

Efeito do tratamento de vaporização em toras e madeira serrada de *Eucalyptus dunnii* sobre a flexão estática

ELIAS TAYLOR DURGANTE SEVERO ⁽¹⁾

IVAN TOMASELLI ⁽²⁾

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da vaporização sobre as propriedades de flexão estática (módulo de elasticidade, tensão no limite proporcional e módulo de ruptura) em toras e madeira serrada de duas procedências de *Eucalyptus dunnii*. Os ensaios mecânicos foram realizados segundo a norma COPANT em duas condições de umidade: saturada e climatizada (12%). Para isso, aproximadamente dois terços das toras, com diâmetro entre 20 – 30 cm, foram vaporizadas à 100°C e 100% de umidade relativa durante 20 horas, enquanto as demais toras foram mantidas como controle. De cada tora foi retirada uma prancha central orientada radialmente de 8 cm de espessura das quais se retiraram vigotas de 8 cm x 8 cm. Metade das vigotas provenientes de toras vaporizadas foram novamente submetidas a vaporização nas mesmas condições anteriormente descritas por um período de 3 horas, obtendo-se desta forma três níveis de comparação (controle, vaporizado em toras e madeira pré-vaporizada). Os resultados mostraram uma redução significativa na tensão no limite proporcional e módulo de ruptura com a vaporização nas duas condições e procedências de *Eucalyptus dunnii* utilizadas. Por outro lado, o módulo de elasticidade não alterou-se na condição climatizada e demonstrou um aumento significativo na condição saturada em ambas as procedências utilizadas.

Palavras-chave: *Eucalyptus dunnii*, Vaporização, Flexão estática

ABSTRACT

Effect of vaporization treatment in logs and saw timber of *Eucalyptus dunnii* on the static bending. The aim of this study was to evaluate

¹ Engenheiro Florestal, Dr., Professor Doutor do Departamento de Recursos Naturais, Universidade Estadual Paulista, CEP 18603-970, Botucatu (SP).

² Engenheiro Florestal, Dr., Professor Titular do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, CEP 80.210-170, Curitiba (PR).

the vaporization effects on the static bending properties (modulus of elasticity, stress at limit of proportionality and modulus of rupture) on logs and sawn wood of two sources of *Eucalyptus dunnii*. The mechanical attempts were performed under the *COPANT* standards on two humidity conditions: saturated and acclimatized (12%). To do so, about two thirds of the logs, with a diameter between 20-30 cm, were vaporized at 100° C and 100% of relative humidity for 20 hours, while the remaining logs were kept as control. From each log, a central plank radially directed with 8 cm of thickness was taken, from which small beams of 8 cm x 8 cm were 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). The results showed a remarkable reduction on the stress at limit of proportionality and modulus of rupture with the vaporization on the two conditions and sources of *Eucalyptus dunnii* used. On the other hand, the modulus of elasticity did not change on the acclimatized condition and demonstrated a remarkable increase on the saturated condition on both used sources.

Key words: *Eucalyptus dunnii*, Vaporization, Static bending

INTRODUÇÃO

Pelas suas características físico-mecânicas, a madeira do eucalipto se apresenta como uma exequível possibilidade de substituição de espécies nativas consagradas em seus múltiplos usos, podendo contribuir significativamente para o suprimento da demanda interna e externa de madeira serrada. Entretanto, até o momento, a utilização em larga escala é restrita a produção de pasta para fabricação de papel, chapas de fibra e partículas e carvão vegetal. O seu emprego para outros fins tem causado frustrações durante o processamento da madeira devido ao aparecimento de inúmeros defeitos que conduzem a consideráveis perdas de matéria prima e conseqüente econômicas.

Segundo PONCE (1995), a produção de madeira serrada de eucaliptos no Brasil situa-se em torno de 50.000 m³, ou seja apenas 0,25% da produção nacional de madeira serrada.

A madeira de eucaliptos apresenta características que limitam o seu uso na fabricação de diversos produtos, entre estes destacam-se as tensões de crescimento, elevada retratibilidade, colapso durante a secagem e fibras reversas. Contudo, esses inconvenientes podem ser minimizados através de técnicas adequadas.

Alguns autores comentam sobre a possibilidade da liberação das tensões de crescimento através do relaxamento das deformações por meio da aplicação simultânea de calor e umidade, promovendo assim uma nova

acomodação das células ou de componentes das paredes celulares (CHAFE, 1979; KUBLER, 1987). Entretanto, deve-se considerar que a aplicação de temperatura de forma indiscriminada pode causar degradação e conseqüente perda de resistência na madeira.

