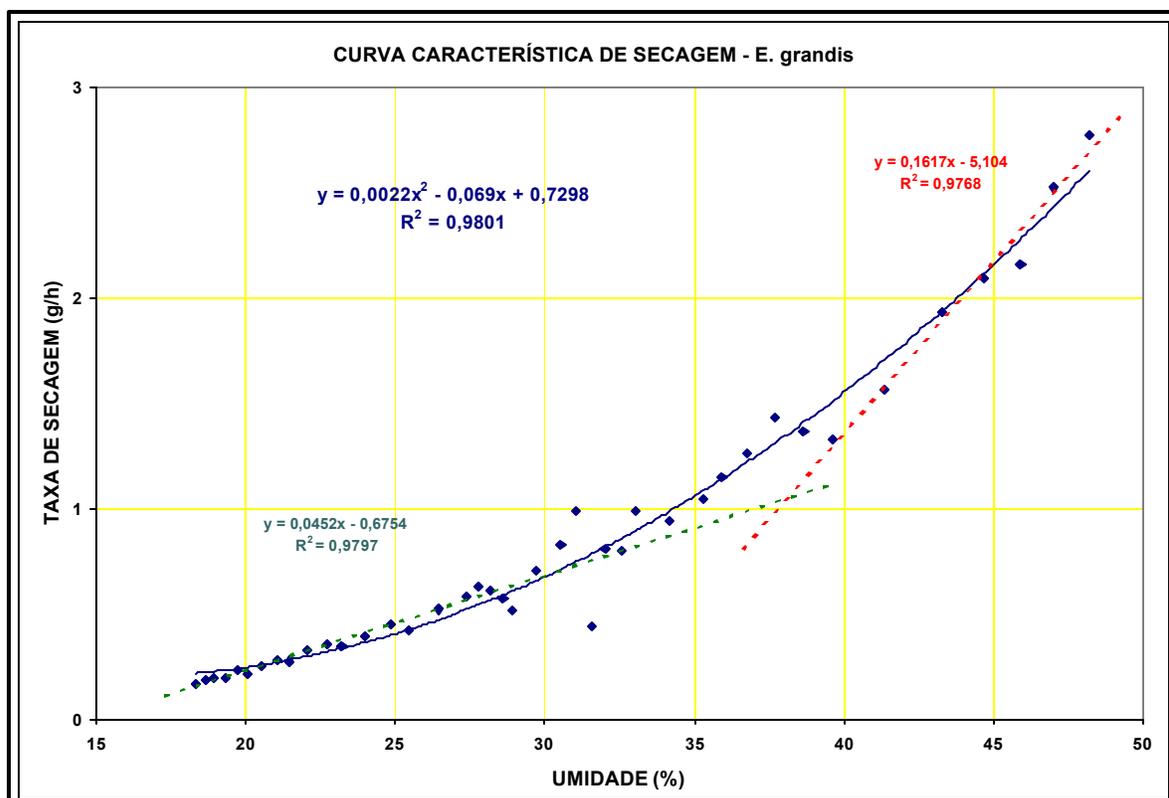


Figura 2.

Curva característica de secagem para madeira de *Eucalyptus grandis*, com 20 mm de espessura (Jankowsky, Santos e Baltieri, 2000).

(Characteristic drying curve for *Eucalyptus grandis* lumber, 20 mm thick (Jankowsky, Santos and Baltieri, 2000))

Conforme pode ser visualizado na Figura 2, a madeira de eucalipto não apresenta a fase de taxa constante na sua curva característica de secagem, comprovando a impermeabilidade da espécie. A permeabilidade reduzida implica na necessidade de uma secagem lenta e no desenvolvimento, durante o processo, de gradientes de umidade acima do normal.

Durante a secagem, essa característica contribui para que as superfícies das peças rapidamente alcancem baixos teores de umidade, enquanto que a parte central ainda permanece úmida ou quase que saturada, gerando tensões internas devido ao acentuado gradiente de umidade. Como resultado, tem-se a ocorrência do colapso (devido à baixa permeabilidade) e das rachaduras de topo e de superfície (devido ao gradiente de umidade), defeitos cuja incidência tende a aumentar com o aumento da temperatura de secagem (Vermaas, 1998).

Essa é a razão fundamental para que o eucalipto seja conhecido como madeira de secagem lenta e difícil e com alta propensão a defeitos como colapso e rachaduras. Quando a madeira é proveniente de plantios de rápido crescimento, as chamadas tensões de crescimento podem agravar o problema, acentuando a incidência das rachaduras e dos diferentes tipos de empenamentos.

A alternativa é buscar o desenvolvimento da tecnologia de secagem, visando soluções que permitam reduzir as perdas verificadas durante a secagem.

SECAGEM CONVENCIONAL

Na secagem convencional, em estufas ou secadores, tem-se controle da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar. Esse método é caracterizado por operar com temperaturas entre 40°C e 90°C, ter circulação forçada de ar e sistema para umidificação e troca de ar.

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 tornar a secagem o mais rápida 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 (Jankowsky, 1995).

