

Comparação de programas de secagem para  
Cumaru (*Dipteryx odorata*), Jatobá (*Hymenaea spp*) e  
Muiracatiara (*Astronium lecointei*) obtidos por diferentes métodos

Comparison of dry kiln schedules for  
Cumaru (*Dipteryx odorata*), Jatoba (*Hymenaea spp*) and  
Muiracatiara (*Astronium lecointei*) obtained by different methods

Jackson Roberto Eleotério<sup>1</sup> e Cláudia Mariana Kirchheim da Silva<sup>2</sup>

### Resumo

Os programas de secagem convencional de madeira têm como objetivo compatibilizar a qualidade da secagem com o custo e duração do processo. A madeira de diferentes espécies possui características distintas, portanto, não é possível aplicar o mesmo programa para todas as espécies. A finalidade deste trabalho foi comparar os métodos de determinação dos programas de secagem da madeira baseados na secagem drástica e na massa específica básica. Foram utilizadas madeiras de cumaru (*Dipteryx odorata*), jatobá (*Hymenaea sp.*) e muiracatiara (*Astronium lecointei*). Os parâmetros de comparação foram a temperatura e o potencial de secagem em cada uma das fases. O método de determinação do programa de secagem resultou em diferença significativa na temperatura e no potencial de secagem na maioria das fases. Os potenciais de secagem recomendados nos programas elaborados com dados da secagem drástica decrescem em função da redução na umidade da madeira, o contrário foi observado para esta variável nos programas de secagem elaborados em função da massa específica básica.

**Palavras-chave:** secagem drástica; massa específica; espécies tropicais; secagem convencional.

### Abstract

Conventional wood drying schedules are done to match the quality of drying with cost and time of the process. The wood of different species has distinct characteristics, so it is not possible to use the same schedule for all species. The aim of this work was to compare the methods for dry kiln schedules determination based on drastic drying and specific gravity. The species utilized were cumaru (*Dipteryx odorata*), jatoba (*Hymenaea sp.*) and muiracatiara (*Astronium lecointei*). The parameters of comparison were temperature and drying potential in each step. The method of dry kiln schedule determination resulted in distinct temperature and drying potential at most steps. The recommended drying potential in the dry kiln schedules elaborated with drastic drying data decrease with wood moisture content reduction; the opposite was observed for this variable in the dry kiln schedule elaborated according to specific gravity.

**Keywords:** drastic drying; specific gravity; tropical species, conventional drying.

### INTRODUÇÃO

Uma das fases imprescindíveis para a transformação da madeira em produto acabado é a secagem. Esta fase do processamento, através da redução do teor de umidade até um valor final próximo da umidade de equilíbrio média no local onde a peça será utilizada, tem como objetivo melhorar a qualidade do material. Dentre os diversos métodos, a secagem convencional tem destaque porque permite reduzir o tempo da secagem com considerável controle sobre os

defeitos. Dentre os parâmetros controláveis na secagem convencional está o sentido do fluxo, a velocidade, a temperatura e a umidade relativa do ar. A sequência destes dois últimos parâmetros em função da umidade da madeira é chamada de programa de secagem do tipo umidade-temperatura.

Na definição do programa de secagem, busca-se o equilíbrio entre as taxas de secagem, relacionadas com a produtividade do sistema, com a intensidade dos defeitos de secagem e com a redução no custo da madeira. Entre os fatores

<sup>1</sup>Engenheiro Florestal, Professor Doutor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. - FURB - Universidade Regional de Blumenau Centro de Ciências Tecnológicas, Rua São Paulo, 3250, CEP 89030-000, Blumenau, SC. E-mail: [jreleote@furb.br](mailto:jreleote@furb.br)

<sup>2</sup>Graduanda em Engenharia Florestal, Bolsista do PIBIC/CNPq, Centro de Ciências Tecnológicas, FURB - Universidade Regional de Blumenau Centro de Ciências Tecnológicas, Rua São Paulo, 3250, CEP 89030-000, Blumenau, SC. E-mail: [clau\\_mks6@hotmail.com](mailto:clau_mks6@hotmail.com)

que influenciam nas taxas de secagem e na qualidade da madeira seca está a massa específica, a espessura da peça, o teor de umidade inicial, a proporção de cerne e de albarno e a propensão à formação de defeitos, relacionadas com as características químicas, anatômicas e com a retratibilidade. Um programa de secagem não é capaz de considerar todos estes aspectos, mas busca levar em conta os mais significativos. Marques (2008) correlacionou propriedades físicas e características anatômicas com a taxa de secagem e a formação de defeitos, obtendo correlações elevadas e significativas com a massa específica.

Entre os métodos utilizados para a definição de programas de secagem se destaca o proposto por Simpson (1996), que se baseia na determinação da temperatura de bulbo seco e da depressão psicrométrica inicial a partir da massa específica. Outro método proposto por Simpson e Verrill (1997), segue a mesma linha metodológica de Simpson (1996), partindo da massa específica básica para a definição dos códigos das tabelas de temperatura, depressão psicrométrica e umidade para a primeira mudança na depressão psicrométrica do Dry Kiln Operator's Manual. Entre as vantagens desses métodos estão a simplicidade e a facilidade na obtenção de uma única variável independente, a massa específica básica.