Vários autores têm estudado o efeito da temperatura sobre as propriedades mecânicas da madeira (MACLEAN, 1954; CALVERT, 1965; CECH, 1973; HANN, 1965; HARTLEY, 1975; SALAMON, 1969; TOMASELLI, 1977; ROSEN & LAURIE, 1983; GERHARDS, 1982, HILLIS, 1975; KOLLMAN & CÔTÉ, 1968; STAMM, 1964; JARMUTOWSKA & MATEJAK, 1978; BODIG & JAYNE 1982; FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1955; 1987). Porém os resultados obtidos até o momento mostram-se contraditórios em alguns aspectos, principalmente no que diz respeito aos benefícios ou prejuízos causados pela temperatura.

Em geral, as propriedades mecânicas da madeira reduzem quando aquecidas e aumentam quando resfriadas (COMBEN, 1955; BODIG & JAYNE, 1982; U.S. FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1987), sendo que para um mesmo teor de umidade e abaixo de 150°C, as propriedades mecânicas são aproximadamente lineares em relação a temperatura.

Para BODIG & JAYNE (1982), um aumento da temperatura da madeira é refletido de duas formas: a) mudanças transitórias no nível interno de energia, b) reorganização estrutural permanente.

A primeira alteração resulta em mudanças transitórias nas propriedades mecânicas, enquanto a segunda causa efeito permanente. Segundo os autores, devido a variabilidade nas propriedades dos compostos, é difícil distinguir entre os dois efeitos até que a temperatura esteja bem acima das condições normais de uso.

Segundo o U.S. FOREST PRODUCTS LABORATORY (1987), em temperaturas abaixo de 100°C, o efeito imediato é essencialmente reversível, isto é, a propriedade irá retornar ao valor na temperatura original se a mudança de temperatura for rápida.

Em adição ao efeito reversível, ocorre um efeito irreversível em temperaturas elevadas que é devido a degradação da substância madeira, a qual resulta em perda de peso e resistência (STAMM, 1956,1964; SALAMON, 1969; KASS et al., 1970; SKAAR, 1976; ILLSTON et al., 1979; BODIG & JAYNE, 1982; FENGEL & WEGENER, 1984; U.S. FOREST PRODUCTS LABORATORY 1987; SUCHSLAND & WOODSON, 1991).

Entre os componentes da substância madeira, as hemiceluloses tem demonstrado ser os menos estáveis, 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).

A celulose também mostrou redução significativa do grau de polimerização nos primeiros estágios da degradação, mas em menor grau que as hemiceluloses. THOMPSON (1969) salienta que em alguns casos, a celulose pode ser tão facilmente degradada quanto as hemiceluloses, enquanto que em outros, a celulose demonstrou ser mais estável. Já a lignina demonstrou ser mais estável que as hemiceluloses e a celulose, sendo que suas cadeias somente são quebradas em temperatura variando de 150°C-300°C (FENGEL & WEGENER, 1984).

Entretanto a taxa de degradação e perda de resistência da madeira parece não depender somente da espécie, mas também do tempo de exposição, temperatura e meio de aquecimento.

MILLET & GERHARDS (1972), concluíram que existe uma relação linear entre o tempo e a recíproca temperatura de tratamento para determinada perda de resistência. A exemplo, MACLEAN (1955) mostrou que à uma temperatura de 175°C, a madeira requer cerca de 10 horas para perder 10% de resistência à flexão, enquanto que a 115°C a madeira requer cerca de 35 dias para perder os mesmos 10%.

Parece existir também uma relação entre a perda de peso e a perda de resistência quando a madeira é exposta à alta temperatura. Contudo, esta relação requer cuidadosa consideração, uma vez que esta relação pode não ser aplicável no primeiro estágio da degradação da madeira. A razão é que a madeira não necessariamente degrada somente por reação de desidratação, a qual resulta em perda de peso, mas também à reação de hidrólise. Neste caso, a degradação não causa perda de peso desde que as moléculas de açúcar não sejam lixiviadas da madeira.

Segundo 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 seja quebrado os grupos acetílicos e com isso ocorra a formação de ácido acético responsável pela degradação da madeira (SUCHSLAND & WOODSON, 1991). Para FENGEL & WEGENER (1984), a hidrólise ácida é bastante dependente do PH e, se a concentração de ácido for alta, sua velocidade torna-se apreciável, mesmo em temperaturas inferiores a 100°C.

