EFEITO DA VAPORIZAÇÃO NA UMIDADE DE EQUILÍBRIO E SUA IMPLICAÇÃO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii* MAID.

Elias Taylor Durgante Severo[1]
Ivan Tomaselli[2]
Ghislaine Miranda Bondueli[3]
Marcos Antônio de Rezende[4]

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da vaporização sobre a umidade de equilíbrio e sua implicação nas propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus dunnii*. Para isso de um lote de toras desta espécie separou-se cerca de 1/3 para controle, enquanto o restante foi submetido à vaporização nas condições de temperatura e umidade relativa de 100ºC e 100%, respectivamente. Após retirar-se uma prancha central destas toras, as mesmas foram transformadas em vigotas de 8 cm x 8 cm. Entre as vigotas provenientes das toras vaporizadas cerca da metade foi novamente vaporizada nas mesmas condições previamente descritas por um período de 3 horas após uma hora de aquecimento inicial. Desta forma obteve-se três níveis de comparação (controle, vaporizado em toras e madeira pré-vaporizada). Posteriormente estas vigotas foram transformadas em corpos-de-prova segundo a norma COPANT e condicionados em câmara climatizada a 21ºC e 65% de temperatura e umidade relativa, respectivamente. Os resultados mostraram uma redução significativa no teor de umidade de equilíbrio entre os níveis de vaporização empregados e madeira controle, evidenciando a necessidade da correção das propriedades mecânicas da madeira desta espécie para um mesmo teor de umidade antes de sua utilização.

Palavras-chave: *Eucalyptus dunnii*, vaporização, umidade de equilíbrio, propriedades mecânicas.

VAPORIZATION EFFECT ON THE EQUILIBRIUM MOISTURE CONTENT AND ITS IMPLICATION ON THE MECHANICAL PROPERTIES IN *Eucalyptus dunnii* WOOD.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the vaporization effects on the equilibrium moisture content and its implication on the mechanical properties of *Eucalyptus dunnii*. To do so, about two thirds of the logs were vaporized at 100°C and 100% (temperature and relative humidity respectively) for 20 hours, while the remaining logs were kept as control. From each log, a central plank with 8 cm of thickness is taken, from which small beams of 8 cm x 8 cm was taken. Half of the small beams from the vaporized logs were once again submitted to vaporization under the same previously described conditions for a period of 3 hours, thus obtaining three different levels of comparison (control, vaporized on logs and presteaming wood). Subsequently the beams were transformed in samples by the COPANT norm and conditioned in climatized kiln (21ºC/65% relative humidity) until the higorscopic equilibrium. The results showed a remarkable reduction on the equilibrium moisture content with the vaporization

[1] Elias Taylor Durgante Severo, severo@fca.unesp.br , Eng. Florestal., Professor Doutor do Departamento de Recursos Naturais, Universidade Estadual Paulista - UNESP, CEP 18.603-970, Botucatu (SP).

[2] Ivan Tomaselli, Eng. Florestal, Professor Titular do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná - UFPR, CEP 80.210-170, Curitiba (PR).

[3] Ghislaine Miranda Bondueli, Eng.ª Florestal., Professora Adjunta do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná -UFPR, CEP 80.210-170, Curitiba (PR).

[4] Marcos Antônio de Rezende, Físico, Professor Adjunto do Departamento de Física e Biofísica- Universidade Estadual Paulista- UNESP, Botucatu (SP)

conditions used, showing the necessity of the mechanical properties correction to the same moisture content.
Key words: *Eucalyptus dunnii*, vaporization, equilibrium moisture content, mechanical properties.

INTRODUÇÃO

Sabe-se que a temperatura e a umidade relativa do ar são os principais fatores que condicionam a umidade de equilíbrio da madeira. Entre a umidade da madeira, umidade relativa do ar e temperatura se estabelece um equilíbrio higroscópico de grande importância para a secagem, uma vez que por meio desta relação pode-se controlar e regular o processo de secagem.

