



## Elaboração de um programa de secagem para espécie nativa do cerrado

Natália Steffany de Brito Lima<sup>a\*</sup>, Hyara Alves Pereira e Silva<sup>a</sup>, Raquel Marchesan<sup>a</sup>, Priscila Bezerra de Souza<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidade Federal do Tocantins (UFT), Brasil

\* Autor correspondente ([nataliastheffany@hotmail.com](mailto:nataliastheffany@hotmail.com))

### INFO

#### Keywords

wood drying  
basic density  
sucupira

#### Palavras-chaves

secagem da madeira  
densidade básica  
sucupira

### ABSTRACT

*Elaboration of a drying program for native Cerrado species.*

This study aimed to elaborate a wood drying program of *Pterodon emarginatus* that is a native species of the Cerrado, widely used in wood production, mainly for forest based industry, all over Brazil. For this work, 10 specimens were made for the determination of basic density and retractability with dimensions of 4.5x2.0x2.0 cm, and for the drying program, 10 samples with dimensions of 15x4.5x1.0 cm were used. The length, width and thickness. The drying of the specimens was performed according to the drastic drying methodology at 100 °C adapted by Ciniglio (1998). The results showed that the wood of *Pterodon emarginatus* has a basic density of 0.800 g.cm<sup>-3</sup>, classifying this wood as moderately heavy. Its initial humidity was 70.61%, calculated by the gravimetric method. Collapse was the main defect observed in the samples with a value of 0.450mm, thus being classified as low degree of collapse. The main parameters of the drying program were initial temperature (40.77), final temperature (63.13) and drying potential (1.8). The program generated a difficult drying for the species, indicating lower temperatures in the drying. In order to avoid severe wood defects.

### RESUMO

Este estudo teve como objetivo a elaboração de um programa de secagem da madeira de *Pterodon emarginatus* que é uma espécie nativa do Cerrado, amplamente utilizada na produção de madeira, principalmente para indústria de base florestal, em todo o Brasil. Para a realização deste trabalho foram confeccionados 10 corpos de provas para a determinação da densidade básica e retratibilidade com dimensões de 4,5x2,0x2,0 cm, e para o programa de secagem foram utilizados 10 amostras com dimensões de 15x4,5x1,0 cm, referentes a comprimento, largura e espessura. A secagem dos corpos de prova foi realizada segundo a metodologia de secagem drástica a 100°C adaptado por Ciniglio (1998). Os resultados demonstram que a madeira de *Pterodon emarginatus* possui uma densidade básica de 0,800 g.cm<sup>-3</sup>, classificando esta madeira como moderadamente pesada. Sua umidade inicial foi de 70,61%, calculado por meio do método gravimétrico. O colapso foi o principal defeito observado nas amostras que apresentou valor de 0,450mm, sendo assim classificada como baixo grau de colapso. Os principais parâmetros do programa de secagem foram temperatura inicial (40,77), temperatura final (63,13) e potencial de secagem (1,8), o programa gerou uma secagem difícil para a espécie, indicando temperaturas mais baixas na secagem a fim de evitar defeitos severos na madeira.

## INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, ocupando cerca de 24% de todo território nacional. Do ponto de vista da diversidade biológica, o Cerrado brasileiro é conhecido como a savana mais rica do mundo, abrangendo 11.627 espécies de plantas nativas já catalogadas (MMA, 2007).

*Pterodon emarginatus*, conhecida popularmente como sucupira é uma espécie arbórea pertencente à família Fabaceae ocorrendo no Cerrado e regiões de Mata Atlântica do País (Vidaurre et al., 2012). A árvore possui coloração marrom é muito resistente ao ataque de fungos e cupins de madeira seca sob condições naturais. Atinge até 16 metros de altura com tronco de 30 a 40 cm de diâmetro. Sua madeira é altamente densa (IPT, 1989) relata que a densidade básica desta espécie é de 0,780 g.cm<sup>-3</sup>, muito utilizada para fabricação de pontes e construções marítimas, construção civil, móveis e dormentes ferroviários, devido ser altamente resistente (Carvalho, 2007).

A secagem é uma fase de grande importância nos processos de transformação da madeira, hoje em dia, busca-se cada vez mais conhecer e aprimorar os processos que envolvem a industrialização das madeiras.

