Silva Lusitana ***14****(2): 169 - 180, 2006*
© EFN, Lisboa. Portugal

Qualidade da Secagem de *Eucalyptus grandis* Mediante Vaporização Simultânea em Toros e em Madeira Serrada

Fred W. Calonego*, Elias T. D. Severo, Ademilson Coneglian*** e Ricardo M. Barreiros******
*Engenheiro Florestal, Mestre
**Professor Adjunto
***Engenheiro Florestal
****Professor
Universidade Estadual Paulista. Departamento de Recursos Naturais - Ciências Florestais, Fazenda Experimental Lageado s/n, Caixa Postal 237, Botucatu SP BRASIL

Sumário. No presente estudo foi avaliada a combinação das técnicas de vaporização em toros e a vaporização preliminar à secagem para a melhoria da qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis*. Para tanto, foram utilizados toros com diâmetros de 20 a <25, 25 a <30 e 30 a <35 cm, procedentes do Horto Florestal de Mandurí, SP, Brasil. Parte dos toros foi vaporizada a 90ºC durante 20 horas. Posteriormente, todos os toros (controle e vaporizados) foram serrados pelo sistema de corte tangencial e depois pré-vaporizados a 90ºC durante 3 horas após 1 hora de aquecimento inicial. Todo o material foi seco em secador convencional e avaliaram-se os defeitos de secagem. Os resultados mostram que a vaporização de toros combinada com a pré-vaporização da madeira serrada promoveu: (1) a diminuição da ocorrência de tábuas com defeitos fortes nas três classes de diâmetro de toros; (2) a diminuição significativa do índice médio de defeitos de secagem nas tábuas retiradas das três classes de diâmetro de toros.
Palavras-chave: pré-vaporização de madeira serrada; vaporização de toros; *Eucalyptus grandis*; secagem de madeira

Quality of Drying Wood of *Eucalyptus grandis* with Simultaneously Steaming in Boards and Logs

Abstract. In the present study, the union of the board pre-steaming and logs steaming techniques on *Eucalyptus grandis* wood drying quality, was evaluated. In order to do so, logs with diameters from 20 to <25, 25 to <30 and 30 to <35 cm, from the Horto Florestal, Mandurí, São Paulo, Brazil, were used. Half of the logs were steamed during 20 hours at 90ºC of temperature. Later the logs (control and steamed) were sawed with tangential system and the boards were pre-steamed during 3 hours at 90ºC of temperature after 1 hour of initial heating. The boards were dried in the dry-kiln pilot and the drying defects were evaluated. The results shown that the union of the board pre-steaming and logs steaming techniques caused: (1) reduction of the number of boards with drying defects classified as severe in the three logs diameters classes; (2) significant reduction of the average drying defects rate in the boards removed from the three logs diameter classes.
Key words: boards pre-steaming; log steaming; *Eucalyptus grandis*; boards drying process

1º Autor E-mail: fwcalonego@ig.com.br

Qualité du Séchage de l'*Eucalyptus grandis* par Vaporisations Simultanées sur des Tores et des Bois Sciés

Résumé. Dans la présente étude la combinaison des techniques de vaporisation sur des tores et la vaporisation préliminaire au séchage a été évaluée pour améliorer la qualité du bois scié d'*Eucalyptus grandis*. Pour cela des tores d'un diamètre de 20 à <25, 25 à 30 et 30 à 35 cm, provenant du Horto Florestal de Manduri, Etat de São-Paulo, Brésil ont été utilisés; Une partie des tores a été vaporisée à une température de 90ºC pendant 20 heures. Postérieurement, tous les tores (contrôlés et vaporisés) ont été dépliés par le système de coupe tangentielle et ensuite pré vaporisés à une température de 90ºC pendant 3 heures après une heure de réchauffement initial. Tout le matériel a été séché sous serre pilote de séchage conventionnel et les défauts de séchage ont été évalués. Les résultats montrent que la vaporisation des tores associée à une pré vaporisation du bois scié a assuré: (1) la diminution d'un risque de planches présentant de grands défauts dans les trois classes de diamètres de tores; (2) la diminution significative de l'indice moyen de défauts de séchage sur les planches retirées dans les trois classes de diamètres des tores.

Mots clés: pré vaporisation de bois scié; vaporisation de tores; *Eucalyptus grandis*; séchage du bois

Introdução

Face à crescente dificuldade na obtenção de madeiras autóctones no Brasil procura-se hoje a sua substituição por outras oriundas de reflorestamentos, como as do género *Eucalyptus*.

