

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS
ISSN 0100-3453

Melhorando a eficiência dos secadores para madeira serrada

Ivaldo Pontes Jankowsky

CIRCULAR TÉCNICA



Nº 191 JANEIRO 2000

MELHORANDO A EFICIÊNCIA DOS SECADORES PARA MADEIRA SERRADA *IMPROVING EFFICIENCY OF LUMBER KILNS*

Ivaldo Pontes Jankowsky
Departamento de Ciências Florestais
ESALQ/USP

RESUMO: A secagem é a operação intermediária que mais contribui para agregar valor aos produtos manufaturados da madeira; mas é também uma das fases de maior custo dentro da indústria de transformação. Essas são as principais razões pela constante busca de maior eficiência nos secadores de madeira serrada e no processo de secagem propriamente dito. A eficiência de um equipamento ou de um processo pode ser definida como a relação entre a produção obtida e a produção prevista e, sob o enfoque da indústria madeireira, quase sempre significa a redução no tempo de secagem. Contudo, a eficiência na secagem convencional depende tanto do secador como também da madeira e do controle de processo. Os principais fatores que condicionam a eficiência estão relacionados com a espécie de madeira a ser seca, com a preparação dessa madeira para a secagem, com a qualidade desejada para a madeira seca, com o secador e com o controle do processo de secagem. Neste trabalho são apresentadas informações coletadas junto a diversas indústrias, as quais demonstram que os cuidados do usuário em relação à madeira e ao controle do processo são ferramentas importantes para melhorar a eficiência do processo de secagem, muitas vezes contornando deficiências do secador.

PALAVRAS-CHAVE: Madeira serrada, Secador, Eficiência

ABSTRACT: Kiln drying means to wood manufacturing industries the best way to add value to wood products, but it also means a high percentage of total production cost. These are the reasons to constant improvement of kiln efficiency and of the drying process as a whole. Efficiency of any equipment or of a process could be defined as the ratio between actual output and predicted output. Under kiln drying point of view it means the reduction on drying time. However, the successful kiln drying depends on the kiln efficiency as well on the lumber quality and process control. The main aspects affecting kiln drying efficiency are related to wood species, how the lumber is prepared to drying, quality standard required to dried lumber, the kiln itself and the control system. This paper presents data collected from several wood industries showing how important is the care with wood and control process to improve kiln drying efficiency.

KEYWORDS: Kiln drying, Drying process, Quality

INTRODUÇÃO

O secador convencional é um equipamento cujos componentes, tais como os trocadores de calor, as válvulas, os ventiladores, dentre outros, podem ter sua eficiência quantificada e avaliada em relação a sua função específica.

Contudo, para a indústria madeireira, é mais importante avaliar o comportamento do processo como um todo. O enfoque mais adequado seria a definição clássica da engenharia de produção (Carson, 1958), na qual :

$$E = \text{EFICIÊNCIA} = \frac{\text{PRODUÇÃO OBTIDA}}{\text{PRODUÇÃO ESPERADA}}$$

A produção obtida, normalmente expressa em volume de madeira por tempo de operação (m³/mês ou m³/ano), é relativamente simples de ser quantificada. Por outro lado, a produção esperada é de difícil quantificação, pois são muitos os fatores que influem na performance global do secador. A meta principal é a redução no tempo de secagem, que para ser alcançada requer não apenas um secador eficiente como também uma série de cuidados básicos em relação à madeira e ao controle do processo. Procedimentos simples, porém metódicos e organizados, contribuem de forma inequívoca para aprimorar a o processo de secagem e a qualidade da madeira seca (Boone et al, 1991; Wengert e Boone, 1993).

O SECADOR CONVENCIONAL

O secador convencional pode ser definido como o equipamento projetado para a secagem de madeira serrada, com um sistema de aquecimento para operar a temperaturas entre 40°C e 90°C, um sistema de ventilação para forçar o fluxo de ar através da pilha de madeira, um sistema de umidificação do ar e janelas que permitam a exaustão do ar saturado e admissão de ar externo (não saturado).

A interação entre as diversas variáveis do processo de secagem e os diferentes aspectos relacionados com o projeto do secador são discutidas em detalhes por diversos autores, dentre eles Pratt (1974), Bachrich (1980), Galvão e Jankowsky (1985). As principais características do secador que irão afetar a sua eficiência são o material de construção, a circulação do ar, a potência térmica e a capacidade da troca de ar.

- material de construção - o tipo de material usado na construção do secador irá determinar a durabilidade do equipamento e o isolamento térmico. O ambiente de secagem é bastante agressivo, pois o ar está aquecido, úmido e pode conter extrativos retirados da madeira, o que aumenta a incidência da corrosão.

Quanto melhor o isolamento térmico, menores serão as perdas de calor por radiação e menor o consumo de vapor. Como exemplo, a capacidade de isolamento da lã de rocha ($k = 0,04 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$) é cerca de 17 vezes maior do que o tijolo comum ($k = 0,69 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$) usado na construção civil (Holman, 1983).

- circulação do ar - tão importante quanto a velocidade de circulação do ar é a distribuição do fluxo de ar através das pilhas de madeira. Considera-se que velocidades do ar entre 2 m/s e 3 m/s são adequadas para a maioria das espécies de madeira (Hildebrand, 1970), contudo madeiras permeáveis ou com elevado teor de umidade inicial podem requerer velocidades acima de 4 m/s para uma secagem rápida.

Mesmo operando com velocidades adequadas, se o fluxo não for uniforme em toda a seção transversal do secador, parte da carga secará mais rapidamente e prejudicará o tempo de secagem ou a qualidade da madeira. Adicionalmente, é importante destacar que o projeto aerodinâmico do ventilador determina a relação entre potência necessária para o motor elétrico, vazão e pressão do ar.

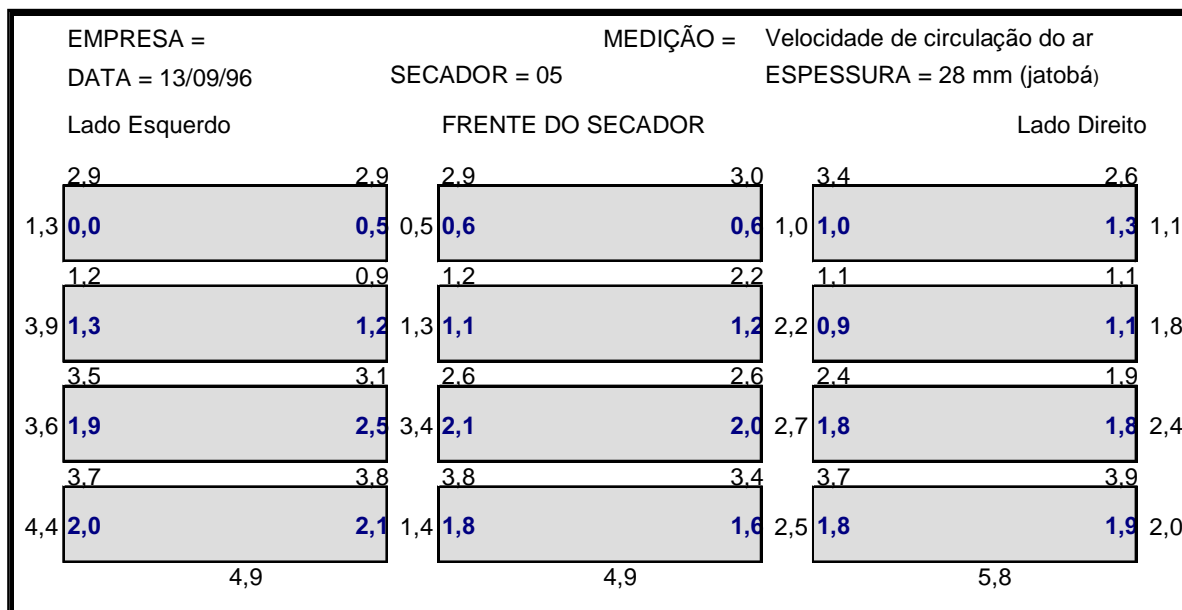


Figura 1. Perfil da velocidade do ar (m/s) em um secador com carregamento por empilhadeira

A Figura 1 apresenta os valores da velocidade do ar na saída da pilha, medidos em um secador de carregamento por empilhadeira. Os números em negrito dentro da área destacada são os valores nas pilhas, e os números entre as áreas destacadas são os valores medidos nos espaços vazios entre pilhas. Além da velocidade média (1,4 m/s) estar abaixo do recomendado, nota-se que a circulação do ar é mais intensa na parte inferior do que na parte superior.