Entretanto o comportamento da madeira durante a secagem, especialmente a formação de defeitos, não é totalmente explicado pela relação com a massa específica. Dessa forma, há outras metodologias para definição de programas de secagem. A avaliação de pequenas amostras durante a secagem drástica foi utilizada como metodologia para a definição de programas de secagem por Andrade *et al.* (2001), Jankowsky (2009) e Santos (2002). O método leva em consideração aspectos importantes e influentes na retirada de água da madeira, como os efeitos das características físicas da madeira na intensidade de defeitos e nas taxas de perda de umidade. Existem também alguns aspectos negativos como a necessidade de medições periódicas, longo tempo de experimentação, variável de acordo com cada espécie e eventuais dificuldades operacionais, embora todo esse processo seja necessário para obter um programa de secagem adequado à madeira em questão (JANKOWSKY, 2009).

Dentre as diversas espécies madeireiras no país, as espécies jatobá (*Hymenaea* spp), cumaru (*Dipteryx odorata*) e muiracatiara (*Astronium lecointei* Ducke) foram selecionadas pelas características desejáveis da madeira para a fabrica-

ção de pisos e pelas dificuldades encontradas na secagem convencional, especialmente os longos tempos de secagem.

O Jatobá (*Hymenaea* spp) é encontrado em quase todas as matas nativas do país. Apresenta cerne e albarno distintos pela cor, cerne variando do castanho-amarelado ao castanho-avermelhado, albarno branco-amarelado; cheiro e gosto imperceptíveis, densidade alta, dura ao corte; grã regular a irregular; textura média; superfície pouco lustrosa. As espécies de *Hymenaea* spp são consideradas altamente resistentes aos térmitas e fungos de podridão branca e parda. A massa específica aparente a 15% de umidade é de 960 kg/m<sup>3</sup> (IPT, 2011).

O Cumaru (*Dipteryx odorata* (Aublet.) Willd) ocorre em toda a Floresta Amazônica, da Venezuela ao Estado do Mato Grosso. Apresenta cerne e albarno distintos pela cor, cerne castanho-claro-amarelado; brilho moderado; cheiro e gosto imperceptíveis, densidade alta; dura ao corte; grã reversa; textura fina a média, aspecto fibroso atenuado; superfície pouco lustrosa. O cerne apresenta alta resistência ao ataque de organismos xilófagos e massa específica aparente a 15% de umidade de 1.090 kg/m<sup>3</sup> (IPT, 2011).

A Muiracatiara (*Astronium lecointei* Ducke) ocorre na Floresta Amazônica brasileira; apresenta cerne e albarno distintos pela cor, cerne variável do bege-rosado ao castanho-escuro-avermelhado, com estrias mais escuras; brilho moderado; cheiro e gosto imperceptíveis; densidade alta; dura ao corte; grã irregular; textura média. A madeira de muiracatiara é muito durável, não sendo atacada por insetos ou cupins de madeira seca, apresenta massa específica aparente a 15% de 970 kg/m<sup>3</sup> (IPT, 2011).

O objetivo deste trabalho foi comparar programas de secagem elaborados a partir da massa específica com programas de secagem elaborados a partir de informações obtidas na secagem drástica.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Determinação de programas de secagem a partir da secagem drástica

O método da secagem drástica se baseia no princípio de que pequenas amostras de madeira, quando expostas aos efeitos de secagem drástica em estufa a 100°C, proporcionam um comportamento semelhante na secagem convencional. O método foi baseado nas recomendações e metodologias apresentadas em Jankowsky (2009).

Para aplicação deste método foram utilizadas 14, 10 e 12 amostras de cumaru, jatobá e muiracatiara, respectivamente, sendo que todas apresentavam 10 mm de espessura, 50 mm de largura e 100 mm de comprimento. As amostras das três espécies foram mantidas em estufa a 100°C até alcançarem um teor de umidade inferior a 5%. Durante este período foram pesadas com intervalos de 1 hora e medidos os defeitos como comprimento e largura de rachaduras, utilizando paquímetro e calibrador de folga. A magnitude das rachaduras foi transformada em escore de acordo com Jankowsky (2009).

Os parâmetros para a definição dos programas de secagem: temperatura inicial ( $T_i$ ), temperatura final ( $T_f$ ) e potencial de secagem (PS) foram obtidos através das taxas e velocidades de secagem e dos escores obtidos através das dimensões dos defeitos. As equações 1 a 3 extraídas de Jankowsky (2009) estimam os parâmetros do programa de secagem em função das taxas, velocidades e escores obtidos na secagem drástica.

$$T_i = 27,9049 + 0,7881(T_2) + 419,0254(V_1) + 1,9483(R_2) \quad (1)$$

$$T_f = 49,2292 + 1,1834(T_2) + 273,8685(V_2) + 1,0754(R_2) \quad (2)$$

$$PS = 1,4586 - 30,4418(V_3) + 42,9653(V_1) + 0,1424(R_3) \quad (3)$$

$T_2$  = tempo de secagem da umidade inicial até 30% (h);

$V_1$  = taxa de secagem da umidade inicial até 5% ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$ );

$V_2$  = taxa de secagem da umidade inicial até 30% ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$ );

$V_3$  = taxa de secagem de 30 a 5% de umidade ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$ );

$R_1$  = intensidade das rachaduras da umidade inicial até 5%;

$R_2$  = intensidade das rachaduras da umidade inicial até 30%;

$R_3$  = intensidade das rachaduras de 30% a 5% de umidade.