Entretanto, o emprego mais nobre da madeira de eucalipto tem causado frustrações durante seu processamento devido ao aparecimento de defeitos que proporcionam consideráveis perdas de matéria-prima e consequente perdas económicas. As tensões de crescimento e a baixa permeabilidade da madeira são as responsáveis pelo surgimento destes defeitos.

DINWOODIE (1965) afirma que as tensões de crescimento são definidas como forças encontradas na madeira em estado verde e portanto se diferenciam das tensões de secagem que são causadas pela contracção da madeira, devido ao gradiente de humidade gerado no processo de secagem.

A literatura mostra que a origem das tensões de crescimento está directamente relacionada com a lignificação das paredes celulares responsável pelo inchamento no plano transversal da célula e consequente diminuição do seu comprimento. Este encurtamento é dificultado pelas células mais velhas de maneira que se desenvolve um "stress" longitudinal de tracção na periferia do fuste e consequentemente um esforço de compressão na parte central (BOYD, 1972; CHAFE, 1979; SALES, 1986; AMARAL, 1991 e PONCE, 1995).

As madeiras de eucalipto são também consideradas de secagem lenta e difícil, devido à baixa permeabilidade responsável pelo acentuado gradiente de humidade e consequente formação de tensões de secagem. Assim, durante a secagem as camadas superficiais da peça ficam sob esforço de tracção e o centro sob compressão, ocasionado colapso, fendas superficiais e de topo e empenos (VERMAAS, 1995; JANKOWSKY *et al*., 2000; SANTOS, 2002 e SEVERO, 2004).

Dentre as soluções para os problemas destaca-se, actualmente, o emprego de programas de secagem convencional

caracterizados como suaves, os quais promovem a secagem lenta e consequente redução dos defeitos.

HARTLEY e GOUCH (1990); CAVALCANTE (1991); SIMPSON (1991); ROZAS MELLADO (1993); VERMAAS (1995); SEVERO (1998) e ANDRADE (2000) afirmam que a secagem da madeira de eucalipto em estufa convencional deve sempre iniciar-se com temperaturas inferiores a 45ºC até à remoção de toda a água capilar.

Abaixo do PSF, até a madeira atingir o teor de humidade final de 10-12%, a secagem desta espécie já não é problemática e a temperatura pode ser aumentada consideravelmente (CHRISTENSEN, 1984).

Porém a adopção de programas de secagem suaves ocasiona aumento do tempo de secagem o que é prejudicial ao processo produtivo.

Entretanto, outras técnicas que proporcionam melhoria na qualidade da madeira serrada durante a secagem são a vaporização em toros e a pré--vaporização da madeira serrada.

A vaporização da madeira é justificada por várias razões, destacando--se entre elas: esterilização da madeira, escurecimento em algumas espécies, libertação das tensões de crescimento e de secagem, recuperação do colapso, aumento da estabilidade dimensional e da permeabilidade e redução do gradiente de humidade e do tempo de secagem (SIMPSON, 1975; 1976).

Para STAMM (1956); HAYGREEN e BOWYER (1996) e FOREST PRODUCTS LABORATORY (1999) o aquecimento da madeira a altas temperaturas ocasiona degradação dos componentes químicos da madeira.

Com humidade relativa elevada a madeira degrada-se por hidrólise ácida que é bastante dependente do pH e, se a concentração do ácido for alta, a sua velocidade torna-se apreciável mesmo para temperaturas inferiores a 100ºC (FENGEL e WEGENER, 1984).

NICHOLAS e THOMAS (1968) e KININMONTH (1971) afirmam que a vaporização da madeira promove a hidrolização parcial da membrana de pontuação, desaspiração da pontuação e consequentemente aumento da permeabilidade.

MACKAY (1971) afirma que a vaporização da madeira de *Eucalyptus regnans* e *Ceratopetalum apetalum* promove o aumento do coeficiente de difusão além de favorecer a recuperação do colapso após a secagem.

SEVERO e TOMASELLI (2000), estudando *Eucalyptus dunnii*, observaram que a vaporização da madeira demonstrou ser efectiva na redução do teor de humidade inicial, gradiente de humidade e no aumento da taxa de secagem desta espécie.

No tocante à qualidade da madeira, ALEXIOU *et al.* (1990) comenta que o emprego da vaporização a 100ºC de temperatura durante 3 horas após 1 hora de aquecimento inicial da madeira de *Eucalyptus pilulares* promoveu redução de cerca de 53% nas fendas superficiais.

CHAFE (1990) comenta que a vaporização de *Eucalyptus regnans* produziu uma significante redução na variação dimensional da madeira e proporcionou uma melhor recuperação do colapso. Oliveira (1997) ainda afirma que o pré-aquecimento de *Eucalyptus regnans* minimizou a perda em volume de madeira devido ao aumento do colapso recuperável.