No exemplo da Figura 1, o problema é agravado também pelas deficiências de empilhamento, e o resultado prático será uma secagem desuniforme e mais lenta que o esperado.

- potência térmica - a potência térmica refere-se à capacidade de liberação de energia nos trocadores de calor, a qual varia de acordo com a área de troca térmica (dimensão e quantidade das aletas), distância entre aletas, temperatura

do vapor dentro dos radiadores, disponibilidade de vapor a pressão constante, adequação dos purgadores, e da velocidade de circulação do ar.

O reflexo de um sistema de aquecimento subdimensionado é o longo tempo necessário para elevar a temperatura dentro do secador e a dificuldade em manter temperaturas elevadas e constantes durante o processo, contribuindo para aumentar o tempo dispendido na secagem.

- capacidade de troca de ar - na maioria dos secadores convencionais a umidade da madeira é transferida para a corrente de ar, tornando necessário a exaustão do ar saturado. A capacidade para troca de ar depende da área total das janelas, do posicionamento em relação aos ventiladores e da velocidade do ar. Se a troca for deficiente, a umidade relativa do ar dentro do secador será superior ao desejado, retardando a secagem.

O dimensionamento do secador e dos seus componentes é definido como o projeto de engenharia, e é responsabilidade do fabricante do secador. Cabe ao usuário a seleção criteriosa, com base em características técnicas, dentre as opções disponíveis no mercado. Por outro lado, a preparação e o manuseio da madeira é responsabilidade direta da indústria madeireira.

A MADEIRA

Na definição da ciência de materiais, o material madeira é um sólido poroso com estrutura capilar. Contudo, esse material é produzido pelo crescimento de um vegetal, ou seja, biologicamente ativo e sujeito às leis da genética e às influências ambientais. Como resultado, a madeira apresenta variações na estrutura anatômica, na composição química e nas propriedades físicas e mecânicas, não apenas entre as diversas espécies arbóreas (diferenças acentuadas e marcantes) como também entre indivíduos de uma mesma espécie e até entre peças obtidas de um mesmo indivíduo. Morén (1989), considera que cada peça de madeira serrada tem características tão individuais que seria possível determinar uma “impressão digital”, similar à do ser humano.

A estrutura anatômica da madeira condiciona a sua permeabilidade, afetando a facilidade de movimentação da água líquida; enquanto que a massa específica determina a quantidade (massa) de água, tanto capilar como higroscópica, a ser removida durante a secagem e afeta a difusão através do material lenhoso. Adicionalmente, variações na composição química terão reflexo na higroscopicidade da madeira e na medição do teor de umidade quando são utilizados medidores elétricos do tipo resistência.

Um exemplo comum da interferência causada pelas variações das características físicas e anatômicas da madeira é a formação dos “bolsões” de umidade no interior das peças em secagem, ilustrado na Figura 2. As curvas A e B de uma mesma amostra representam dois pontos de medição da umidade, determinada com o auxílio de um medidor

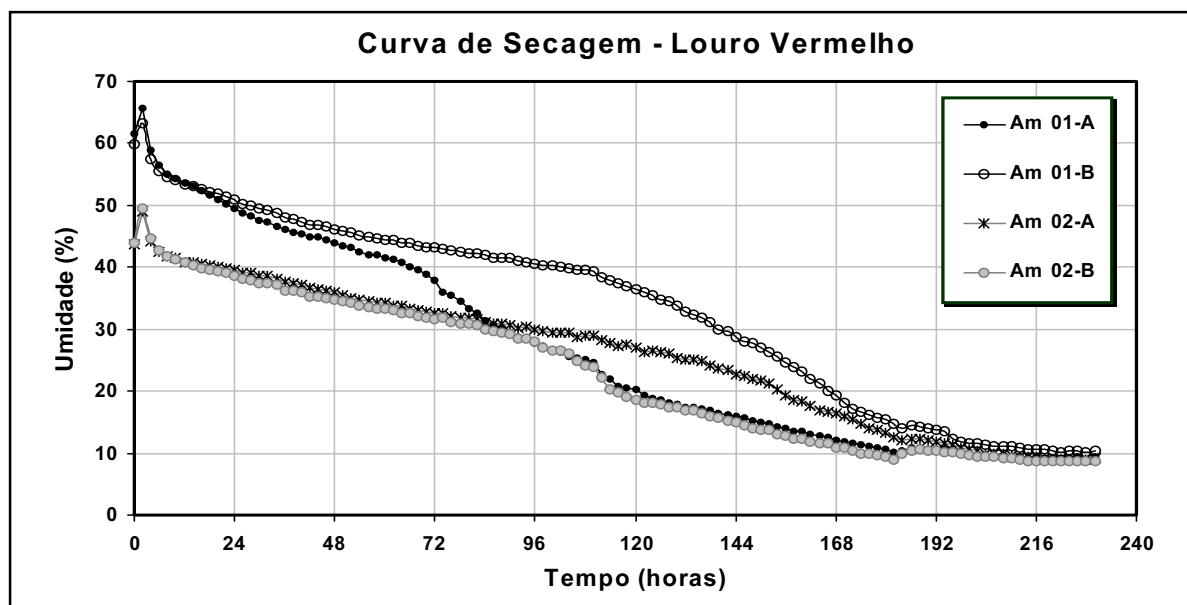


Figura 2. Curva de secagem para amostras de Louro vermelho, com a umidade medida em pontos posicionados lado a lado na amostra.

elétrico do tipo resistência, posicionados exatamente um ao lado do outro. É possível visualizar com facilidade que uma parte da amostra secou mais rapidamente que a parte localizada ao lado, em uma mesma peça; resultado que até poderia ser considerado normal para peças diferentes.

Esse tipo de madeira requer um excessivo tempo de uniformização e condicionamento, ao final da secagem, para que seja possível assegurar um padrão mínimo de qualidade para a madeira seca. Se, por coincidência, os sensores para medição do teor de umidade forem colocados apenas nas partes que perdem água mais facilmente, o resultado será um aumento na incidência de defeitos como o colapso, as rachaduras internas e até o endurecimento superficial.

Generalizando a análise do comportamento de diferentes espécies de madeira durante a secagem convencional, pode-se inferir que a taxa ou velocidade de secagem das madeiras densas e impermeáveis é condicionada pelas características do próprio material; ao passo que para madeiras permeáveis ou de baixa massa específica a taxa de secagem é limitada principalmente pelas condições do meio de secagem (ar).

Dentre os principais fatores relacionados à madeira que interferem no processo de secagem, além das características intrínsecas do material, deve ser também considerado o aspecto da espessura. Quanto mais espessa for a peça maior será a relação entre a massa de água a ser retirada e a superfície de evaporação, e menor será a taxa de movimentação por difusão. Como consequência, maior será o tempo de secagem para atingir um mesmo teor de umidade final.

PREPARAÇÃO DA MADEIRA

A preparação da madeira engloba as operações de empilhamento e o posterior carregamento do secador. Os manuais de secagem enfatizam a importância de um empilhamento bem feito, com separadores de dimensões uniformes e alinhados no sentido vertical da pilha, destacando principalmente seu efeito na prevenção de empenamentos.

Mas é importante também destacar que o empilhamento adequado facilita o fluxo do ar através da pilha, contribuindo para uma secagem mais rápida e uniforme. Usar separadores com espessura variada, bem como a própria variação na espessura das peças em secagem, restringe o fluxo de ar e prejudica a secagem.

Nos secadores cujo carregamento é feito com empilhadeiras, a acomodação das pilhas também é uma atividade a ser criteriosamente executada. No exemplo da Figura 1, verifica-se que a velocidade do ar nos espaços vazios entre as pilhas é, na média, duas vezes maior do que no interior das pilhas. Nesse exemplo, uma deficiência de projeto no secador é agravada pelo empilhamento também deficiente e, principalmente, pela acomodação incorreta das pilhas dentro do secador.

