



EFEITOS DA VAPORIZAÇÃO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE *Eucalyptus saligna*

LUÍS, Reinaldo Calçada Guina¹; KLITZKE, Ricardo Jorge²; ROCHA, Marcio Pereira da³

RESUMO (EFEITOS DA VAPORIZAÇÃO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE *Eucalyptus saligna*) - A alteração artificial da cor na madeira, por meio da vaporização, está sendo considerada, por muitos especialistas, como alternativa para aumentar a comercialização de espécies pouco atrativas, mas com ótimas propriedades tecnológicas. Este trabalho teve por objectivo avaliar o efeito da vaporização nas propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus saligna* por meio da vaporização. Foram inicialmente testadas duas curvas de vaporização (90°C/100% HR) por 12h e 24h seguida da secagem. Propriedades mecânicas seguiram as normas COPANT 555. Os resultados indicaram que a vaporização de 24h e 12h não causou nenhuma alteração nas propriedades mecânicas num nível de significância 5%.

Palavras Chave: Tratamento térmico, espécies exóticas.

ABSTRACT (EFFECT OF VAPORIZATION ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF *Eucalyptus saligna*) - Artificial alteration of the color in the wood, through the vaporization, is being considered, by experts, as alternative to increase the commercialization of species with little attractiveness, but with excellent technological properties. Objective was to evaluate the effect of vaporization on the mechanical properties of *Eucalyptus saligna* wood by means of vaporization. Two vaporization curves (90 ° C / 100% RH) were initially tested for 12h and 24h followed by drying. Mechanical properties followed the standards COPANT 555. The results indicated that the vaporization of 24h and 12h did not cause any change in the mechanical properties at significance 5% .

Keywords: Heat treatment, exotics species.

¹Departamento de Engenharia Florestal, Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, Universidade Eduardo Mondlane – UEM – Cidade de Maputo/Cidade de Maputo – Moçambique, reinaldosiba@gmail.com.

²Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Faculdade de Florestal, Universidade Federal do Paraná – UFPR – Curitiba/Paraná – Brasil, rkclitzke@ufpr.br

³Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Faculdade de Florestal, Universidade Federal do Paraná – UFPR – Curitiba/Paraná – Brasil, mprocha@ufpr.br

1. INTRODUÇÃO

A pouca utilização do *Eucalyptus* na indústria madeireira Moçambicana está diretamente associada as limitações próprias e inerentes as madeiras oriundas de florestas de rápido crescimento. Além deste fator, outro entrave a utilização econômica da espécie é a falta de conhecimentos tecnológicos desta matéria-prima.

O conhecimento das propriedades tecnológicas da madeira potencializa a espécie para utilização na indústria, como é o caso do *Eucalyptus saligna*, contribuindo para introduzir a espécie no mercado nacional.

A vaporização é uma técnica que permitiu o melhoramento de algumas qualidades tecnológicas do *Eucalyptus* e consiste na aplicação de vapor saturado a altas temperaturas e umidades relativas por determinado tempo na madeira. Dentre seus propósitos pode-se citar a redução dos níveis de tensões de crescimento, esterilização da madeira, aumento da permeabilidade, redução da instabilidade dimensional, redução do teor de umidade inicial antes da secagem propriamente dita, redução dos gradientes de umidade, redução do tempo de secagem, aumento da taxa de secagem e mudança da coloração (CALONEGO; SEVERO, 2006). Severo

(1998) obteve melhor resultado no que concerne às propriedades da madeira, usando no programa de secagem uma vaporização inicial, uma vaporização aos 17% de umidade para recuperação do colapso e no final da secagem para redução do gradiente de umidade.

Rozas e Tomaselli (1993) recomendam nos seus estudos a utilização de um programa de secagem para o *Eucalyptus* considerando uma vaporização inicial para facilitar a secagem, uma vaporização intermediária para recuperação do colapso e uma final para redução do gradiente de umidade.

Aguiar e Perré (2005) consideram que com a técnica, os polímeros amorfos da madeira atingem temperaturas de transição vítrea, tornando-os mais fluidos e flexíveis. Com o amolecimento da estrutura física da madeira decorrente de maior fluidez molecular há um alívio de tensões internas, o que possibilita reduzir as propriedades mecânicas (CALONEGO; SEVERO, 2005). Mas alguns estudos mostram que durante um determinado tempo e temperatura as propriedades mecânicas da madeira não alteram com a vaporização (TOMASELLI, 1977; SEVERO; TOMASELLI, 2001). Mas outros pesquisadores observaram que a determinadas temperaturas altas existem a redução em algumas propriedades

mecânicas da madeira (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1987; ESTEVES et. al., 2007; YILDIZ et al., 2002; SKOLMEN, 1967).

