

## Ensaio de taxa de secagem e escore de defeitos para a predição da qualidade de secagem convencional da madeira de *Eucalyptus*

Tests of drying rate and scoring of defects for the prediction of conventional kiln drying quality of *Eucalyptus* wood

Ricardo Jorge Klitzke<sup>1</sup> e Djeison Cesar Batista<sup>2</sup>

### Resumo

O objetivo deste trabalho foi utilizar os ensaios de taxa de secagem a 100 °C e escore de defeitos, aplicado em amostras de pequenas dimensões, como base para a predição da qualidade de secagem convencional da madeira de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. A metodologia utilizada baseou-se na hipótese de que pequenas amostras de madeira, quando submetidas a secagens drásticas, apresentam comportamento proporcional à secagem convencional. De acordo com os resultados obtidos o *Eucalyptus grandis*, quando submetido à secagem convencional, será a espécie de melhor qualidade de secagem, seguido pelo *Eucalyptus saligna*. O *Eucalyptus dunnii* será a espécie de pior qualidade de secagem, correspondente a ciclos de secagem mais longos e com maior incidência de defeitos. O escore de defeitos do ensaio de taxa de secagem foi uma ferramenta melhor do que as médias de taxa de secagem para a predição da qualidade de secagem convencional. Essa metodologia pode ser aplicada a espécies de comportamento de secagem desconhecido, servindo como indicador para o desenvolvimento de programas de secagem.

**Palavras-Chave:** Madeira de *Eucalyptus*, Taxa de secagem, Predição da qualidade de secagem convencional

### Abstract

Drying of wood is one of the most important steps for the generation of higher added value products. The drying quality can be expressed as the drying cycle duration with the level of defects. The methodology used was based on the hypothesis that small sized specimens, when submitted to rough drying conditions will show a similar behavior as in practical kiln drying. The aim of this work was to use the drying rate test at 100°C as basis for predicting the kiln drying quality of *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus dunnii* wood. According to the results *Eucalyptus grandis* wood will present the best quality in conventional kiln drying, followed by *Eucalyptus saligna*. *Eucalyptus dunnii* wood will present the worst quality in kiln drying, corresponding to longer drying cycles and higher level of defects. The score of defects was better than the means of drying rate to predict conventional kiln drying quality. This methodology can be used for species of unknown behavior at drying, and it is useful for the development of drying schedules.

**Keywords:** *Eucalyptus* wood, Drying rate test, Prediction of kiln drying quality.

## INTRODUÇÃO

Dentre as florestas plantadas que abastecem a indústria madeireira brasileira, as do gênero *Eucalyptus* estão entre as mais importantes, em virtude de seu rápido crescimento, facilidade de implantação em grandes maciços e versatilidade de aplicação de sua madeira. As espécies *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus dunnii* encontram-se entre as espécies de eucalipto mais plantadas e respondem, respectivamente, por cerca de 15%, 3% e 1% da área plantada no Brasil (BRACELPA, 2007).

Para o desenvolvimento deste trabalho tomou-se como base o proposto por Terazawa (1965) onde pequenas amostras de madeira quando submetidas a uma secagem drástica apresentam defeitos em nível proporcional aos que ocorreriam durante a secagem convencional. Essa mesma metodologia também pode ser utilizada para a determinação de variáveis do programa de secagem, tais como a temperatura inicial, a temperatura final e o programa de secagem, utilizando-se equações de regressão linear (CINIGLIO, 1998; ANDRADE *et al.*, 2001; BARBOSA *et al.*, 2005).

<sup>1</sup>Professor Doutor do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná – Av. Prefeito Lothário Meissner, 632 - Jardim Botânico - Curitiba, PR - 80210-170 – E-mail: [rklitzke@ufpr.br](mailto:rklitzke@ufpr.br)

<sup>2</sup>Professor do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo - Av. Carlos Lindemberg, 316 - Centro - Jerônimo Monteiro, ES - 29550-000 – E-mail: [djeison1984@gmail.com](mailto:djeison1984@gmail.com)

A água na madeira pode existir na parede celular como água de adesão ou no interior das cavidades celulares na forma de vapor ou líquido. A água líquida presente nas cavidades celulares é referida como água livre para distingui-la da água de adesão ou higroscópica das paredes celulares (SKAAR, 1972).

A taxa de secagem refere-se à quantidade de água evaporada em determinado intervalo de tempo, em relação à área de evaporação da amostra de madeira. Baseando-se na taxa de secagem é possível estimar a duração da secagem de uma determinada espécie da condição de madeira verde, até um teor de umidade considerado, a certa temperatura e umidade de equilíbrio (MUÑIZ, 1993). Desta maneira, por comparação com espécies conhecidas, é possível estimar o ciclo de secagem de uma espécie com comportamento de secagem desconhecido.

A taxa de secagem sofre influência das características inerentes à madeira e outras inerentes ao ambiente de secagem. Brandão (1989) e Muñiz (1993) relatam os seguintes fatores inerentes à madeira que afetam a taxa de secagem: estrutura anatômica microscópica (proporção, dimensões e distribuição dos elementos celulares) e macroscópica (cerne, alburno, lenho inicial e lenho tardio), direção estrutural (longitudinal, tangencial e radial), teor de umidade, densidade e espessura das tábuas.