### Definição de programas de secagem em função da massa específica básica

O método proposto por Simpson (1996) se baseia na massa específica básica como parâmetro para a definição da temperatura e depressão psicrométrica inicial. As temperaturas de bulbo seco são mantidas constantes até que a madeira alcance 30% de umidade, em seguida são elevadas a uma taxa de 5,6°C para cada 5% de redução no teor de umidade. A depressão psicrométrica é calculada em função da umidade

da madeira e da depressão psicrométrica inicial. Mais detalhes e alguns parâmetros estimados podem ser obtidos em Simpson (1996).

Para os programas de secagem elaborados segundo o método proposto por Simpson (1996), foi utilizada a massa específica básica determinada nos mesmos corpos de prova utilizados para a secagem drástica.

### Comparação entre os programas de secagem

Os programas de secagem foram comparados com fontes bibliográficas, quando disponíveis, sendo que os parâmetros utilizados como referências foram a temperatura de bulbo seco e o potencial de secagem, em cada uma das fases. As umidades de equilíbrio foram calculadas com as equações apresentadas por Bergman *et al.* (1999).

Os programas de secagem determinados através da secagem drástica e elaborados em função da massa específica foram comparados ainda com aqueles citados por Boone *et al.* (1988), Cirad (2011), FPRL (1969) apud Mendes *et al.* (1998), Hildebrand (1970) e Martins e Oliveira (1989).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Características físicas da madeira das espécies utilizadas

A Tabela 1 apresenta os valores médios e o coeficiente de variação para a massa específica básica, o teor de umidade máximo estimado pela equação apresentada por Siau (1984) e o teor de umidade inicial.

**Tabela 1.** Propriedades físicas da madeira, sendo  $\rho$ =massa específica básica;  $U_{\text{máx}}$ = umidade máxima;  $U_i$ = umidade inicial;  $x$ = média; CV= coeficiente de variação.

**Table 1.** Wood physical properties, where  $\rho$ = basic density;  $U_{\text{máx}}$ = maximum moisture content;  $U_i$ = initial moisture content,  $x$ = mean, CV= coefficient of variation.

Espécie	$\rho$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )		$U_{\text{máx}}$ (%)		$U_i$ (%)	
	$x$	CV(%)	$x$	$x$	CV(%)	CV(%)
Cumaru	0,937	7,62	40,6	40,2	15,6	
Jatobá	0,733	12,35	71,7	46,2	13,3	
Muiracatiara	0,849	8,90	51,1	45,5	18,2	

A madeira de cumaru apresentou massa específica que permite enquadrá-la, de acordo com os critérios estabelecidos por Durlo (1991), como muito pesada. O valor encontrado está na mesma ordem de grandeza daquele apresenta-

do por Simpson (1996), de 0,868 g/cm<sup>3</sup>; pelo IPT (1989), de 0,908 g/cm<sup>3</sup> e pelo IBDF (1988), de 0,91 g/cm<sup>3</sup>.

A madeira de jatobá e de muiracatiara podem ser enquadradas como pesadas, segundo critérios apresentados por Durlo (1991). A massa específica básica da madeira de muiracatiara é de 0,79 g/cm<sup>3</sup> segundo IBDF (1988); de 0,810 g/cm<sup>3</sup> segundo IPT (1989), sendo estes valores próximos aos obtidos neste estudo. Porém está acima do valor apresentado por Simpson (1996), de 0,743 g/cm<sup>3</sup>.

Em relação ao jatobá, a massa específica da madeira é de 0,74 g/cm<sup>3</sup> para *Hymenaea oblongifolia*, segundo Simpson (1996); de 0,80 g/cm<sup>3</sup> segundo IPT (1989); de 0,71 g/cm<sup>3</sup> para *Hymenaea courbaril* segundo Bergman *et al.* (1999) e de 0,76 g/cm<sup>3</sup> segundo Souza *et al.* (1997), valores em torno do encontrado neste trabalho.

Em relação à umidade inicial, o valor obtido neste trabalho é inferior ao apresentado por Simpson (1996) para as três espécies, sendo as maiores diferenças observadas para a muiracatiara e para o jatobá. Uma série de condicionantes influencia na umidade inicial, porém, destaca-se que o início da secagem drástica ocorreu com teores de umidade acima do ponto de saturação das fibras.

### Resultados da secagem drástica

A Tabela 2 apresenta os dados obtidos por meio da secagem drástica que são utilizados para a definição dos parâmetros temperatura inicial (Ti), temperatura final (Tf) e potencial de secagem (PS) dos programas de secagem.