STAMM (1964) e WANGAARD (1950), comentam ainda que o comportamento da degradação da madeira é diferenciado conforme o meio de aquecimento utilizado. Na presença de vapor, a madeira pode ser mais rapidamente degradada que na presença de água líquida, que por sua vez é maior que a degradação em função apenas da temperatura. Isso ocorre porque as hemiceluloses e celulose são despolimerizadas via hidrólise na presença da água, sendo esta a principal causa da perda de resistência (THOMPSON, 1969). Contudo, muita água pode retardar a reação de hidrólise pois os componentes

da madeira requerem somente uma certa quantia de água para serem hidrolizadas. Excesso de água causa diluição da concentração de ácido e reduz a disponibilidade de oxigênio no ar o que resulta em retardamento da reação. Independentemente, ainda do meio de aquecimento, a aplicação do calor à madeira é mais acentuado em peças de pequenas dimensões do que em grandes peças enquanto que aplicações repetidas de temperatura proporcionam um efeito aditivo (ILLSTON et al., 1979).

Neste artigo, apresentam-se os resultados do estudo que teve como objetivo viabilizar a utilização do *Eucalyptus dunnii* como madeira serrada. Para isso foi avaliado o efeito da vaporização das toras e madeira serrada sobre o módulo de elasticidade (MOR), tensão no limite proporcional (TLP) e módulo de ruptura (MOR) em flexão estática.

MATERIAL E MÉTODOS

Para realização do presente estudo foram utilizadas toras de *Eucalyptus dunnii* das procedências Urbenville e Dorriço. O plantio está situado a 25°20' S e 49°14' 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 22°C e a do mês mais frio, superior a 10°C, ocorrendo mais de cinco geadas anuais. O solo, de baixa fertilidade, caracteriza-se como Cambissolo A proeminente. As árvores, de ambas as procedências, caracterizam-se por apresentarem fustes de boa conformação, retilíneos, copas distribuídas de forma centrada, desgalhamento normal e perfeita sanidade.

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

O planejamento para utilização das árvores obedeceu o princípio do sortimento ou uso múltiplo onde as toras de maior diâmetro são destinadas a laminação, as toras de diâmetro entre 20-30 cm são utilizadas como madeira serrada e o restante com diâmetro inferior a 20 cm é utilizado para chapas de composição, celulose e papel, energia, etc. Entretanto, apesar do planejamento para utilização destas árvores ser integral, esse estudo deteve-se somente nas toras destinadas a utilização como madeira serrada.

Os tratamentos para alívio das tensões de crescimento constituíram-se em anelamento em todas as árvores e toras e posteriormente, em vaporização de parte das toras envolvidas no estudo. O primeiro anelamento foi realizado quando a árvore ainda encontrava-se em pé, sendo este realizado com motosserra a uma profundidade de 1/3 do raio da árvore, deixando-se uma distância de 20 - 30 cm entre o anelamento e o corte transversal da árvore. O segundo foi realizado durante o dimensionamento das toras, novamente

realizado com motosserra na mesma profundidade, porém neste caso deixando-se uma distância de 15 cm de cada extremo da tora.

Cada árvore, com diâmetro entre 20-30 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 a vaporização foram submetidas a tratamento em tanques apropriados, durante um período de 20 horas, nas condições de 100°C e 100% de umidade relativa.

Após retirar-se a prancha central (orientada radialmente) tanto das toras controle como toras vaporizadas estas foram transformadas em vigotas de 80 mm x 80 mm x 2400 mm de espessura, largura e comprimento respectivamente. Parte das vigotas provenientes das toras vaporizadas de ambas as procedências foram submetidas a nova vaporização durante 3 horas após uma hora de aquecimento inicial nas mesmas condições anteriormente descritas. Esse procedimento permitiu obter-se vigotas controle (madeira não vaporizadas), vigotas vaporizadas (madeira vaporizada em tora) e vigotas pré-vaporizadas (madeira vaporizada em tora e pré-vaporizada).

Estas vaporizações tiveram o intuito de aliviar as tensões de crescimento inicialmente nas toras e posteriormente na madeira serrada, procurando-se assim melhorar a qualidade da madeira serrada desta espécie (KUBLER, 1987, SEVERO, 1998).