Segundo Tomaselli (1977), o movimento da água na madeira acontece em três etapas. Rosen (1983) afirma que estas três etapas na secagem da madeira, material poroso onde predomina a transferência de calor por convexão, apresentam características diferenciadas que determinam a curva típica de secagem de cada espécie.

Jankowsky *et al.* (2003) resumem as características das secagem da madeira nestas três etapas: na primeira fase, com a 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; na segunda e terceira fases, a taxa de secagem é decrescente, e a movimentação da água ocorre basicamente pelo processo de difusão, afetado não somente pelas condições termodinâmicas da corrente de ar, como também por características da própria madeira, principalmente a densidade. A terceira fase inicia quando a linha de evaporação de água se restringe ao centro da peça: não há mais água livre no material e a taxa de secagem é regulada pelas características do material, até que

o teor de umidade de equilíbrio seja alcançado.

Santos *et al.* (2003) obtiveram 1,44 g/h de taxa de secagem média na faixa capilar de umidade e 0,31 g/h na faixa higroscópica, para madeira de *Eucalyptus grandis* a 51% de umidade inicial. Brandão (1989) obteve taxas de secagem respectivas desde a condição verde até 5% e verde até 30% de umidade de 10,94 g/h e 2,50 g/h, para madeira de *Eucalyptus saligna* com umidade inicial de 91,8%.

Ciniglio (1998) obteve os seguintes valores de taxa de secagem: 0,0173 g/cm<sup>2</sup>.h, 0,0350 g/cm<sup>2</sup>.h e 0,0079 g/cm<sup>2</sup>.h, respectivamente para as condições de verde a 5%, verde a 30% e 30% a 5% de umidade, para a madeira de *Eucalyptus grandis* com umidade inicial média de 80,9%. Barbosa *et al.* (2005) estudaram 10 clones de *Eucalyptus* e obtiveram taxas de secagem médias de 0,0187 g/cm<sup>2</sup>.h, 0,0337 g/cm<sup>2</sup>.h e 0,0082 g/cm<sup>2</sup>.h respectivamente para as condições de verde a 5%, verde a 30% e 30% a 5% de umidade, a um teor de umidade inicial médio de 102,4%.

O objetivo deste trabalho foi utilizar os ensaios de taxa de secagem a 100 °C e escore de defeitos, aplicado em amostras de pequenas dimensões, como base para a predição da qualidade de secagem convencional da madeira de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*.

## MATERIAL E MÉTODOS

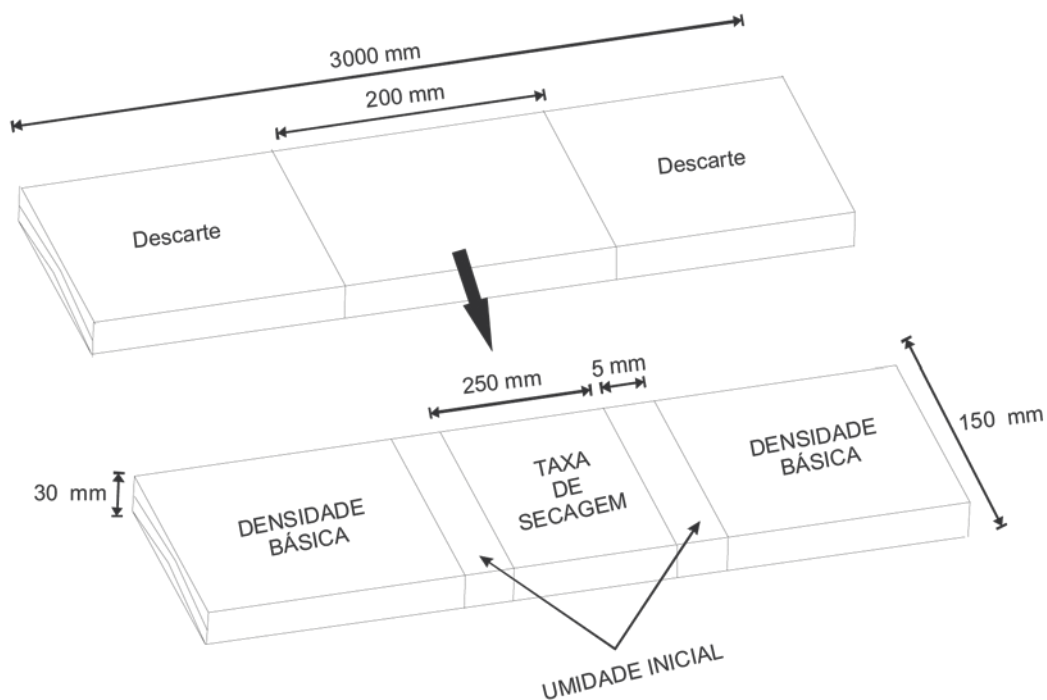
### Coleta do material

As espécies *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* foram coletadas de plantios homogêneos de 11 anos de idade plantadas em espaçamento 2,5 x 2,5 m, na cidade de Telêmaco Borba, Paraná.

