

**TÍTULO: NOVA ABORDAGEM DE CARACTERIZAÇÃO DOS CAVACOS E DETERMINAÇÃO DO SEU PODER CALORÍFICO EM UMA USINA MÓVEL DE PRODUÇÃO A PARTIR DE EUCALIPTO**

**DELFIN A. F. R.<sup>1</sup>, REZENDE M. S.<sup>2</sup>, BARBOSA T. P.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Mestrando em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, (37)3371-1140, arthurdelfim@me.com

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Instituto Federal do Sul de Minas, (37)3371-1140, marcostote@oi.com.br

<sup>3</sup> Professor Efetivo, Universidade Federal de São João del Rei, (31)9964-5784, tarsisbarbosa@ufsj.edu.br

Apresentado no  
XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017  
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

**RESUMO:** A combustão direta da madeira é, sem dúvida, o processo mais simples e econômico de se obter energia. Seu uso para esse fim apresenta menores problemas de poluição quando comparado aos combustíveis fósseis, em razão do baixo teor de enxofre. Além disto, a emissão de dióxido de carbono geralmente é compensada pela absorção no novo plantio. Para ampliação da sua utilização em escala industrial, faz-se necessário a determinação de características importantes como: teor de umidade, densidade e poder calorífico. Este último entende-se como a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa da madeira. Porém, devido à falta de padronização da biomassa de cavaco de eucalipto, por exemplo, sua adaptação é dificultada nas fornalhas, já que não estão preparadas para essa variabilidade das propriedades do combustível, estando o cavaco ora seco e denso, ora úmido e com alto percentual de casca, afetando diretamente o poder calorífico. Dessa forma, o presente trabalho visa propor a caracterização técnica de cavacos de eucalipto de modo a criar divisões categóricas, detalhar o funcionamento inovador de uma planta móvel de produção de cavaco e aplicar metodologias de testes laboratoriais para determinação das propriedades ótimas de queima do produto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biomassa; Energia; Eucalipto; Padronização; Poder Calorífico.

**TITLE: NEW APPROACH OF BIOMASS CHARACTERIZATION AND DETERMINATION OF ITS CALORIFIC VALUE IN A MOBILE EUCALYPTUS BIOMASS PRODUCTION PLANT**

**ABSTRACT:** Direct combustion of wood is undoubtedly the simplest and most economical process of obtaining energy. Its use for this purpose presents smaller problems of pollution when compared to the fossil fuels, due to the low sulfur content. In addition, the emission of carbon dioxide is usually offset by absorption in the new planting. In order to increase its use on an industrial scale, it is necessary to determine important characteristics such as: moisture content, density and calorific value. The last represents the amount of energy in the form of heat released by the combustion of a unit of wood mass. However, due to the lack of standardization of the eucalyptus biomass, for example, it difficulties the adaptation in the furnaces, since they are not prepared for this variability of the fuel properties, being sometimes dry and dense, sometimes wet and with high bark percentage, what directly affects the calorific value. Thus, the present work aims to propose the technical characterization of eucalyptus biomass in order to create categorical divisions, to detail the innovative operation of a mobile biomass production plant and to apply laboratory test methodologies to determine the optimal burning properties of the product.

**KEYWORDS:** Biomass; Energy; Eucalyptus; Standard; Calorific Value.

**INTRODUÇÃO:** O rendimento energético de um processo de combustão da madeira depende de sua constituição química, onde os teores de celulose, hemicelulose, lignina, extrativos e substâncias minerais variam com a espécie e é de grande importância para a escolha adequada da madeira a ser utilizada. O poder calorífico define-se como a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa da madeira (JARA, 1989). No Sistema Internacional o poder calorífico é expresso em joules por grama ou quilojoules por quilo, mas pode ser expresso em calorias por grama ou quilocalorias por quilograma, e se divide em superior e inferior (BRIANE & DOAT, 1985). O poder calorífico superior é aquele em que a combustão se efetua a volume constante e no qual a água formada durante a combustão é condensada e o calor que é derivado desta condensação é recuperado. O