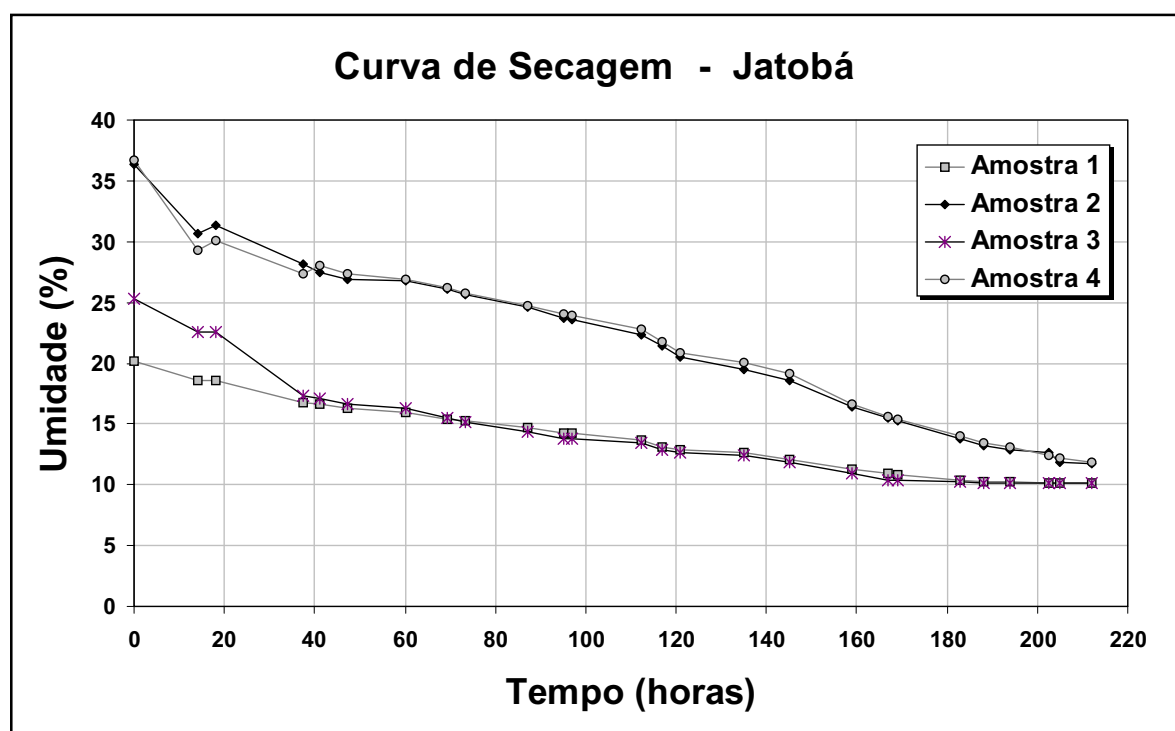


Figura 3. Curva de secagem da madeira de Jatobá, destacando o efeito do teor de umidade inicial.

A variação no teor de umidade inicial é um aspecto normalmente negligenciado ao ser carregado o secador, mas que acarreta um aumento no tempo total de secagem. A Figura 3 ilustra uma secagem em que a umidade média das amostras mais úmidas (37,0%) é cerca de 1,6 vezes maior em relação às amostras mais secas (22,5%). Para se obter, ao final da secagem, umidade uniforme entre todas as amostras foi necessário dispendir 50 horas a mais, que correspondeu a um aumento de 30% no tempo de secagem.

Uma alternativa viável para evitar, tanto o aumento no tempo de secagem devido a diferenças na umidade inicial como alta incidência de defeitos, é a pré-secagem controlada, principalmente para madeiras de secagem lenta e problemática. A pré-secagem será mais eficiente se conduzida em locais cobertos (Ciniglio, 1998) ou em pré-secadores, projetados para permitir o controle da temperatura e da umidade relativa do ar (Jankowsky, 1995), mantendo condições para uma perda de umidade lenta e gradual.

QUALIDADE DA MADEIRA SECA

O padrão de qualidade pretendido para a madeira seca é outro importante aspecto usualmente negligenciado pela indústria madeireira, na maioria das situações simplesmente porque o usuário simplesmente desconhece o significado do termo “qualidade”. Seguindo a definição apresentada por Lamb (1994), os principais atributos de qualidade para madeira seca são :

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

Os denominados defeitos de secagem decorrem, principalmente, da falta de cuidado no empilhamento e da ocorrência de tensões internas durante a secagem. No processo convencional, a madeira perde umidade da superfície em direção ao interior da peça, causando retrações diferenciadas entre a superfície mais seca e a parte interna mais úmida. A diferença nas retrações provoca o aparecimento de tensões internas que, superando a resistência mecânica da madeira, terão como consequência o aparecimento dos defeitos como as rachaduras e o colapso.

Em termos mais simples, a incidência de defeitos significa que a evaporação de umidade na superfície ocorre a uma taxa superior à da movimentação do interior até a superfície; ou seja, as condições (temperatura e umidade relativa do ar) do processo são por demais agressivas para a madeira. Diminuir a incidência de defeitos requer uma secagem mais suave, implicando em aumentar o tempo de processo.

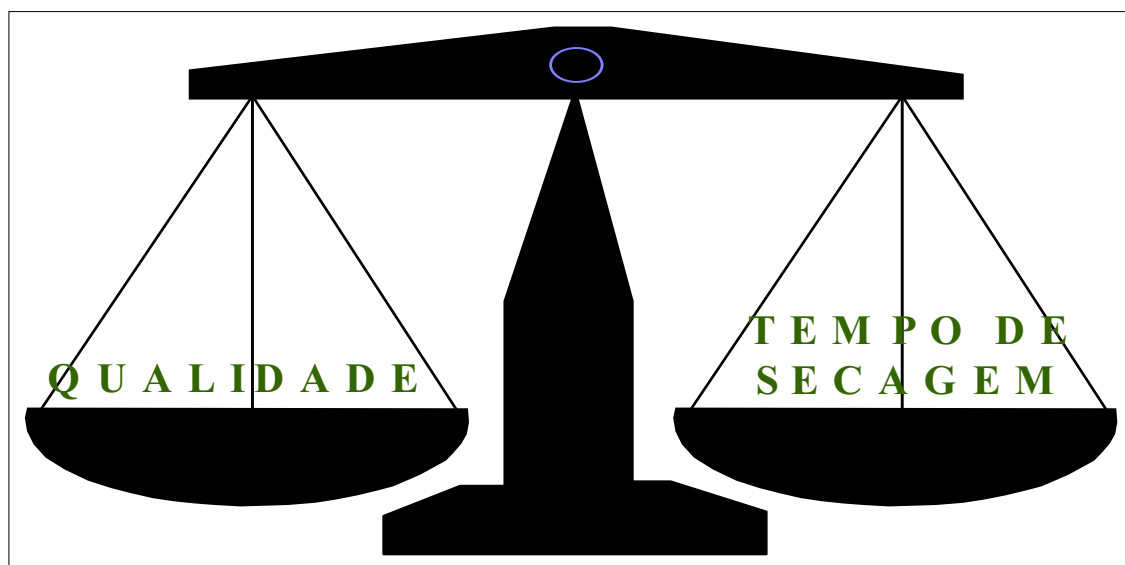


Figura 4. Ilustração demonstrativa que a qualidade da madeira seca depende diretamente do tempo de secagem.

Da mesma forma, reduzir a variação de umidade dentro da peça e entre peças (uniformização) e eliminar as tensões residuais de secagem (condicionamento) são as etapas mais demoradas dentro do processo de secagem convencional. Assegurar um padrão elevado de qualidade requer, necessariamente, aumentar o tempo de secagem, justificando a alegoria da Figura 4.

Na Figura 5 pode ser examinada a variação do teor de umidade entre peças e dentro da mesma peça, medidos ao final de uma secagem industrial. Considerando-se que a umidade final desejada era de 10%, é simples concluir que :

- a variação de umidade entre peças, de 7,6% a 14,2%, está acima do desejável;
- quanto mais alta a umidade final, maior a diferença entre as umidades externa e interna.