De cada espécie foram utilizadas cinco árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) maior ou igual a 20 cm, com fustes retilíneos e aparentemente sadios. De cada árvore utilizou-se apenas a primeira tora, de três metros de comprimento. As toras foram processadas em serraria e de cada uma foram utilizadas apenas duas tábuas tangenciais (dimensões nominais de 30 x 150 x 3000 mm) retiradas da porção correspondente à metade do raio.

### Ensaio e confecção dos corpos-de-prova

Na Figura 1 encontra-se o esquema de amostragem dos corpos-de-prova a partir das tábuas originais. Para cada espécie foram utilizadas 10 tábuas (duas tábuas por árvore).



**Figura 1.** Esquema de amostragem dos corpos-de-prova.  
**Figure 1.** Specimen's sampling scheme.

### Contração volumétrica total e densidade básica

Os corpos de prova de contração volumétrica total e densidade básica foram confeccionados com a porção das tábuas não utilizada no ensaio de taxa de secagem (Figura 1).

A contração volumétrica total foi obtida de acordo com a norma COPANT 462 (1972), utilizando-se corpos-de-prova de dimensões 25 x 25 x 100 mm devidamente orientados. Com os mesmos corpos-de-prova determinou-se a densidade básica pelo método estereométrico. Para cada espécie foram utilizados 150 corpos-de-prova.

Os resultados foram obtidos com a utilização das Equações 1 e 2.

$$\beta_v = \frac{(vv-vs)}{vv} \times 100 \quad (1)$$

$$DB = \frac{ms}{vv} \quad (2)$$

$\beta_v$ : contração volumétrica total (%);  
 $VV$ : volume verde (cm<sup>3</sup>);  
 $VS$ : volume seco a 0% de umidade (cm<sup>3</sup>);  
 $DB$ : densidade básica (g/cm<sup>3</sup>);  
 $MS$ : massa seca a 0% de umidade (g);

### Ensaio de taxa de secagem

A umidade inicial dos corpos de prova do ensaio de taxa de secagem foi obtida pelo método gravimétrico (Equação 3), determinando-se a

massa úmida dos corpos-de-prova em balança digital com precisão 0,01 g; em seguida foram levados à estufa com ventilação forçada a 103 ± 2 °C até obterem massa seca constante (MS). Utilizaram-se dois corpos-de-prova de umidade inicial para cada corpo-de-prova de taxa de secagem.

$$UI = \frac{(MU-MS)}{MV} \times 100 \quad (3)$$

UI: umidade inicial (%);  
 MU: massa úmida (g);  
 MS: massa seca a 0% de umidade (g).

Para o ensaio de taxa de secagem foram utilizados 10 corpos-de-prova por espécie com as dimensões nominais de 30 x 150 x 250 mm, os quais foram lixados manualmente para a remoção das farpas e selados nos topos com acetato de polivinila. A massa úmida inicial foi obtida em balança digital de precisão igual a 0,01 g, enquanto as dimensões iniciais (largura, espessura e comprimento) foram obtidas com paquímetro digital (precisão de 0,01 mm).

Depois de devidamente medidos e preparados, os corpos-de-prova foram levados à estufa, sem circulação forçada de ar, à temperatura constante de 100 °C. Durante o ensaio de taxa de secagem acompanhou-se a perda de massa dos corpos-de-prova, em balança digital (0,01 g de precisão), bem como o surgimento de rachaduras de topo e de superfície, com o auxílio de

um paquímetro digital (0,01 mm de precisão). Estes acompanhamentos foram realizados em intervalos de três em três horas e os dados foram devidamente registrados em fichas apropriadas.

A perda de umidade neste ensaio foi acompanhada com base na Equação 4 (BRANDÃO, 1989).

$$U_t = \frac{M_t(U_i + 100)}{M_i} - 100 \quad (4)$$

$U_t$ : umidade do corpo-de-prova em um instante  $t$  qualquer (%);

$M_t$ : massa do corpo de prova nesse mesmo instante  $t$  (g);

$U_i$ : umidade inicial (%);

$M_i$ : massa úmida inicial do corpo-de-prova (g).

O ensaio de taxa de secagem foi finalizado quando os corpos-de-prova atingiram a massa estimada a 5% de umidade, utilizando-se as Equações 5 e 6 (GALVÃO e JANKOWSKY, 1985).

$$Me0\% = \frac{(100.M_i)}{(100+U_i)} \quad (5)$$

$$Me5\% = Me0\% (1 + 5/100) \quad (6)$$

$Me0\%$ : massa estimada a 0% de umidade (g);

$M5\%$ : massa estimada a 5% de umidade (g);

$U_i$ : umidade inicial (%);

$M_i$ : massa úmida inicial do corpo-de-prova (g).