Os programas de secagem para madeira de eucalipto têm por característica comum a recomendação de baixas temperaturas (principalmente no início do processo) e potencial de secagem bastante suave (Tabela 1). Um programa típico para a secagem de eucalipto pode ser visto na Tabela 2.

Por serem programas suaves, o tempo de secagem é bastante longo, em torno de 27 dias para madeira com 25 mm de espessura (Ciniglio, 1998), ou de 70 dias para madeira com 40 mm de espessura (Santos, 2002), Figuras 3 e 4, respectivamente.

Tabela 1.

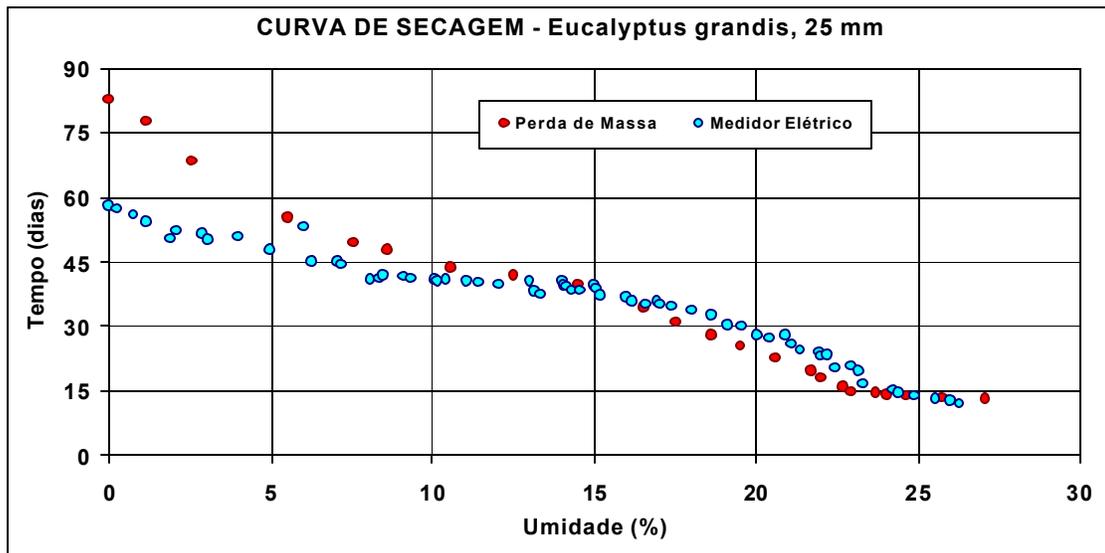
Recomendações básicas para a secagem convencional da madeira de eucalipto.
(*Basic recommendation to conventional kiln drying of Eucalypt lumber*)

Temperatura Inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Potencial de Secagem	Fonte
42	66	2,2	Andrade (2000)
38	66	2,5 a 4,9	FPL (1998)
40	65	2,0	Ciniglio (1998)
45	60	2,3 a 3,2	Northway (1996)
50	70	1,5 a 3,6	Martins et al. (1999)
44	64	--	Luengo Mendoza (1995)

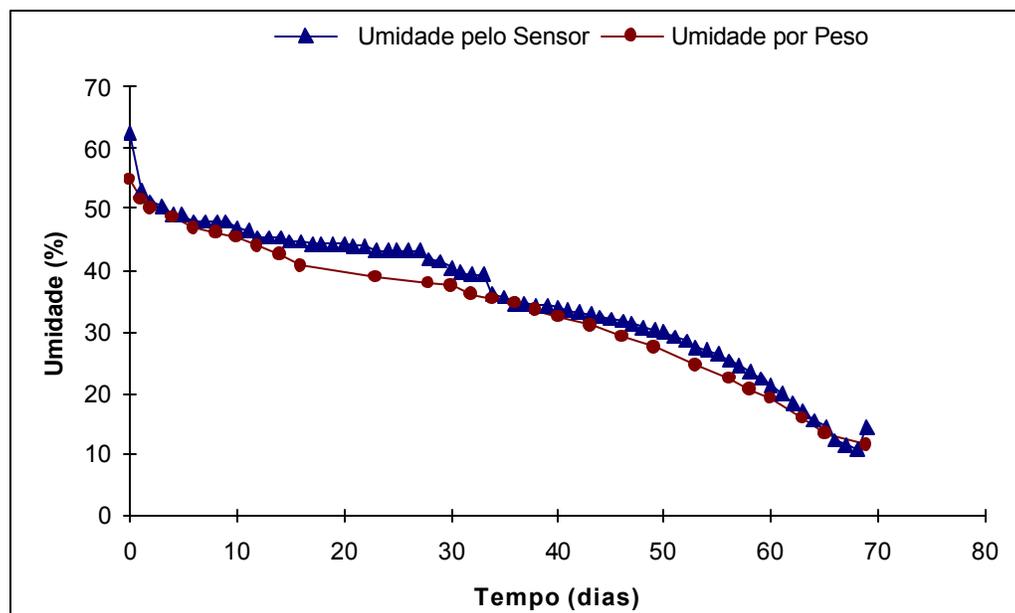
Tabela 2

Programa de secagem sugerido para madeira de *Eucalyptus grandis*, com espessura de até 28 mm (Andrade, 2000).
 (Kiln schedule suggested to *Eucalyptus grandis* lumber, 28 mm thick (Andrade, 2000))