Os valores obtidos para o jatobá (*Hymenaea* sp) foram menores no tempo (T2) e maiores nas velocidades (V1 a V3) que os apresentados por Andrade (2000). Uma explicação pode ser a massa específica básica e o teor de umidade inicial, que foram menores neste trabalho. Marques (2008) identificou que a massa específica apresenta relação inversa com as taxas de secagem. Como consequência, as temperaturas inicial e final e o potencial de secagem resultaram

em valores superiores aos apresentados por Andrade *et al* (2001) e por Jankowsky e Luiz (2006).

Para o cumaru, os valores obtidos para temperatura inicial e potencial de secagem foram inferiores aos apresentados por Jankowsky e Luiz (2006), no entanto, a temperatura final se mostrou mais elevada.

Os valores de potencial de secagem para muiracatiara ficaram dentro dos limites apresentados por Jankowsky e Luiz (2006), de 2,0 a 2,5. Entretanto a temperatura inicial ficou abaixo e a temperatura final acima das recomendadas pelos mesmos autores.

### Programas de secagem pela massa específica básica

Para o cumaru, a temperatura inicial de 39°C e a depressão psicrométrica inicial de 1,9°C apresentadas por Simpson (1996) estão próximas aos valores obtidos neste trabalho, de 37°C e 1,9°C.

Os valores de temperatura inicial e depressão psicrométrica inicial obtidos para jatobá, de 42°C e 2,2°C foram idênticos aos apresentados para o *Hymenaea oblongifolia* por Simpson (1996).

Para a muiracatiara os parâmetros iniciais do programa de secagem, de 42°C para temperatura inicial e 2,2°C para depressão psicrométrica inicial, apresentados por Simpson (1996) são mais drásticos que os obtidos neste trabalho, de 39°C e 1,9°C. Estas variações estão diretamente relacionadas às variações na massa específica.

### Comparação entre os métodos de determinação dos programas de secagem

Os programas de secagem foram montados de acordo com as recomendações contidas em Jankowsky (2009) e Simpson (1996) e apresentados nas Tabelas 3 a 5 na forma resumida.

Com relação à temperatura de bulbo seco prescrita para a secagem de cumaru, até 30% de umidade há diferença significativa entre os métodos (Tabela 3). Entre 30 e 25% de umidade a temperatura não difere, o mesmo ocorre abaixo de 15% de umidade.

**Tabela 2.** Parâmetros da secagem drástica e do programa de secagem de acordo com a equação 1 a 3.

**Table 2.** Parameters of drastic drying and of drying schedules according to equation 1 to 3.

Espécie	T <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	T <sub>i</sub>	T <sub>f</sub>	PS
	(h)							(g/cm <sup>2</sup> .h)		
Cumaru	0,72	0,010	0,064	0,008	1,86	1,86	1,86	36,7	70,9	1,9
Jatobá	0,68	0,033	0,110	0,023	2,90	2,90	2,90	47,9	83,3	2,6
Muiracatiara	0,67	0,013	0,087	0,008	1,36	1,36	1,36	36,8	75,7	2,0

Onde: T<sub>2</sub> = tempo de secagem da umidade inicial até 30%; V<sub>1</sub> = taxa de secagem da umidade inicial até 5%; V<sub>2</sub> = taxa de secagem da umidade inicial até 30%; V<sub>3</sub> = taxa de secagem de 30 a 5% de umidade; R<sub>1</sub> = intensidade das rachaduras da umidade inicial até 5%; R<sub>2</sub> = intensidade das rachaduras da umidade inicial até 30%; R<sub>3</sub> = intensidade das rachaduras de 30% a 5% de umidade, T<sub>i</sub> = temperatura inicial e T<sub>f</sub> = temperatura final.

**Tabela 3.** Programas de secagem para a madeira de cumaru, sendo TBS= temperatura de bulbo seco e PS= potencial de secagem.

**Table 3.** Dry kiln schedules for cumaru lumber, where TBS= dry bulb temperature and PS= drying potential.

Umidade da Madeira	Determinação através da Secagem Drástica		Determinação através da Massa Específica Básica	
	TBS	PS	TBS	PS
>50	34,3 B	>3,3 a	36,9 A	>2,7 b
50 - 45	34,3 B	3,3 a	36,9 A	2,7 b
45 - 40	34,3 B	3,0 a	36,9 A	2,7 b
40 - 35	34,3 B	2,7 a	36,9 A	2,4 b
35 - 30	34,3 B	2,4 b	36,9 A	2,6 a
30 - 25	43,8 A	2,1 b	42,5 A	2,7 a
25 - 20	53,3 A	2,1 b	48,1 B	3,5 a
20 - 15	62,8 A	2,1 b	53,7 B	4,3 a
15 - 10	72,2 A	2,1 b	71,0 A	4,9 a
10 - 05	72,2 A	2,1 b	71,0 A	4,5 a

Médias de TBS na mesma linha, seguidas por mesmas letras maiúsculas, não diferem significativamente pelo teste de Tukey com  $\alpha= 5\%$ .