Foram avaliadas as taxas de secagem: desde a condição de umidade inicial até 30% (taxa capilar); da umidade inicial a 5% e de 30% até 5% (taxa higroscópica). Para tal, utilizaram-se, respectivamente, as Equações 7, 8 e 9.

$$TS1 = \frac{(M_i - M30\%)}{(t1.A)} \quad (7)$$

$$TS2 = \frac{(M_i - M5\%)}{(t2.A)} \quad (8)$$

$$TS3 = \frac{(M30\% - M5\%)}{(t3.A)} \quad (9)$$

$TS1$ : taxa de secagem da umidade inicial a 30% de umidade ( $\text{g}/\text{cm}^2.\text{h}$ );

$TS2$ : taxa de secagem da umidade inicial a 5% de umidade ( $\text{g}/\text{cm}^2.\text{h}$ );

$TS3$ : taxa de secagem de 30% a 5% de umidade ( $\text{g}/\text{cm}^2.\text{h}$ );

$M_i$ : massa úmida inicial (g);

$M30\%$ : massa estimada a 30% (g);

$M5\%$ : massa estimada a 5% (g);

$t1$ : tempo de secagem da umidade inicial até 30% (h);

$t2$ : tempo de secagem da umidade inicial até 5% (h);

$t3$ : tempo de secagem de 30% a 5% de umidade (h);

$A$ : área superficial do corpo-de-prova ( $\text{cm}^2$ ).

Para a estimação da massa a 30% de umidade utilizou-se a Equação 6, com as devidas modificações.

### Escore de defeitos do ensaio de taxa de secagem

A incidência de rachaduras de topo e de superfície foi acompanhada durante o ensaio de taxa de secagem. Terminado o ensaio, foi feita a avaliação final dos defeitos, correspondente às rachaduras internas e ao colapso. Todos os defeitos foram avaliados, levando-se em conta a maior magnitude, com a utilização de um paquímetro digital (0,01 mm de precisão).

As rachaduras de superfície foram avaliadas quanto ao comprimento (sentido das fibras) e largura. As rachaduras de topo e internas foram avaliadas quanto à altura (direção radial) e largura (direção tangencial). Para esta última, foram feitos três cortes transversais nos corpos-de-prova, com serra circular, gerando quatro faces para avaliação. (Figura 2).

O colapso foi medido no ponto de menor espessura, ou seja, onde ocorreu a maior severidade do colapso (Figura 3).

O grau de deformação do colapso foi calculado de acordo com a Equação 10.

$$G = A - B \quad (10)$$

$G$ : grau de deformação do colapso (mm);

$A$ : espessura inicial média (mm);

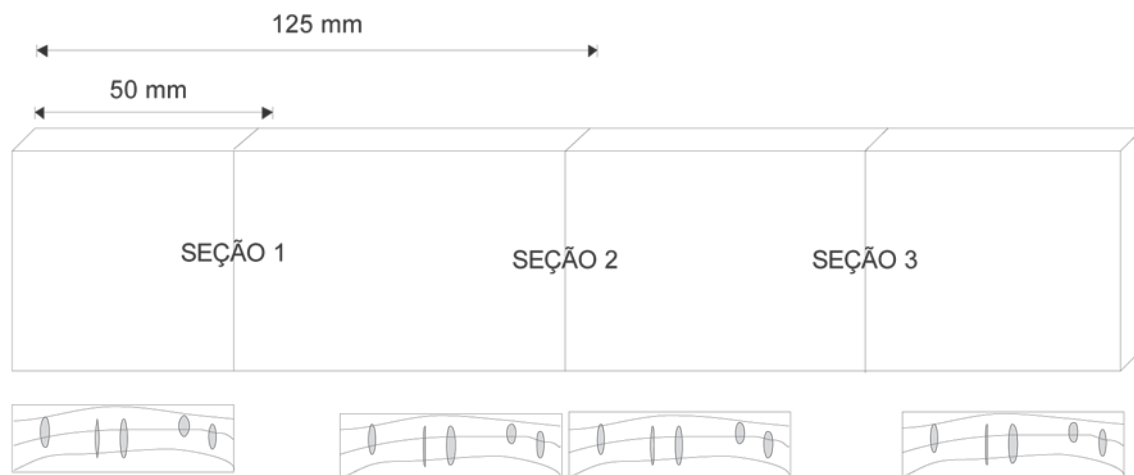
$B$ : ponto de maior severidade do colapso (mm).

Os resultados dos defeitos do ensaio de taxa de secagem (quantitativos) foram transformados em escores (qualitativos), de acordo com as Tabelas 1, 2 e 3. Esta metodologia de transformação do escore de defeitos foi adaptada de Brandão (1989).

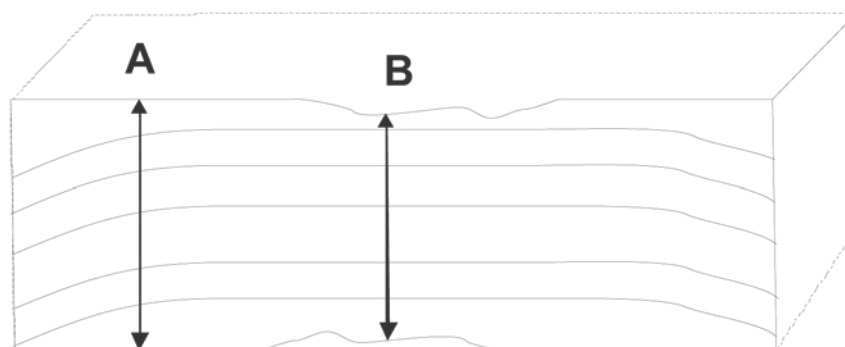
### Análise estatística

O trabalho foi constituído por três tratamentos, representados por cada uma das espécies estudadas: *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*.