A secagem da madeira é o processo de redução do seu teor de umidade a fim de levá-la a um teor de umidade definido, com o mínimo de defeitos, no menor tempo possível e de uma forma economicamente viável, para o uso a que se destina (Martins, 1988). Muitos são os benefícios obtidos ao se fazer a secagem da madeira, dentre eles estão: melhora das características de trabalhabilidade, a estabilidade das dimensões da madeira, a redução dos riscos de manchas e apodrecimentos e o aumento da resistência mecânica. Apesar dos benefícios, a secagem da madeira além de ser pouco difundida no Brasil, é também uma prática pouco utilizada por indústrias do setor madeireiro (Revista da madeira, 2011). O Brasil destaca-se por sua grande vocação florestal, seja na alta produtividade de espécies plantadas, quanto na rica variedade que ocorre nas savanas brasileiras. A diversidade de espécies, tonalidades, desenhos e texturas da madeira, tornam as espécies do cerrado muito apreciadas em todo mercado nacional (Takeshita, 2016).

Embora a espécie esteja adquirindo uma importância no país, nota-se uma escassez de trabalhos científicos voltados para o desenvolvimento de programa de secagem. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi elaborar um programa de secagem para a espécie *Pterodon emarginatus* (sucupira-branca) utilizando a metodologia de secagem drástica em estufa à 100 °C.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Características do material e localização de coleta

O estudo foi realizado no Laboratório de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais da Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Gurupi, TO. As toras de *Pterodon emarginatus* foram provenientes da vegetação de cerrado *sensu stricto*, localizada na região sul do estado do Tocantins, com latitude: 11° 43' 45" S e longitude 49° 04' 07" W. Foram selecionadas três toras e a partir dessas toras foram retirados dez corpos de prova livres de defeitos para determinação de densidade básica e retratibilidade com dimensões de 15 x 4,5 x 1,0 cm e 10 amostras com dimensões de 4,5x 2,0x 2,0 cm respectivamente, comprimento x largura x espessura, para a realização do programa de secagem.

### Coleta de dados para o programa de secagem

Para a elaboração do programa de secagem, primeiramente foram selados os topos dos corpos de prova com adesivo PVAc, para reduzir a perda precipitada de umidade no processo de secagem. Posteriormente, os corpos de prova foram submetidos à pesagem em balança semi-analítica e à medição de comprimento, largura e espessura foi realizada com auxílio de paquímetro digital (precisão 0,01 mm).

Sequencialmente foram encaminhados para a estufa a 100 ± 2 °C para a primeira hora de secagem drástica, após o primeiro horário, foram realizadas as pesagens e medições dos corpos de prova, além da verificação de possíveis defeitos ocasionados no processo. As amostras retornaram à estufa e a cada uma hora e foram contabilizadas as pesagens e medições do seu volume até todos apresentarem massa constante. Também foram medidos com paquímetro digital o comprimento e largura das rachaduras ocorridas durante o processo, assim como a medição de colapsos, vale ressaltar que as variáveis foram determinadas após o término da secagem (Tabela 01).

Tabela 01 - Variáveis relacionadas ao ensaio de secagem drástica.

Variável	Descrição	Umidade	Unidade
T1	Tempo de Secagem	Verde à 30%	Hora
T2	Tempo de Secagem	30 à 5%	Hora
T3	Tempo de Secagem	Verde à 5%	Hora
V1	Velocidade de Secagem	Verde à 30%	$g \cdot (cm^2 \cdot hora)^{-1}$
V2	Velocidade de Secagem	30 à 5%	$g \cdot (cm^2 \cdot hora)^{-1}$
V3	Velocidade de Secagem	Verde à 5%	$g \cdot (cm^2 \cdot hora)^{-1}$
R1	Rachadura do topo	Verde à 30%	Adimensional
R2	Rachadura do topo	30 à 5%	Adimensional
R3	Rachadura do topo	Verde à 5%	Adimensional

Fonte: Ciniglio (1998) e Jankowsky (2009).

Tabela 02 - Equações para determinar os parâmetros da secagem convencional da madeira.

Parâmetro	Equação
TI	$27,9049 + 0,7881 * T2 + 419,0254 V1 + 1,9483 * R2$
TF	$49,2292 + 1,1834 * T2 + 273,8685 V2 + 1,0754 * R1$
PS	$1,4586 - 30,4418 * V3 + 42,9653 * V1 + 0,1424 * R3$

Nota. TI: Temperatura Inicial; TF: Temperatura Final; PS: Potencial de Secagem; T: Tempo de Secagem; V: Velocidade de Secagem; R: Rachadura. Fonte: Ciniglio (1998).

