



## Efeito da vaporização no poder calorífico de *Eucalyptus grandis*

Fred Willians Calonego<sup>1</sup>, Elias Taylor Durgante Severo<sup>2</sup>, Marcus Vinicius de Assis Perrechil<sup>3</sup>,  
Marcos Antonio de Rezende<sup>4</sup>, João Vicente de Figueiredo Latorraca<sup>5</sup>

Universidade Estadual Paulista, Fazenda Experimental Lageado,

CEP 18603-970, Botucatu (SP), fwcalonego@ig.com.br<sup>1</sup>

Departamento de Recursos Naturais, Universidade Estadual Paulista, Fazenda Experimental Lageado,

CEP 18603-970, Botucatu (SP)<sup>2</sup>

Universidade Estadual Paulista, Fazenda Experimental Lageado,

CEP 18603-970, Botucatu (SP)<sup>3</sup>

Departamento de Física e Biofísica, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências,

CEP 18618-000, Botucatu (SP)<sup>4</sup>

Departamento de Produtos Florestal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Florestas,

CEP 23890-000, Seropédica (RJ)<sup>5</sup>

Recebido em 20 de Outubro de 2005

---

### Resumo

O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da vaporização de toras no poder calorífico de *Eucalyptus grandis*. Para tanto, foram retirados madeira e casca dos topos das toras, antes e depois do processo de vaporização à 90°C de temperatura durante 18 horas. Posteriormente, determinou-se o poder calorífico superior da madeira e da casca pelo método da bomba calorimétrica. Os resultados mostraram que: (1) a vaporização reduziu o poder calorífico superior da madeira de 4752,54 para 4641,55 Kcal/Kg, porém sem prejudicar o potencial de combustão da espécie; e (2) o poder calorífico superior da casca sem tratamento e da vaporizada são iguais estatisticamente e na ordem de 3877,32 e 3862,79 Kcal/Kg.

**Palavras-chaves:** Vaporização, Poder calorífico superior, *Eucalyptus grandis*.

---

### Effect of steaming on the calorific value of *Eucalyptus grandis*

#### Abstract

The present study has in aim the evaluate the effect of log steaming on calorific value from *Eucalyptus grandis*. The wood and bark of the log end and bark were removed bark both before and after the steaming process at 90°C of temperature during 18 hour. After, to determined the calorific value of wood and bark for calorific method. The results showed that: (1) the log's steaming reduced significantly the wood calorific value of 4752,54 to 4641,55 Kcal/Kg but don't damaged the burn potential; and (2) the bark calorific value were 3877,32 and 3862,79 Kcal/Kg, respective from conhol and steamed barks wi wout significant difference.

**Key word:** Steaming, Calorific value, *Eucalyptus grandis*.

## Introdução

A vaporização da madeira é justificada por várias razões, entre elas destacam-se: esterilização da madeira, escurecimento em algumas espécies, liberação das tensões de crescimento e de secagem, recuperação do colapso, aumento da estabilidade dimensional e da permeabilidade e redução do gradiente de umidade e do tempo de secagem (Mackay, 1971; Simpson, 1975; 1976; Weik et al., 1984).

O tratamento térmico por vaporização tem demonstrado, também, ser uma técnica viável para melhorar a qualidade do desdobro e da secagem da madeira de *Eucalyptus* (Calonego, 2004; Severo, 2000, 2004; Severo & Tomaselli, 2000).

Skolmen (1967), demonstrou que o emprego da vaporização reduziu as tensões de crescimento em 50% em toras de *Eucalyptus saligna* após um tratamento de 24 horas em água quente. Em estudo semelhante, Severo & Tomaselli (2000) concluíram que a vaporização de toras de *Eucalyptus dunnii* a 100°C de temperatura durante 20 horas proporcionou uma redução significativa nas tensões de crescimento na ordem de 50% do comprimento e largura das rachaduras e da abertura das tábuas em relação às toras.

Severo & Tomaselli (2000), também observaram que a vaporização da madeira demonstrou ser efetiva na redução do teor de umidade inicial, gradiente de umidade e no aumento da taxa de secagem desta espécie. Chafe (1990) & Severo (2000) estudando a aplicação de vapor preliminar à secagem convencional respectivamente em *Eucalyptus regnans* e em *Eucalyptus dunnii* recomendam 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, nenhuma das tábuas pré-vaporizadas e 25,0% delas apresentaram, respectivamente, rachaduras e colapso classificados como fortes. Nas tábuas controle o índice dos mesmos defeitos foi de 11,4 e de 40,9%. De forma semelhante, Calonego (2004) estudando o efeito da vaporização de toras na secagem de *Eucalyptus grandis* concluiu que o tratamento minimizou a ocorrência de todos os defeitos de secagem.