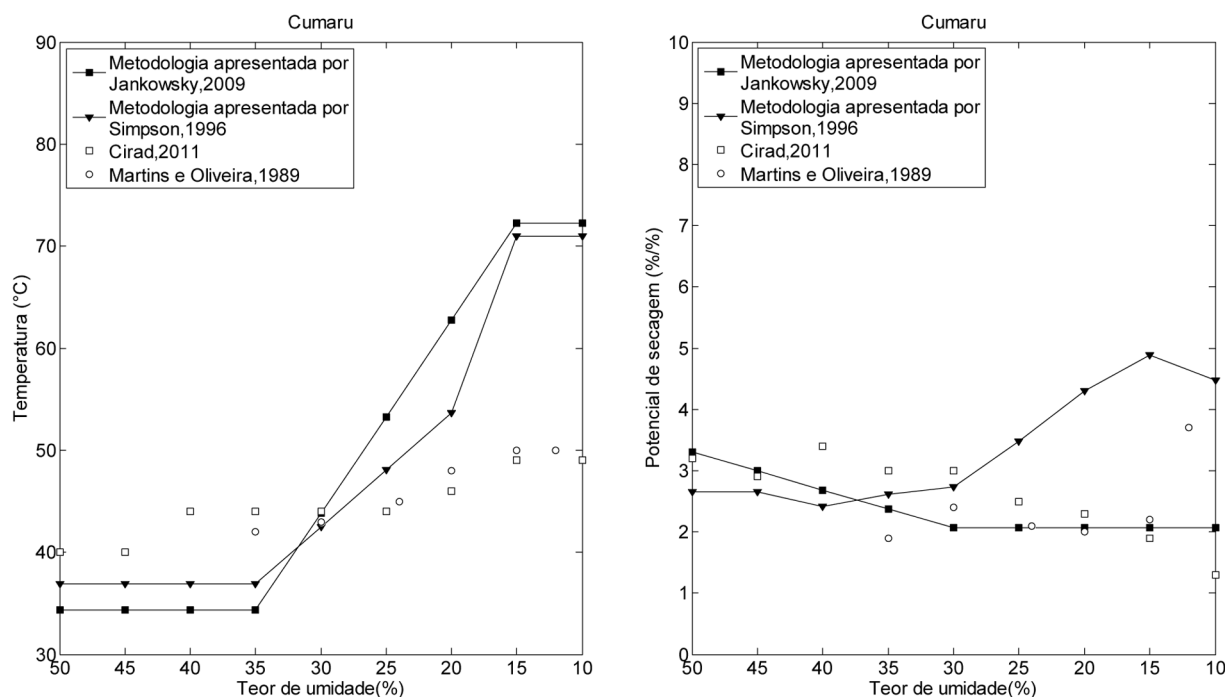
Médias de PS na mesma linha, seguidas por mesmas letras minúsculas, não diferem significativamente pelo teste de Tukey com  $\alpha= 5\%$ .

Com relação ao potencial de secagem, há diferença significativa em todas as fases. O programa definido de acordo com a metodologia apresentada por Jankowsky (2009) inicia com potencial de secagem significativamente maior, na faixa de 35 a 30% de umidade a posição se inverte em comparação com o programa elaborado de acordo com a metodologia apresentada por Simpson (1996). Com valores inferiores a 30% de umidade os potenciais de secagem dos programas elaborados com base na massa específica se elevam, diferenciando-se do programa elaborado a partir da secagem drástica, cujo potencial de secagem permanece constante (Figura 1).

A temperatura de bulbo seco dos programas apresentados por Cirad (2011) e por Martins e Oliveira

(1989) se apresentaram semelhantes. Em relação aos programas anteriormente apresentados, a grande diferença é a menor taxa de incremento da temperatura em função do teor de umidade. Estes autores também recomendam programas de secagem em que o potencial de secagem decresce com o teor de umidade da madeira, o que também ocorre no programa de secagem elaborado a partir dos dados da secagem drástica.

Para o jatobá, até alcançar os 30% de umidade, os métodos não diferem significativamente com relação à temperatura de bulbo seco. Abaixo deste teor, a temperatura de bulbo seco obtida através da massa específica apresenta valores inferiores a secagem drástica, diferenciando-se em todas as fases subsequentes (Tabela 4).



**Figura 1.** Variação da temperatura de bulbo seco e do potencial de secagem em função da umidade da madeira de cumaru.

**Figure 1.** Dry bulb temperature and drying potential variation related to cumaru wood moisture content.

**Tabela 4.** Programas de secagem para a madeira de jatobá, sendo TBS= temperatura de bulbo seco e PS= potencial de secagem.

