

# CAPACIDADE TÉRMICA E PODER CALORÍFICO DE BIOMASSA EUCALIPTO

P. S. NEIVA<sup>1</sup>, D. B. FURTADO<sup>2</sup>, J. R. D. FINZER<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química

**RESUMO** – O consumo de combustíveis de fontes renováveis está em crescente demanda e o uso de biomassa é uma boa opção, pois contribui para o decréscimo do efeito estufa. Este trabalho teve como objetivo a análise do cálculo de combustão, através da capacidade térmica e poder calorífico de biomassa de eucalipto utilizado para geração de energia em caldeira aquatubular de indústria de produção de painéis de madeira – MDF e MDP. Enviou-se para Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo as biomassas: cavaco de eucalipto, casca de eucalipto, chapa de MDP (triturada), chapa de MDF (triturada) e pó de MDP e MDF proveniente de lixamento de chapas, afim de analisar a composição química, umidade, poder calorífico (superior e inferior) e percentual de cinzas. O cálculo teórico de poder calorífico inferior obtido do cavaco de eucalipto foi de 16,46 MJ/kg, em comparação ao obtido experimentalmente pelo IPT - 19,17 MJ/kg. O poder calorífico da madeira é diretamente influenciado pelo teor de umidade e pela massa específica básica, sendo que qualquer variação em algum desses parâmetros influencia no poder calorífico. Quanto maior o teor de umidade maior é o gasto energético para evaporar a água presente na madeira, e quanto menor a massa específica básica menor será o seu poder calorífico.

## 1. INTRODUÇÃO

Desde início da existência da humanidade têm-se registros do homem utilizando fogo, força animal e a energia gerada através dos ventos ou de quedas de água para atender as necessidades diárias de consumo e construção, e é de conhecimento de todos, que o avanço da humanidade, está diretamente ligado com esse aumento de consumo de energia e com uso controlado das diversas formas que são possíveis de se obtê-la (SOARES e col, 2006).

Com o avanço da tecnologia, que veio se modificando junto ao mundo moderno, apoiou-se cedo à ideia de utilizar preferencialmente os combustíveis de fontes não renováveis, como o carvão mineral, gás natural e o petróleo. Esse consumo crescente obrigou o ser humano a aumentar drasticamente o consumo de combustíveis fósseis a tal ponto que essas reservas, presumivelmente, segundo vários especialistas têm grandes chances de se esgotarem nos próximos cem anos (SOARES e col, 2006).

A biomassa é uma boa opção de geração de energia, por ser renovável, ser pouco poluente, contribuindo com a diminuição do efeito estufa e com aquecimento global. No Brasil as

biomassas têm uma grande significância na matriz de energia. Segundo Agência Nacional de Energia Elétrica (2008) no Brasil, em 2007, a biomassa, com um percentual de 31,1% da matriz energética, ficou como a segunda principal fonte de energia, sendo ultrapassada apenas por petróleo e derivados. Com isso, também segundo a Segundo Agência Nacional de Energia Elétrica (2008), para o mercado internacional o Brasil se destacou como o segundo maior produtor de etanol em 2007, obtido através da cana-de-açúcar, com capacidade similar aos Estados Unidos e União Européia.

Entre os tipos de biomassa utilizados, existe a biomassa florestal, que consiste em matérias provenientes de cultivo florestal, como por exemplo, cavaco de eucalipto e casca que são utilizados em fornalhas ou caldeiras, toras de madeiras utilizadas para lenha, entre outros.

A principal forma de utilizar a biomassa florestal é através da conversão de energia termoquímica ou pela combustão e queima que são maneiras de aproveitá-la como energia primária. (FOELKEL, 2016).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A amostra de biomassas utilizadas neste trabalho é em conjunto a uma empresa de produção de painéis de madeira MDF e MDP, situada na cidade de Uberaba – MG. Para o estudo utilizou-se cinco tipos de biomassas: cavaco de eucalipto, casca de eucalipto, chapa de MDP (triturada), chapa de MDF (triturada) e pó de MDP e MDF proveniente de lixamento de chapas, que são usados frequentemente na geração de energia. Porém, neste trabalho será abordado apenas os cálculos de quantidade ar atmosférico e poder calorífico teórico para a biomassa cavaco de eucalipto.

As amostras das biomassas supracitadas foram enviadas ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo para realização em laboratório das seguintes análises:

- Análise elementar (C, H, N, O, S);
- Análise de Umidade;
- Poder calorífico (Superior e Inferior);
- Percentual de Cinzas.

Utilizou-se para as análises no IPT aproximadamente 10 g de cada biomassa, sendo todas as amostras moídas e peneiradas em malha de 60 mesh.