Umidade da Madeira (%)	Ts (°C)	Tu (°C)	UR (%)	UE (%)	Potencial de Secagem
Aquecimento	40,0	39,0	94,0	21,6	-
Até 50	40,0	38,0	88,0	18,3	-
50	40,0	37,5	85,0	17,0	2,9
40	40,0	36,5	80,0	15,1	2,7
30	40,0	36,0	77,0	14,1	2,1
25	48,0	42,0	69,0	11,5	2,2
20	56,0	48,0	62,0	9,5	2,1
15	65,0	52,0	50,0	7,0	2,1
10	65,0	44,0	31,0	4,7	2,1
5	65,0	34,0	12,0	2,4	2,1


Figura 3.

Curva de secagem em laboratório, para madeira de *Eucalyptus grandis* com 25mm de espessura (Ciniglio, 1998)
 (Drying curve for *Eucalyptus grandis* lumber, 25 mm thick, laboratory kiln (Ciniglio, 1998))


Figura 4.

Curva de secagem em laboratório, para madeira de *Eucalyptus grandis* com 40 mm de espessura (Santos, 2002).
 (Drying curve for *Eucalyptus grandis* lumber, 40 mm thick, laboratory kiln (Santos, 2002))

O longo tempo de permanência no secador aumenta o custo operacional da secagem e, conseqüentemente, o custo de produção, além de reduzir a produtividade do secador. Uma alternativa para eliminar o custo adicional e aumentar a produtividade é a secagem prévia, ao ar, até umidades próximas ao PSF (Ponto de Saturação das Fibras), combinada com a secagem artificial.

Luengo Mendoza (1995), reportando o processamento da madeira de *Eucalyptus globulus* no Chile, cita um período de 5 a 10 meses para madeira com 28 mm de espessura e de 12 meses para espessuras de 40 mm. Quando a madeira está com umidade em torno de 30% é transferida para o secador convencional, com um tempo médio de secagem de 22 dias (madeira com 28 mm de espessura).

Ensaios realizados no Brasil para madeira de *Eucalyptus grandis* com 40 mm de espessura (Jankowsky, Santos e Baltieri, 2000) reportam tempos de secagem de 77 dias ao ar, no verão, seguidos de mais 15 dias no secador convencional (Figura 5).

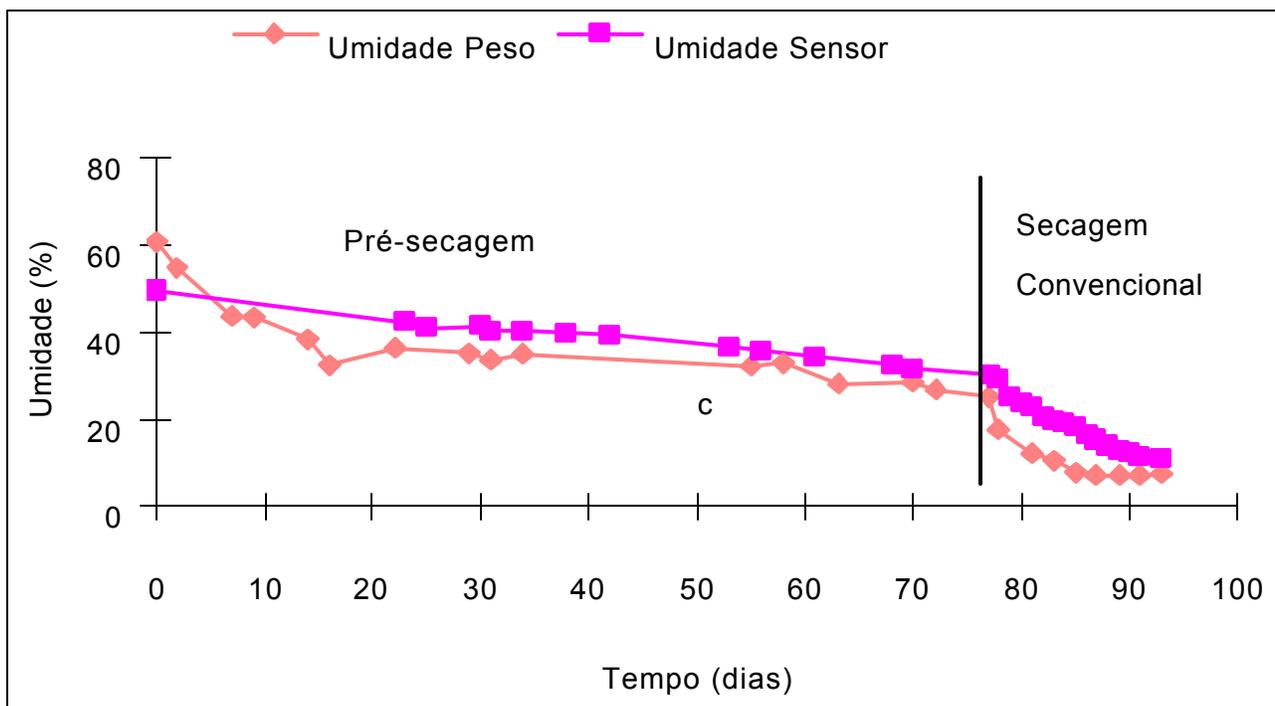


Figura 5.