SEVERO (2000) estudando a aplicação de vapor preliminar à secagem convencional de *Eucalyptus dunnii*

recomenda a utilização desta técnica para reduzir a incidência de defeitos de secagem, principalmente o colapso.

Segundo SEVERO (2004), a pré--vaporização em madeira serrada de *Eucalyptus grandis* reduziu a incidência de defeitos durante a secagem. Para o autor, 0% do número de tábuas pré-vaporizadas e 25,0% delas apresentaram, respectivamente, fendas e colapso classificados como fortes. Nas tábuas controle o índice dos mesmos defeitos foi de 11,4 e de 40,9%.

CALONEGO (2004) estudando o efeito da vaporização de toros na secagem de *Eucalyptus grandis* concluiu que o tratamento minimizou a ocorrência de todos os defeitos de secagem em tábuas retiradas de toros de 20 a <25, 25 a <30 e 30 a <35 cm de diâmetro.

Segundo o mesmo autor, a vaporização em toros foi mais efectiva na redução do índice de defeitos das tábuas retiradas dos toros de menor classe diamétrica, pois 100% do número de tábuas oriundas de toros controle e 69,23% delas apresentaram, respectivamente, fendas e empeno em meia cana classificados como fortes. Nas tábuas provenientes dos toros vaporizados o índice dos mesmos defeitos foi de 65,4 e de 26,9%.

Como as vaporizações preliminares e a secagem de toros são técnicas consagradas pela literatura por melhorarem a qualidade da secagem de eucalipto quando utilizadas individualmente, e sabendo-se pouco sobre o uso simultâneo de ambas as técnicas na redução dos mesmos defeitos, verifica-se a necessidade deste estudo para a consolidação definitiva deste tratamento como método de optimização da secagem da madeira de eucalipto.

Para tanto, o presente trabalho teve por objectivo avaliar o efeito do uso simultâneo das vaporizações em toros e preliminar à secagem, na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis*.

Material e métodos

Colecta e preparação do material

Foram estudadas árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden com 30 anos de idade. O material colhido é proveniente da Floresta Estadual de Santa Bárbara, pertencente ao Instituto Florestal, localizada em Águas de Santa Bárbara, SP, Brasil.

A colheita do material envolveu o abate, casual, de 7 árvores de *Eucalyptus grandis*. A operação de abate foi realizada com motosserra e o fuste foi traçado a cada 2,9 m de comprimento.

Conforme proposto por KUBLER (1987); ROZAS MELLADO (1993) e SALES (1986), os toros sofreram anelamento a 10cm de cada uma das extremidades numa profundidade aproximada de 1/3 do raio do toro e posteriormente foram agrupados nas seguintes classes de diâmetro: 20 a <25 cm, 25 a <30 cm e 30 a <35 cm.

Metade do número dos toros de cada uma das classes de diâmetro foi submetida ao tratamento de vaporização à temperatura de 90ºC e a 100% de humidade relativa durante 20 horas, e os restantes foram mantidos como testemunha (controle).

Todos os toros (controle e vaporizados) foram serrados em tábuas tangenciais conforme sistema de corte utilizado por MONTAGNA *et al*. (1991) e proposto por ACOSTA (1999) para o género *Eucalyptus*.

Posteriormente, todas as tábuas foram submetidas ao tratamento de vaporização preliminar à secagem nas seguin-

tes condições: 90ºC de temperatura e 100% de humidade relativa, durante 3 horas, após 1 hora de aquecimento inicial.

Secagem da madeira

A secagem da madeira foi realizada num secador piloto, de secagem convencional, com capacidade para aproximadamente 2,5 m^3 de madeira serrada.

Como os toros estavam agrupados nas classes de diâmetro de 20 a <25 cm, de 25 a <30 cm e de 30 a <35 cm, obtivemos tábuas com larguras de 14,0cm, de 17,5 cm e de 21,0 cm respectivamente definidas de acordo com as dimensões dos blocos.

Todas as tábuas de *Eucalyptus grandis*, com 28 mm de espessura e 2,70 m de comprimento, destinadas à secagem em estufa convencional foram empilhadas com réguas de empilhamento.

O programa de secagem utilizado para a madeira de *Eucalyptus grandis* com 28 mm de espessura é dado no Quadro 1.

Avaliação dos defeitos de secagem

A avaliação da qualidade da madeira foi realizada no fim de cada secagem através da análise dos defeitos encontrados nas tábuas.