### 2.1 Análise elementar

A análise elementar consiste em determinar o percentual de cada elemento na composição química da biomassa. Sendo os principais elementos o carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio e o enxofre (C, H, N, O, S).

O IPT utilizou como base para determinação dos teores de carbono, hidrogênio e nitrogênio a norma ASTM D5373-16 – Método A. O equipamento utilizado foi o analisador de carbono, hidrogênio e nitrogênio, código IPT: 01879 e uma balança analítica, código IPT:83823. Já para determinação do teor de enxofre total a norma utilizada como base na ASTM D4239-17 – Método A. Os equipamentos utilizados foram analisador de enxofre código IPT: 43252 e balança analítica LCL-003. Para determinação do teor de oxigênio foi utilizada a norma ASTM D3176-15.

## **2.2 Análise de Umidade**

A análise de umidade é necessária para determinar a quantidade água em determinado material. Para a análise de determinação do teor de umidade o IPT utilizou como base a norma ASTM E871-82(13). Os equipamentos e instrumentos utilizados foram balanças duas balanças códigos IPT: 83823 e 21507, duas estufas códigos IPT: 26296 e 40672, e um termômetro código IPT: 3918.

## **2.3 Poder Calorífico (Superior e Inferior)**

O Poder Calorífico é definido como a quantidade de calor que é desprendido pela combustão completa do combustível. Se a medição é feita com os produtos de saída em fase gasosa, é denominado poder calorífico inferior e se for considerado a água dos produtos em fase líquida, com os produtos de combustão à temperatura ambiente, é denominado Poder Calorífico Superior. A diferença dos dois tem que ser exatamente a entalpia de vaporização da água que é formada na combustão do hidrogênio em forma de produto e da água presente no combustível na forma de umidade.

Para determinação do poder calorífico o IPT se baseou na norma ASTM D5865-13. Utilizando uma balança analítica código IPT 83823 e uma bomba calorimétrica com cabeçotes de código IPT: 1 e 2.

## **2.4 Determinação do percentual de cinzas**

As cinzas correspondem à fração inorgânica da biomassa, agregando na sua constituição os elementos químicos que são inertes as reações de combustão, entre eles estão fósforo, potássio e o cálcio. Para a determinação do teor de cinzas foi utilizada a norma ASTM D1102-84(13) e os equipamentos utilizados foram balança analítica de código IPT: 83823, uma mufla código IPT: 18516 e um termômetro código IPT: BG 1422.

# **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

## **3.1 Cálculos de ar estequiométrico e relação ar/combustível.**

Para a comparação dos resultados laboratoriais e calculado teoricamente, utilizou-se os

---

resultados das amostras analisadas pelo IPT representados em forma de laudo, baseados no percentual de cada elemento na composição de cada biomassa em %, conforme a Tabela 1,

**Tabela 1** - Composição química do cavaco de eucalipto.

<b>Elemento</b>	<b>Composição (m/m)</b>	<b>kmol</b>
Carbono	46,90	3,91
Hidrogênio	5,88	5,88
Nitrogênio	0,20	0,01
Oxigênio	46,72	2,92
Cinzas	0,3	-

Fonte: Laudo IPT, 2018.

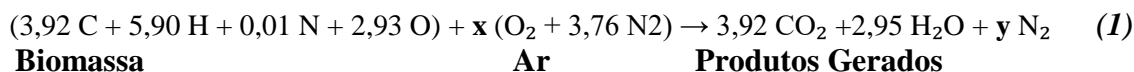
Calcularam-se as quantidades de cada elemento, com redistribuição sem as cinzas, Tabela 2.

**Tabela 2** - Composição química do cavaco de eucalipto com redistribuição sem cinzas.

<b>Elemento</b>	<b>Composição (m/m)</b>	<b>kmol</b>
Carbono	47,04	3,92
Hidrogênio	5,90	5,90
Nitrogênio	0,20	0,01
Oxigênio	46,86	2,93

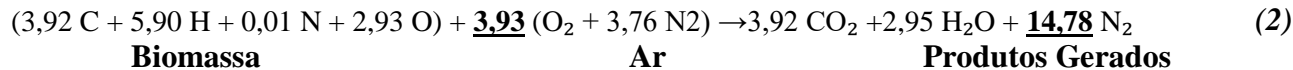
Fonte: Autor, 2018.

Abaixo, na equação geral (1), da combustão para a queima de cada biomassa:



Levando em consideração a estequiometria da reação calcularam-se os coeficientes x e y necessários para obter a quantidade de ar estequiométrico.