Para determinação da flexão estática em madeira de *Eucalyptus dunnii*, transformou-se as vigotas provenientes de toras controle, vaporizadas e pré-vaporizadas em corpos de prova segundo a norma COPANT, conforme as especificações da Tabela 1.

Tabela 1 - Dimensões dos corpos de prova e condições de ensaio
Table 1 - Dimensions of the proof units and test conditions

| Ensaio em Flexão Estática | Norma | Dimensão dos corpos de prova (cm) | Condição de ensaio | Velocidade de ensaio mm/min |
|--|------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| . Módulo de Elasticidade (MOE) . Tensão no Limite Proporcional (TLP) . Módulo de Ruptura (MOR) | COPANT 555 | 2,0 x 2,0 x 30 | saturada climatizada | 1,0 |

Uma parte dos corpos de prova proveniente das vigotas controle, vaporizadas e pré-vaporizadas destinados a determinação das propriedades mecânicas na condição saturada foram submersos em água até a completa saturação, sendo a seguir ensaiados. Enquanto que a outra parte dos corpos de

prova destinados a ensaios na condição climatizada foram armazenados em câmara climatizada na condição de 21°C e 65 % de umidade relativa, onde permaneceram até o equilíbrio higroscópico, sendo então da mesma forma ensaiados.

Após os corpos de prova atingirem o equilíbrio higroscópico foi necessário corrigir as propriedades mecânicas para 12%. Para correção destas propriedades foi utilizada a equação (1).

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

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%.

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

Para determinação das propriedades mecânicas utilizou-se uma máquina universal de ensaios marca Tinius Olsen com capacidade para 30.000 kg e equipamentos acessórios tais como aparatos e suportes necessários a cada ensaio.

Uma unidade de aquisição de dados interligando a máquina de ensaio à um microcomputador propiciou a obtenção da carga até a ruptura e sua respectiva deformação, quando necessária, para as propriedades ensaiadas.

De posse dos arquivos de dados dos ensaios confeccionou-se os diagramas de carga-deformação e determinou-se o módulo de elasticidade (MOE), tensão no limite proporcional (TLP) e o módulo de ruptura (MOR) em flexão estática pelas equações (2), (3) e (4) respectivamente.

$$MOE = \frac{1}{4} (P \cdot L^3) / (d \cdot b \cdot h^3) \quad (2)$$

$$TLP = \frac{3}{2} (P \cdot L) / (b \cdot h^2) \quad (3)$$

$$MOR = \frac{3}{2} (P \cdot L) / (b \cdot h^2) \quad (4)$$

onde:

MOE = módulo de elasticidade, kgf/cm²;

TLP = tensão no limite proporcional, kgf/cm²;

MOR = módulo de ruptura, kgf/cm²;

P = carga máxima, kgf;

P' = carga no limite proporcional, kgf;

L = comprimento do vão, cm;

d = deformação correspondente à carga no limite proporcional, cm;

h = altura do corpo de prova, cm;

b = largura do corpo de prova, cm;

Para análise estatística das propriedades mecânicas em flexão estática de *Eucalyptus dunnii* levou-se em consideração o efeito do tratamento de vaporização dentro das procedências na condição saturada, e o efeito do tratamento de vaporização dentro das procedências na condição climatizada.

Para obtenção desses resultados realizou-se uma análise da variância e posteriormente um teste de médias Tukey, conduzido a um nível de 95% de probabilidade para identificar médias que diferiram entre si.

Para realização da análise da variância utilizou-se o programa estatístico denominado Statistical Analysis System (SAS) versão 6.11 fornecido pela Universidade Estadual Paulista (UNESP).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos para o módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR) e tensão no limite proporcional (TLP) para a condição saturada e condição climatizada (corrigidos para 12% de umidade) são apresentados nas tabelas 2 e 3 respectivamente.

Conforme pode ser observado nas tabelas 2 e 3, o módulo de ruptura (MOR) e a tensão no limite proporcional (TLP) apresentaram reduções significativas, com a pré-vaporização (2º vaporização) em ambas as procedências de *Eucalyptus dunnii* e condições de umidade empregadas. Uma melhor visualização do efeito da vaporização no MOR e TLP pode ser observado nas Figuras 1 e 2.

Estas reduções além de significativas são importantes do ponto de vista prático da utilização da madeira. A magnitude dessas reduções atingiu em média 11,5% para o MOR e 27% para a TLP quando compara-se a madeira controle com pré-vaporizada.