Os principais parâmetros do programa de secagem são Temperatura Inicial (TI), Temperatura Final (TF) e o Potencial de Secagem (PS). Estes foram calculados a partir das variáveis obtidas na secagem drástica e aplicadas nas equações (Tabela 02).

### Densidade Básica

Para a determinação da densidade básica da madeira os corpos de prova utilizados foram confeccionados com dimensões de 2,0 cm de largura, 2,0 cm de espessura e 4,5 cm de comprimento, baseando-se na norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 7190/1997. Foram utilizados 10 corpos de prova para a determinação da densidade básica da madeira, onde utilizou-se o método da balança hidrostática (Equação 1).

$$d = \frac{m_0}{V_s} \quad (1)$$

Onde:

d = Densidade básica da madeira ( $g \cdot cm^{-3}$ );  $m_0$  = massa do corpo de prova a 0% de umidade (g);  $V_s$  = volume do corpo-de-prova saturado ( $cm^3$ ).

### Teor de umidade da madeira

Para determinar a umidade dos corpos de prova, utilizou-se o método gravimétrico apresentado por

Galvão e Jankowsky (1985), onde primeiramente pesaram-se os corpos-de-prova úmidos e posteriormente foram encaminhados para a estufa a  $103^\circ C \pm 2$  até atingirem massa constante. O teor de umidade foi calculado de acordo com a Equação 2:

$$U = \left( \frac{mu - ms}{mu} \right) * 100 \quad (2)$$

Onde:

U = umidade inicial (%); mu = massa úmida (g); ms = massa seca (g).

### Água na madeira

Para o cálculo da porcentagem de água na madeira, durante o processo de secagem foram utilizadas as variáveis massa úmida, massa seca e percentual de umidade da madeira. A porcentagem de água na madeira foi obtida utilizando-se os valores de massa de água na madeira e massa úmida (equação 3).

$$A = \frac{ma}{mu} * 100 \quad (3)$$

Onde:

A: porcentagem de água na madeira (%); ma: massa de água na madeira (verde, a 30% e a 5% de umidade); mu: massa úmida da madeira (g).

## Velocidade de Secagem

A velocidade de secagem foi calculada a partir da perda de massa média das amostras, dividido pelo produto do tempo médio de secagem subtraindo a perda média de área das amostras (equação 4).

$$V_s = \left( \frac{pm}{ts-pa} \right) \quad (4)$$

Onde:

$V_s$  = velocidade de secagem ( $\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ );  $pm$  = perda média de massa (g);  $ts$  = tempo de secagem (h);  $pa$  = perda média de área ( $\text{cm}^2$ ).

## Retratibilidade

Foram utilizados os mesmos corpos de prova utilizados para a determinação da densidade básica da madeira. Posteriormente a coleta de dados, foram calculadas as retrações tangencial, radial e longitudinal através da equação 5.

$$\beta_{(t,r,l)} = \frac{(L_u - L_o)}{L_u} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

$\beta$  = coeficiente de contração máxima linear (%);  $L_u$  = dimensão na condição saturada (mm);  $L_o$  = dimensão após secagem em estufa (mm).

A contração volumétrica foi obtida com a soma-tória das contrações lineares, conforme a equação 6.

$$CV = (\beta_t + \beta_r + \beta_l) \quad (6)$$

Onde:

$CV$  = contração volumétrica (%);  $\beta_t$  = coeficiente de contração máxima tangencial (%);  $\beta_r$  = coeficiente de contração máxima radial (%);  $\beta_l$  = coeficiente de contração máxima longitudinal (%);

Por fim, determinou-se o fator de anisotropia da

madeira através da equação 7.

$$A = \left( \frac{\beta_t}{\beta_r} \right) \quad (7)$$

Onde:

$A$  = fator anisotrópico;  $\beta_t$  = movimento linear tangencial;  $\beta_r$  = movimento linear radial.

## Defeitos relacionados à secagem

### Rachaduras

O defeito de secagem é uma alteração que pode ocorrer na estrutura da madeira e que dificulta seu processamento na fase seguinte.

Durante o processo de secagem na estufa, foi levado em consideração o aparecimento das rachaduras, que foram observadas e medidas com auxílio de paquímetro no decorrer da secagem, a cada 1 hora.