Secagem combinada da madeira de *Eucalyptus grandis* com 40 mm de espessura (Jankowsky, Santos e Baltieri, 2000).

(Combined drying (air drying followed by kiln drying) for *Eucalyptus grandis* lumber, 40 mm thick (Jankowsky, Santos & Baltieri, 2000))

Para otimizar a secagem ao ar é importante conhecer qual o teor de umidade da madeira mais adequado para se proceder à transferência para o secador convencional. Caso a secagem artificial tenha início com a madeira ainda muito úmida, aumenta o tempo e o custo operacional da secagem, enquanto que a degradação da madeira na secagem ao ar é proporcional ao tempo de secagem.

O teor de umidade mais adequado para interromper a secagem ao ar e iniciar a secagem artificial é exatamente quando tem início a segunda fase de taxa decrescente (Figura 2), indicativo de que a movimentação da água do interior da peça até a superfície de evaporação ocorre quase que exclusivamente por difusão. É a partir desse ponto que a secagem ao ar torna-se muito lenta e aumenta o risco de perdas da madeira, sendo conveniente utilizar temperaturas superiores às do ambiente para acelerar a secagem. Na Figura 2, para madeira de *Eucalyptus grandis* com 20 mm de espessura, seria recomendável iniciar a secagem artificial quando o teor médio de umidade da madeira estivesse entre 35% e 40%.

Uma alteração simples nos programas de secagem é a introdução da vaporização a pressão atmosférica, técnica que aparenta ser útil na secagem da madeira de eucalipto.

Rozas e Tomaselli (1993) trabalhando com o programa de secagem em *Eucalyptus viminalis*, considerando uma vaporização inicial, uma intermediária e uma final para redução do gradiente de umidade, concluíram que a vaporização reduz significativamente as tensões internas e aumenta a taxa de secagem (redução no tempo de processo).

A aplicação de vaporizações, inicial e intermediária, na secagem convencional de *Eucalyptus dunnii* foi estudada por Severo (2000), que testou três diferentes programas. O programa de secagem descrito na Tabela 3 foi o que demandou maior tempo (180 horas, para madeira com 24 mm de espessura), mas também foi o que resultou em menor índice de peças defeituosas. O referido autor recomenda não usar temperaturas acima de 45°C nas fases iniciais da secagem e realizar as vaporizações para reduzir a incidência de defeitos, principalmente o colapso.

Tabela 3

Programa de secagem sugerido para madeira de *Eucalyptus dunnii*, com espessura de 24 mm, com vaporizações inicial e intermediária (Severo, 2000).

(Kiln schedule suggested to *Eucalyptus dunnii* lumber, 24 mm thick, with intermediate steaming (Severo, 2000))

Umidade da Madeira (%)	Ts (°C)	Tu (°C)	UR (%)	UE (%)	Tempo (h)	Potencial de Secagem
Vaporização inicial	100	100	100	-	3	-
Verde - 50	40	37,5	85	17,0	-	2,9
50 - 40	43	40	84	16,2	-	2,8
40 - 30	45	41	79	14,2	-	2,5
30 - 22	50	45	74	12,6	-	2,1
22 - 17	55	44	51	7,7	-	2,5
Recuperação do colapso	100	100	100	-	5	-
Início - 15	55	44	51	7,7	-	2,1
15 - 12	60	47	47	6,9	-	1,7

O potencial é outro aspecto importante a ser considerado na secagem convencional. Andrade (2000) comenta, com base em artigos de vários autores, que mudanças bruscas de temperatura e umidade relativa podem favorecer o aparecimento de defeitos, e que utilizar programas de secagem com mudanças suaves (potencial de secagem constante) é uma alternativa eficiente para reduzir o tempo total do processo e ganhar qualidade na madeira seca.

Neste aspecto deve ser ressaltado o benefício dos sistemas de controle com tecnologia mais recente, os quais facilitam operar com um potencial de secagem constante e evitar alterações bruscas de temperatura e umidade relativa.

SECAGEM A VÁCUO

Embora conhecido desde a década de 20, este 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 maiores possibilidades de aplicação em nível industrial (Jankowsky, 1995). É um método ainda pouco utilizado na América do Norte, enquanto que na Europa é uma tecnologia de utilização crescente (Vermaas, 1995). Na América do Sul é um método pouco conhecido ainda, sendo que no Brasil existem equipamentos utilizados apenas para testes e divulgação.