Tabela 2 - Módulo de ruptura, tensão no limite proporcional e módulo de elasticidade em flexão estática - Condição saturada

Table 2 - Modulus of rupture, stress at limit of proportionality and modulus of elasticity in static bending - Saturated condition

| P | T | Condição saturada | | | | | | |
|------------|------|-------------------|------------------------------------|-----|------------------------------------|----|--|----|
| | | n | MOR kg/cm ² (MPa) | S | TLP kg/cm ² (MPa) | S | MOE kg/cm ² x10 ³ (Mpa x 10 ³) | S |
| Urbenville | c | 24 | 702,6 AB (68,9) | 87 | 500,8 A (49,1) | 67 | 109,7 A (10,8) | 32 |
| | v | 20 | 743,9 A (73,0) | 49 | 501,5 A (49,2) | 52 | 132,4 A (13,0) | 52 |
| | v+pv | 28 | 663,7 B (65,1) | 110 | 367,7 B (36,1) | 66 | 155,9 B (15,3) | 36 |
| Dorriogo | c | 24 | 756,9 A (74,3) | 80 | 530,0 A (52,0) | 85 | 109,2 A (10,7) | 30 |
| | v | 26 | 781,8 A (76,7) | 68 | 538,6 A (52,8) | 41 | 130,9 AB (12,8) | 34 |
| | v+pv | 30 | 688,2 B (67,5) | 79 | 375,7 B (36,9) | 57 | 137,4 B (13,5) | 34 |

*- médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 95% de probabilidade, P – procedências, T - tratamentos; c - controle; v - vaporizada; v+pv - madeira vaporizada em tora e pré-vaporizada na forma de vigotas; n - número de repetições; S - desvio padrão; MOR - módulo de ruptura; TLP - tensão no limite proporcional; MOE - módulo de elasticidade.

Tabela 3 - Módulo de ruptura, tensão no limite proporcional e módulo de elasticidade em flexão estática - Condição climatizada

Table 3 - Modulus of rupture, stress at limit of proportionality and modulus of elasticity in static bending - Acclimatized condition

| P | T | Condição climatizada | | | | | | |
|------------|------|----------------------|------------------------------------|-----|------------------------------------|-----|--|----|
| | | N | MOR kg/cm ² (MPa) | S | TLP kg/cm ² (MPa) | S | MOE kg/cm ² x10 ³ (Mpa x 10 ³) | S |
| Urbenville | C | 49 | 1052,0 A (103,2) | 124 | 824,7 A (80,9) | 107 | 181,8 A (17,8) | 29 |
| | v | 47 | 1059,1 A (103,9) | 162 | 797,9 A (78,3) | 157 | 181,3 AB (17,8) | 33 |
| | v+pv | 50 | 903,8 B (88,7) | 105 | 642,8 B (63,1) | 86 | 196,9 B (19,3) | 38 |
| Dorriogo | c | 46 | 1054,5 A (103,4) | 114 | 864,4 A (84,8) | 104 | 184,7 A (18,1) | 33 |
| | v | 44 | 1037,2 A (101,7) | 124 | 806,6 B (79,1) | 136 | 180,9 A (17,7) | 25 |
| | v+pv | 55 | 872,2 B (85,7) | 102 | 613,1 C (60,1) | 77 | 183,3 A (18,0) | 33 |

*- médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 95% de probabilidade, P – procedências, T - tratamentos; c - controle; v - vaporizada; v+pv - madeira vaporizada em tora e pré-vaporizada na forma de vigotas; n - número de repetições; S - desvio padrão; MOR - módulo de ruptura; TLP - tensão no limite proporcional; MOE - módulo de elasticidade.