### Colapso

A determinação do grau de colapso foi realizada de acordo com Welling (1994). O grau de colapso foi medido pela diferença entre espessura nominal da peça e espessura com contração irregular (equação 8).

$$\Delta e = A - B \quad (8)$$

Onde:

$\Delta e$  = variação da espessura (mm);  $A$  = espessura nominal da peça (mm);  $B$  = espessura com contração irregular deformada (mm).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O valor médio que a madeira de *Pterodon emarginatus* (sucupira-branca) apresentou como densidade básica foi de  $0,80 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  (Tabela 03), sendo assim classificado como madeira pesada, segundo a classificação de Silveira et al. (2013).

Tabela 03 - Umidade Inicial, densidade e água na madeira de *Pterodon emarginatus*.

Variáveis	Umidade inicial (%)	Densidade básica ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	Porcentagem de água na madeira (%)		
			M <sub>1</sub> (Verde)	M <sub>2</sub> (U= 30%)	M <sub>3</sub> (U= 5%)
<i>P. emarginatus</i>	70,61	0,80	41,38	17,59	2,93
DP	2,07	0,06	0,71	0,21	0,04
CV (%)	2,93	8,13	1,71	1,20	1,20

Nota. M<sub>1</sub>: % de água total; M<sub>2</sub>: % de água na madeira com 30% de umidade; M<sub>3</sub>: % de água com 5 % de umidade. DP: Desvio Padrão. CV: Coeficiente de Variação.

O teor de umidade na madeira é um fator muito importante a se considerar na secagem. Observa-se na Tabela 03 que a madeira de *Pterodon emarginatus* possui um percentual de água total ( $M_1$ ) de 41,38%. O teor de água higroscópica encontrado é de 17,59% do peso total da amostra úmida e o teor de água de constituição química a um teor de 5% de umidade é de 2,93%.

Esses resultados são importantes para conhecer o teor de umidade das amostras e determinar o percentual de água que a madeira perde no decorrer da secagem. Desta forma pode-se determinar o planejamento operacional da secagem convencional, envolvendo a quantidade de energia que será utilizada, o tempo estimado, e quantidade de calor

necessário para a secagem.

O valor de densidade básica encontrado para *Pterodon emarginatus* neste estudo foi próximo do valor de 0,796 g.cm<sup>-3</sup> encontrado por Hara (2014). Silva et al. (2015) obteve 0,708 g.cm<sup>-3</sup> para madeira de *M. itauba* do Cerrado do Tocantins.

Segundo o IPT (2013) A retratibilidade é o fenômeno da variação dimensional da madeira, quando há alteração no seu teor de umidade. As variações nas dimensões das peças de madeira começam a ocorrer, quando esta perde ou ganha umidade abaixo do ponto de saturação das fibras. A tabela 04 mostra os valores médios de retração da madeira de *Pterodon emarginatus*.

Tabela 04 - Valores médios da retração total tangencial, radial, longitudinal, volumétrico e fator anisotrópico de *Pterodon emarginatus*.

Retração → 0% Seca	Retração Total (%)		
	Média (%)	DP	CV (%)
Tangencial	6,70	0,84	12,61
Radial	5,71	0,73	12,77
Longitudinal	0,27	0,22	78,87
Volumétrico	12,70	1,80	13,88
Fator Anisotrópico	1,18	0,20	18,22

Nota: CV: Coeficiente de Variação; DP: Desvio Padrão.

Observa-se na tabela 4 que a madeira de *Pterodon emarginatus* apresentou elevados coeficientes de retração. Os valores médios encontrados foram 6,70% (tangencial), 5,71% (radial), 0,27% (longitudinal) e 12,70% (volumétrico) já a média encontrada para o fator anisotrópico foi de 1,183 (Tabela 4).