Os defeitos foram classificados em ausentes, leves e fortes tomando-se como base a norma de classificação de madeira serrada de folhosas (IBDF, 1983), a classificação proposta por MENDES e SEVERO (1984) e também avaliados quantitativamente através da apresentação do índice médio dos defeitos. Os defeitos avaliados foram:

a) Empenos

A curvatura e o empeno em arco foram medidos e quantificados percentualmente em relação ao comprimento da peça pela equação (1).

Quadro 1 - Programa de secagem de tábuas de *Eucalyptus grandis* com 28 mm de espessura

Humidade da Madeira	Ts (ºC)	Th (ºC)	HR(%)	HE(%)	PS
Aquecimento	40,0	38,0	88,0	18,4	*
Até 50	40,0	38,0	88,0	18,8	2,5
50	40,0	38,0	88,0	18,8	2,6
45	40,0	38,0	88,0	18,0	2,5
40	40,0	37,5	85,0	17,5	2,2
35	40,0	37,5	85,0	16,7	2,0
30	40,0	36,0	77,0	14,3	2,0
25	51,0	45,5	72,0	11,9	2,1
20	57,0	49,0	62,0	9,5	2,1
15	65,0	52,0	50,0	7,1	2,1
10	65,0	52,0	50,0	7,1	2,1
Uniformização	65,0	58,0	68,0	10,0	*
Condicionamento	65,0	62,0	85,0	15,0	*

onde: Ts - temperatura (seco), ºC; Th - temperatura (húmido), ºC; HR - humidade relativa, %; HE - humidade de equilíbrio, %; PS - potencial de secagem.

$$I_{ea} = \frac{x}{L_1} \times 100 \quad (1)$$

onde:

I_{ea} = Intensidade da curvatura ou empeno em arco, %;

x = flecha na curvatura da peça, mm;

L_1 = comprimento da tábua, mm.

O empeno em meia cana foi medido e seus valores foram apresentados como sua flecha máxima em milímetros. Se a diferença entre a espessura nominal da tábua e a perda por aplainamento (2 x flecha máxima) for até 4 mm o defeito é considerado leve e se a diferença for maior que 4mm o defeito é forte.

b) Fendas

As fendas de topo foram avaliadas e quantificadas considerando-se o somatório dos comprimentos individuais das fendas em relação ao comprimento da peça conforme a equação (2):

$$R = \frac{(l_2 + l_3 + \cdots l_n)}{L_1} \times 100 \quad (2)$$

onde:

R - índice representativo das fendas, %;

$l_2 + l_3 + ...l_n$ - comprimento individual das fendas, mm

L_1 - comprimento total da peça, mm.

c) Colapso

A determinação do colapso foi realizada através da remoção de alguns milímetros da superfície da tábua com uma plaina levando-se em consideração os seguintes critérios:

(1) Madeira livre de colapso: tábuas que após a remoção de 1- 1,5 mm da superfície não apresentarem ondulações na superfície.

(2) Madeira com colapso leve: tábuas que após a remoção de 2,5 mm da superfície não apresentarem ondulações na superfície.

(3) Madeira com colapso médio: tábuas que após a remoção de 3,5 mm da superfície não apresentarem ondulações na superfície.

(4) Madeira com colapso forte: tábuas que apresentarem ondulações na superfície após removido 3,5 mm da superfície.

A análise exploratória dos dados obtidos após a secagem da madeira recomendou a adopção de métodos de análise paramétrica (ANOVA) para análise de variância, com tratamentos no esquema factorial, levando-se em consideração o tratamento de pré-vaporização. Foi realizada essa análise para os índices de fendas, empenos em meia cana, empenos em arco e curvaturas produzidos durante a secagem.

Resultados e discussão

A avaliação, a classificação e a quantificação dos defeitos foram realizadas no final da secagem das tábuas. Para tanto, mediu-se o comprimento das fendas nos extremos das tábuas, colapso e flecha das curvaturas, empenos em arco e empenos em meia cana, conforme metodologia descrita anteriormente.

A avaliação das tábuas indicou que não houve colapso nas tábuas pré-vaporizadas provenientes tanto de toros controle quanto dos vaporizados. Tudo indica que a ausência de colapso está relacionada com a aplicação da vaporização da madeira e com a

utilização de um programa de secagem caracterizado como suave devido à adopção de temperatura inicial de 40ºC.

ROZAS MELLADO (1993); SEVERO (1998) e SIMPSON (1991) constataram que o colapso está directamente relacionado com as altas temperaturas no início da secagem. HARTLEY e GOUCH (1990); SEVERO (1998) e VERMAAS (1995) recomendam para a madeira de eucalipto, iniciar sempre a secagem com temperatura inferior a 45ºC.