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 realizar uma secagem rápida e a baixa temperatura, vantajoso para a secagem de madeiras susceptíveis a apresentar defeitos de secagem como rachaduras de superfície, colapso e rachaduras internas.

A principal diferença entre os diversos secadores a vácuo é a fonte de aquecimento. As fontes de calor para a secagem podem ser agrupadas em quatro tipos (Jankowsky, 1995):

✓ aquecimento descontínuo com vapor, obtido através de ciclos alternados de vaporização a pressão ambiente e secagem sob pressão reduzida;

- ✓ aquecimento por radiação através de trocadores de calor, com o ar aquecido circulando pela pilha de madeira por convexão forçada (uso de ventiladores);
- ✓ aquecimento por contato com pratos aquecidos (similares a uma prensa de pratos múltiplos), colocados entre as camadas de madeira a serem secas;
- ✓ aquecimento por radiofrequência. A geração de um campo eletromagnético ao redor da madeira gera calor pela movimentação das moléculas de água.

Estudos recentes comparando a secagem a vácuo com a secagem convencional ou a secagem combinada (ar e convencional), para madeira de *Eucalyptus globulus*, demonstram que a grande vantagem do método é a redução no tempo de secagem. Em relação à qualidade da madeira seca, a secagem a vácuo resulta em tensões internas de maior intensidade e menor incidência de empenamentos e rachaduras, conforme ilustrado na Figura 6 e na Tabela 4.

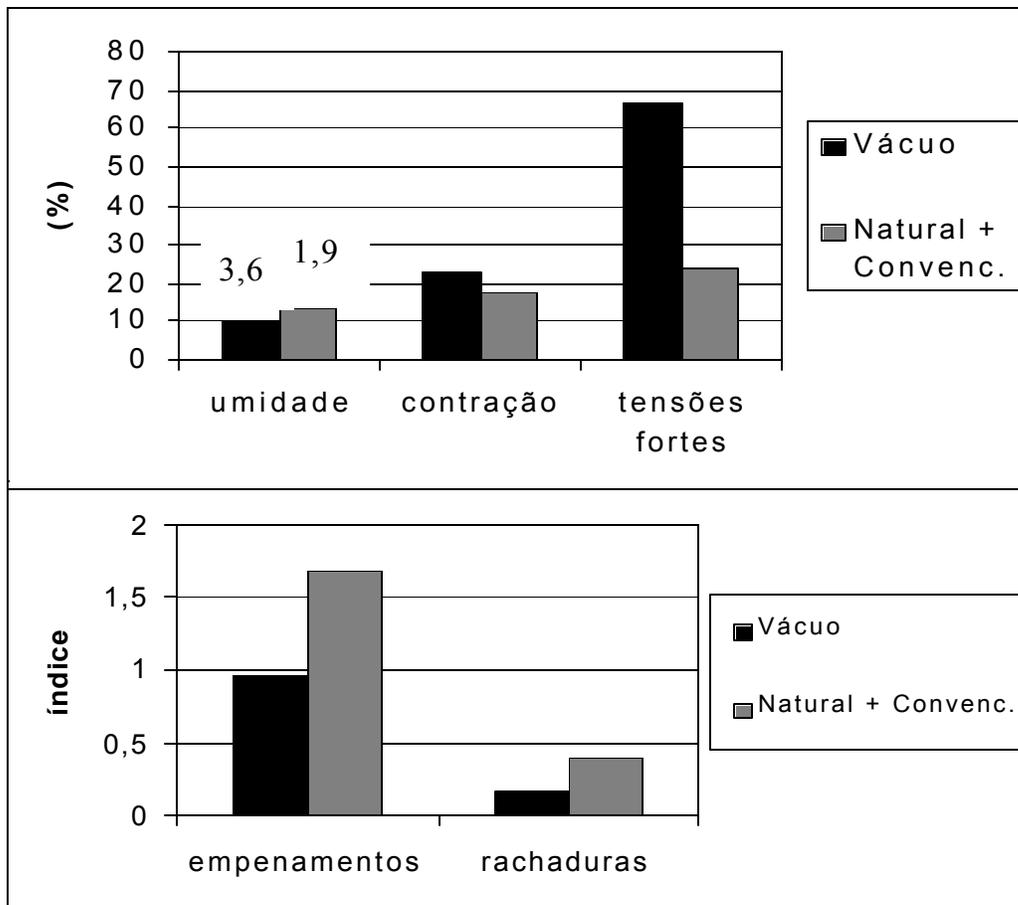


Figura 6. Qualidade da madeira de *Eucalyptus globulus*, com 30 mm de espessura, submetida a secagem a vácuo e a secagem combinada.
(Quality of *Eucalyptus globulus* lumber, 30 mm thick, after vacuum drying and combined drying)

Tabela 4. Qualidade da madeira de *Eucalyptus globulus*, com 50 mm de espessura, submetida a secagem a vácuo e a secagem convencional (Fernandez-Golfin e Noves, 1996).
(Quality of *Eucalyptus globulus* lumber, 50 mm thick, after vacuum drying and kiln drying (Fernandez-Golfin & Noves, 1996))

Características	Secagem a Vácuo	Secagem Convencional
Varição de umidade (%)	3,3	2,5
Tensões de secagem	fortes	moderadas
Incidência de colapso	baixo	baixo
Rachaduras de superfície	não	não
Rachaduras internas	baixo	baixo
Tempo de secagem (dias)	16,5	79

SECAGEM SOLAR

O uso da energia solar como fonte de calor para a secagem de madeiras é uma tecnologia que tem sido proposta principalmente para pequenos secadores, sem sofisticação e de baixo custo.