Analisando os resultados médios de retração tangencial, radial, longitudinal e volumétrico para a espécie de sucupira, os mesmos se apresentam inferiores aos valores encontrados para o gênero *Eucalyptus* que é considerado de baixa estabilidade, demonstrando que a espécie de *Pterodon emarginatus* possui melhor comportamento dimensional. Torres et al. (2016) em estudo sobre caracterização físico-mecânica da Madeira de *Eucalyptus camaldulensis* obtiveram valores no sentido radial de 4,7, tangencial 6,91 e volumétrico 12,38. Em pesquisa sobre influência do tratamento térmico nos defeitos de secagem da madeira de *Hovenia dulcis* realizado por Vivian et al. (2011), os valores encontrados para os sentidos tangencial, radial, axial e volumétrico foram de 6,64%; 5,08%; 0,25% e 12,33% respectivamente. Klizke (2007) classificou a estabilidade quanto a retração volumétrica em níveis, sendo alta estabilidade quando apresentar retração inferior a 8% estabilidade média para

retração entre 8% e 10%, baixa estabilidade para aquelas entre 12% e 15% e instáveis acima de 15%. Observou-se que para o estudo a retração volumétrica apresentou-se bastante elevada para os gêneros de *Eucalyptus* caracterizando-a como sendo de baixa estabilidade dimensional. Os valores encontrados para *Pterodon emarginatus* (sucupira-branca) no presente estudo foram próximos aos valores de *Eucalyptus*, o que se pode inferir que a madeira de sucupira apresentou baixa estabilidade dimensional.

Para Logsdon et al. (2008), o fator anisotrópico é o mais importante índice para se avaliar a estabilidade dimensional da madeira, pois quanto mais próximo de 1,0 melhor será a madeira para produção de móveis, aparelhos musicais, barcos e aparelhos esportivos, considerando assim a qualidade da madeira como excelente. Dessa forma, os valores obtidos indicam que a madeira de *Pterodon emarginatus* (sucupira-branca) apresenta excelente coeficiente anisotrópico (1,18%) o que irá proporcionar menores empenamentos e rachaduras durante seu processamento. Embora o fator anisotrópico tenha se apresentado baixo, o coeficiente volumétrico foi alto, indicando que a madeira é de baixa instabilidade dimensional. Valores da mostra de determinação do grau de colapso da madeira, oriundo de

temperaturas elevadas (Tabela 05).

O colapso foi o principal defeito observado no programa de secagem, o mesmo é atribuído principalmente ao emprego de temperaturas elevadas, quanto menor a densidade e a temperatura de secagem, menor o grau de colapso (Zen, 2016). Dessa forma, quando as amostras atingiram 30% de umidade as mesmas apresentaram resultado médio de 0,45 mm o que está relacionado a altas temperaturas no início da secagem.

Tabela 05 - Variáveis de determinação de colapso na madeira de *Pterodon emarginatus* 100°C.

Variáveis	Colapso (mm)
Média	0,45
DP	0,25
CV (%)	55,77

Nota. CV: Coeficiente de Variação; DP: Desvio Padrão.

Segundo Key et al. (2000) durante a etapa de

secagem a temperatura deve ser menor que 50°C até que atinja o ponto de saturação das fibras (PSF), permitindo a rigidez da parede celular.

A madeira de *Pterodon emarginatus* (sucupira-branca) mostrou-se durante o programa de secagem com baixo grau de colapso, resultando em pequenas incidências de defeitos, o que pode ser considerado adequado, dessa forma é possível indicar um programa de secagem com maior potencial, visando reduzir o tempo de secagem (Tabela 06).

A nível industrial, caso seja empregado um programa mais suave, os pequenos defeitos podem ser minimizados, entretanto, implicará em um longo tempo de secagem e maior gasto de energia, que poderão tornar o processo inviável economicamente.

A velocidade de secagem varia de acordo com o teor de umidade da madeira, e é comumente calculada a partir da madeira com até 30 % de umidade, até 5 % de umidade e 30% a 5% de umidade (Tabela 06).

Tabela 06 - Umidade inicial, tempo de secagem e velocidade de secagem da madeira de *Pterodon emarginatus* para a secagem drástica a 100° C.

Variáveis	Umidade Inicial (%)	Tempo de Secagem (horas)			Velocidade de Secagem [g.(cm <sup>2</sup> .hora) <sup>-1</sup> ]		
		Verde até 30%	30% até 5%	Verde até 5 %	Verde até 30 %	30% até 5%	Verde até 5%
Média	70,61	7,17	5,49	13,06	0,0197	0,0147	0,0172
DP	2,07	-	-	-	0,0007	0,0003	0,0003
CV (%)	2,93	-	-	-	3,6575	2,6288	2,6288

Nota: DP: Desvio Padrão; CV: Coeficiente de Variação

O valor médio de umidade inicial das amostras no começo da secagem drástica a 100°C foi de 70,61 %. Segundo Stein (2003) a umidade inicial da madeira é o que determina a velocidade de secagem inicial, é nesta etapa que consiste a retirada de água da madeira até atingir o teor de umidade adequado que deve ser feito com o máximo de controle, tendo em vista que a madeira se torna mais suscetível a ocorrência de defeitos, podendo danificar sua estrutura anatômica, influenciar no tempo de secagem e na velocidade de secagem da madeira.