Os escores de defeitos do ensaio de taxa de secagem foram avaliados de acordo com o teste não-paramétrico H de Kruskal-Wallis (5% de significância). Este teste fornece um método não-paramétrico para a análise de variância (ANOVA) para classificação de um critério ou experimentos com um fator, podendo-se fazer generalizações (SPIEGEL, 1994). Os testes não-paramétricos são aplicados a dados discretos, como escores e contagens em geral.



**Figura 2.** Avaliação das rachaduras internas.  
**Figure 2.** Assessment of internal splitting.



**Figura 3.** Avaliação do colapso.  
**Figure 3.** Collapse assessment.

**Tabela 1.** Sistema de escores para avaliar as rachaduras de superfície.  
**Table 1.** Scoring system to assess surface splittings.

Escore	Descrição
1	Ausência de rachaduras de superfície
2	Presença de rachaduras na seção longitudinal, com <b>ATÉ 0,50 mm</b> de largura e com <b>ATÉ 50%</b> do comprimento da peça;
3	Presença de rachaduras na seção longitudinal, com <b>ATÉ 0,50 mm</b> de largura, porém <b>SUPERIORES a 50%</b> do comprimento da peça;
4	Presença de rachaduras na seção longitudinal, com <b>ATÉ 1,00 mm</b> de largura e com <b>ATÉ 50%</b> do comprimento da peça;
5	Presença de rachaduras na seção longitudinal, com <b>ATÉ 1,00 mm</b> de largura, porém <b>SUPERIORES a 50%</b> do comprimento da peça;
6	Presença de rachaduras na seção longitudinal, com <b>ATÉ 1,50 mm</b> de largura e com <b>ATÉ 50%</b> do comprimento da peça;
7	Presença de rachaduras na seção longitudinal, com <b>ATÉ 1,50mm</b> de largura, porém <b>SUPERIORES a 50%</b> do comprimento da peça;
8	Presença de rachaduras na seção longitudinal, com <b>ATÉ 2,00 mm</b> de largura e com <b>ATÉ 50%</b> do comprimento da peça;
9	Presença de rachaduras na seção longitudinal, com <b>ATÉ 2,00 mm</b> de largura, porém <b>SUPERIORES a 50%</b> do comprimento da peça;
10	Presença de rachaduras na seção longitudinal, <b>SUPERIORES 2,00 mm</b> de largura e <b>SUPERIORES A 50%</b> do comprimento da peça.

**Tabela 2.** Sistema de escores para avaliar as rachaduras de topo e rachaduras internas.  
**Table 2.** Scoring system to assess top and internal splits.

Escore	Descrição
1	Ausência de rachaduras internas
2	Presença de rachaduras na seção transversal, com <b>ATÉ 1,00 mm</b> de largura, atingindo <b>ATÉ 50%</b> da espessura da peça;
3	Presença de rachaduras na seção transversal, com <b>ATÉ 1,00 mm</b> de largura, atingindo <b>MAIS DE 50%</b> da espessura da peça;
4	Presença de rachaduras na seção transversal, com <b>ATÉ 2,00 mm</b> de largura, atingindo <b>ATÉ 50%</b> da espessura da peça;
5	Presença de rachaduras na seção transversal, com <b>ATÉ 2,00 mm</b> de largura, atingindo <b>MAIS DE 50%</b> da espessura da peça;
6	Presença de rachaduras na seção transversal, com <b>ATÉ 3,00 mm</b> de largura, atingindo <b>ATÉ 50%</b> da espessura da peça;
7	Presença de rachaduras na seção transversal, com <b>ATÉ 3,00 mm</b> de largura, atingindo <b>MAIS DE 50%</b> da espessura da peça;
8	Presença de rachaduras na seção transversal, com <b>ATÉ 4,00 mm</b> de largura, atingindo <b>ATÉ 50%</b> da espessura da peça;
9	Presença de rachaduras na seção transversal, com <b>ATÉ 4,00 mm</b> de largura, atingindo <b>MAIS DE 50%</b> da espessura da peça;
10	Presença de rachaduras na seção transversal, com <b>ATÉ 5,00 mm</b> de largura, atingindo <b>ATÉ 50%</b> da espessura da peça;
11	Presença de rachaduras na seção transversal, com <b>ATÉ 5,00 mm</b> de largura, atingindo <b>MAIS DE 50%</b> da espessura da peça;
12	Presença de rachaduras na seção transversal, com <b>ATÉ 6,00 mm</b> de largura, atingindo <b>ATÉ 50%</b> da espessura da peça;
13	Presença de rachaduras na seção transversal, com <b>MAIS DE 6,00 mm</b> de largura, atingindo <b>MAIS DE 50%</b> da espessura da peça.