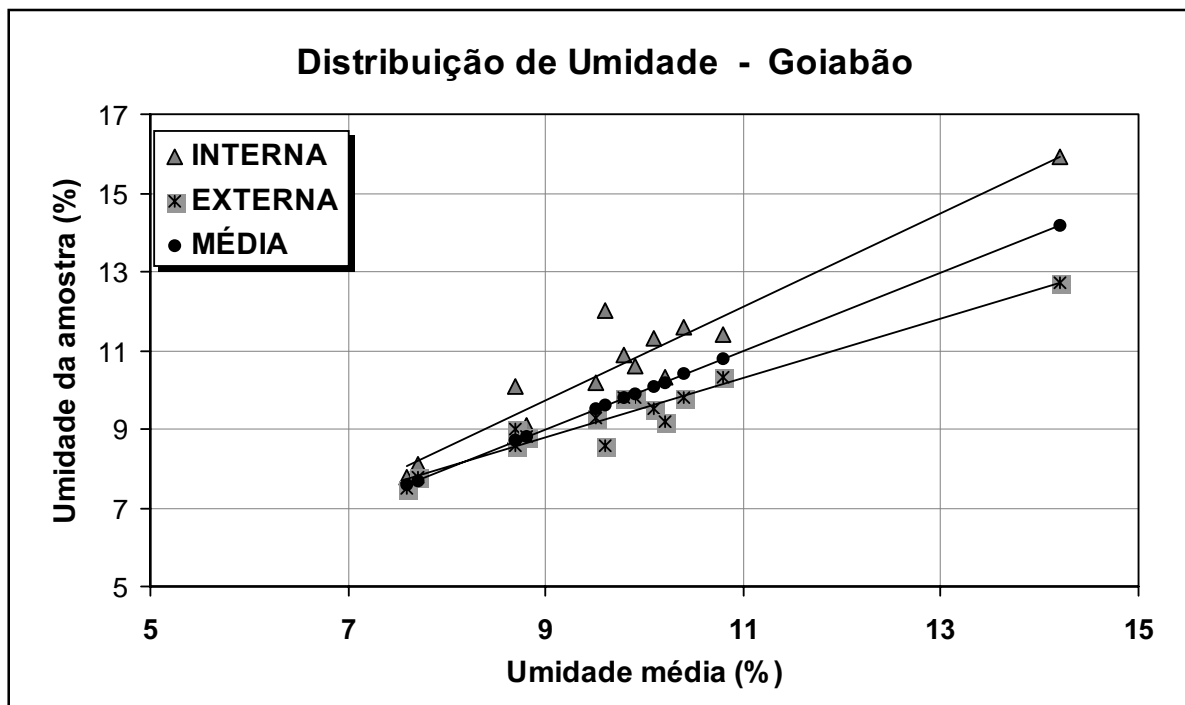


Figura 5. Variação do teor de umidade em madeira de Goiabão após secagem convencional.

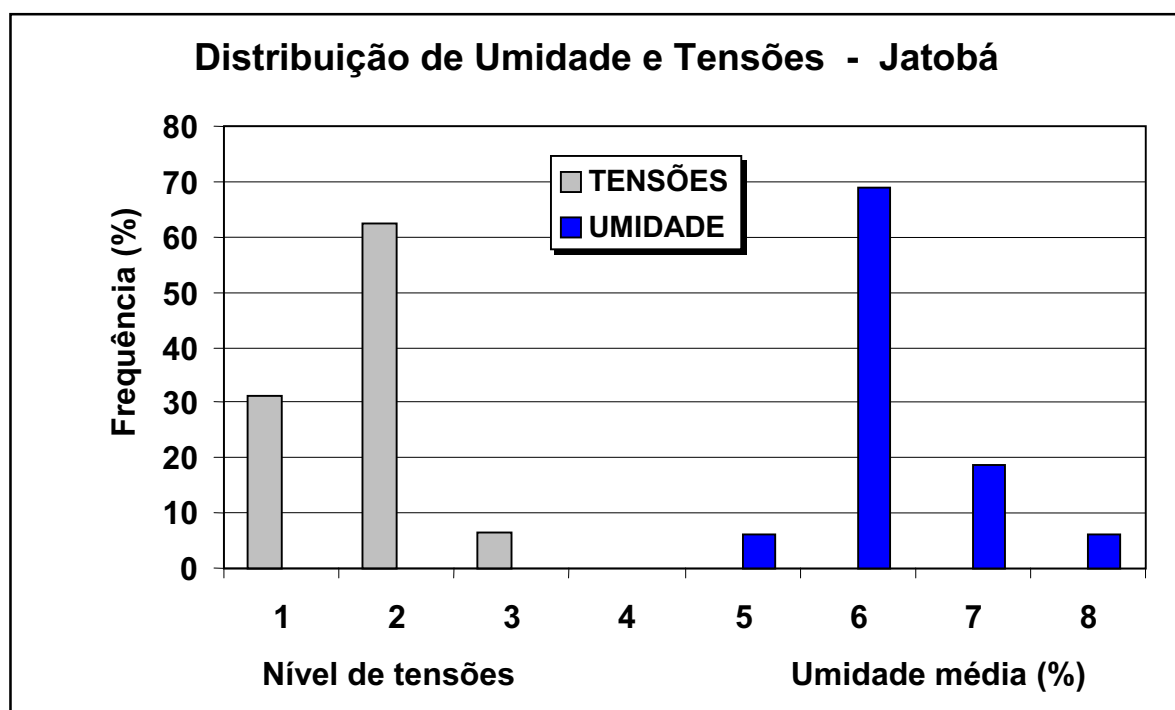


Figura 6. Distribuição de umidade e nível das tensões residuais em madeira de Jatobá após secagem convencional.

A Figura 6 apresenta a distribuição de umidade ao final de uma secagem convencional e a correspondente distribuição do nível de tensões residuais (onde o nível 1 significa madeira livre de tensões e o nível 4 madeira com endurecimento superficial acentuado). A variação da umidade está dentro um padrão adequado de qualidade (cerca de 90% das peças amostradas com umidade entre 6,0% e 7,0%), visto que a umidade final desejada era de 6,0%; porém aproximadamente 70% das amostras ainda estavam tensionadas, indicativo da necessidade de maior tempo para condicionamento ao final da secagem.

Os dois exemplos apresentados (Figuras 5 e 6) são característicos da secagem de folhosas, comprovando que para melhorar o padrão de qualidade da madeira seca é necessário aumentar o tempo de secagem, principalmente para diminuir a variação de umidade (fase de uniformização) e aliviar as tensões de secagem (fase de condicionamento).

CONTROLE DO PROCESSO

Controlar o processo de secagem significa, principalmente, ajustar a temperatura e a umidade relativa do ar em função do teor de umidade da madeira. Para tal, é necessário medir com exatidão as grandezas citadas e dispor de meios para manter constantes as condições psicrométricas (temperatura e umidade relativa) do ar no interior da câmara de secagem.

A automação no controle do processo é uma alternativa concreta para aumentar a eficiência da secagem, e muito provavelmente será a chave para o desenvolvimento futuro. Wengert e Denig (1995), em análise sobre as alternativas de aprimoramento da secagem convencional, são enfáticos ao afirmar que “... o futuro incluirá diversos desenvolvimentos de controle. Sistemas de controle computadorizados que melhor monitorem o comportamento da madeira durante a secagem caracterizará o futuro da secagem convencional ...”.

Contudo, a simples aquisição de um sistema automatizado para o controle do processo não apresentará os resultados desejados se detalhes como a quantidade e posição dos sensores de temperatura e umidade do ar e medições precisas do teor de umidade da madeira forem negligenciados. A capacidade de programação do controlador, a manutenção e o suporte técnico também são importantes, sem deixar de destacar que a operação irá depender da intervenção de um técnico capacitado.

A precisão na determinação do teor de umidade da madeira pode ser considerado como a principal característica de um sistema de controle. Como o ajuste das condições de secagem depende do teor de umidade da madeira, a correta execução do programa de secagem estará comprometida caso a medição da umidade da madeira não seja precisa.

A grande maioria dos sistemas de controle mede a umidade da madeira de uma forma indireta, medindo a resistência a passagem da corrente elétrica através do material lenhoso. Desde que Stamm (1927) demonstrou a correlação entre o teor de umidade da madeira (U) e sua resistência elétrica (R), foi possível desenvolver os medidores elétricos do tipo resistência, largamente utilizados na indústria madeireira.

Essa correlação pode ser representada por uma equação logarítmica, como as apresentadas por Vermaas (1982) [equação 01] ou por Samuelsson (1992) [equação 02], onde A, B, b_0 , b_1 e b_2 são os parâmetros das equações e que dependem do material.

$$\log R = b_0 + b_1 \cdot 10^{-b_2 \cdot U} \quad [01]$$

$$\ln R = A \exp(-B \cdot U) \quad [02]$$

Essas equações genéricas são comumente usadas na calibração dos medidores elétricos e dos sistemas de controle baseados nessa tecnologia.