Figura 1 - Efeito dos tratamentos de vaporização no módulo de elasticidade (MOE $\times 10^{-3}$), tensão no limite proporcional (TLP) e módulo de ruptura (MOR) - Condição saturada
 Figure 1 - Effect of vaporization on the modulus of elasticity, stress at limit of proportionality and modulus of rupture – Saturated condition

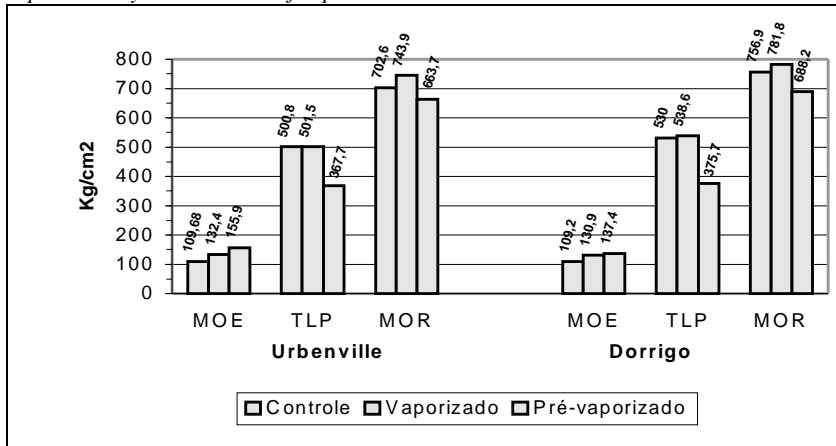
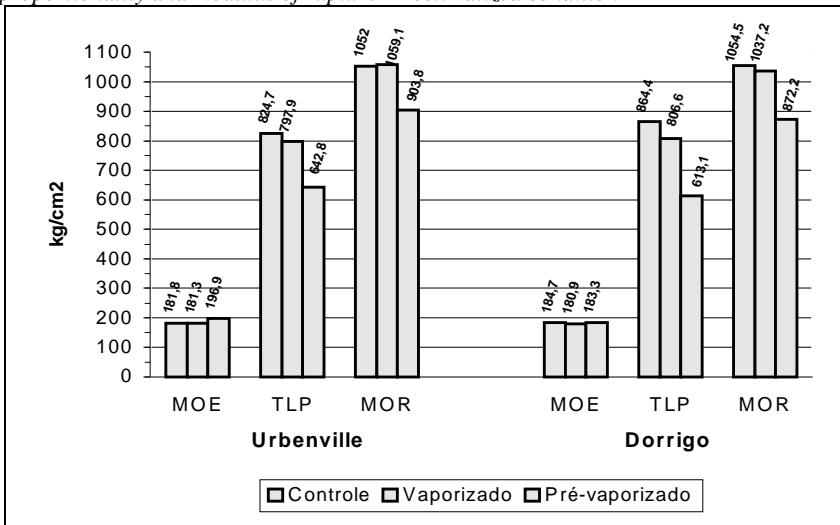


Figura 2 - Efeito dos tratamentos de vaporização no módulo de elasticidade (MOE $\times 10^{-3}$), tensão no limite proporcional (TLP) e módulo de ruptura (MOR) - Condição climatizada
 Figure 2 - Effect of vaporization on the modulus of elasticity, stress at limit of proportionality and modulus of rupture - Acclimatized condition



Resultados obtidos a partir da literatura considerando o efeito da temperatura de secagem nas propriedades mecânicas indicam perdas de resistência da ordem de 4 –10% (MACLEAN, 1953, 1954, 1956; KOZLIK, 1976, SALAMON, 1963, 1973; TOMASELLI, 1977). Porém estudos conduzidos em condições que aproximam-se mais da realidade do presente estudo indicam resultados muitos semelhantes. ROSEN & LAURIE (1983) mostraram que a secagem em vapor saturado à uma temperatura de 125°C proporcionou uma redução de 8% no MOR e 15% na TLP. Enquanto que estudo semelhante conduzido por ROSEN & BODKIN (1981) mostram reduções de cerca de 16% no MOR e 13% na TLP.

Entre os fatores que devem ter contribuído para a magnitude destes valores está o processo de degradação sofrido pela madeira. Segundo SKAAR (1976), em ambientes de alta umidade e calor à degradação ocorre predominantemente por hidrólise ácida, sendo que a taxa de degradação neste caso é maior que a degradação térmica ou pirolítica. A hidrólise ácida faz com que sejam quebrados os grupos acetilas e com isso ocorra a formação de ácido acético, responsável pela degradação da madeira (SUCHSLAND & WOODSON, 1991)

Existe ainda a possibilidade de que parte da perda de resistência seja devido a presença do colapso, e conseqüente formação de fendas internas (favo de mel).

Observa-se ainda nestas tabelas que o módulo de elasticidade (MOE) apresenta comportamento diferenciado das demais propriedades avaliadas ou seja, a pré-vaporização proporcionou um aumento significativo nesta propriedade em ambas as procedências de *Eucalyptus dunnii* na condição saturada, enquanto que na condição climatizada não houve alteração significativa no MOE. Uma melhor visualização do efeito da vaporização no MOE pode ser observada nas Figuras 1 e 2.