Para os demais resultados foi utilizada a análise de variância (ANOVA) a 5% de significância. Para a diferenciação das médias utilizou-se o teste de Tukey a 5% de significância.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Densidade básica, contração volumétrica total e umidade inicial

Na Tabela 4 encontram-se as médias de densidade básica, contração volumétrica total e umidade inicial por espécie.

As médias de densidade básica e contração volumétrica total das três espécies encontram-se de acordo com proposto por outros autores que estudaram essas espécies (TOMAZELLO FILHO, 1985; SEVERO, 1998; PEREIRA *et al.*, 2000).

De acordo com a ANOVA houve diferença significativa entre as médias de densidade básica (F calculado= 141,36\*\*), contração volumétrica total (F calculado= 179,40\*\*) e umidade inicial (F calculado= 163,82\*\*) entre as espécies.

O *Eucalyptus grandis* apresentou a menor densidade básica média, não diferindo estatisticamente do *Eucalyptus saligna*, enquanto o *Eucalyptus dunnii* obteve a maior média, diferindo estatisticamente das demais espécies. O mesmo comportamento foi observado para as médias de contração volumétrica total, onde se observou o

proposto por Tsoumis (1991), afirmando que a densidade básica se correlaciona diretamente com a contração volumétrica da madeira.

**Tabela 3.** Sistema de escores para avaliar o grau de deformação do colapso.

**Table 3.** Scoring system to assess collapse deformation levels.

Escore	Grau de deformação do colapso (mm)
1	0 – 1,00
2	1,01 – 2,00
3	2,01 – 3,00
4	3,01 – 4,00
5	4,01 – 5,00
6	5,01 – 6,00
7	6,01 – 7,00

**Tabela 4.** Médias de densidade básica, contração volumétrica total e umidade inicial por espécie.

**Table 4.** Means of basic density, total volumetric shrinkage and initial moisture content by species.

Espécies	Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )	Contração volumétrica total (%)	Umidade Inicial (%)
<i>Eucalyptus saligna</i>	0,46 a	15,17 b	63,49 b
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,45 a	14,10 a	79,91 c
<i>Eucalyptus dunnii</i>	0,56 b	18,71 c	55,11 a

Médias seguidas de uma mesma letra, em uma mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância.

A densidade básica correlaciona-se diretamente com a retratibilidade, e esta com a incidência de defeitos de secagem inerentes à movimentação dimensional da madeira (contração abaixo do ponto de saturação das fibras), tais como empenamentos e rachaduras (KLITZKE, 2007). O colapso e as rachaduras internas são defeitos que ocorrem durante a retirada da água de capilaridade e estão diretamente relacionados com a permeabilidade da madeira, a qual é influenciada pela densidade, diâmetro dos capilares e obstruções dos capilares, tais como tiloses e pontoações aspiradas, dentre outros fatores (GALVÃO e JANKOWSKY, 1985). Portanto, a partir dos resultados de densidade básica e contração total, espera-se que as espécies *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis* apresentem menos defeitos de secagem que o *Eucalyptus dunnii*.

A umidade inicial obedeceu ao proposto por Tsoumis (1991), estabelecendo que madeiras de maior densidade básica tendam a possuir menor teor de umidade.

De acordo com os resultados de densidade básica e umidade inicial, espera-se que a espécie *Eucalyptus grandis* apresente maior taxa de secagem capilar (verde a 30%), por possuir menor densidade básica e maior umidade inicial, seguida pelas espécies *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus dunnii*.

### Taxa de secagem

Na Tabela 5 encontram-se as médias do ensaio de taxa de secagem por espécie.

**Tabela 5.** Médias das taxas de secagem por espécie.  
**Table 5.** Means of drying rates by species.

Espécies	Verde-30% (g/cm <sup>2</sup> .h)	Verde-5% (g/cm <sup>2</sup> .h)	30%-5% (g/cm <sup>2</sup> .h)
<i>Eucalyptus saligna</i>	0,0332 a	0,0191 a	0,0131 a
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,0313 a	0,0198 a	0,0116 a
<i>Eucalyptus dunnii</i>	0,0332 a	0,0160 a	0,0114 a
F calculado	1,05 <sup>NS</sup>	0,70 <sup>NS</sup>	1,22 <sup>NS</sup>

Médias seguidas de uma mesma letra, em uma mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância. NS: não significativo a 5%.

As médias das diferentes taxas de secagem não diferiram estatisticamente entre as espécies. No entanto, uma carga de 50 m<sup>3</sup> composta por tábuas de 30 x 150 x 3000 mm, com uma taxa de secagem capilar de 0,035 g/cm<sup>2</sup>.h corresponde à retirada de 1410 kg de água por hora; enquanto outra com as mesmas características, mas com taxa de secagem capilar de 0,030 g/cm<sup>2</sup>.h corres-

ponde à retirada de 1208 kg de água por hora; ou seja, uma secagem cerca de 15% mais lenta. Assim, taxas de secagem aparentemente similares resultam em resultados relevantes na prática de secagem de madeiras.

Os resultados da taxa de secagem encontram-se em concordância com aqueles obtidos por Ciniglio (1998) e Andrade *et al.* (2001).