Um dos desenvolvimentos mais recentes, originário da Alemanha, no que diz respeito ao uso da energia solar é um secador convencional, com estrutura em alvenaria e alumínio e revestido em plástico especial, para grandes volumes de madeira. Esse tipo de secador tem sido usado por uma indústria madeireira no Brasil, com resultados satisfatórios até o momento (Bauer, Bux e Rodriguez, 1999).

A estrutura em alvenaria e alumínio facilita a construção do secador. Para o revestimento é usado um plástico bolha especial, tratado para resistir à radiação ultravioleta, apresentando como vantagens em relação ao vidro ou plástico comum maior isolamento térmico, resistência à força do vento e durabilidade em uso.

O projeto do secador com capacidade para 200 m³ de madeira serrada, é similar a um secador convencional. A circulação do ar é forçada pelo uso de ventiladores, possui janelas para troca de ar, um sistema para umidificação do ar quando necessário e um trocador de calor (água quente) para manter a temperatura constante e compensar a falta de insolação direta à noite ou em dias nublados. Para o aquecimento da água (trocador de calor) é empregada uma caldeira comum, queimando resíduos de madeira.

Para a secagem da madeira de *Eucalyptus grandis*, com 25 mm de espessura, de uma umidade inicial de 60% até umidade final de 10%, os autores obtiveram madeira de qualidade razoável com uma redução no custo de secagem entre 30 e 50% (em comparação com a secagem convencional), embora o tempo de secagem tenha sido de 20 a 46% maior.

PRÉ-SECADORES

Segundo Vermaas (2000), os pré-secadores constituem-se em estufas de baixo custo que provêem um controle mínimo da circulação do ar, temperatura e umidade relativa suficiente para reduzir significativamente o tempo e os defeitos de secagem, por meio da diminuição do teor de umidade inicial e subsequente secagem em estufa. Podem ser muito grandes, com capacidade de até 1200 m³, e operar em uma faixa de temperatura de 27-40°C. As condições internas, de acordo com Jankowsky (1995, 1996), são mantidas constantes, sendo que a umidade relativa do ar varia de 50% a 80% e a velocidade de circulação do ar é reduzida, mantendo-se, geralmente, entre 0,4 m/s e 0,8 m/s.

São especialmente utilizados para espécies de secagem lenta, propiciando uma pré-secagem mais rápida e com menor incidência de defeitos do que a pré-secagem comumente feita ao ar livre. Além disso, os pré-secadores permitem a secagem conjunta de diferentes espécies e peças de maior espessura em condições de processo, consideradas suaves, até um teor de umidade abaixo do PSF. Contribuem, principalmente, para facilitar a secagem convencional até o teor de umidade desejado, aumentando a produtividade da estufa convencional e reduzindo os custos dessa secagem, e para o agrupamento de diferentes espécies.

Os pré-secadores têm sido extensivamente utilizados nos Estados Unidos e na Austrália (Wengert, 1985; Vermaas, 1998, 2000) e apresentam como características básicas :

- ✓ as câmaras são grandes (500 a 3.500m³ de capacidade) e os custos de instalação giram em torno de 1/3 daqueles das estufas convencionais pequenas;
- ✓ embora a construção possa usar aço inox, alumínio e isolamento térmico das paredes, usualmente o sistema construtivo é mais simples em comparação aos secadores convencionais;
- ✓ as pilhas de madeira são dispostas em linhas múltiplas e paralelas, não sendo necessário o carregamento ou descarregamento simultâneo de todas as linhas;
- ✓ possuem sistema de ventilação, aquecimento, umidificação e troca de ar, similar ao secador convencional, mas a capacidade térmica ou superfície de aquecimento dos trocadores de calor e a capacidade de deslocamento do ar é proporcionalmente menor;
- ✓ as condições de secagem são cuidadosamente controladas, mantendo sempre baixas tem-

peraturas (30 a 45°C) e umidades relativas elevadas (70 a 80%), propiciando sempre uma secagem suave.

O processo de pré-secagem vem sendo aprimorado pela melhoria no projeto das câmaras, por distribuição mais uniforme do ar e com o desenvolvimento de controles automatizados específicos para pré-secadores. Um dos desenvolvimentos mais recentes (Wengert e Denig, 1995) é a utilização de dois pré-secadores conjugados, operando como uma pré-secagem em dois estágios. O primeiro secador é carregado com madeira bem úmida e opera em condições bem suaves de secagem. O segundo equipamento é carregado com a madeira pré-seca que saiu do primeiro pré-secador, operando com temperatura mais elevada e umidade relativa menor. Como a madeira do segundo pré-secador já está razoavelmente seca, é possível aumentar a velocidade de secagem sem o risco de aumentar as perdas por degradação da madeira.