Essa relação, entre a umidade e a resistência elétrica, varia de acordo com o tipo de madeira. Alguns sistemas ou medidores permitem ajustes em função da massa específica (ou densidade) da madeira, mas esse ajuste não é o mais adequado. Um exemplo é apresentado na Figura 7, comparando as madeiras de Ipê e de Cumaru. Embora ambas sejam madeiras pesadas, com características de massa específica muito similares, apresentam respostas bastante diferenciadas. Para o medidor usado no exemplo, quando o teor de umidade real é da ordem de 20% é obtida uma leitura correta para o Ipê (~ 20%) e subestimada para o Cumaru (~12%).

Essa diferença é causada pela composição química da madeira. Galina (1997) realizou um estudo aprofundado da relação entre a umidade e a resistência elétrica com diversas espécies de madeiras; demonstrando que não é recomendável usar a massa específica como fator de correção para os medidores elétricos, e que o agrupamento de espécies deve ser feito com base nas características individuais da resistência elétrica de cada tipo de madeira.

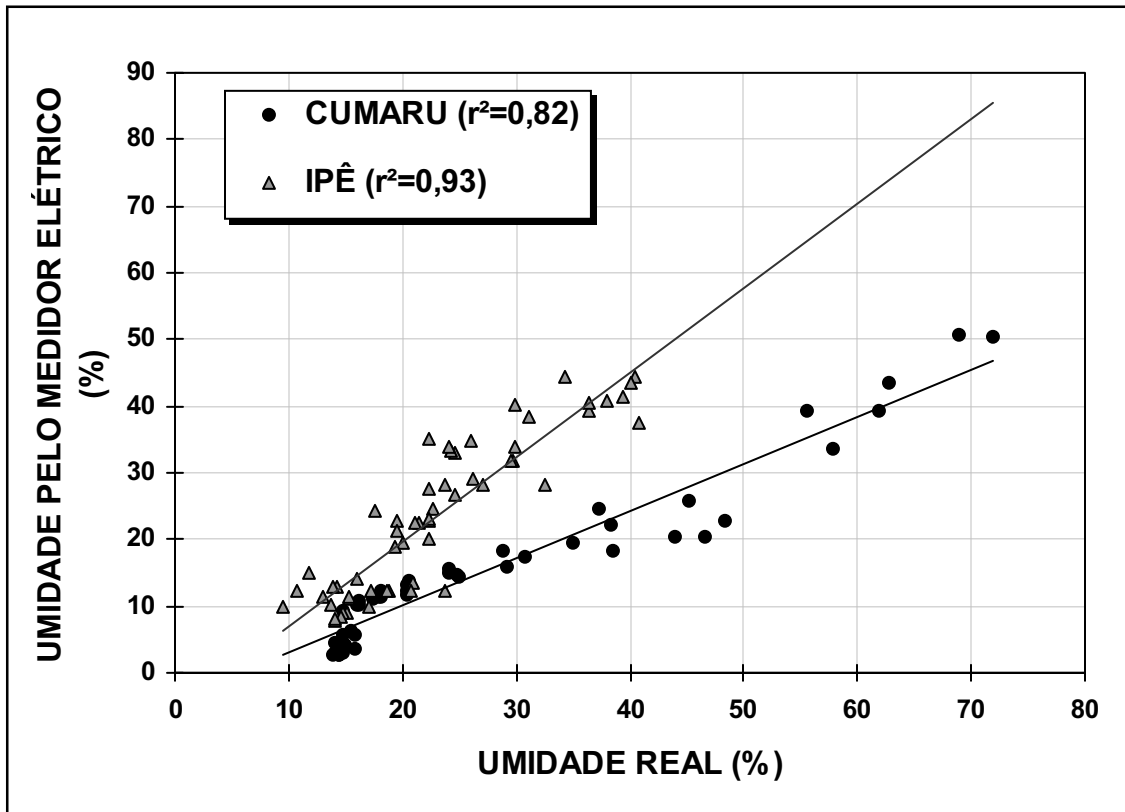


Figura 7. Ilustrando o efeito do tipo de madeira na precisão da medição de umidade com medidores elétricos do tipo resistência.

Uma vez que o ajuste dos medidores ou dos controladores é determinado pelo fabricante, cada marca ou modelo disponível no mercado pode apresentar valores de medição diferentes para um mesmo tipo de madeira, situação exemplificada na Figura 8.

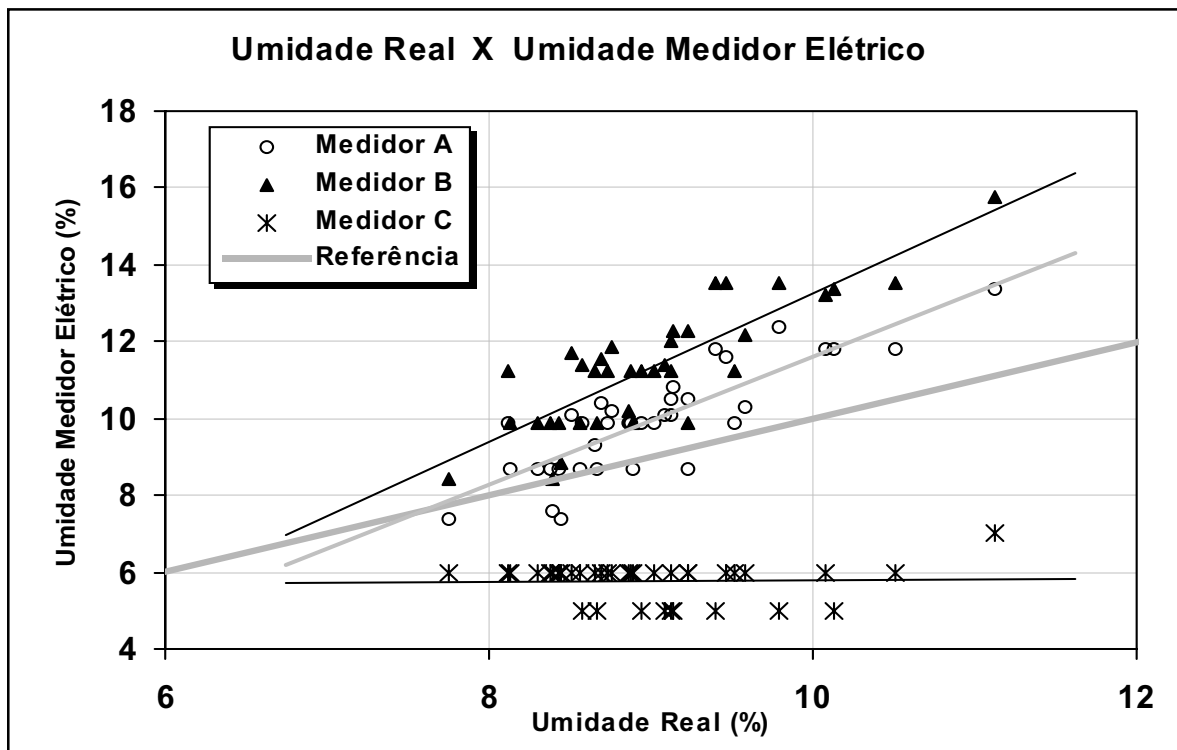


Figura 8. Efeito da marca ou modelo do medidor elétrico na medição do teor de umidade da madeira.