O tempo de secagem das amostras verdes com percentual até 5 % de umidade foi de 13,06 horas, valor este próximo ao encontrado para madeira de *Eucalyptus sp.* cujo valor médio foi de 14,31 horas (Barbosa et al., 2005). Madeiras mais pesadas como de *Hymenaea courbaril*, com densidades de 0,87

g.cm<sup>-3</sup> segundo Andrade (2000), e 0,813 g.cm<sup>-3</sup> para *Centrolobium tomentosum* segundo Miranda (1997), geram programas com maiores tempos de secagem, sendo estes valores próximos ao encontrado para *Pterodon emarginatus* no presente estudo.

O valor da taxa de velocidade de secagem das amostras verdes até 30% de umidade foi de 0,0197 g.(cm<sup>2</sup>.hora)<sup>-1</sup>, uma velocidade maior que o valor de 0,0147 g.(cm<sup>2</sup>.hora)<sup>-1</sup>, obtido na velocidade de secagem das amostras de 30 a 5% (Tabela 06). Andrade (2000) encontrou velocidades de secagem de 0,0195 g.(cm<sup>2</sup>.hora)<sup>-1</sup> para a espécie de tauari (*Couratari spp.*) de verde até 30% de umidade. Já para a velocidade de secagem de 30 até 5% foi encontrado valor de 0,0125 g.(cm<sup>2</sup>.hora)<sup>-1</sup> para a mesma espécie. Esses valores se dão pela facilidade de retirada da água capilar na madeira, ou seja, na primeira

velocidade de secagem que é de 100 até 30%, se dá pela facilidade com que a madeira perde água livre, porém a velocidade com que esse vapor sai da madeira ocasiona danos nas suas estruturas anatômicas tornando a mesma mais suscetível a defeitos na madeira. Após eliminação de água livre, que ocorre quando o ponto de saturação das fibras a 30% de umidade, inicia-se o processo de secagem por difusão. Neste momento o processo torna-se mais lento, necessitando de mais calor e permitindo assim

aumento da velocidade de secagem.

As médias de velocidade obtidas pelo programa de secagem foram consideradas lentas, mas é importante frisar que baixas velocidades de secagem significam redução na probabilidade da ocorrência de defeitos na madeira, Martins (1988). Com isso verificou que a taxa de secagem de *Pterodon emarginatus* é semelhante ao estudo que Andrade (2000) realizou com eucalipto que é uma espécie reconhecida de difícil secagem.

Tabela 07 - Parâmetros de temperatura inicial, temperatura final e potencial de secagem para a madeira de *Pterodon emarginatus* para a secagem drástica a 100°C.

<i>Pterodon emarginatus</i>	Temperatura inicial (100°C)	Temperatura final (°C)	Potencial de Secagem
Média	40,77	63,13	1,8
DP	0,13	0,20	0,02
CV (%)	0,33	0,31	1,17

Nota. DP: Desvio Padrão; CV: Coeficiente de Variação.

Temperatura inicial e temperatura final são a base para montar um programa de secagem, pois as mesmas determinam em qual temperatura a madeira irá entrar na câmara de secagem e qual a temperatura máxima pode atingir durante o programa.

De acordo com Klitzke (2007), o potencial de secagem (PS) definirá a dificuldade de secagem, ou seja, quanto maior seu PS mais rápido a secagem. A madeira de *Pterodon emarginatus* (sucupira-branca) apresentou um valor médio de potencial de secagem de 1,8, o que a classifica como de difícil secagem, devido ao fato de apresentar densidade básica alta e tempo de secagem demorado.

O programa de secagem se divide em quatro

partes, a primeira etapa é de aquecimento, onde não há perda de umidade por parte da madeira e se utiliza constantemente a temperatura inicial prevista no programa. A segunda etapa é a de secagem onde haverá o aumento da temperatura de acordo com o potencial de secagem estabelecido até que se atinja a temperatura final do programa, que deve coincidir com a umidade final desejada para a madeira. A terceira etapa é o condicionamento, onde será mantida a temperatura final por um longo período de tempo e a última etapa é o resfriamento, na qual a temperatura é reduzida para que a madeira mantenha a umidade de equilíbrio desejada (Tabela 08).