**Table 4.** Dry kiln schedules for jatoba lumber, where TBS= dry bulb temperature and PS= drying potential.

Umidade da Madeira	Determinação através da Secagem Drástica		Determinação através da Massa Específica Básica	
	TBS	PS	TBS	PS
>50	43,9 A	>3,3 a	42,3 A	>2,9 b
50 - 45	43,9 A	3,3 a	42,3 A	2,9 b
45 - 40	43,9 A	3,2 a	42,3 A	2,9 b
40 - 35	43,9 A	3,0 a	42,3 A	2,7 b
35 - 30	43,9 A	2,9 a	42,3 A	2,9 a
30 - 25	54,0 A	2,7 b	47,9 B	3,2 a
25 - 20	64,2 A	2,7 b	53,5 B	3,7 a
20 - 15	74,3 A	2,7 b	59,1 B	4,8 a
15 - 10	84,5 A	2,7 b	77,4 B	6,3 a
10 - 05	84,5 A	2,7 b	77,4 B	4,1 a

Médias de TBS na mesma linha, seguidas por mesmas letras maiúsculas, não diferem significativamente pelo teste de Tukey com  $\alpha= 5\%$ .

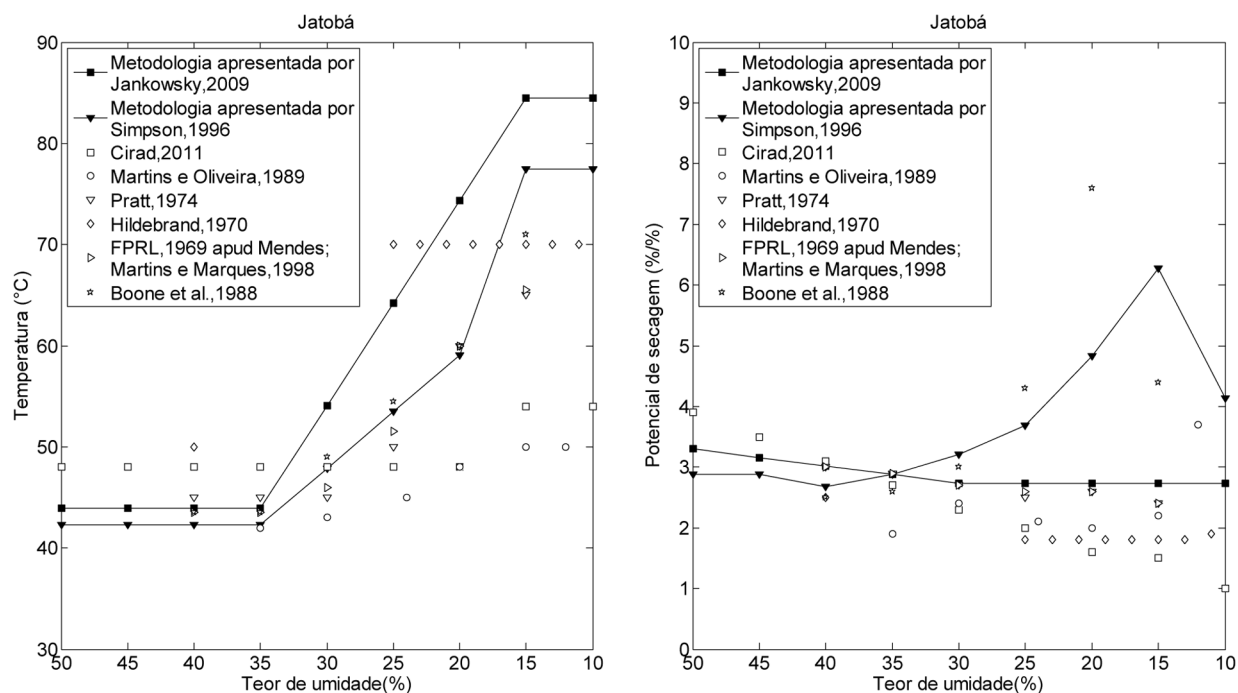
Médias de PS na mesma linha, seguidas por mesmas letras minúsculas, não diferem significativamente pelo teste de Tukey com  $\alpha= 5\%$ .

A mesma tendência observada para o cumaru no que se refere aos potenciais de secagem é encontrada no jatobá. O programa elaborado a partir da secagem drástica apresenta maiores e significativamente diferentes potenciais de secagem nas primeiras fases da secagem. Na faixa de 35% a 30% de umidade os métodos se sobrepõem, sendo que abaixo destes teores os métodos baseados na massa específica apresentam um acentuado aumento no potencial de secagem (Figura 2).

Da madeira das três espécies avaliadas neste trabalho, a de jatobá é a que dispõe de maior número de programas de secagem recomendados. A maioria dos programas inicia a secagem

com a temperatura em torno de 40 e 45° C. Os programas apresentados por Cirad (2011), FPRL (1969) apud Mendes *et al.* (1998), Martins e Oliveira (1989) e Pratt (1974) apresentam temperaturas finais menores e os programas apresentados por Boone *et al.* (1988) e Hildebrand (1970) apresentam temperatura finais próximas às obtidas neste trabalho.

Com exceção do programa de secagem proposto por Boone *et al.* (1988), todos os demais apresentam potenciais de secagem inferiores aos calculados neste trabalho. Entretanto o programa de secagem determinado a partir da secagem drástica foi o que mais se aproximou dos recomendados para madeira de jatobá (Figura 2).