Como as três espécies pertencem ao gênero *Eucalyptus*, a permeabilidade foi considerada igual, uma vez que as três apresentam as mesmas características anatômicas de pontoações de pequenos diâmetros e vasos obstruídos por tiloses (ALFONSO, 1987; SIAU, 1995; SANTOS *et al.*, 2003). Nesse caso, esperava-se que a porosidade (influenciada pela densidade) e a umidade inicial fossem os fatores mais influentes na taxa de secagem (HART e DARWIN JUNIOR, 1971).

O *Eucalyptus saligna* e o *Eucalyptus grandis* apresentaram densidades básicas médias estatisticamente iguais (Tabela 4), supondo-se que a umidade inicial média controlasse a taxa de secagem destas espécies. No entanto, o *Eucalyptus saligna* apresentou menor umidade inicial média e taxa na fase capilar superior ao *Eucalyptus grandis*, com 0,0332 g/cm<sup>2</sup>.h contra 0,0313 g/cm<sup>2</sup>.h.

O *Eucalyptus dunnii* apresentou taxa de secagem capilar igual ao *Eucalyptus saligna*, com 0,0332 g/cm<sup>2</sup>.h, contrariando o efeito da umidade inicial e da densidade básica. No entanto, o *Eucalyptus dunnii* apresentou as menores taxas de secagem de verde a 5% e de 30% a 5%, confirmando o pressuposto por Hart e Darwin Junior (1971), relatando que maiores densidades dificultam a difusão abaixo do ponto de saturação das fibras.

Wiley e Choong (1975) afirmam que o movimento do gradiente de umidade acima do ponto de saturação das fibras é um fenômeno de explicação difícil, por envolver um grande número de fatores e variáveis que podem acrescentar fontes de erro não explicáveis em resultados experimentais.

Os resultados da taxa de secagem apontam para maior facilidade de secagem das espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, e maior dificuldade de secagem do *Eucalyptus dunnii*, correspondente a um ciclo de secagem mais longo para esta última.

### Escore de defeitos no ensaio de taxa de secagem

A metodologia utilizada neste trabalho baseou-se na hipótese de que pequenas amostras de madeira, quando submetidas a secagens drásticas, apresentarão comportamento propor-

cional à expectativa prevista para secagem convencional (TERAZAWA, 1968 apud BRANDÃO, 1989; ANDRADE *et al.*, 2001). Como as condições do ensaio foram iguais para as três espécies (temperatura, ausência de circulação de ar e umidade de equilíbrio), a incidência de defeitos foi expressa como um fator inerente à espécie.

Na Figura 4 encontram-se os resultados do escore de defeitos do ensaio de taxa de secagem por espécie.

O *Eucalyptus dunnii* foi a espécie com maior escore de defeitos, seguido por *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. No entanto, a diferença entre estas duas últimas espécies foi menos acentuada quando comparada ao *Eucalyptus dunnii*. De acordo com o teste H (18,70\*) rejeita-se a hipótese da não existência de diferença entre as espécies.

O escore de defeitos das espécies assumiu a mesma tendência dos resultados de contração volumétrica total (Tabela 4), onde o *Eucalyptus grandis*, a espécie com a menor contração volumétrica total apresentou o menor escore de defeitos, enquanto o *Eucalyptus dunnii*, espécie com a maior contração volumétrica total, apresentou o maior escore de defeitos. O *Eucalyptus saligna* mostrou-se intermediário às outras duas espécies quanto à incidência de defeitos, porém, tendendo ao *Eucalyptus grandis*.

Estes resultados indicam que o *Eucalyptus dunnii* foi a espécie de pior qualidade de secagem convencional, correspondente a maior propensão ao desenvolvimento de defeitos de secagem.

## CONCLUSÕES

De acordo com a metodologia proposta conclui-se que:

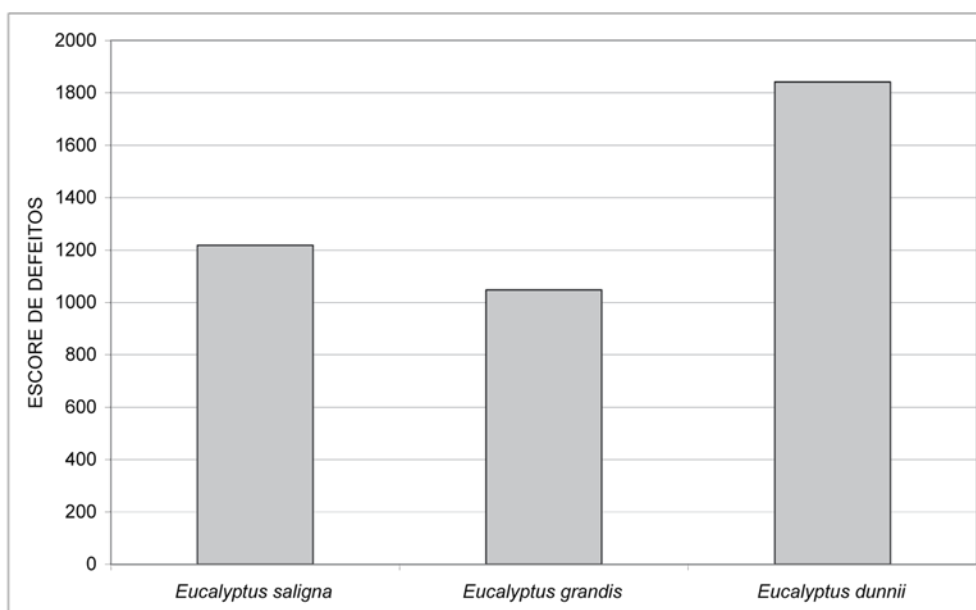
- A madeira de *Eucalyptus grandis* apresentará a melhor qualidade de secagem convencional, seguida pela de *Eucalyptus saligna*;
- A madeira do *Eucalyptus dunnii* apresentará a pior qualidade de secagem convencional, correspondente a uma maior duração do ciclo de secagem e maior propensão ao desenvolvimento de defeitos de secagem;
- O escore de defeitos do ensaio de taxa de secagem foi uma ferramenta melhor do que as médias de taxa de secagem para a predição da qualidade de secagem convencional.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSO, V.A. Caracterização anatômica do lenho e da casca das principais espécies de *Eucalyptus* L'Hérit. cultivadas no Brasil. 1987. 188p. Tese (Doutorado em Botânica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