Estudos conduzidos por KEYWERTH (1952); LADELL (1956); PRATT (1986); SCHNEIDER (1973), KIKATA (1995), em comunicação pessoal, evidenciam aumento no MOE com o emprego da temperatura, enquanto que outros estudos conduzidos por COMBEM (1955); CECH & HUFFMAN (1974); CHRISTENSEN & GOUGH (1975); TOMASELLI (1977); MILLETT & GERHARDS (1972), não demonstram qualquer alteração no MOE com a temperatura

Entre as possibilidades levantadas para explicar o aumento do módulo de elasticidade junto a literatura estão:

a) O rearrançamento dos componentes da madeira devido a plasticização durante as vaporizações;

b) Eliminação de grande parte dos extrativos solúveis em água, o que ocasionaria sem dúvida a aproximação das micelas umas das outras, tornando conseqüentemente a madeira mais rígida.

Estudos conduzidos por KIKATA (1995), em comunicação pessoal, realmente confirmam que a madeira vaporizada torna-se mais rígida. Em seu estudo, o autor observou que a madeira de *Eucalyptus rubida* após ser submetida a vaporização por 3 horas nas temperaturas de 140°C, 110°C e 90°C reduziu sua taxa de curvatura (vaporizada/controle) para 0,01, 0,39 e 0,49 respectivamente nestas temperaturas.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no estudo pode-se concluir que, com exceção do módulo de elasticidade em flexão estática que apresentam aumento significativo com a pré-vaporização nas condições saturadas, as demais propriedades mecânicas reduziram com a pré-vaporização da madeira ou até mesmo em alguns casos isolados com a vaporização das toras. Portanto, cuidados devem ser tomados quando da utilização de madeira de *Eucalyptus dunnii* que tenha sido submetida a processo de vaporização em tora, e posteriormente pré-vaporizada em uma fase preliminar a secagem. Esta perda de resistência é importante principalmente no que se refere a uso estrutural da madeira e portanto, deve ser levada em consideração durante o dimensionamento das peças.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- BODIG, J., JAYNE, B.A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York, Van Nostrand Reinhold Co., 1982. 712p.
- CALVERT, W. W. High-temperature kiln drying of Eastern Canadian species **Can. wood Prod. Ind.** 5 (7) 34-39, 1965.
- CECH, M.Y. The status of high-temperature kiln drying in Eastern Canada. **Can. For. Ind.**, v.93, n.8, p.63-71, 1973.
- CECH, M.Y.; HUFFMAN. High-temperature drying of mixed spruce, Jack pine, and balsam fir. **Can. For. Dep. Environment**. Publ. N. 1337. 15p. 1974.
- CHAFE, S. C. Growth stresses in trees. **Australian For. Res.**, v.9, p.203-223, 1979.
- CHRISTENSEN, F.J.; GOUGH, D.K. Control of drying distortion in framing from young plantation slash pine. CSIRO. **Div. Buid. Res.**, Rpt n. 44. 1975.

- COMBEN, A. J. The effect of high temperature kiln drying on the strength properties of timber. **Wood**. v.20, n.8, p.311-313, 1955.
- COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **Maderas: método de ensayo de flexión estatico**. COPANT 555, 1973.
- FENGEL, D., WEGENER, G. **Wood chemistry, ultrastructure reactions walter de gruyter**. Berlin, 1984. 612p.
- GERHARDS, C. C. Effect of moisture content and temperature on the mechanical properties of wood: and analysis of imediate effects. **Wood and fibre**, v.14, n.1, p.4-36, 1982.
- HANN, R. A. **An investigation of drying of wood at temperatures above 100 degrees centigrade..** Tese. Doutorado (Ph.D) The University of North Carolina, 203p., 1965.
- HARTLEY, J. Aspects of the high temperature drying - prone juvenile softwood (Unpublished paper). 1975.
- HILLIS, W. E. The role of wood characteristics in high temperature drying. **J. Inst. Wood Sci.:** v.7, n.6, p.60-67. 1975.
- JARMUTOWSKA, A., MATEJAK, M. On the properties of pine wood after several years exposure to high temperature. **Holztechnologie**, v.19, n.4, p.206-208, 1978.
- KASS, A.; WANGAARD, F.; SCHROEDER. Chemical degradation of wood: The relationship between stregh retention and pentosan content. **Wood and Fiber** 2 (1): 31-39, 1970.
- KEYLWERT, R. High temperature drying installations. **Holz als roh-und wekstoff**, v.10, n.4, p.134-138, 1952.
- KOLLMANN, F.F.P., COTÉ, W.A. **Principles of wood science and technology Solid wood**. New York: Springer, v.1, 1968. 529p.
- KOZLIK, C.J. Effect of high-temperature drying softwoods on the mechanical properties of wood. In: Proceeding of the res. conf. on high-temperature drying effects on mechanical properties of softwood lumber. USDA, F. P. L., Madison **Proceedings....** Madison. Wisc. 1976.
- KUBLER, H.. Growth Stresses in Trees and Related Wood Properties. **Forest Products Abstracts**, Farnham Royal, v.10, n.3, p.61-119,1987.
- LADELL, J. L. High-temperature drying of yellow birch. **For. Prod. J.**, v.6, n.11, p.469-475, 1956.