Embora um grande número de benefícios seja conferido à madeira devido ao tratamento de vaporização, Stamm (1956), Haygreen & Bowyer (1996), Forest Products Laboratory (1999), Homan et al. (2000) e Waskett & Selmes (2001) citam que o aquecimento da madeira em altas temperaturas ocasionam degradação de alguns de seus componentes químicos.

Fengel & Wegener (1984) afirmam que a ausência da cristalinidade, baixa massa molecular e configuração irregular e ramificada facilita a absorção de água e conseqüente degradação das hemiceluloses. Os autores, ainda, afirmam que a lignina é mais estável que as hemiceluloses e a celulose e suas cadeias são quebradas entre 150 e 300°C de temperatura.

Homan et. al (2000) e Waskett e Selmes (2001) afirmam que durante o tratamento térmico ocorre a liberação de ácido acético das hemiceluloses, os quais catalisam a reação do carboidrato e reduz o seu grau de polimerização e promovem a produção de monômeros de furfural.

Em alta umidade relativa, a madeira é degradada por hidrólise ácida que é muito dependente do pH e, se a concentração do ácido for alta, sua velocidade torna-se apreciável mesmo em temperaturas inferiores a 100°C (Fengel e Wegener, 1984).

A degradação da madeira também apresenta comportamento diferenciado conforme o meio de aquecimento utilizado. Segundo Forest Products Laboratory (1999), essa degradação depende de alguns fatores como o teor de umidade, aquecimento médio, temperatura e tempo de exposição. Para Stamm (1956), a degradação térmica da madeira é muito maior na presença de vapor do que em condições de aquecimento pelo simples aumento da temperatura.

Como a degradação térmica altera a composição química da madeira, conseqüentemente ocorre alteração na quantidade de energia liberada pela queima do material ligno-celulósico (Fengel & Wegener, 1984; Haygreen & Bowyer, 1996).

A quantidade de energia liberada pelo material combustível durante sua combustão é definida como poder calorífico. Sua unidade de medida é quilocalorias (Kcal) por quilo (Kg) ou calorias (cal) por grama (g) de combustível (Brito, 1986, 1993; Rezende, 1984).

O poder calorífico pode ser apresentado como “poder calorífico superior” (PCS) e “poder calorífico inferior” (PCI) dependendo se o calor gerado pela condensação da água de constituição do combustível é ou não considerado (Haygreen & Bowyer, 1996).

Brito (1993) afirma que os valores de PCS encontrados para madeiras podem variar entre 3500 e 5000 Kcal/Kg. Rezende (1984), em seu estudo de caracterização da biomassa de *Eucalyptus grandis*, verificou que para essa espécie o poder calorífico superior apresenta-se na ordem de 4805Kcal/Kg.

Carvalho & Nahuz (2001), estudando a madeira do híbrido *Eucalyptus grandis x urophylla* demonstraram que o poder calorífico superior é igual à 4423,75Kcal/Kg.

Jara (1989) determinou o poder calorífico superior para a madeira e para a casca de *Eucalyptus grandis* e encontrou respectivamente os valores de 4790 e 3822Kcal/Kg. De forma semelhante Vale et al. (2000) encontrou valor na ordem de 4641 Kcal/Kg para o poder calorífico superior da madeira de *E. grandis*.

Portanto, considerando que as vaporizações são técnicas que proporcionam inúmeros benefícios, tais como: melhora na qualidade do desdobro e da secagem de eucalipto e pouco se sabe sobre o efeito da técnica no poder calorífico superior do material, o presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito da vaporização de toras no poder calorífico superior de *Eucalyptus grandis*.

## Material e métodos

### Coleta do material

Para realização do estudo foram utilizadas madeira e casca dos resíduos de toras de *Eucalyptus grandis*, provenientes da Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônomicas, Campus da UNESP, localizada no município de Botucatu-SP.

A coleta do material envolveu a derrubada, ao acaso, de 3 (três) árvores de *Eucalyptus grandis* com diâmetro médio entre 20 e 22cm.

### Amostragem e vaporização das toras

Dos topos das toras foram retirados discos, de 5cm de espessura, denominados controle.

Posteriormente, as toras com 2,8 m de comprimento foram submetidas ao tratamento de vaporização à 90°C de temperatura e 100% de umidade relativa, durante 18 horas.

Com uso de uma motosserra retirou-se discos, com 5cm de espessura, das extremidades das toras vaporizadas.