O tratamento térmico da madeira melhora as propriedades no geral da madeira, deste modo, aumenta a alternativa do aproveitamento na agregação de valor na madeira do *Eucalyptus*, aumentando deste modo o seu valor económico no mercado. Mas esta técnica de melhoramento da qualidade da madeira afeta as propriedades mecânicas por isso a necessidade de avaliar o efeito da vaporização nas propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith..

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta e preparação do material

A espécie estudada foi o *Eucalyptus saligna* com 15 anos de idade, proveniente da empresa MADEMAPE - Indústria Madeireira Ltda. localizada na região de Campina Grande do Sul-Paraná.

Foram selecionadas 66 tábuas tangenciais obtidas da região de transição entre o cerne e alburno das toras. Secionou-se cada tábua em 3 peças com dimensões de 25x100x700 mm (espessura x largura x comprimento), em que cada uma correspondia a tratamento T1, tratamento T2 e testemunha T.

Em cada peça, retirou-se dois tipos de amostras. Duas com dimensões de 20x20x100mm (espessura x largura x comprimento), para o cálculo da umidade inicial da peça (amostra A) e uma com dimensões de 25x100x660mm (espessura x largura x comprimento) para os tratamentos (amostra B) (Figura 1).

Pesou-se imediatamente após o seccionamento as amostra “A” numa balança de precisão de 0,01g e submetidas à secagem em estufa eléctrica a 103 ± 2 °C até peso constante. Determinou-se por meio da Equação 1 o teor de umidade inicial (TUi) de cada carga de madeira antes da vaporização através da média das duas amostras para cada tratamento e a testemunha.

$$TUi = \frac{mu - ma}{ma} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

Tui = teor de umidade inicial (%);

ma = massa anidra (g);

mu = massa úmida do (g).

Cada peça possuía 3 amostras B que foram divididas aleatoriamente em 3 lotes em razão do delineamento experimental empregado, que consistiu de inteiramente causalizados. A fim de facilitar a interpretação dos resultados, o desdobramento dos parâmetros

colorimétricos foi realizado propondo-se 3 tratamentos com 3 repetições, utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

2.2 Processo de vaporização

As amostras foram empilhadas no sentido perpendicular ao fluxo de ar da estufa sobre o carro transportador. As mesmas foram colocadas sem separação entre elas, seguindo a metodologia adotada por Carvalho (2011).

Para vaporização das amostras foram utilizados dois tempos (Tabela 1), com temperatura de 90 °C e umidade relativa próximo de 100%, sendo mantidas constantes ambas as variáveis.

Tabela 1: Tempos de vaporização, temperatura e umidade relativa dos tratamentos.

Tratamento	Temperatura (°C)	UR (%)	Tempo (horas)
1	90	100	12
2	90	100	24
Testemunha	S	S	S

S – controle sem vaporização

Os dois tratamentos (12h e 24h) foram efetuados em estufa convencional piloto do Laboratório de Secagem da UFPR, onde a diferença existente entre elas está no tempo de permanência na fase

em que a temperatura atinge 90 °C. O método foi adaptado segundo Carvalho (2011).

2.3 Processo de secagem da madeira

Após o processo de vaporização, as amostras foram secas numa estufa piloto de laboratório. As amostras foram empilhadas no centro do carrinho no sentido transversal ao fluxo de ar da estufa, sobre o carrinho transportador e separou-se as camadas por sarrafos separadores com dimensões nominais de 2,5 x 2,5 x 120cm (largura x espessura x comprimento), os quais permitiram a livre passagem do ar através da pilha.

A carga foi montada contendo 6 camadas de 11 tábuas cada (Figura 2), formando uma carga com altura de aproximadamente 30 cm. Colocou-se sobre a carga de madeira uma camada de madeira composta por tábuas secas e um anteparo de madeira para direccionar o ar somente para o interior da pilha.

O programa de secagem utilizado neste estudo foi adaptado segundo Batista (2009) (Tabela 2).