ANDRADE (2000); SANTOS (2002) recomendam temperatura inicial de 40ºC. CALONEGO (2004) e ROZAS MELLADO (1993) em seus respectivos estudos com *Eucalyptus grandis* concluíram que a secagem com temperatura inicial de 40ºC proporciona a ausência ou baixos índices de colapso.

Outro factor responsável pela ausência do colapso é a vaporização da madeira, cuja técnica proporciona o aumento da permeabilidade do material, facilita a retirada da água livre e consequentemente diminui a ocorrência do defeito (MACKAY, 1971; SEVERO e TOMASELLI, 2000; SEVERO, 2000 e 2004)

Os resultados obtidos das avaliações qualitativa e quantitativa dos defeitos de secagem da madeira pré-vaporizada de *Eucalyptus grandis* proveniente tanto de toros controle quanto dos vaporizados são mostrados, respectivamente, nos Quadros 2 e 3.

Quadro 2 - Classificação dos defeitos de secagem para madeira serrada pré-vaporizada retirada de toros controle e vaporizados de *E. grandis*

Diâmetro		30-35cm				25-30cm				20-25cm			
Tratamento		TVTV		TCTV		TVTV		TCTV		TVTV		TCTV	
Nº de Peças		36		33		42		40		32		17	
Tipo de Defeito		Defeito		Defeito		Defeito		Defeito		Defeito		Defeito	
		Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Fendas de topo	Leve	0	0,0	0	0,0	4	9,5	1	2,5	7	21,9	3	17,6
	Σr ≤10%Lr												
	Fortes	36	100,0	33	100,0	38	90,5	39	97,5	25	78,1	14	82,4
	Σr >10%Lr												
Empeno em meia cana	Sem defeito	6	16,7	4	12,1	11	26,2	13	32,5	9	28,1	5	29,4
	Leve	6	16,7	6	18,2	14	33,3	5	12,5	13	40,6	3	17,7
	ea > e-4mm												
	Forte	24	66,7	23	69,7	17	40,5	22	55,0	10	31,3	9	52,9
	ea < e-4mm												
Curvatura	Sem defeito	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
	Leve	36	100,0	30	90,9	42	100,0	39	97,5	29	90,6	17	100,0
	x ≤ 5mm/m												
	Forte	0	0,0	3	9,1	0	0,0	1	2,5	3	9,4	0	0,0
	x > 5mm/m												
Empeno em arco	Sem defeito	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
	Leve	34	94,4	23	69,7	41	97,6	36	90,0	32	100,0	16	94,1
	x ≤ 5mm/m												
	Forte	2	5,6	10	30,3	1	2,4	4	10,0	0	0,0	1	5,9
	x > 5mm/m												

onde: TVTV = tábuas pré-vaporizadas de toros vaporizados; TCTV = tábuas pré-vaporizadas de toros controle; ∑r = somatório do comprimento das fendas; Lr = comprimento total das tábuas; ea = espessura aplainada das tábuas; e = espessura nominal das tábuas; x = comprimento da flecha para a curvatura e o empeno em arco

Quadro 3 - Efeito do uso simultâneo da vaporização de toros e da pré-vaporização das tábuas no índice médio dos defeitos de secagem

Diâmetro dos Toros	Tratamentos	N	Fendas	Curvat. (%)	E. Arco	E. m.cana (mm)
30-35cm	TCTV	33	53,30	0,298	0,419	2,977
	TVTV	36	30,45	0,299	0,322	2,871
% de Redução (ou Aumento)			42,9*	(0,3)^{NS}	23,2*	3,6*
25-30cm	TCTV	40	35,12	0,321	0,375	2,395
	TVTV	42	23,54	0,284	0,326	1,755
% de Redução (ou Aumento)			33,0*	11,5^{NS}	13,1*	26,7^{NS}
20-25cm	TCTV	17	20,84	0,293	0,361	2,321
	TVTV	32	17,08	0,307	0,313	1,555
% de Redução (ou Aumento)			18,0^{NS}	(4,8)^{NS}	13,3^{NS}	33,0^{NS}
Todas as classes	TCTV	90	39,09	0,307	0,388	2,594
	TVTV	110	23,92	0,296	0,321	2,062
% de Redução (ou Aumento)			38,8*	3,6^{NS}	13,7*	20,5^{NS}

onde: N = número de repetições; TVTV = tábuas pré-vaporizadas de toros vaporizados; TCTV = tábuas pré-vaporizadas de toros controle; * = diferença significativa ao nível de 5% de significância; NS = não significativo

O Quadro 2 mostra a classificação dos defeitos de secagem em função do número de peças de madeira serrada proveniente tanto de toros controle como de vaporizados.