poder calorífico inferior é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água (JARA, 1989). Segundo Earl (1975), é importante que o teor de umidade da madeira a ser usada como combustível seja reduzido, diminuindo assim o manejo e o custo de transporte, agregando valor ao combustível. O conteúdo de umidade máximo que uma madeira pode ser queimada no forno está em torno de 65% a 70% em base úmida. Por existir essa umidade, é inevitável que ocorra uma perda de calor nos gases de combustão em forma de vapor de água, já que a umidade da madeira evapora e absorve energia em combustão. Desta forma, madeira muito úmida, acima deste limite, necessita energia de origem externa para secar e entrar em combustão (JARA, 1989). A Biomassa é definida como todo material orgânico de origem vegetal. Este material deriva da reação entre gás carbônico (CO<sub>2</sub> no ar), água (H<sub>2</sub>O) e luz solar, ou seja, pelo processo de fotossíntese, qual armazena fração de energia solar nas ligações químicas de seus componentes. Porém, do ponto de vista de comercialização ainda há muito a ser feito no quesito de padronização do material e uniformidade nas propriedades de combustão das amostras.

Nesse contexto, o presente trabalho visa correlacionar o poder calorífico do cavaco de eucalipto com a forma de preparo do material, haja visto a diversidade de tipo de materiais presentes no mercado que nem sempre apresenta as propriedades necessárias, em função do teor de umidade, e principalmente, no cenário em questão, do teor de casca.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Os testes realizados no laboratório, para determinação do poder calorífico superior, foram feitos segundo a norma ABNT NBR 8633/84 e manual do calorímetro PARR 1201.

As amostras utilizadas nos ensaios do poder calorífico superior foram preparadas da seguinte forma:

- Trituração: para obtenção de cavacos;
- Moagem: para transformação em serragem;
- Tamisação: para seleção de partículas;
- Secagem: as partículas de madeira moídas classificadas abaixo de 60 mesh foram secas em estufa a  $105 \pm 2C$  até massa constante.

A usina móvel de obtenção de cavaco apresenta certa inovação no processo de produção que inclusive motivou a elaboração e investigação do presente estudo. Ao invés de utilizar restos da produção de madeira como substrato para a produção de cavaco, o que confere uma maior porcentagem de teor de casca no cavaco, a planta móvel localizada na região do sul de minas utiliza integralmente toras de eucalipto com 2 meses de secagem ao ar livre, sem a retirada de qualquer parcela de madeira, e é capaz de tritura-las no local, já abastecendo o caminhão que as transporta, conforme pode ser visualizado nas fotos que se seguem.



FIGURA 1. Funcionamento da planta móvel de produção de cavaco integral



FIGURA 2. Funcionamento da planta móvel de produção de cavaco integral

## TABELA 1. Poder calorífico do Eucalipto na literatura

Tabela 2 – Valores médios de extrativos totais, lignina, cinzas e PCS dos resíduos lignocelulósicos.

Table 2 – Average values for total extractives, lignin, ashes and HHV for the lignocellulosic residues.

Resíduos Lignocelulósicos	Extrativos totais (%)	Lignina (%)	Cinzas (%)	PCS (kcal/kg)
Maravalhas de eucalipto	3,07 <sup>(200P)</sup>	25,65 <sup>(08)</sup>	0,25 <sup>(062)</sup>	4572,26 <sup>(57)</sup>
Maravalhas de pinus	2,61 <sup>(10,08)</sup>	28,75 <sup>(14)</sup>	0,39 <sup>(1,70)</sup>	4864,20 <sup>(18)</sup>
Bagaço de cana-de-açúcar	16,59 <sup>(15)</sup>	26,71 <sup>(15)</sup>	0,93 <sup>(4,70)</sup>	4511,80 <sup>(61)</sup>
Maravalhas de cedro	12,94 <sup>(23)</sup>	25,90 <sup>(21)</sup>	1,01 <sup>(2,80)</sup>	4756,20 <sup>(20)</sup>
Polpa celulósica de bambu	3,00 <sup>(4,50)</sup>	8,42 <sup>(08)</sup>	1,56 <sup>(0,70)</sup>	4192,40 <sup>(91)</sup>
Processamento de café	8,60 <sup>(147)</sup>	31,03 <sup>(18)</sup>	4,92 <sup>(0,90)</sup>	4606,40 <sup>(80)</sup>
Colheita do milho	17,50 <sup>(141)</sup>	22,85 <sup>(50)</sup>	6,83 <sup>(0,70)</sup>	4515,40 <sup>(20)</sup>
Casca de arroz	4,08 <sup>(9,50)</sup>	28,94 <sup>(25)</sup>	16,78 <sup>(0,50)</sup>	3863,80 <sup>(22)</sup>
Média geral (%)	8,55	24,78	4,08	4485,3

PCS: poder calorífico superior ; \*Valores do coeficiente de variação amostral (%).