À medida que se aumenta a temperatura de secagem, diminui-se a higroscopicidade da madeira. Segundo TOMASELLI (1981) o teor de umidade de equilíbrio diminui com o aumento da temperatura, principalmente quando consideradas temperaturas acima de 100ºC. Esta redução da higroscopicidade da madeira depende além da temperatura, do tempo que a madeira é submetida ao tratamento (KININMONTH, 1976; KOSLIK, 1973).

CALVERT (1965), em uma revisão sobre o efeito da alta temperatura de secagem em várias espécies do Canadá, evidenciou uma redução média na umidade de equilíbrio da madeira na ordem de 1% e 2%.

Para STAMM (1964) esta redução da higroscopicidade da madeira é provavelmente resultante de pequenas modificações químicas, em especial a degradação parcial das hemiceluloses. Entre os componentes da substância madeira, as hemiceluloses tem demostrado ser a menos estável, por isto, pode ser facilmente degradada.

KASS et al. (1970) estudaram o comportamento das hemiceluloses, especialmente as pentosanas. Neste estudo, os autores perceberam que o primeiro estágio da degradação é atribuído principalmente à degradação das hemiceluloses a qual resulta em direta perda de resistência. Esta perda de resistência das hemiceluloses deve-se à ausência de cristalinidade, baixa massa molecular, configuração irregular e ramificada, o que facilita a absorção de água e conseqüente degradação (FENGEL & WEGENER, 1984).

Para SKAAR (1976), em alta umidade relativa, a madeira degrada predominantemente por hidrólise ácida e a taxa de degradação neste caso é maior que a degradação térmica ou pirolítica. Na hidrólise ácida, a água faz com que sejam quebrados os grupos acetílas e com isso ocorra à formação de ácido acético responsável pela degradação da madeira (SUCHSLAND & WOODSON, 1991).

A menor umidade de equilíbrio para a madeira seca a temperaturas mais elevadas também afeta os estudos do efeito da temperatura nas propriedades mecânicas da madeira (KOLLMANN & COTÉ, 1968; MILLETT & GERHADS, 1972; SKAAR, 1976; TOMASELLI, 1981)

SKAAR (1976) comenta que cuidados devem ser tomados com relação a ser especificado se a comparação das propriedades mecânicas de uma madeira é realizada no mesmo teor de umidade ou se a comparação é feita com madeira acondicionada em um mesmo ambiente, o que logicamente significa dizer com teor de umidade diferente.

Neste artigo foi avaliado o efeito da temperatura (vaporização) na umidade de equilíbrio e sua implicação nas propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus dunnii.*

MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização do presente estudo utilizou-se toras de *Eucalyptus dunnii* com 16 anos de idade. O plantio experimental está situado a 25º20’ S e 49º14’ W, a uma altitude de 920 m, município de Colombo-PR. O clima da região, sempre úmido, com temperatura média do mês mais quente inferior a 22ºC e a do mês mais frio, superior a 10ºC, ocorrendo mais de cinco geadas anuais. O solo, de baixa fertilidade, caracteriza-se como Cambissolo A proeminente. Sob o espaçamento de 3,3 m x 2,0 m, as parcelas constituíram-se de 25 plantas com bordadura simples

A coleta do material envolveu a retirada de doze árvores de *Eucalyptus dunnii* ao acaso**,** sendo seis da procedência Urbenville e seis da procedência Dorrigo. Cada árvore,

com diâmetro entre 20 e 30 cm, proporcionou três (3) toras com 2,4 m de comprimento, sendo que desse total, uma (1) tora foi mantida como controle e as duas (2) restantes foram submetidas a tratamento de vaporização.

As toras destinadas à vaporização foram submetidas a tratamento em tanques apropriados, durante um período de 20 horas, nas condições de 100ºC e 100% de temperatura e umidade relativa, respectivamente.

Após retirar-se a prancha central (orientada radialmente), tanto das toras controle como toras vaporizadas, estas foram transformadas em vigotas de 8 cm x 8 cm x 2,4 m de espessura, largura e comprimento, respectivamente. Parte das vigotas provenientes das toras vaporizadas, de ambas as procedências, foram submetidas à nova vaporização durante 3 horas, após uma hora de aquecimento inicial nas mesmas condições anteriormente descritas. Esse procedimento permitiu obter-se vigotas controle, vigotas vaporizadas (madeira vaporizada em tora) e vigotas pré-vaporizada (madeira vaporizada em tora e vaporizada na forma de madeira serrada).