Outra inovação tecnológica está relacionada com o sistema de controle. Usando um sistema de transmissão sem fio para os sensores de medição do teor de umidade da madeira e um programa de computador especialmente desenvolvido para esse sistema, é possível manter até 8 diferentes zonas de controle dentro do pré-secador. Cada uma das zonas de secagem tem controle independente da temperatura e umidade relativa do ar, podendo operar simultaneamente com diferentes condições de secagem. Esse equipamento está em operação na Austrália, secando madeira de eucalipto, e até o momento os resultados têm sido bastante favoráveis.

Os pré-secadores, embora ainda pouco conhecidos na América do Sul, continuam como um sistema de secagem importante, principalmente para madeira de eucalipto ou outras folhosas de difícil secagem. O melhor conhecimento da pré-secagem em dois estágios e a evolução dos controles automatizados permitem assegurar uma secagem com qualidade.

AUTORES

IVALDO PONTES JANKOWSKY é Professor Doutor do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP - Caixa Postal 9 - Piracicaba, SP - 13400-970 - E-mail: ipjankow@esalq.usp.br

GILSON ROBERTO VASCONCELOS DOS SANTOS é Pesquisador do FUNTAC - Fundação de Tecnologia do Estado do Acre - Avenida das Acácias, L-01 - Zona "A" - Distrito Industrial - Rio Branco, AC - E-mail: grvsantos@yahoo.com

ARIEL DE ANDRADE é Gerente Executivo da ANPM - Associação Nacional dos Produtores de Pisos de Madeira - Rua Campos Sales, 1818 - sala 64 - Piracicaba, SP - 13416-310 - E-mail: ariel@anpm.org.br

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, A. **Indicação de programas para a secagem convencional de madeiras**. Piracicaba, 2000. 72p. Tese (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo
- BAUER, K.; BUX, M.; RODRIGUEZ, A.V. Secagem solar da madeira serrada de eucalipto. **Vetas**, n.208, p.16-23, 1999.
- 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
- FERNANDEZ-GOLFIN, J.I.; NOVES, H.A. Kiln and continuous vacuum drying of *Eucalyptus globulus*, oak and chestnut 27 and 50 mm thick boards. In: 5th INTERNATIONAL IUFRO WOOD DRYING CONFERENCE, 5, Quebec, 1996. **Proceedings**. Quebec: IUFRO, 1996. p.185-190
- FPL - FOREST PRODUCTS LABORATORY. FPL Statistics Group - **WWW Hardwood Drying Schedules**. (<http://www1.fpl.fs.fed.us/drying.html>) - outubro 1998)
- JANKOWSKY, I.P. Equipamentos e processos para secagem de madeiras. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo, 1995. **Anais**. Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p.109-118
- JANKOWSKY, I.P. Secagem de madeira de reflorestamento: técnica e equipamentos. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DE MADEIRAS DE REFLORESTAMENTO - SEMADER, 4, Curitiba, 1996. **Anais**. Curitiba: ABPM, 1996. p.107-117

- JANKOWSKY, I.P.; SANTOS, G.R.V.; BALTIERI, G. Projeto de pesquisa cooperativa: avaliação comparativa da secagem da madeira serrada de *Eucalyptus grandis*. In: WORKSHOP SOBRE SECAGEM DE MADEIRA SERRADA, 3, Piracicaba, 2000. **Apresentação oral**. Piracicaba: ESALQ/LCF/IPEF, 2000.
- LUENGO MENDONZA, I.E. Experiencia chilena en la utilizacion del eucalipto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo, 1995. **Anais**. Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p.92-108
- MARTINS, V.A.; GOUVEIS, F.N.; MARTINEZ, S. Secagem convencional de madeira de eucalipto. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE ECOSISTEMAS FLORESTAIS, 5, Curitiba, 1999. **Anais**. Curitiba: Biosfera, 1999. (Poster).
- NORTHWAY, R.L. Drying strategies for plantation-grown eucalypts. In: INTERNATIONAL IUFRO WOOD DRYING CONFERENCE, 5, Quebec, 1996. **Proceedings**. Quebec: IUFRO, 1996. p.289-296
- ROSEN, H.N. Recent advances in the theory of drying lumber. In: IUFRO DIVISION V CONFERENCE, Illinois, 1983. **Proceedings**. Illinois: USDA, 1983. p.32-62
- ROZAS, M.E.C.E.; TOMASELLI, I. Secagem de madeira serrada de *Eucalyptus viminalis*. **Ciência florestal**, n.3, n.1, p.147-159, 1993.
- SANCHEZ ACOSTA, M. Experiencia argentina en el uso de la madera de eucalipto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo, 1995. **Anais**. Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p.74-91
- SANTOS, G.R.V. **Otimização da secagem convencional da madeira de *Eucalyptus grandis* [Hill ex Maiden]**. Piracicaba, 2002. 70p. Tese (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo.
- SEVERO, E.T.D. Qualidade da secagem de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii*. **Ciência florestal**, v.10, n.1, p.109-124, 2000.
- 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. **Anais**. Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p.119-132
- VERMAAS, H.F. Drying of eucalypts with special reference to young, fat-grown plantation material. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA E ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1, Belo Horizonte, 1998. **Anais**. Viçosa: SIF/UFV, 1998. p.106-118
- VERMAAS, H.F. A review of drying technology for young fast grown eucalypts. In: THE FUTURE OF EUCALYPTS FOR WOOD PRODUCTS, Launceston, Tasmania, 2000. **Proceedings of an IUFRO Conference**. Launceston: IUFRO, 2000. p.193-203
- WENGERT, E.M. New drying technology in the U.S.A. In: SYMPOSIUM ON FOREST PRODUCTS RESEARCH INTERNATIONAL, Pretoria, 1985. **Proceedings**. Pretoria: CSIR, 1985. v.3, p.8-12
- WENGERT, E.M.; DENIG, J. Lumber drying - today and tomorrow. **Forest products journal**, v.45, n.5, p.22-30, 1995.