Um dos inconvenientes da medição do teor de umidade com base na resistência elétrica é a perda de precisão para umidades acima do Ponto de Saturação das Fibras (PSF, equivalente a 28% de umidade, em média). Umidade acima do PSF significa a existência de água líquida (água capilar) no interior das fibras. Como a resistência elétrica da água é muito menor do que a da madeira, quanto maior o teor de umidade menos precisa é a leitura, conforme ilustrado na

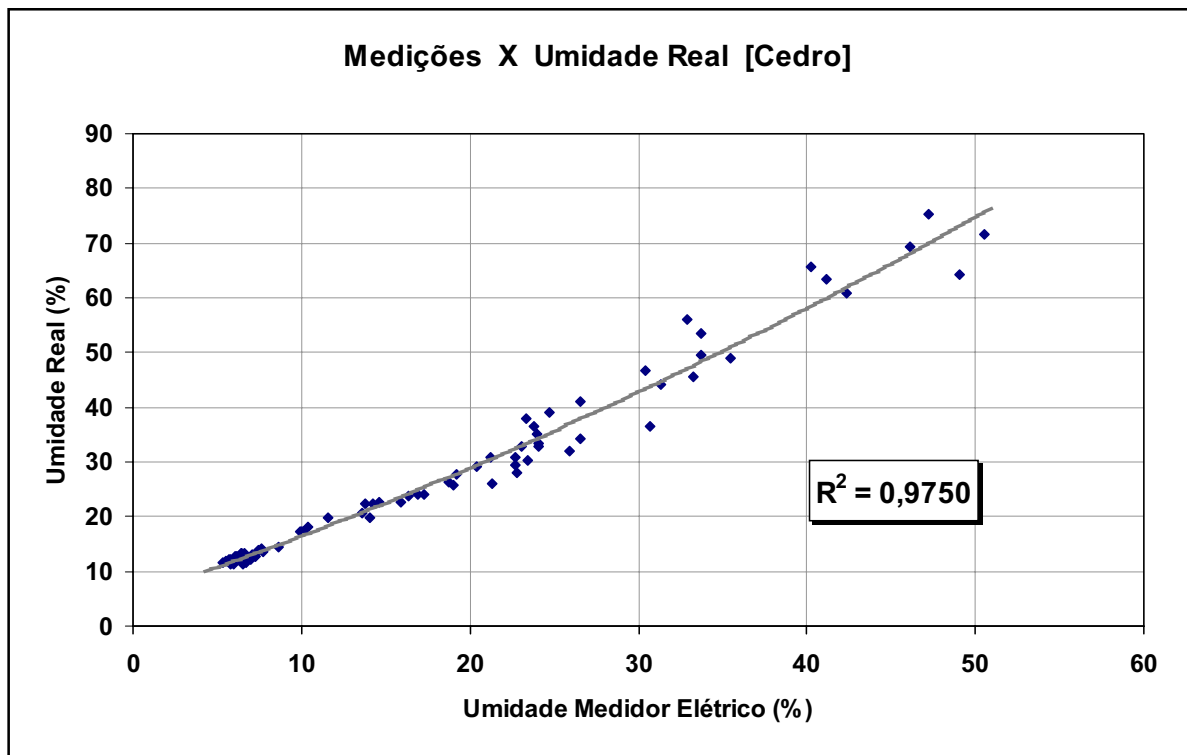


Figura 9. Relação da umidade real com os valores obtidos pelo medidor elétrico, destacando a dispersão para umidade (real) acima de 28% e a correlação não linear.

Figura 9. Além da perda de precisão, a relação entre a umidade real e a leitura do medidor não é linear (segue um padrão polinomial de 2º grau ou sigmóide, dependendo da espécie), dificultando as possíveis correções.

Chen, Wengert e Lamb (1994) apresentaram uma técnica que permite corrigir a medição de umidade para valores acima do PSF, obtendo boa precisão nas leituras. Essa técnica requer a preparação prévia de amostras para determinar o teor de umidade inicial pelo método de secagem a 103 °C.

Com base na capacidade atual dos computadores pessoais e na disponibilidade de programas que facilitam cálculos matemáticos, Jankowsky e Galina (1996), desenvolveram uma técnica baseada na combinação de equações múltiplas para corrigir a medição de umidade para valores abaixo e acima do PSF, obtendo também boa precisão nas leituras (conforme ilustrado na Figura 10, para madeira de Cedro).

As duas técnicas para melhorar a precisão da medição de umidade acima do PSF (determinação da umidade inicial a 103°C e aplicação de equações múltiplas), embora ainda com algumas restrições, já estão incorporadas em sistemas de controle de tecnologia avançada.

Outro aspecto importante a ser destacado em relação aos sistemas de controle automatizados é a precisão nas leituras da temperatura e umidade relativa do ar, bem como o posicionamento dos sensores que medem essas duas grandezas.

Na Figura 11 é apresentado um exemplo de sensor descalibrado, e na Figura 12 um exemplo de posicionamento inadequado do sensor. No primeiro caso, o sensor de umidade do ar acusava um valor inferior ao real, provocando vaporização em excesso e, conseqüentemente, acarretando uma condição de processo mais branda que a prevista no programa de secagem. O resultado, em termos de eficiência, é um aumento desnecessário no tempo de secagem e a conseqüente redução na produtividade do secador.

No exemplo da Figura 12, devido ao posicionamento inadequado do sensor de umidade do ar, um dos lados do secador permanece com menor umidade relativa ao longo de todo o processo. A madeira disposta no lado seco é

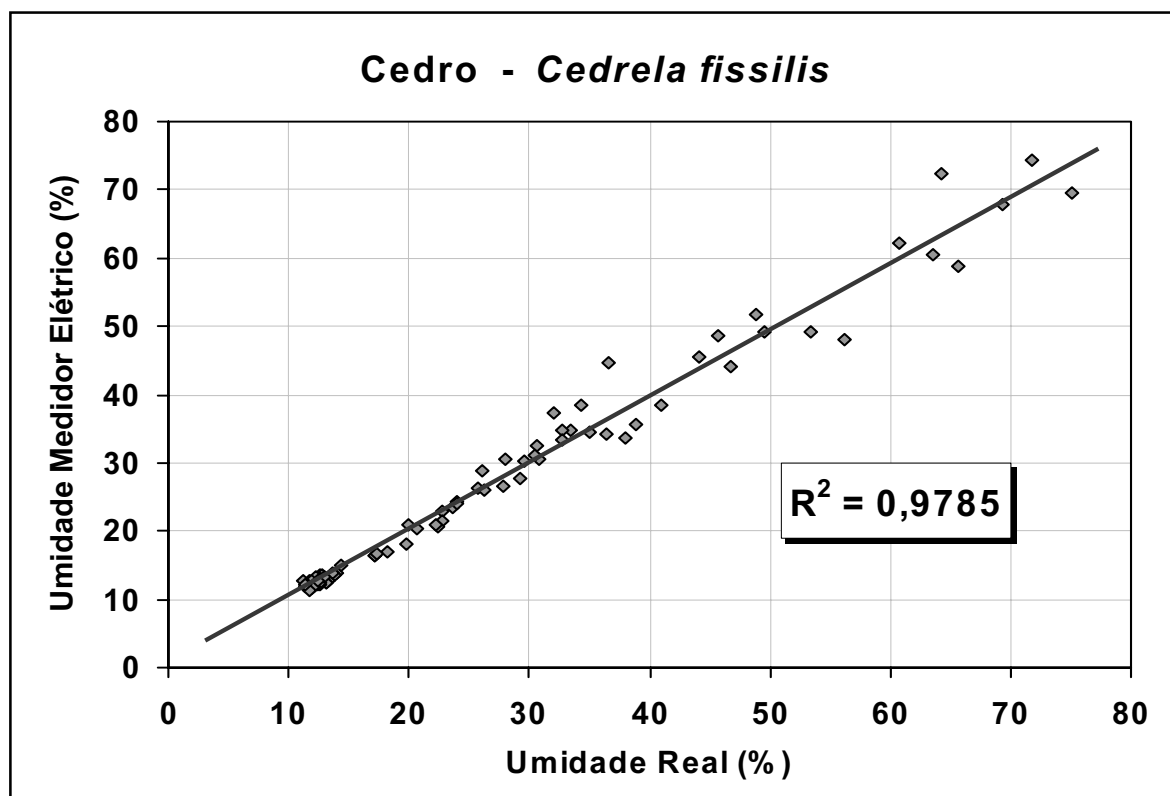


Figura 10. Relação entre a umidade real da madeira e a umidade obtida com medidor elétrico do tipo resistência, corrigida com auxílio da técnica de equações múltiplas (adaptado de Jankowsky e Galina, 1996).