**Figura 2.** Variação da temperatura de bulbo seco e do potencial de secagem em função da umidade da madeira de jatobá.

**Figure 2.** Dry bulb temperature and drying potential variation related to jatoba wood moisture content.

Até o teor de umidade de 30%, o programa de secagem elaborado para muiracatiara a partir de informações obtidas na secagem drástica apresentou temperatura de bulbo seco significativamente menor que a obtida no programa baseado na massa específica. Há uma sobreposição dos métodos entre 30 e 25% e entre 25 e 15% a situação se inverte, com temperaturas significativamente superiores para o programa elaborado através da secagem drástica. Abaixo de 15% de umidade os métodos voltam a se sobrepor.

Para a muiracatiara, o padrão de potenciais de secagem encontrado, significativamente maiores no início da secagem, para o programa elaborado através da secagem drástica se repetiu. Abaixo de 35% de umidade, os potenciais

de secagem determinados pela massa específica básica tendem a aumentar e novamente diminuir ao fim da secagem, como observado também no jatobá (Figura 3).

O programa apresentado por Cirad (2011) apresenta apenas duas faixas de temperatura de bulbo seco, no início da secagem maior e no final menor que as calculadas pelos métodos analisados. O potencial de secagem recomendado é menor durante todo o processo de secagem.

## CONCLUSÕES

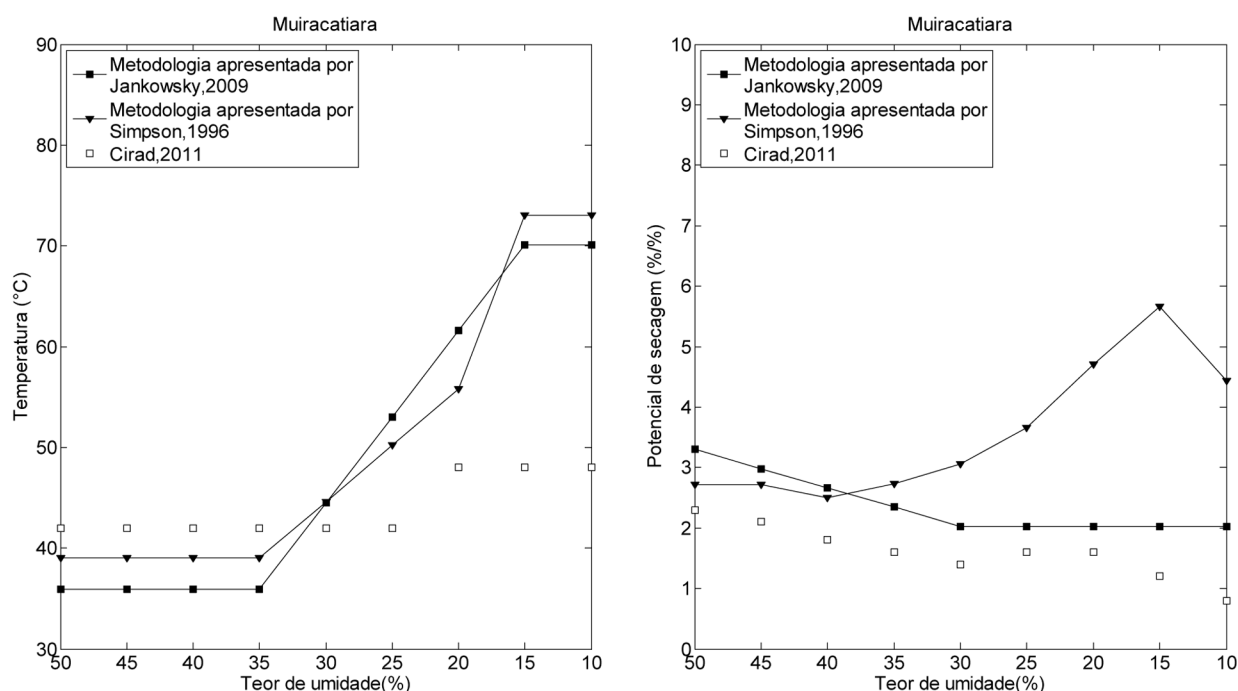
Com relação à temperatura de bulbo seco, os métodos diferem significativamente na ampla maioria das fases dos programas elaborados para

**Tabela 5.** Programas de secagem para a madeira de muiracatiara, sendo TBS= temperatura de bulbo seco e PS= potencial de secagem.

**Table 5.** Dry kiln schedules for muiracatiara lumber, where TBS= dry bulb temperature and PS= drying potential.

Umidade da Madeira	Determinação através da Secagem Drástica		Determinação através da Massa Específica Básica	
	TBS	PS	TBS	PS
>50	35,9 B	>3,3 a	39,0 A	>2,7 b
50 - 45	35,9 B	3,3 a	39,0 A	2,7 b
45 - 40	35,9 B	3,0 a	39,0 A	2,7 b
40 - 35	35,9 B	2,7 a	39,0 A	2,5 b
35 - 30	35,9 B	2,3 b	39,0 A	2,7 a
30 - 25	44,5 A	2,0 b	44,6 A	3,1 a
25 - 20	53,0 A	2,0 b	50,2 B	3,7 a
20 - 15	61,6 A	2,0 b	55,8 B	4,7 a
15 - 10	70,1 A	2,0 b	73,0 A	5,7 a
10 - 05	70,1 A	2,0 b	73,0 A	4,4 a

Médias de TBS na mesma linha, seguidas por mesmas letras maiúsculas, não diferem significativamente pelo teste de Tukey com  $\alpha= 5\%$ . Médias de PS na mesma linha, seguidas por mesmas letras minúsculas, não diferem significativamente pelo teste de Tukey com  $\alpha= 5\%$ .