Posteriormente, as vigotas provenientes das toras controle, vaporizadas e pré-vaporizadas foram transformadas em corpos-de-prova segundo a norma COPANT e armazenados em câmara climatizada na condição de 21ºC e 65 % de umidade relativa, onde permaneceram até o equilíbrio higroscópico.

O teor de umidade de equilíbrio, entre os tratamentos empregados no estudo, foram analisados através de uma análise da variância, seguida de um teste Tukey a 5% de probabilidade de erro Para realização desta análise utilizou-se o programa estatístico denominado Statistical Analysis System (SAS) versão 6.11, fornecido pela Universidade Estadual Paulista (UNESP).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O teor de umidade de equilíbrio da madeira é um fator importante na avaliação do efeito da vaporização nas propriedades mecânicas. Segundo KOLLMANN & CÖTÉ (1968), sua importância está relacionada com o menor teor de umidade final alcançado pela madeira que foi submetida a determinado tratamento térmico.

Este comportamento realmente pôde ser verificado no presente estudo, uma vez que os corpos-de-prova vaporizados não apresentaram o mesmo teor de umidade de equilíbrio dos corpos-de-prova controle, após o condicionamento em ambiente de temperatura de 21ºC e umidade relativa de 65 %.

O teor de umidade de equilíbrio alcançado pelos corpos-de-prova após o acondicionamento em câmara climatizada são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Teor de umidade de equilíbrio da madeira após acondicionamento em câmara climatizada.

Tratamentos	Desvio padrão	Teor de umidade de equilíbrio médio (%)	Número de repetições
C	0,54	12,6 **A**	94
V	1,26	12,1 **B**	94
V+PV	0,63	11,7 **C**	92

médias seguidas por letras distintas são significativamente diferentes a 5% de probabilidade; C - corpos-de-prova controle, V - corpos-de-prova vaporizados em tora; V+PV - corpos-de-prova vaporizados em tora e pré-vaporizados na forma de vigotas.

Como se pode observar nesta Tabela 1, o teor de umidade de equilíbrio reduz com o nível de vaporização imposto à madeira. Estas reduções no teor de umidade em termos percentuais representou cerca de 4% quando se comparou madeira controle com madeira vaporizada na forma de toras e cerca de 7% quando se comparou madeira controle com madeira pré-vaporizada.

Estas variações do teor de umidade de equilíbrio são significativas para qualquer comparação entre os tratamento empregados como demonstra o resultado de uma análise da variância seguido de um teste de médias Tukey. A análise da variância e o teste de media estão representados na Tabela 1 pelas letras A, B e C.

SKAAR (1976), considerando a importância das mudanças que ocorrem no teor de umidade de equilíbrio, comenta que a avaliação do efeito da temperatura (vaporização) nas propriedades mecânicas da madeira pode ser feita de duas formas:

a) comparar as propriedades mecânicas da madeira que foi submetida a diferentes tratamentos térmicos, após acondicionamento, a um mesmo ambiente. Esta opção é considerada a melhor para avaliação prática, uma vez que a madeira quando em serviço não manterá um teor de umidade fixo, e sim estará em equilíbrio com o ambiente.

b) comparar as propriedades da madeira a um mesmo teor de umidade de equilíbrio. Esta opção é considerada como a mais apropriada do ponto de vista do mecanismo da degradação térmica da madeira. Neste caso é necessário ajustar os valores calculados para um mesmo teor de umidade.

Após análise criteriosa de ambas as possibilidades optou-se pela utilização da segunda condição, ou seja, corrigir as propriedades mecânicas para um mesmo teor de umidade.

Com a correção dessas propriedades acredita-se evitar que qualquer perda de resistência, resultante da vaporização (degradação), seja de alguma forma compensada pela elevação da resistência, decorrente do menor teor de umidade final, alcançado pela madeira após a climatização.