Tabela 08 - Programas de secagem aplicados à madeira de *Pterodon emarginatus*.

Programa Elaborado		Umidade Final 10 %			Madeira Móveis		
Fase	Umidade	TBS	TBU	UR	Um.Eq.	Tempo	PS
	Aquecimento	41	41	100	-	3	-
1	40	41	39	88	22	-	1,8
2	37	41	38	83	21	-	1,8
3	33	41	37	77	18	-	1,8
4	28	41	36	72	16	-	1,8
5	24	45	38	64	13	-	1,8
6	20	49	39	53	11	-	1,8
7	18	53	45	61	10	-	1,8
8	15	57	48	58	8	-	1,8
9	12	60	50	56	7	-	1,8
10	10	63	52	54	6	-	1,8
Condicionamento	10	63	55	65	10	6	1,8
Resfriamento	10	45	37	60	10	3	1,8

O programa de secagem da sucupira-branca (*Pterodon emarginatus*) foi dividido em 10 fases, mais condicionamento e resfriamento. A fase inicial é onde ocorre o aquecimento da madeira com uma temperatura de 41°C, somando três horas. Da fase 1 até a 10, ocorre a secagem da madeira, onde permanece por 7 horas, e a temperatura final será de 63°C, tendo potencial de secagem de 1,8. Após a secagem, foi feito o condicionamento, para aliviar as tensões de secagem ocasionadas pela madeira usando a temperatura final de 63°C. A umidade de equilíbrio desejada para essa madeira é de 10%, levando um tempo de 6 horas até atingi-la, após, fez-se o resfriamento da madeira por 3 horas, diminuindo a temperatura para 45°C, mantendo a umidade desejada.

Comparando com o programa de secagem elaborado para a espécie *Pinus hondurensis*, Andrade (2000), o potencial de secagem (PS) encontrado foi de 3,45, o que representa um percentual maior que o utilizado neste estudo. Já em programas propostos para madeira de *Eucalyptus tereticornis*, freijó (*Cordia goeldiana*) e jatobá (*Hymenaea courbaril*) obtiveram-se potencial de secagem de 1,90, 1,97 e 1,92 respectivamente, vale ressaltar que essa diferença se sobrepõe ao diferencial de densidade entre as espécies, o que leva a crer que a diferença entre *Pinus hondurensis* e *Pterodon emarginatus* (sucupira-branca) que pinus seja uma gimnosperma e sucupira uma angiosperma.

Em estudos feitos por Batista et al. (2013) com clones de eucaliptos, os autores obtiveram um potencial de secagem entre 2,0 e 2,5. Klitzke (2007) discorre que para madeiras que possuem elevados coeficientes de anisotropia, acima de 2,5, é recomendado utilizar baixos potenciais de secagem, mais próximo de 2,0.

Vale ressaltar que mais estudos precisam ser desenvolvidos a respeito de programas de secagem para espécies nativas, sobretudo *Pterodon emarginatus* (sucupira-branca) é uma excelente opção de madeira para produção de móveis.

## CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos no presente estudo, conclui-se que:

A densidade básica encontrada para madeira de *Pterodon emarginatus* é foi de 0,800 g.cm<sup>-3</sup>, considerada moderadamente pesada.

O programa de secagem é adequado para a espécie, já que os corpos de prova não apresentaram defeitos no decorrer da secagem e sua umidade foi satisfatória, entretanto, uma possível explicação para essa ausência de defeitos pode ser as dimensões utilizadas nesse estudo, mostrando assim importância de mais estudos relacionados a espécie

Em relação ao fator anisotrópico (1,18) a madeira foi considerada excelente, porém, devido à alta contração volumétrica, podem ser avaliadas como madeiras de baixa estabilidade, podendo estar sujeita a empenamentos e rachaduras no processo de secagem.