### Determinação do poder calorífico superior

O poder calorífico superior foi determinado pelo método da bomba calorimétrica. O PCS do lenho e da casca da espécie estudada foi determinado segundo a norma ABNT NBR 8633, e pelo manual de operações do calorímetro PARR 1201.

Para o cálculo do PCS, retirou-se amostras de serragem dos discos controles e vaporizados. Foram preparadas amostras compostas por toras, sendo a quantidade de serragem tomada em cada disco proporcional a massa do próprio disco.

Posteriormente, 4 (quatro) pastilhas de casca e igual número de madeira, com massa aproximada a 1g, foram confeccionadas com o auxílio de uma prensa e secas em estufa a 1032°C até peso constante.

Após a combustão das pastilhas utilizou-se a equação (1) para a determinação do poder calorífico superior das amostras de madeira e casca:

$$(1)$$

onde:

PCS - poder calorífico superior, Kcal/Kg;

$M_A$  - massa de água utilizada no calorímetro, 2500g;

$M_S$  - massa seca da amostra, g;

Dt - gradiente de temperatura antes e após a combustão, °C;

K - constante do calorímetro, 407,5g.

## Resultados e Discussão

Seguindo as normas da ABNT, através do método da bomba calorimétrica e da equação (1), foram obtidas os valores do poder calorífico superior para as amostras de *Eucalyptus grandis*. Com os valores obtidos construiu-se a Tabela 1.

**Tabela 1.** Poder Calorífico Superior da madeira e da casca vaporizadas e não vaporizadas de *Eucalyptus grandis*.

**Table 1.** Calorific Value of steamed and not steamed wood and bark of *Eucalyptus grandis*.

Tora	Madeira		Casca	
	Controle	Vaporizada	Controle	Vaporizada
1	4684,72	4568,93	3733,84	3637,70
2	4681,25	4596,83	3834,07	3917,91
3	4829,92	4761,21	3834,07	3706,26
4	4814,29	4639,26	4107,29	4189,30
<b>Média</b>	<b>4752,54</b>	<b>4641,55</b>	<b>3877,32</b>	<b>3862,79</b>
<b>T</b>	<b>4,726**</b>		<b>0,256 NS</b>	

Legenda: t - teste t pareado;

\*\* - significativo ao nível de 1% de significância;

NS - não significativo

O valor de PCS encontrado para a madeira não vaporizada de *Eucalyptus grandis* é igual a 4752,54Kcal/Kg e pode ser verificado na Tabela 1. Esse valor é semelhante ao encontrado por Rezende (1984) que, ao estudar *Eucalyptus grandis*, verificou o poder calorífico superior equivalente à 4805 Kcal/Kg e por Jara (1979) citado por Vale et al. (2002) que obteve valores de PCS para *E. grandis* na ordem de 4790 Kcal/Kg.

O poder calorífico encontrado para a casca do material não vaporizado (controle) de *Eucalyptus grandis* foi de 3877Kcal/Kg. Valor que se enquadra com àquele encontrado por Jara (1979) o qual obteve 3822 Kcal/Kg para a casca de *E. grandis*.

Com o objetivo de verificar a influência da vaporização no poder calorífico superior da madeira e da casca de *Eucalyptus grandis* foi realizado o teste “t” pareado, levando-se em consideração o PCS do material controle e do vaporizado.

Como pode-se verificar na Tabela 1, existe uma diferença significativa, com nível de 1% de significância, entre o poder calorífico da madeira de *Eucalyptus grandis*, antes e após a vaporização, sendo que ambas as condições apresentam os valores 4752,54 e 4641,55Kcal/Kg, respectivamente.

A perda de capacidade de geração de energia da madeira vaporizada de *Eucalyptus grandis* pode ser explicada pela decomposição dos componentes químicos durante o processo de vaporização. Processo que, segundo Stamm (1956) e Forest Products Laboratory (1999) provoca a degradação da substância madeira, o que resulta, também, em perda de massa. Homan et al. (2000) e Waskett & Selmes (2001) afirmam que durante o tratamento térmico ocorre a liberação de ácido acético das hemiceluloses os quais catalisam a reação do carboidrato e reduz o seu grau de polimerização e promovem a produção de monômeros de furfural. Fengel e Wegener (1984) afirmam que em alta umidade relativa, a degradação por hidrólise ácida das hemiceluloses da madeira é muito dependente do pH e, se a concentração do ácido for alta, sua degradação torna-se apreciável mesmo em temperaturas inferiores a 100°C.