Circular Técnica IPEF (ISSN 0100-3453) é publicada sem periodicidade regular pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF) em convênio com o Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo. *Circular Técnica IPEF* divulga conhecimentos técnicos e científicos referentes ao setor florestal. Os objetivos principais são transferência de tecnologia, disseminação de métodos, técnicas e informações importantes para o desenvolvimento das atividades florestais e para a atualização dos profissionais que atuam no setor.

Os manuscritos devem ser submetidos à Comissão Editorial em três cópias. Inicialmente, somente manuscritos impressos são necessários. Após a aceitação do trabalho, será solicitado o manuscrito em formato digital. Para maiores informações contate:

Circular Técnica IPEF
IPEF - ESALQ/USP
Av. Pádua Dias, 11 - Caixa Postal 530
13400-970, Piracicaba, SP - Brasil
fone: 55-19-3436-8618
fax: 55-19-3436-8666
E-mail: mmpoggia@esalq.usp.br
<http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica>

O conteúdo e as opiniões apresentadas nos trabalhos publicados não são de responsabilidade de *Circular Técnica IPEF* e não representam necessariamente as opiniões do IPEF ou do Departamento de Ciências Florestais, ESALQ/USP.

Circular Técnica IPEF (ISSN 0100-3453) teve início em 1979.

Comissão Editorial / Editorial Board

Editora Executiva / Executive Editor

Marialice Metzker Poggiani

Editores Científicos / Scientific Editors

Antonio Natal Gonçalves – ESALQ/USP
Biotecnologia e Melhoramento Florestal/
Biotechnology and Tree Improvement

Fábio Poggiani – ESALQ/USP
Ecologia florestal e Gerenciamento Ambiental/
Forest Ecology and Environmental Management

Fernando Seixas e
José Luiz Stape – ESALQ/USP
Silvicultura e Manejo Florestal/
Silviculture and Forest Management

Sócios do IPEF

Sócios Titulares

Aracruz Celulose S.A.	- Espírito Santo e Bahia
Bahia Sul Celulose S/A	- Bahia
CAF Santa Bárbara Ltda	- Minas Gerais e Bahia
Cenibra - Celulose Nipo Brasileira S.A.	- Minas Gerais
Cia Suzano de Papel e Celulose S/A	- São Paulo e Maranhão
Desarrollo Forestal S.A. de C.V.	- México
Duratex S/A	- São Paulo, Rio Grande do Sul e Bahia
Eucatex S/A Indústria e Comércio	- São Paulo
Inpacel Agroflorestal Ltda.	- Paraná
Indústrias Klabin de Papel e Celulose	- Paraná, Bahia, Santa Catarina, Rio Grande do Sul
International Paper do Brasil	- São Paulo, Mato Grosso do Sul e Amapá
Jari Celulose S/A	- Pará
Lwarcel Celulose e Papel Ltda.	- São Paulo
Ripasa S.A. Celulose e Papel	- São Paulo
Votorantim Celulose e Papel S.A.	- São Paulo e Minas Gerais

Francides Gomes da Silva Júnior e
Geraldo Bortoletto Júnior – ESALQ/USP
Tecnologia de Produtos Florestais/
Forest Products Technology

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP)

Adolpho José Melfi - Reitor

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ” (ESALQ/USP)

José Roberto Postali Parra - Diretor
Raul Machado Neto - Vice-Diretor

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS (IPEF)

Antônio Joaquim de Oliveira - Presidente
José Maria de Arruda Mendes Filho - Vice-Presidente
José Otávio Brito (ESALQ/USP) - Diretor Executivo

Editoração e Diagramação

Luiz Erivelto de Oliveira Júnior - IPEF



INSTITUTO DE PESQUISAS
E ESTUDOS FLORESTAIS