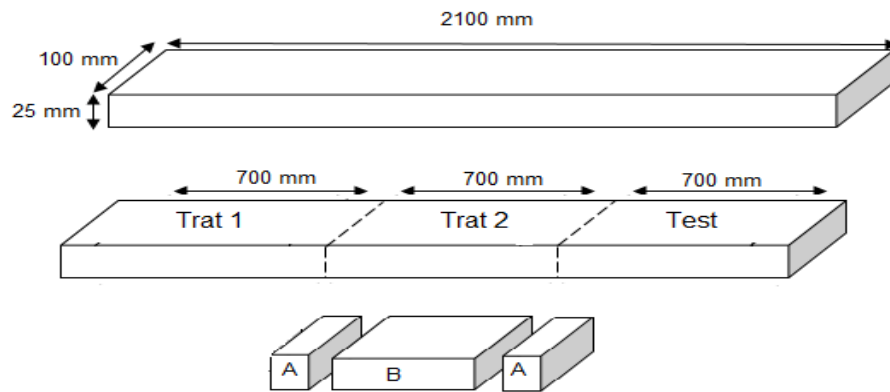


Figura 1: Amostra de madeira de *Eucalyptus saligna*. Onde: Trat 1 – Tratamento 1 (12h); Trat 2 – Tratamento 1 (24h); Test – Testemunha A – Amostras B – Amostras para cada tratamento



Figura 2: Formação da carga no carro para secagem

Tabela 2: Programa de secagem afaptado segundo Batista (2009)

Umidade da madeira (%)	Temperatura (°C)		Tempo (h)	Potencial de secagem
	Bulbo seco	Bulbo úmido		
Aquecimento	40	40	3	-
45	40	38	-	2,5
35	44	41	-	2,2
31	46	42	-	2,2
28	50	45	-	2,0
25	54	48	-	2,1
20	58	49	-	2,0
17	60	49	-	2,1
15	62	49	-	2,1
12	66	51	-	2,0
10	66	47	-	2,0
Uniformização	64	56	8	-
Condicionamento	62	56	8	-
Resfriamento	44	35	4	-

Regulou-se o fluxo de ar por meio do inversor de frequência na saída da pilha de aproximadamente 2 m/s, medida com termo-anemômetro de fio quente.

A estufa piloto é de marca alemã “Kiefer”, com automação da empresa nacional “Marrari”. Com dimensão nominal de 0,80 x 1,20 x 4,50 m, largura, altura e comprimento, respectivamente e com capacidade para aproximadamente, 1m³ de madeira serrada de uma polegada de espessura. A estufa possui um sistema de aquecimento através de resistência eléctrica, um sistema de humidificação através de uma caldeira eléctrica e um sistema de circulação de ar com capacidade de produzir um fluxo de ar contínuo e regulável através do inversor de frequência para ajuste da velocidade do ar desejada.

2.4 Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) em flexão estática

Após a secagem foram preparados no Laboratório de Usinagem da Madeira da UFPR 10 corpos de prova segundo as dimensões recomendadas pela norma COPANT. Em seguida colocou-se numa câmara climática até atingirem 12% de umidade. Para a realização do teste de

mecânicos seguiu-se a norma COPANT 555

2.5 Análise estatística

Os dados dos parâmetros colorimétricos foram analisados através do sistema ASSISTAT versão 7.7 BETA. Foi proposto a utilização da análise de variância (ANOVA), comparações múltiplas entre médias (Teste de Tukey), estatísticas gerais, visando avaliar as relações entre as diferentes variáveis estudadas. Os dados foram analisados em testes de significância de 5%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas tabelas 3 e 4 resumem-se os resultados de 30 ensaios para o cálculo do Módulo de elasticidade (MOE) e o Módulo de ruptura (MOR) com corpos de prova de madeira de *Eucalyptus saligna* (T, T1 e T2). Para cada tratamento foram selecionados 10 corpos de prova

Os resultados de MOR e MOE encontrados na flexão estática para *Eucalyptus saligna* (T, T1 e T2), não apresentam diferença significativa a um nível 5% na análise de variância.

Tabela 3: Valores médios, mínimos e máximos, desvio padrão e coeficiente de variação do MOE de T, T1 e T2.

Programa	Média (N/cm ²)	Desvio Padrão	Coef. De Variação	Valores mín. / máx.
Testemunha	1378610,64 a	196167,18	0,14	1651634,32 / 1106971,25
Tratamento 1	1208898,92 a	190375,84	0,16	1568772,99 / 960863,44
Tratamento 2	1399370,70 a	99070,25	0,07	1571393,74 / 1261087,95

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 4: Valores médios, mínimos e máximos, desvio padrão e coeficiente de variação do MOR de T, T1 e T2.