Entretanto, verificou-se na Tabela 1, que o potencial de produção de energia desta espécie, quando vaporizada, demonstra ser perfeitamente viável, o qual é evidenciado pelo PCS igual a 4641,55Kcal/Kg. Carvalho e Nahuz (2001) classificam a madeira de *Eucalyptus grandis x urophylla* com PCS equivalente a 4423,75Kcal/Kg como material com bom potencial de combustão. E Jara (1989) e Vale et al. (2000) encontraram, respectivamente, o poder calorífico superior para a madeira de *Eucalyptus grandis* sem tratamento térmico na ordem de 4790 e 4641Kcal/Kg.

Através do mesmo teste estatístico pôde-se verificar que não foi verificada diferença estatística entre a casca de *Eucalyptus grandis*, antes e depois do processo de aplicação de vapor, como mostra os valores 3877,32Kcal/Kg para a casca sem o tratamento térmico e 3862,79 para o material proveniente de resíduos que passaram pelo processo de vaporização.

Verificou-se que a casca de toras vaporizadas de *Eucalyptus grandis* não apresentaram diminuição do PCS, diferentemente do que ocorre com a madeira. Isto mostra que a composição química do material é fator importante para a sua degradação térmica durante o processo de aplicação de vapor.

## Conclusões

Conclui-se que a vaporização em toras de *Eucalyptus grandis*:

- promoveu redução significativa do poder calorífico superior da madeira de 4752,54 para 4641,55Kcal/Kg sem prejudicar o potencial de combustão da espécie.
- não alterou o poder calorífico superior da casca, o qual apresentou-se na ordem de 3877,32 para o material controle e 3862,79Kcal/Kg para o vaporizado.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro através do processo N°02/05028-6.

## Referências Bibliográficas

BRITO, J.O. Expressão da produção florestal em unidades energéticas. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7, 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Silvicultura/Sociedade Brasileira de Engenheiros Florestais, 1993. p. 280-282.

BRITO, J.O. Madeira para a floresta: a verdadeira realidade do uso de recursos florestais. **Silvicultura**, v.11, n.41, p.188-193, 1986.

CARVALHO, A.M.; NAHUZ, M.A.R. Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha. **Scientia Forestalis**, n.59, p.61-76, jun.2001.

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

CHAFE, S.C. Effect of brief presteaming on

shrinkage, collapse and other wood-water relationships in *Eucalyptus regnans* F. Muell. **Wood Science and Technology**, v.24, p.311-326, 1990.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood chemistry: ultrastructure reactions water**. Berlin: De Gruyter, 1984, 612p.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Washington: US department of agriculture, 1999, 463p.

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

HOMAN, W.; TJEERDSMA, B.; BECKERS, E.; JORISSEN, A. Structural and other properties of modified wood. In: WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 2000. British Columbia, Canada. **Proceedings...** British Columbia, Canada, 2000, 8p.

JARA, E.R.P. O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. **IPT - Comunicação Técnica**, n.1797, p.1-6, 1989

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

REZENDE, M.A. **Uso da técnica de atenuação da radiação gama no estudo da biomassa de *Eucalyptus grandis***. Piracicaba, 1984. 74f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia Nuclear na Agricultura) – Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo.

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

SEVERO, E.T.D. Qualidade da secagem de madei-

- ra serrada de *Eucalyptus dunnii*. **Ciência Florestal**, v.10, n.1, p.109-124, 2000.
- SEVERO, E.T.D.; TOMASELLI, I. Efeito da vaporização no alívio das tensões de crescimento em toras de duas procedências de *Eucalyptus dunnii*. **Sciencia Agraria**, v.1, n.1-2, p.29-32, 2000.
- SIMPSON, W.T. Effect of presteaming on moisture gradient of Northern Red Oak during drying. **Wood Science**, v.8, p.156-159, 1976.
- SIMPSON, W.T. Effect of steaming on the drying rate of several species of wood. **Wood Science**, v.7, p.247-255, 1975.
- SKOLMEN, R. G. Heating Logs To Relieve Growth Stresses. **Forest Products Journal**, v.17, p.41-42, 1967.
- STAMM, A.J. Thermal degradation of wood and cellulose. **Ind. Eng. Chem.**, v.48, n.3, p.413-416, 1956.
- VALE, A.T.; BRASIL, M.A.M. CARVALHO, C.M.; VEIGA, R.A.A. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Acácia Mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, v.6, n.1, p.83-88, 2000.
- WASKETT, P.; SELMES, R.E. Opportunities for UK grown timber: wood modification state of the art review. **Building Research Establishment LTD**, proj. n° 203-343. 2001, 83p.
- WEIK, B.B.; WENGERT, E.M.; SCHOREDER, J.; BRISBIN, R.. Practical drying techniques for yellow-poplar S-D-R fliches. **Forest Products Journal**, v. 34, p.39-44, 1984.