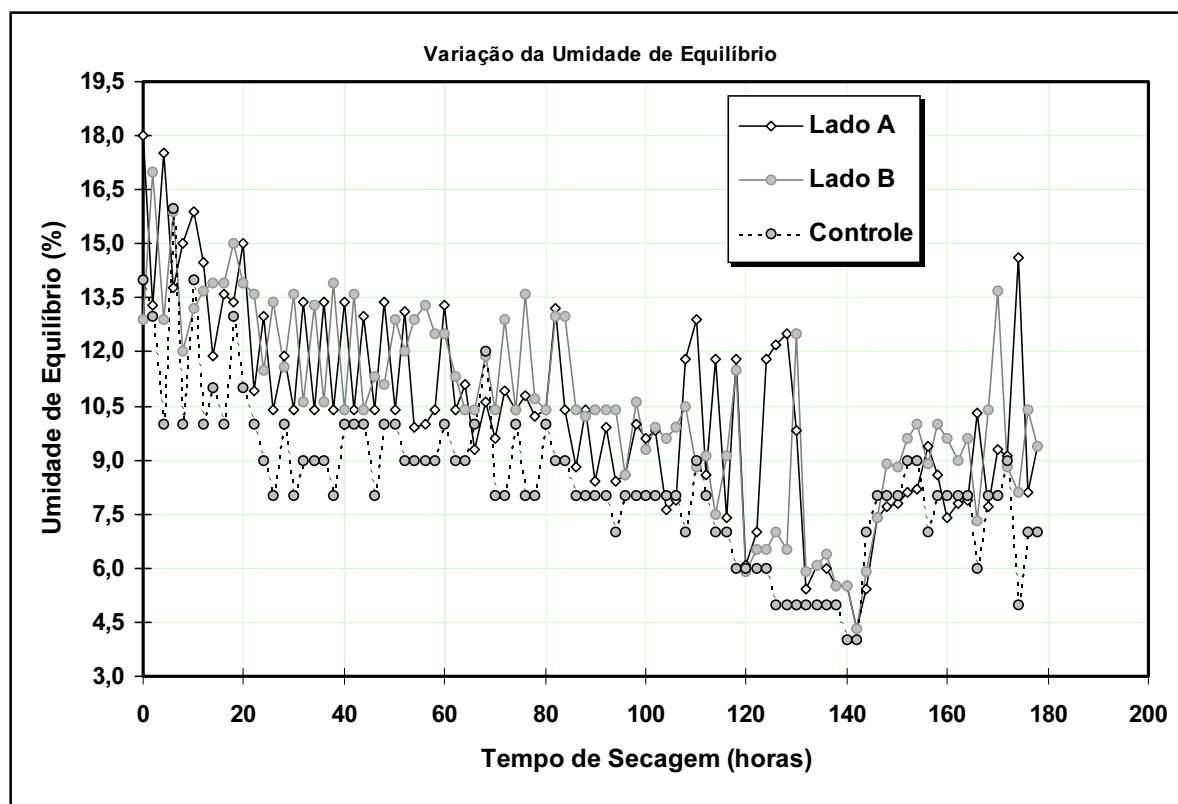


Figura 11. Variação da umidade de equilíbrio em um secador carregado por empilhadeira e com fluxo de ar reversível, destacando a falha no sistema de controle (sensor de umidade do ar).

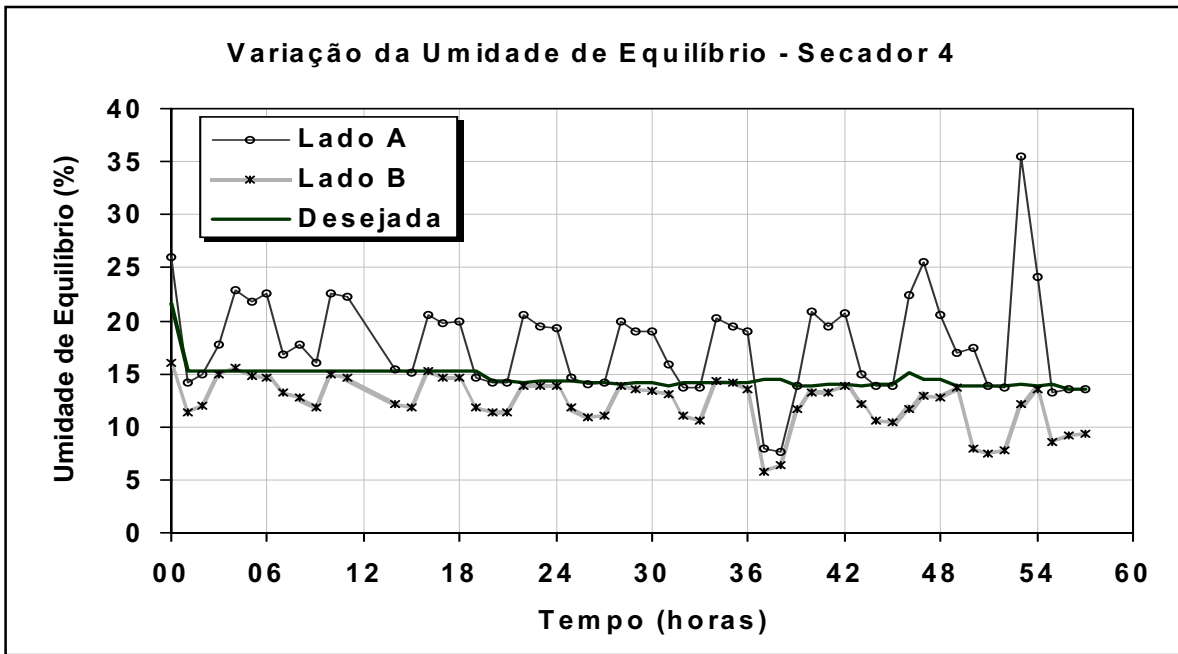


Figura 12. Variação da umidade de equilíbrio em um secador carregado por empilhadeira e com fluxo de ar reversível, destacando a diferença contínua entre os dois lados do secador.

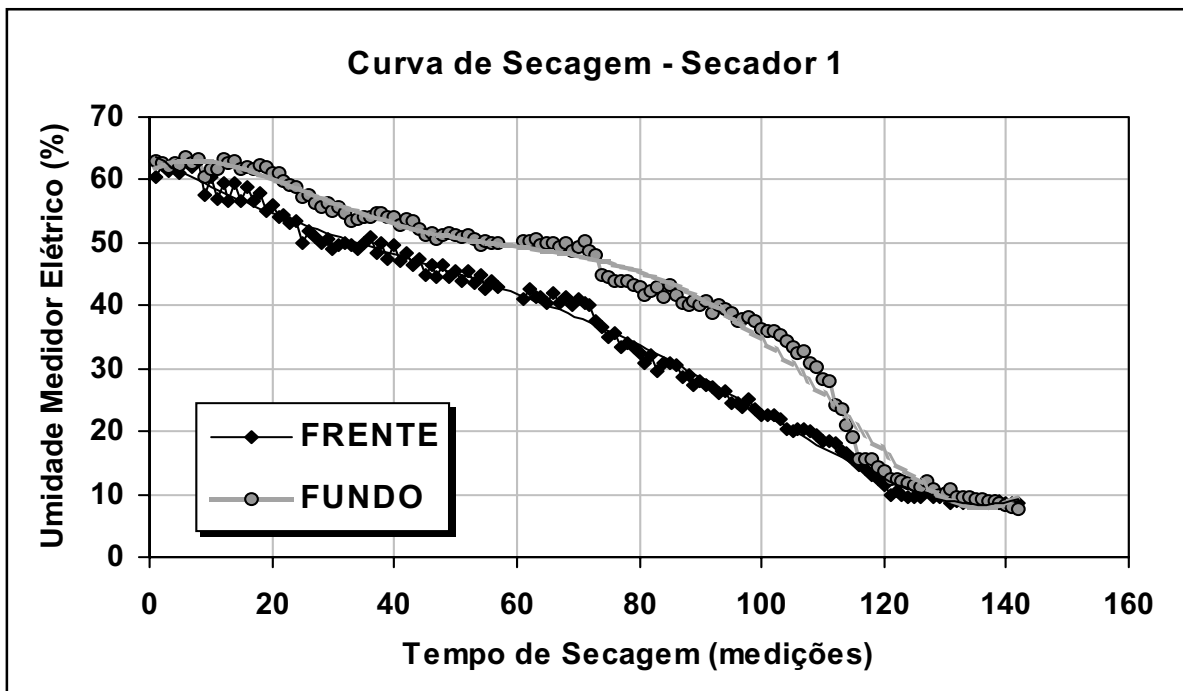


Figura 13. Curva de secagem destacando o resultado de diferentes condições psicrométricas no secador, causadas por inadequação do sensor de umidade do ar.

submetida a uma condição de secagem mais agressiva do que a madeira que se encontra no lado oposto, gerando diferentes taxas de secagem no mesmo secador. O resultado, ao final da secagem, é ilustrado na Figura 13.

Boa parte das causas das deficiências no funcionamento dos controladores pode ser facilmente resolvida se o fornecedor dispuser de um programa para assistência técnica e atendimento ao cliente. Da mesma forma, o suporte técnico também é um detalhe importante.