Através da análise dos dados do Quadro 2, pode-se observar que entre as três classes de diâmetro de toras estudados, as tábuas provenientes de toros de 20 a <25cm de diâmetro apresentaram-se em menor número com defeitos fortes em relação às tábuas provenientes de toros maiores.

Já que o tempo de vaporização dos toros das três classes de diâmetro foi fixado em 20 horas, era esperado, para a maioria dos defeitos, que a percentagem do número de tábuas sem defeito diminuísse e a percentagem de tábuas com defeitos fortes aumentasse com o aumento do diâmetro dos toros.

Entretanto, observa-se que o uso simultâneo da vaporização dos toros e da pré-vaporização da madeira serrada promoveu melhoria qualitativa do material devido à redução do número de peças com defeitos fortes nas três classes de diâmetro dos toros.

Verifica-se que as tábuas pré-vaporizadas retiradas de toros controle e de vaporizados com 30 a <35 cm de diâmetro apresentaram ambas, em 100,0% das peças, fendas fortes; para tábuas pré-vaporizadas oriundas dos toros controle e vaporizados de 25 a <30 cm de diâmetro esse percentual é respectivamente igual a 97,5 e 90,5% e para as de 20 a <25 cm o percentual de peças com fendas fortes apresenta-se respectivamente na ordem de 82,4 e 78,1. Para o empeno em meia cana, o mesmo comportamento foi observado.

Verifica-se também, que a percentagem de tábuas com fendas fortes foi maior que a percentagem de tábuas com empeno em meia cana forte nas três classes de diâmetro em estudo, mostrando que a ordem de importância dos defeitos são: fendas e empeno em meia cana.

Os demais defeitos, tais como curvatura e empeno em arco, com excepção do empeno em arco forte em 30,3% das tábuas pré-vaporizadas de toros controle, não se constituíram em maiores problemas pois os defeitos fortes foram inferiores à 10% do número total de peças. Resultado semelhante foi descrito por SEVERO (1998), que encontrou o número de peças com curvatura e empeno em arco inferior a 10% do número total.

Porém, mesmo para estes defeitos, apresentando-se em geral, de forma discreta, verifica-se que a vaporização de toros aliada à pré-vaporização em madeira serrada diminui o número de peças com curvatura e empeno em arco quando se compara com tábuas que sofreram apenas vaporização preliminar à secagem.

Se a técnica de pré-vaporização de serrados reduz o número de peças com defeitos (ALEXIOU *et al*., 1990; CHAFE, 1990; OLIVEIRA, 1997; SEVERO, 2000 e 2004) e a vaporização de toros proporciona a redução da percentagem de peças com defeitos de secagem (CALONEGO, 2004) quando aplicadas isoladamente na madeira de *Eucalyptus grandis*, constata-se que a aplicação conjunta de ambas as técnicas para a mesma madeira acentua o número de tábuas com melhor qualidade e a maioria delas apresentaram-se com defeitos menos pronunciados do que aquelas provenientes de material que recebeu apenas vaporização preliminar à secagem.

Já o Quadro 3 mostra o efeito da vaporização de toros aliada com a pré-vaporização de madeira serrada no índice médio dos defeitos decorrentes da secagem da madeira.

Verifica-se que a vaporização dos toros e posterior pré-vaporização da madeira serrada proporcionou considerável redução em todas as variáveis utilizadas como parâmetro de comparação da qualidade da madeira seca proveniente de toros das três classes diamétricas.

Quando se compara o índice médio dos defeitos de secagem das tábuas pré-vaporizadas provenientes tanto de toros controle como de vaporizados, das três classes de diâmetro, verifica-se que os maiores índices de defeitos foram encontrados nas tábuas dos toros de 30 a <35 cm de diâmetro. Esse facto pode ser explicado pela presença dos lenhos juvenil e adulto em diferentes proporções, portanto responsáveis por retracções diferenciadas, quando comparadas com os toros de menores diâmetros, constituídos quase que exclusivamente por lenho juvenil.

Porém, constata-se que a percentagem de fendas nas tábuas pré-vaporizadas diminuiu devido à vaporização dos toros, em todas as classes de diâmetro estudadas. Pode-se observar que a redução desse defeito foi da ordem de 42,9 e 33,0 (significativos ao nível de 5%), e 18,0% (não significativo) para o material proveniente de toros de 30 a <35; 25 a <30 e 20 a <25 cm de diâmetro, respectivamente.