ANDRADE, A.; JANKOWSKY, I.P.; DUCATTI, M.A. Grupamento de madeiras para secagem convencional. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n.59, p.89-99, 2001.

BARBOSA, C.G.; LIMA, J.T.; ROSADO, S.C.S.; TRUGILHO, P.F. Elaboração de programa de secagem para madeiras de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. *Cerne*, Lavras, v.11, n.1, p.40-48, 2005.



**Figura 4.** Escore de defeitos entre espécies.  
**Figure 4.** Scoring of defects according to species.



- BRACELPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Relatório florestal estatístico**. São Paulo, 2007. Disponível em: [http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/BracelpaRelatorio\\_Estatistico\\_Florestal-2007.pdf](http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/BracelpaRelatorio_Estatistico_Florestal-2007.pdf). Acesso em 30 set. 2008.
- BRANDÃO, A.T.O. **Determinação de metodologia para a indicação de programas de secagem de madeiras**. 1989. 100p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.
- CINIGLIO, G. **Avaliação da secagem de madeira serrada de *E.grandis* e *E.urophylla***. 1998. 73p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Madeiras) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- COPANT – COMISSIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **Método de determinación de la contracción: norma 462**. Buenos Aires, 1972.
- GALVÃO, A.P.M.; JANKOWSKY, I.P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985.
- HART ,C.A.; DARWIN JR., W.M. The slow drying rate of white oak. **Wood Science**, Madison, v.4, n.1, p.46-54, 1971.
- JANKOWSKY, I.P.; SANTOS, G.R.V.; ANDRADE, A. Secagem da madeira serrada de eucalipto. **Circular Técnica do IPEF**, Piracicaba, n.199, p.1-14, 2003.
- KLITZKE, R.J. Secagem da madeira. In: OLIVEIRA, J.T.S.; FIEDLER, N.C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2007. p. 271-342.
- MUÑIZ, G.I.B. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** 1993. 235p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.
- PEREIRA, J.C.D.; STURION, J.A.; HIGA, A.H.; HIGA, R.C.V.; SHIMIZU, J.Y. Características de madeiras de algumas espécies de eucaliptos plantadas no Brasil. **Documentos Embrapa Florestas**, Colombo, n.38, p.1-112, 2000.
- ROSEN, H.N. Recent advances in the theory of drying lumber. In: IUFRO DIVISION V CONFERENCE, 1983, Illinois. **Proceedings...** Illinois: USDA, 1983. p.32-62
- SANTOS, G.R.V.; JANKOWSKY, I.P.; ANDRADE, A. Curva característica de secagem para madeira de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.63, p.214-220, 2003.
- SEVERO, E.T.D. **Estudo sobre o efeito da vaporização nas propriedades e comportamento de secagem da madeira de *Eucalyptus dunnii* Maid.** 1998. 200p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.
- SIAU, J.F. **Wood: influence of moisture on physical properties**. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University / Department of Wood Science and Forest Products, 1995.
- SKAAR, C. **Water in wood**. Syracuse: Syracuse University Press, 1972.
- SPIEGEL, M.R. **Estatística**. 3.ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, Makron Books, 1994.
- TERAZAWA, S. Methods for easy determination of kiln drying schedules of wood. **Wood Industry**, Ottawa, v.20, n.5, p.1-8, 1965.
- TOMASELLI, I. **The influence of high-temperature drying on some physical and mechanical properties of *Pinus radiata* D.Don.** 1977. 264p. Tese (Doctor of Philosophy) – Faculty of Agriculture and Forestry, University of Melbourne, Melbourne, 1977.
- TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, n.29, p.37-45, 1985.
- TSOUMIS, G.T. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York : Chapman & Hall, 1991.
- WILEY, A.T.; CHOONG, E.T. An analysis of free water flow during drying softwoods. **Wood Science**, Madison, v.7, n.4, p.310-318, 1975.

Recebido em 06/04/2009

Aceito para publicação em 08/02/2010