Tabela 4. Poder calorífico superior, inferior e útil dos briquetes

% de Madeira	% de RRSU	% H	PCS (kJ kg <sup>-1</sup> )	PCI (kJ kg <sup>-1</sup> )	PCU(kJ kg <sup>-1</sup> )
100	0	6,23	19544,20 a	18135,68 a	15657,94 a
95	5	6,58	19717,66 a	18230,00 ab	15740,96 ab
90	10	6,23	20197,39 ab	18788,87 ab	16358,35 ab
85	15	6,42	20599,83 ab	19148,35 ab	16549,10 ab
80	20	6,20	20623,99 ab	19222,24 ab	16614,13 ab
75	25	6,10	21239,13 b	19860,00 b	17175,35 b
100% Celulose			19312,76		
100% Termoplásticos			34039,68		

\* Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste de Tukey

## TABELA 2. Poder calorífico do Eucalipto na literatura

Tabela 17: Valores do Poder Calorífico Superior para diferentes biomassas (CORTEZ E LORA, 1997).

Material	PCS [kJ/kg]	Especie / Species	PCS / GCV (kcal.kg <sup>-1</sup> )	CMV / VMC (%)	CC / AC (%)	CCF / FCC (%)	CMO / OMC (%)
Epicarpo	21.724	<i>Eucalyptus grandis</i>	4,467	82.90	1.14	15.96	47.40
Mesocarpo	15.522	<i>Acacia mearnsii</i>	4,528	75.33	1.46	23.21	47.23
Endocarpo	22.698	<i>Mimosa scabrella</i>	4,545	78.98	1.28	19.74	47.68
Eucalipto *	19.420	<i>Ateleia glazioviana</i>	4,507	79.14	1.75	19.10	46.76
Bagaço de Cana *	17.330						
Casca de Arroz *	16.140						
Casca de Coco *	19.040						

\* CORTEZ & LORA (1997)

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os dados obtidos na literatura para o poder calorífico superior do eucalipto revelas que sua média se situa em 4.577 kcal/kg. A análise do poder calorífico em laboratório revelou superioridade das amostras colhidas na planta móvel do sul de minas em até 22,7% a mais, representado um valor agregado muito maior nessa categoria de produtos que são processados dessa maneira de forma integral. A grande disparidade ocorre, primariamente por uma questão de erro conceitual ao determinar a origem da biomassa. Por vezes, considerada como resto, o eucalipto geralmente apresenta elevadíssimo teor de casca que prejudica a manutenção da chama e inclusive pode danificar alguns sistemas de fornalhas que utilizam biomassa como combustível. Quando a produção de biomassa é colocada como objetivo central da planta de produção, esta tende e apresentar propriedades superiores que inclusive são capazes de agregar valor ao produto de uma forma geral.

Considera-se que 1 metro cúbico de madeira do gênero *Eucalyptus sem casca* estéreo produz 0,61 metro cúbico sólido de madeira. Já o mesmo volume estéreo *com casca* produz 0,70 metro cúbico sólido de madeira. Dessa forma, uma boa aproximação seria considerar a porcentagem em volume de aproximadamente 13% de casca.

**CONCLUSÕES:** O presente trabalho alerta para a necessidade de padronização e caracterização de diferentes categorias de venda de biomassa, principalmente de eucalipto, que revelou apresentar grandes disparidades em sua composição. O processo de produção da biomassa e o posicionamento de mercado de cada empresa é de extrema importância na categorização do produto de forma a permitir a expansão uso desse tipo de combustível que consiste em uma alternativa sustentável.