Também podemos observar o comportamento da curvatura das peças provenientes dos toros controle e vaporizados. Verifica-se que as tábuas pré--vaporizadas provenientes tanto de toros controle como dos vaporizados das três classes de diâmetro apresentam índice médio de curvatura estatisticamente iguais.

O empeno em arco das tábuas após a secagem foi reduzido significativamente ao nível de 5% com a aplicação conjunta de vapor nos toros e preliminar à

secagem. Pode ser observado no Quadro 3, que as reduções deste defeito com a dupla vaporização da madeira apresentaram-se na ordem de 23,2; 13,1 e 13,3% para tábuas provenientes de toros de 30 a <35; 25 a <30 e 20 a <25 cm de diâmetro, respectivamente.

É facilmente visualizado no Quadro 3 que a maior redução na magnitude do empeno em meia cana devido à interacção entre a vaporização de toros e a pré-vaporização dos serrados ocorre nas tábuas retiradas de toros de 20 a <25 cm, e apresenta um valor na ordem de 33,0%. Isso mostra que quanto menor o diâmetro dos toros, maior será a eficiência da interacção dos tratamentos de vaporização em toros e em madeira serrada na redução deste defeito.

Com base nos resultados obtidos, é possível afirmar que o tratamento conjunto de vaporização de toros a 90ºC durante 20 horas com a vaporização preliminar à secagem a 90ºC durante 3 horas precedidas de 1 hora de aquecimento inicial minimizou a ocorrência de todos os defeitos de secagem das tábuas provenientes das três classes de diâmetro dos toros.

Conclusões

A vaporização de toros combinada com a pré-vaporização da madeira serrada promoveu:

a) diminuição da ocorrência do número de tábuas com defeitos fortes nas três classes de diâmetro de toros;

b) diminuição do índice médio de defeitos de secagem nas tábuas retiradas das três classes de diâmetro de toros, sendo a redução das fendas mais pronunciada no material retirado dos toros de 30 a <35 cm de diâmetro, e a do empeno em meia cana melhor evidenciada nas tábuas retiradas dos toros de 20 a <25 cm;

Bibliografia

ACOSTA, M.S., 1999. Experiência argentina en la producción y utilización de la madera de eucalipto, Panorama a 1999. In: *Workshop: tecnicas de abate, processamento e utilização da madeira de eucalipto.* UFV/DEF/SIF/IEF, Viçosa, pp. 28-38.

ALEXIOU, P.N., WILKINS, A.P., HARTLEY, J., 1990. Effect of presteaming on drying rate, wood anatomy and shrinkage of regrowth *Eucalyptus pilularis* Sm. *Wood Science and Technology* **24** : 103-110.

AMARAL, A.C.B., 1991. *Defeitos na madeira de eucaliptus: suas causas e possibilidades de redução (revisão bibliográfica).* Piracicaba: ESALQ/LCF, 25 pp.

ANDRADE, A., 2000. *Indicação de programas para a secagem convencional de madeiras.* Piracicaba, 72f. Dissertação (Mestrado em Ciências/Ciência e Tecnologia de Madeiras) – Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz"/Universidade de São Paulo.

BOYD, J.D., 1972. The growth stresses: evidence of a origin in differentiation and lignification. *Wood Science and Technology* **6** : 251-262.

CALONEGO, F.W., 2004. *Estimativa do tempo de vaporização das toras e sua implicação no desdobro e na secagem de Eucalyptus grandis.* Botucatu, 120f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – - Universidade Estadual Paulista.

CAVALCANTE, A.A., 1991. *Ocorrência do colapso na secagem da madeira de Eucalyptus grandis e Eucalyptus saligna.* Piracicaba, 76f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz"/Universidade de São Paulo.

CHAFE, S.C., 1979. Growth stresses in trees. *Australian For. Rev.* **9** : 203-223.

CHAFE, S.C., 1990. Effect of brief presteaming on shrinkage, collapse and other wood-water relationships in *Eucalyptus regnans* F. Muell. *Wood Science and Technology* **24** : 311-326.

CHRISTENSEN, F.J., 1984. Recent research on the hight tenperature drying of sawn *Eucalyptus delegatensis* below fibre saturation point. In: *21ST Forest products research conference*, Clayton, s.p.

DINWOODIE, J.M., 1965. Growth stresses in timber – a review of European investigations. In: *International union of forestry research organizations – iufro meeting seccion 41*, IUFRO; CSIRO, Melbourne, 10 pp.

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

FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999. *Wood handbook - wood as an engineering material*. Washington: U.S. Department of Agriculture, 463 pp.

HARTLEY, J., GOUGH, D.K., 1990. Future sawnwood drying in Australia. *FDC, 847:232,* **181** (94) : 179-190.