A madeira de *Pterodon emarginatus* pode ser considerada de difícil secagem, devido ao seu potencial de secagem (1,8) pois resulta em maior tempo de secagem.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte da Universidade Federal do Tocantins na realização desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, A. Indicação de programas para secagem convencional de madeiras. 2000. 72p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190/97: Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, ABNT, 1997.
- BARBOSA, C.G; LIMA, J.T.; ROSADO, S.C.S.; TRUGLIHO, P.F. Elaboração de programa de secagem para madeiras de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. Revista Cerne, Lavras, v.11, n.1, p.40-48, 2005.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Biodiversidade do cerrado e pantanal: áreas e ações prioritárias para conservação. Brasília: MMA, 2007. 540p.
- CARVALHO, A. Denominações convencionais para propriedades da madeira. In: Carvalho, A. Tecnologia das indústrias da madeira III – Na2. v.I. Lisboa. 2007.
- CINIGLIO, G. Avaliação da secagem de madeira serrada de *E. grandis* e *E. urophylla*. 1998. 69p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- HARA, M.M. Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras de madeira mediante esforço induzido por punção. Engenharia e Construção Civil, Curitiba, v.1, n.2, p.40-53, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672013000200007>.
- Instituto brasileiro de geografia e estatística (IBGE). Mapa da vegetação do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Escala 1:5.000.000.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Catálogo de Madeiras brasileiras, propriedades físicas. São Paulo- IPT, 1989.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Catálogo de Madeiras brasileiras para a construção civil. São Paulo- IPT, 2013.

- JANKOWSKY, I.P. Melhorando a eficiência dos secadores para madeira serrada. Piracicaba: Instituto de pesquisa e estudos florestais, 2000. p.13. (Circular Técnica, n. 191).
- KEEY, R.B, LANGRISH TAG, WALKER JCF. Kiln -drying of lumber. Heidelberg: Springer- Verlag, 2000.
- KLITZKE, R.J. Secagem da madeira. Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro. Suprema Gráfica e Editora Ltda, v.1, p.271-366. 2007.
- LOGSDON, N.B.; FINGER, Z.; BORGES, C.G.A. Caracterização físico-mecânica da madeira de peroba-mica, *Aspidosperma populifolium* A. DC. (Apocynaceae). Floresta, v.38, n.1, 2008.
- MARTINS, VA. Secagem de madeira serrada. Brasília: IBDF, 58p. 1988.
- MIRANDA, R.M. Avaliação da atenuação de vegetação da Mata Atlântica à radiação gama natural emitida pela superfície. SP. 1997. Dissertação (Mestrado em geociências) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Revista da Madeira. Secagem: Razões para secar a madeira. Revista da Madeira, São Paulo, n.126, 2011.
- SILVA, C.J.; VALE, A.T.; MIGUEL, E.P. Densidade básica da madeira de espécies arbóreas de Cerradão no estado de Tocantins. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v.35, n.82, p.63-75, 2015.
- SILVEIRA, L.H.C.; REZENDE, A.V.; VALE, A.T.; Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. Acta Amazônica, Manaus, v. 43, n.2, p.179-184, 2013.
- STEIN, F.R. Avaliação técnica do tempo de estocagem da madeira. 2003. 36p. Dissertação (mestrado em tecnologia de celulose e papel), Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.
- TAKESHITA, S.; Aplicação de tratamentos estabilizadores pós-secagem convencional visando a redução do potencial higroscópico da madeira. 2016. 146 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba
- TORRES, P.M.A; PAES, J.B.; NASCIMENTO, J.W.B.; BRITO, F.M.S. Caracterização Físico-Mecânica da Madeira Jovem de *Eucalyptus camaldulensis* para Aplicação na Arquitetura Rural. Floresta e ambiente, Campina Grande, v.23, n.01, p.109-117, 2016.
- VIDAURRE, GB.; CARNEIRO, ACO.; VITAL, BR.; SANTOS, RC, VALLE, MLA. Propriedades energéticas da madeira e do carvão de paricá (*Schizolobium amazonicum*). Revista Árvore, Viçosa, v.36, n.2, p.365-371, 2012.
- VIVIAN, MA, MODES, KS.; BELTRAME, R; SOUZA, JT; STANGERLIN, DM; MORAIS, WWC.; SANTINI, EJ.; Influência do tratamento térmico nos defeitos de secagem da madeira de *Hovenia dulcis* Thunb. Revista Ciência da Madeira, Pelotas, v.02, n.01, p.15-28, 2011.
- ZEN, L.R. Métodos combinados para secagem da madeira de *Eucalyptus*: pré-secagem ao ar livre com secagem em estufa convencional. 2016.106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.