Programa	Média (N/cm ²)	Desvio Padrão	Coef. De Variação	Valores mín. / máx.
Testemunha	9396,73 a	2069,43	0,22	12310,21 / 6315,71
Tratamento 1	9649,57 a	2147,95	0,22	12823,41 / 6440,45
Tratamento 2	11366,44 a	1860,88	0,16	14249,57 / 8592,23

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Os valores médios variaram entre 1208898,92 e 1399370,70 N/cm² MOE e 9396,73 e 11366,44 para o MOR N/cm².

Severo (1998) vaporizando o *Eucalyptus dunnii* por um período de 20 horas para toras e 3 horas para as tábuas, os resultados mostraram que o módulo de elasticidade em compressão paralela às fibras e o esforço no limite proporcional em compressão perpendicular as fibras não sofreram qualquer alteração com a vaporização.

Os resultados apresentados para resistência mecânica dos tratamentos são similares a várias espécies tropicais usadas na construção civil. Pode-se citar como exemplo, o cambará (*Qualea albiflora*) que apresenta o valor de MOR para flexão estática de 107 Mpa, o cedrinho (*Erismia uncinatum*) MOR para flexão estática de 87,4 Mpa.

Segundo Mendes e Garcia (2009) o *Eucalyptus saligna* demonstra suportar mais carga do que o cambará, devido as

disponibilizações das fibras ao longo do corpo de prova. Em função do sucesso alcançado com a espécie exótica no estado de São Paulo, ele pode ser recomendado para usos estruturais em substituição ao cambará. Dessa forma contribui-se significativamente com a preservação da natureza

A resistência mecânica da madeira de eucalipto diminuiu com o tratamento térmico. Severo e Tomaselli (2004), estudaram a pré-vaporização do *Eucalyptus dunnii*, e concluiu com base nos seus resultados que as propriedades mecânicas diminuem com a pré-vaporização da madeira, com exceção do módulo de elasticidade em flexão estática que apresentou um aumento significativo com a pré-vaporização nas condições saturadas.

Barnes et al. (2007), mostraram no seu estudo o efeito da pré-vaporização do *Pinus* sp. em 30 minutos e em 2 horas na flexão estática. Os seus resultados mostram que há uma diferença significativa no que concerne ao MOR, mas em relação ao MOE não há diferença significativa nos tratamentos em relação à testemunha.

Esteves et al. (2007), para madeira de *Eucalyptus* não tratada e tratada a 200 °C por 2h, 6h e 12h, encontraram para o MOE nenhuma diferença significativa nos resultados, mas para o MOR com o

aumento da severidade do tratamento da curva os resultados diminuíam significativamente. Yildiz et al. (2002) relataram a madeira de Faia tratada a temperaturas 130-200 ° C durante 2-10 horas uma diminuição maior nas MOE, superior a 45%.

Santos (2000) refere um surpreendente aumento no MOE da madeira de eucalipto com tratamento térmico, mas nenhuma informação foi dada sobre as condições de tratamento.

É importante ressaltar que as madeiras tratadas pelo processo de modificação térmica apresentaram comprometimento de suas propriedades mecânicas, segundo Batista (2012), mas as madeiras tratadas por vaporização a 90 °C de *Eucalyptus* não sofreram nenhuma alteração mecânica ao que se refere à resistência mecânica à flexão estática.

4. CONCLUSÃO

Em função dos resultados e discussões apresentados conclui-se que o MOR e o MOE da madeira não sofreu alteração significativamente. E recomenda-se que seja uma avaliação econômica do investimento adicional da vaporização na secagem da madeira.

5. REFERÊNCIAS

AGUIAR, O.J.R.; PERRÉ, P. **Wood accelerating drying process based on its rheological properties.** US n. 6910284B2, 28 jun. 2005.

BATISTA, D.C. **Modificação térmica da madeira de *Eucalyptus grandis* em escala industrial pelo processo brasileiro VAP HolzSysteme®.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2012. 339f.

COMISIÓN PANAMERICANA DE
NORMAS TÉCNICAS. COPANT
555.1973. **Método de Ensayo de Flexión Estática.** Buenos Aires. 1973. 10p

CALONEGO, F.W.; SEVERO, E.T.D.;
CONEGLIAN, A.; BARREIROS, R.M.
Qualidade da secagem de *Eucalyptus grandis* mediante vaporização simultânea em toros e em madeira serrada. *Silva Lusitana*, Lisboa, v. 14, n. 2, p. 168-180, 2006

CALONEGO, F.W.; SEVERO, E.T.D.
Efeito da vaporização de toras na redução dos defeitos associados à tensões de crescimento de *Eucalyptus grandis*. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 431-440, 2005.