HAYGREEN, J.G., BOWYER, J.L., 1996. *Forest products and wood science: an introduction*. Iowa State University Press/AMES, 484pp.

IBDF., 1983. *Norma para classificação de madeira serrada de folhosas*. Brasília: Brasiliana, 67 pp.

JANKOWSKY, I.P.; SANTOS, G.R.V., ANDRADE, A., 2000. Secagem da madeira serrada de eucalipto. *Separata de Jornadas Forestales de Entre Rios* (15) : C2-1-C2-14.

KININMONTH, J.A., 1971. Effect of steaming on the fine structure of *Nothofagus fusca*. *New Zeland Journal Forest Science* **1** : 129-139.

KUBLER, H., 1987. Growth stresses in trees and related wood properties. *Forest Products Abstracts* **10**(3) : 61-119.

MACKAY, J.F.G., 1971. Influence of steaming on water vapor diffusion in hardwoods. *Wood Science* **3** : 156-160.

MENDES, A.M., SEVERO, E.T.D., 1984. Estudo comparativo entre três técnicas de secagem natural conduzido na região de Manaus com madeira de *Hura Creptans*. *Boletim informativo do centro de Pesquisas de Produtos Florestais/INPA* (4) : 1-14.

MONTAGNA, R.G., PONCE, R.H., FERNANDES, P.S., RIBAS, C., 1991. Desdobro de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden visando a diminuir o efeito das tensões de crescimento. *Revista do Instituto Florestal* **3**(2) : 181-190.

NICHOLAS, D.D., THOMAS, R.J., 1968. Influence of steaming on ultrastructure of bordered pit membrane in loblolly pine. *Forest Products Journal* **8**(1) : 57-59.

OLIVEIRA, J.T.S., 1997. *Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil*. São Paulo, 429f. Tese (Mestrado em Engenharia) –Universidade São Paulo.

PONCE, R.H., 1995. Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas. *In: Seminário internacional de utilização da madeira de eucalipto para serraria,* Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais/ Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Piracicaba, pp. 50-58.

ROZAS MELLADO, E.C.E., 1993. *Contribuição ao desenvolvimento tecnológico para a utilização de madeira serrada de Eucalyptus grandis (Hill Ex Maiden) na geração de produtos com maior valor agregado*. Curitiba, 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal/Setor de Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Paraná.

SALES, C.G., 1986. Growth stresses: main results obtained on the study of guyana species and consequences for and use. In: *18º IUFRO world congress*, IUFRO, Ljubljana, pp.234-248.

SANTOS, G.R.V., 2002. *Otimização da secagem da madeira de Eucalyptus grandis [Hill ex Maiden]*. Piracicaba, 70f. Dissertação (Mestrado em Ciências/Ciência e Tecnologia de Madeiras) – Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz"/ Universidade de São Paulo.

SEVERO, E.T.D., 1998. *Estudo sobre o efeito da vaporização nas propriedades e comportamento de secagem na madeira de Eucalyptus dunnii Maid.* Curitiba, 200f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal/Setor de Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Paraná.

SEVERO, E.T.D., 2004. *Pré-vaporização: uma técnica para otimizar a secagem de madeira sólida de Eucalyptus grandis.* Botucatu, 85f. Tese (Livre Docência em Secagem da Madeira/Departamento de Recursos Naturais) – Universidade Estadual Paulista – UNESP.

SEVERO, E.T.D., 2000. Qualidade da secagem de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii. Ciência Florestal* **10**(1) : 109-124.

SEVERO, E.T.D., TOMASELLI, I., 2000. Efeito da vaporização no alivio das tensões de crescimento em toras de duas procedências de *Eucalyptus dunnii. Sciencia Agraria* **1**(1/2) : 29-32.

SIMPSON, W.T., 1991. *Dry kiln operator's manual.* Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, 274 pp.

SIMPSON, W.T., 1976. Effect of presteaming on moisture gradient of Northern Red Oak during drying. *Wood Science* **8** : 156-159.

SIMPSON, W.T., 1975. Effect of steaming on the drying rate of several species of wood. *Wood Science* **7** : 247-255.

STAMM, A.J., 1956. Thermal degradation of wood and cellulose. *Industrial and Engineering Chemistry* **48**(3) : 413-416.

VERMAAS, H.F., 1995. Drying eucalypts for quality: Material characteristics, pré-drying treatments, drying methods, schedules and optimization of drying quality. *Suid-Afrikaance Bosboutydskrif* (174) : 41-49.

Entregue para publicação em Março de 2005
Aceite para publicação em Outubro de 2005