O acompanhamento das atividades do usuário, a análise de performance do sistema de controle e o conseqüente aprimoramento das práticas operacionais (programas de secagem, avaliação de qualidade da madeira seca, atualização

tecnológica e operacional) são iniciativas de responsabilidade do fornecedor do sistema de controle; e que representam um auxílio inestimável para melhorar a operação de secagem no seu global. Contudo, para que o usuário possa aproveitar os benefícios de um serviço de suporte técnico bem estruturado é necessário ter em seu quadro de recursos humanos pessoal tecnicamente capacitado.

O operador do equipamento de secagem, quando treinado, está capacitado para analisar o comportamento do secador e transmitir as informações requeridas pelo suporte técnico, atuando como um agente de aprimoramento e não apenas como um mero consumidor descontente com o produto recebido.

RECOMENDAÇÕES

Atingir o máximo da eficiência possível na secagem convencional depende tanto dos equipamentos disponíveis como das práticas operacionais. Considerando que a aquisição dos equipamentos é feita pelo próprio usuário, é importante que a preocupação com a eficiência tenha início pela escolha dos equipamentos mais adequados.

Com base nas informações apresentadas e na interação entre vários dos diversos aspectos abordados, é possível propor recomendações básicas com o objetivo de auxiliar a indústria na busca por uma secagem convencional mais eficiente :

- O secador é um equipamento que deve operar continuamente e por longo tempo, mas representa também um investimento proporcionalmente elevado e a sua produtividade usualmente é o ponto de estrangulamento para o restante da linha de produção. Portanto, a seleção do tipo, procedência e capacidade deve ser baseada também nas informações técnicas, buscando o equilíbrio na relação custo-benefício. O auxílio de um consultor técnico capacitado é uma alternativa que pode se mostrar vantajosa.

- A seleção do sistema de controle deve seguir os mesmos preceitos recomendados para o secador. A eficiência do controlador afetará a eficiência do processo e a qualidade do produto madeira seca. Além dos aspectos técnicos básicos, é importante analisar a tecnologia incorporada ao sistema, as alternativas para expansão futura, a flexibilidade e a facilidade de operação, os registros de processo, disponibilidade de manutenção e suporte técnico.

- Definir o padrão de qualidade requerido para a madeira seca, com base nos requisitos necessários para o produto final ou nas especificações do comprador. Com o objetivo da secagem bem definido torna-se mais fácil analisar quais mudanças de processo são viáveis de serem executadas e atingir o equilíbrio entre a qualidade obtida e o tempo necessário para secar a madeira.

- Capacitar a força de trabalho, através de treinamento específico e atualização técnica. Para obter melhor eficiência é necessário dispor de pessoal capacitado atuando no processo de secagem de forma global, desde a preparação da madeira até a aferição da qualidade final.

AGRADECIMENTOS

O autor registra seu agradecimento à FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo auxílio que permitiu a apresentação deste trabalho no IV Congresso Internacional de Compensado e Madeira Tropical, 26 a 29/Outubro/1999, Belém - PA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACHRICH, J.L. *Dry kiln handbook*. Vancouver: H.A.Simons, 1980. 371p.

BOONE, R.S. et al. *Quality drying of hardwood lumber*. Madison: USDA, Forest Products Laboratory, 1991. 56p.

CARSON, G.B., ed. *Production handbook*. 2.ed. New York: Ronald Press, 1958.

CHEN, Z.; WENGERT, E.M.; LAMB, F.M. A technique to electrically measure the moisture content of wood above fiber saturation. *Forest products journal*, v.44, n.9, p.57-62, 1994.

- CINIGLIO, G. *Avaliação da secagem de madeira serrada de E. grandis e E. urophylla*. Piracicaba: ESALQ/USP, 1998. 73p. Tese – Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
- GALINA, I.C.M. *Variação da resistência elétrica em madeiras visando o agrupamento de espécies*. Piracicaba: ESALQ/USP, 1997. 93p. Tese – Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
- GALVÃO, A.P.M.; JANKOWSKY, I.P. *Secagem racional da madeira*. São Paulo: Nobel, 1985. 112p.
- HILDEBRAND, R., ed. *Kiln drying of saw timber*. Nuertingen: RHM GmbH, 1970. 198p.
- HOLMAN, J.P. *Transferência de calor*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1983. 639p.
- JANKOWSKY, I.P. Equipamentos e processos para a secagem de madeiras. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo, 1995. *Anais*. Piracicaba: IPEF/IPT/IUFRO/ESALQ/USP, 1995. 132p.
- JANKOWSKY, I.P.; GALINA, I.C.M. Improving accuracy of resistance type moisture meter to improve drying control. In: IUFRO INTERNATIONAL WOOD DRYING CONFERENCE, 5, Quebec, 1996. *Proceedings*. Quebec: Forintek, 1996. p.545-550.
- LAMB, F.M. Targeting and achieving the final moisture content. In: PROFITABLE SOLUTIONS FOR QUALITY DRYING OF SOFTWOODS AND HARDWOODS PROCEEDINGS. Charlotte: Forest Products Society, 1994. p.54-6.
- MORÉN, T.J. Important material and process parameters affecting various types of degrade during drying. In: KAYIHAN, F.J.; JOHNSON, J.A.; SMITH, W.R. *IUFRO 1989 Wood Drying Symposium: proceedings*. Seattle: IUFRO, 1989. p.1-3.
- PRATT, G.H. *Timber drying manual*. London: Building Research Establishment, 1974. 152p.
- SAMUELSSON, A. Calibration curves for resistance-type moisture meters. In: VANEK, M., ed. *Proceedings of the 3rd IUFRO International Wood Drying Conference*. Vienna: IUFRO, 1992. p.405-408.
- STAMM, A.J. The electrical resistance of wood as a measure of its moisture content. *Industrial Engineering Chemical*, v.19, n.9, p.1021-1025, 1927.
- VERMAAS, H.F. D.C. resistance moisture meters for wood, part I: review of some fundamental considerations. *South African Forestry Journal*, n.121, p.88-92, 1982.
- WENGERT, E.; DENIG, J. Lumber drying today and tomorrow. *Forest Products Journal*, v.45, n.5, p.22-30, 1995.
- WENGERT, E.M.; BOONE, R.S. *Quality drying in a hardwood lumber predryer*. Madison: USDA, Forest Products Laboratory, 1993. 32p.

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: 55-19-430-8618
fax: 55-19-430-8666
E-mail: mmpoggia@carpa.ciagri.usp.br
<http://www.ipef.br/publicacoes>

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

Marialice Metzker Poggiani
Editora Executiva

Antonio Natal Gonçalves
Editor de Biotecnologia e Melhoramento

Fábio Poggiani
Editor de Ecologia e Gerenciamento Ambiental

Fernando Seixas
Editor de Silvicultura e Manejo Florestal

Ivaldo Pontes Jankowsky
Editor de Tecnologia de Produtos Florestais

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP)

Jacques Marcovitch
Reitor

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP)
Júlio Marcos Filho
Diretor

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS (IPEF)

Manoel de Freitas (Champion Papel e Celulose Ltda.)
Presidente

José Otávio Brito (ESALQ/USP)
Diretor Científico

Empresas Associadas ao IPEF

Aracruz Celulose S.A.	– Espírito Santo
Bahia Sul Celulose S/A	– Bahia
CAF Santa Bárbara Ltda.	– Minas Gerais
Celulose Nipo Brasileira S.A.	– Cenibra – Minas Gerais
Champion Papel e Celulose Ltda.	– São Paulo
Cia Suzano de Papel e Celulose S/A	– São Paulo
Cyanamid Química do Brasil Ltda.	– Rio de Janeiro
Desarrollo Forestal	– México
Duralex S/A	– São Paulo
Eucatex S/A Indústria e Comércio	– São Paulo
Hydro Fertilizantes Ltda.	– Bahia
Inpacel Agroflorestal Ltda.	– Paraná
Klabin Fabricadora de Papel S/A	– Paraná
Lwarcel Celulose e Papel Ltda.	– São Paulo
Monsanto do Brasil Ltda.	– São Paulo
Pisa Florestal S/A	– Paraná
Riocell S/A	– Rio Grande do Sul
Ripasa S.A. Celulose e Papel	– São Paulo
Votorantim Celulose e Papel	– São Paulo

Projeto Gráfico: Adriana Garcia e Maria Cristina Bugan
Editoração: Luiz Erivelto de Oliveira Júnior



INSTITUTO DE PESQUISAS
E ESTUDOS FLORESTAIS