- MACLEAN, J. D. Effect of heating in water on strength properties of wood. American Wood Preservers' **Association Proceedings**, vol. 50, p.253-281, 1954.
- MACLEAN, J. D. Effect of oven heating and hot pressing on strength properties of wood, American Wood Preservers' **Association Proceedings**, vol. 51, p.227-250, 1955.
- MACLEAN, J. D. Effect of steaming on the strength of wood. American Wood Preservers' **Association Proceedings**, vol. 49, p.81-112, 1953.
- MILLETT, M.; GERHARS, C. Accelerated aging, residual weight and flexural properties of wood heated in air at 115°C to 175°C; **Wood Science** 4 (4):193-201, 1972.
- PONCE, R. H. Madeira serrada de eucalipto: Desafios e perspectivas. In: Seminário internacional de utilização da madeira de eucalipto para serraria, 1995, São Paulo. **Anais...** Piracicaba: IPEF, IPT, 1995, p. 50-58.
- ROSEN, H. N., LAURIE, S. E. Mechanical properties of conventionally kiln-dried and pressure steam dried yellow-poplar and red oak. **For. Prod. J.**, v.33, p.123-34, 1983.
- ROSEN, H.N.; BODKIN, R.E. Development of a schedule for jet drying Yellow-poplar. **For. Prod. J.** 31(3):39-44. 1981.
- SALAMON, M. Comparison of kiln schedules for drying spruce. **For. Prod. J.** 23(3) : 45-49. 1973.
- SALAMON, M. High-temperature drying and its effects on wood properties. **For. Prod. J.**, v.19, n.3, p.27-34, 1969.
- SALAMON, M. Quality and strength properties of Douglas-Fir dried at high temperature. **For. Prod. J.** 13(8) : 339-344. 1963.
- SCHNEIDER, A. Investigations on the convection drying of lumber at extremely high temperature. Part II: drying degrade, changes in sorption, colour and strength of pine sapwood. **Holz als rohn-und werkstoff**, v.31, p.198-206, 1973.
- SEVERO, E. T. D. **Estudo sobre o efeito da vaporização nas propriedades e comportamento de secagem da madeira de *Eucalyptus dunnii* Maid.** Curitiba, 1998, 200p. Tese (Doutoramento em Ciências Florestais), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- 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.
- STAMM, A. J. **Thermal degradation of wood and cellulose**. Ind. Eng. Chem., v.48, n.3, p.413-415, 1956.
- SUCHSLAND, O.; WOODSON, G. E. **Fiberboard manufacturing practices in the United States**, Madison: Forest Products Research Society, 1991, 263 p.
- THOMPSON, W. Effect of steaming and kiln drying on the properties of southern pine poles, Part II: chemical properties. **Forest Products J.** 19 (2): 37-42, 1969.
- TOMASELLI, I. **The influence of high - temperature drying on physical and mechanical properties of *Pinus radiata***. D. Don. University of Melbourne. Tese Doutorado. (Ph.D). 264 p. 1977.
- U.S. FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook - wood as an engineering material**. Washington: U.S. Department of Agriculture, 1987. 466p.
- U.S. FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook - wood as an engineering material**. Washington: U.S. Department of Agriculture, 1955. 528p.
- WANGAARD, F. F. **The mechanical properties of wood**. London: Chapman & Hall, 1950. 377p.