Para corrigir as propriedades mecânicas da madeira para 12% de umidade utilizou-se a equação (1) proposta pelo U.S. FOREST PRODUCTS LABORATORY (1955).

$$\log x_{12} = \log x_v + \left(\frac{TU_{psf} - 12}{TU_{psf} - Tu_t} \right) \log \left(\frac{x_t}{x_v} \right) \qquad (1)$$

onde:

log - logaritmo na base 10;
x_{12} - valor da propriedade a 12% de teor de umidade;
x_v -valor da propriedade obtido no ensaio em condição verde (teor de umidade igual ou superior ao PSF);
x_t -valor da propriedade obtido no ensaio a um teor de umidade t;
TU_t - teor de umidade correspondente ao ensaio , %;
TU_{psf} - teor de umidade no ponto de saturação das fibras (no caso de não conhecer se o PSF da espécie pode-se usar o valor 25);
12 - teor de umidade de 12%.

CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO

Com base nos resultados obtidos neste estudo pode concluir:

a) O teor de umidade de equilíbrio reduz de forma significativa com a vaporização da madeira.

b) Levando-se em consideração o efeito da vaporização na umidade de equilíbrio da madeira, recomenda-se corrigir as propriedades mecânicas para um mesmo teor de umidade. Com a correção dessas propriedades acredita-se evitar que qualquer perda de resistência, resultante da vaporização (degradação), seja de alguma

forma compensada pela elevação da resistência, decorrente do menor teor de umidade final alcançado pela madeira após a climatização.

BIBLIOGRAFIA CITADA

CALVERT, W. W. High-temperature kiln drying of Eastern Canadian species **Can. wood Prod. Ind**. 5 (7) 34-39, 1965.

COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS - COPANT. Maderas: metodo de ensayo de flexion estatico. COPANT 555, 1973.

COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS - COPANT. Maderas: metodo de determinação del cizalhamento paralelo al grano. COPANT 463, 1972.

COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS-COPANT. Maderas: método de determinacion de la compresión axial a paralela al grana. COPANT 464, 1972.

COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS-COPANT. Maderas: método de determinacion de la compresión perpendicular al grana. COPANT 466, 1972.

FENGEL, D., WEGENER, G. **Wood chemistry, ultrastructure reactions walter de gruyter**. Berlin, 1984. 612p.

KASS, A.; WANGAARD, F.; SCHROEDER. Chemical degradation of wood: The relationship between stregth retention and pentosan content. **Wood and Fiber** 2 (1): 31-39, 1970.

KININMONTH, J. A. Effects of timbers drying temperature on subsequente moisture and dimensional changes, **New Zeland J. For. Sci.** 6 (1): 101-107. 1976.

KOLLMANN, F.F.P., COTÉ, W.A. **Principles of wood science and technology solid wood.** New York: Springer, v.1, 1968. 592p.

KOZLIK, C. J. Effect of Kiln conditions on the dimensional stability of Douglas-Fir and western Hemlock. **For. Prod. J**. 23 (9): 85-92, 1973.

MILLETT, M.; GERHADS, C. Accelerated aging, residual weight and flexural properties of wood heated in air at 115ºC to 175º; **Wood Science** 4 (4): 193-201, 1972.

SKAAR, C. Effect of high temperature on the rate of degradation and reduction of hygroscopicity of wood. In: Res. conf. on High Temperature Drying Effects on Mechanical Properties of softwood lumber. USDA. F.P.L. Madison**, Proceedings**. Madison Wisc. 1976

STAMM, A. J. **Wood and cellulose science**. New York: Ronald Press, 1964. 549p.

SUCHSLAND, O.; WOODSON, G. E. Fiberboard manufacturing pratices in the United States, Madison: **Forest Products Research Society**, 1991, 263p.

TOMASELLI, I. **Aspectos físicos de secagem de madeira de** *Pinus elliottii* **Engelm. acima de 100ºC**. Curitiba, 1981. Tese (Professor Titular), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

U.S. FOREST PRODUCTS LABORATORY**. Wood handbook - wood as an engineering materia** Washington: U.S. Department of Agriculture, 1955. 528p.