**Figura 3.** Variação da temperatura de bulbo seco e do potencial de secagem em função da umidade da madeira de muiracatiara.

**Figure 3.** Dry bulb temperature and drying potential variation related to muiracatiara wood moisture content.

o cumaru e para a muiracatiara e apenas abaixo do ponto de saturação das fibras para o jatobá.

As temperaturas nas primeiras fases do programa de secagem elaborado através da secagem drástica foram significativamente menores e nas fases finais significativamente maiores ou sem diferença estatísticas quando comparadas àquelas dos programas de secagem elaborados a partir da massa específica.

Os potenciais de secagem calculados seguindo os diferentes métodos também apresentaram diferenças significativas. A metodologia da secagem drástica resultou em valores superiores nas fases iniciais da secagem e inferiores nas finais.

Os potenciais de secagem obtidos através da secagem drástica estão mais próximos aos recomendados pela maioria dos autores para as três espécies analisadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A. **Indicação de Programas para a Secagem Convencional de Madeiras**. 2000. 72p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

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

BERGMAN, R.; CAI, Z.; CARLL, C.G.; CLAUSEN, C.A.; DIETENBERGER, M.A.; FALK, R.H.; FRIHART, C.R.; GLASS, S.V.; HUNT, C.G.; IBACH, R.E.; KRETSCHMANN, D.E.; RAMMER, D.R.; ROSS, R.J.; **Wood Handbook - Wood as an engineering material**. Madison, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. (Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113).

BOONE, R.S. ; KOSLIK, C.J. ; BOIS, P.B. ; WENGERT, E.M. **Dry kiln schedules for commercial woods - temperate and tropical**. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1988, 158p. (Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-57)

CIRAD - CENTRE DE COOPERATION INTERNATIONALE EN RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT. **Technological characteristics of 245 tropical species**. 2011. Disponível em: <<http://tropix.cirad.fr/america/america.html>>. Acesso em: 14 jun. 2011.

DURLO, M.A. **Tecnologia da madeira: peso específico**. Santa Maria: UFSM - Centro de Pesquisas Florestais, 1991. 29 p. (Série técnica, n.8).

HILDEBRAND, R. **Kiln drying of saw timber**. Berlin: Maschinenbau GmbH, 1970, 198p.

IBDF - INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Madeiras da Amazônia, características e utilização: Estação Experimental de Curuá-Una**. Brasília, 1988. v.2, 236p.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Informações sobre madeiras**. 2011. Disponível em: <[http://www.ipt.br/consultas\\_online/informacoes\\_sobre\\_madeira](http://www.ipt.br/consultas_online/informacoes_sobre_madeira)>. Acesso em: 20 out. 2011.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Fichas de Características das Madeiras Brasileiras**. 2ed. São Paulo: IPT, 1989. 418p. (publicação IPT N° 1791).

JANKOWSKY, I.P. **Metodologia Simplificada para Indicação de Programas de Secagem**. 2009. 129p. Tese (Livre-docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

JANKOWSKY, I.P.; LUIZ, M.G. Review of wood drying research in Brazil: 1984-2004. *Drying Technology*, Philadelphia, v.24, n.4, p.447-455, 2006.

MARQUES, M.H.B. **Agrupamento de 41 espécies de madeiras da Amazônia para secagem baseado em características anatômicas e físicas**. 2008. 141p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

MARTINS, V.A.; OLIVEIRA, L.C.S. **Secagem convencional de nove espécies de madeiras da Amazônia**. Brasília: LPE, 1989. 12p. (Série Técnica, n.3)

MENDES, A.S., MARTINS, V.A. ; MARQUES, M.H.B. **Programas de secagem para madeiras brasileiras**. Brasília : IBAMA, 1998. 114 p.

PRATT, G.H. **Timber drying manual**. London: English Department of Environment, 1974. 152p.

SANTOS, G.R.V. **Otimização da secagem da madeira de *Eucalyptus grandis***. 2002. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.



SIAU, J.F. **Transport processes in wood**. Berlin: Springer-Verlag, 1984. 245p.

SIMPSON, W.T. **Method to estimate dry-kiln schedules and species groupings: tropical and temperate hardwoods**. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 1996. 57p.

SIMPSON, W.T.; VERRILL, S.P. Estimating kiln schedules for tropical and temperate hardwoods using specific gravity. **Forest Products Journal**, Madison, v.47, n.7/8, p.64-68, 1997

SOUZA, M.H.; MAGLIANO, M.M.; CAMARGOS, J.A.A. **Madeiras tropicais brasileiras**. Brasília: Ministério de Meio Ambiente, 1997. 150p.

Recebido em 21/12/2011

Aceito para publicação em 14/10/2012