Com isso temos a equação (2), com os coeficientes estequiométricos calculados:



Na equação (3), calculou-se a massa de ar estequiométrico necessária para a combustão completa da biomassa.

$$(3,92 \cdot 32) + (3,93 \cdot 3,76 \cdot 28) = 539,19 \text{ kg de ar} \quad (3)$$

E por fim, na equação (4), a relação de ar/combustível para a biomassa Cavaco de Eucalipto.

$$\begin{aligned} a/c &= 539,19 \text{ kg de ar} / 99,7 \text{ kg de biomassa} \\ a/c &= 5,41 \text{ kg/kg} \end{aligned} \quad (4)$$

Com isso, tem-se que para queimar 100 kg de cavaco de eucalipto, desconsiderando os 0,3 kg de cinzas, são necessários 539,19 kg de ar.

### 3.2 Cálculo teórico do poder calorífico

Conforme os resultados das análises realizadas no IPT, o poder calorífico real medido do cavaco de eucalipto foi de 19,17 MJ/kg. Calculou-se o teórico, baseado em dados já disponíveis na literatura para comparar com o experimental. Considerando o calor de formação da água em - 68,317 kcal/mol e o calor de evaporação 10,519 kcal/mol a 25°C e 1 atm (PERRY; GREEN; MALONEY, 1988).

Para a queima do carbono temos as seguintes equações (5) e (6):



Logo a energia na equação (7),  $\epsilon_1$  corresponde à energia de formação do dióxido de carbono e na equação (8)  $\epsilon_2$  corresponde à energia de formação da água.

$$\epsilon_1 = - 94,052 \text{ kcal/mol} \cdot 3.920,09 \text{ mol} = - \mathbf{368.692,30 \text{ kcal}} \quad (7)$$

$$\epsilon_2 = - 68,312 \text{ kcal/mol} \cdot 2948,85 \text{ mol} = - \mathbf{201.441,60 \text{ kcal}} \quad (8)$$

A energia total, calculada na equação (9), é a soma da formação do dióxido de carbono  $\epsilon_1$  e a energia de formação da água  $\epsilon_2$ :

$$\epsilon_{total} = \epsilon_1 + \epsilon_2 \quad (9)$$

Logo:

$$\begin{aligned} \epsilon_{total} &= - 368.692,30 + (- 201.441,60) \\ \epsilon_{total} &= - 570.133,91 \text{ kcal por 100 kg biomassa de cavaco de eucalipto} \\ \epsilon_{total} &= - \mathbf{5.701,34 \text{ kcal/kg biomassa de cavaco de eucalipto}} \end{aligned}$$



Para o cavaco de eucalipto temos - 5.701,34 kcal/kg de energia disponível por quilograma de biomassa.

Calculou-se a energia efetiva na equação (10), levando em consideração que a energia gerada pela combustão completa do combustível não corresponde à energia efetiva. O cavaco de eucalipto conforme representado no laudo do Anexo 1, contém 22,9% e 0,3% de cinzas as quais não geram energia, portanto deve ser desconsiderado da energia gerada na formação a massa de cinzas e a massa de água. Segue os cálculos, levando em consideração a base de cálculo de 100 kg.

Logo:

$$\xi_{efetiva} = \xi_t \cdot [100 - \sum f_i + (\%)] \quad (10)$$

*$\xi_{efetiva}$* : Energia efetiva;

*$\xi_t$* : Energia de formação da combustão;

*$f_i$* : Fração de cinzas;

*(%)*: Fração de água no material;

$$\begin{aligned} \xi_{efetiva} &= -5.701,34 \cdot [100 - (0,3 + 22,9)] \\ \xi_{efetiva} &= - 437.862,84 \text{ kcal/100 kg de biomassa} \\ \xi_{efetiva} &= - \mathbf{4.378,63 \text{ kcal/kg}} \text{ de biomassa} \end{aligned}$$

Calculando a quantidade matéria de H<sub>2</sub>O em mols na equação (11):

$$Q_{H_2O} = 22,9 \text{ kg H}_2\text{O} / 18 \text{ kg H}_2\text{O/kmol} + 2,95 \text{ kmol H}_2\text{O} = \mathbf{4,220 \text{ kmol H}_2\text{O}} \quad (11)$$

Sendo assim a equação (12) para o cálculo de energia gasta na evaporação da água é:

$$\xi_{evaporação} = \Delta H_{evaporação \text{ H}_2\text{O}} \cdot Q_{H_2O} \quad (12)$$

Visto que a entalpia de evaporação da água é 10,519 (kcal/mol) (PERRY; GREEN; MALONEY, 1988):

$$\begin{aligned} \xi_{evaporação} &= 10,519 \text{ kcal/mol} \cdot 4.220,22 \text{ mol H}_2\text{O} \\ \text{em 100 kg de biomassa} &= \mathbf{44.392,52 \text{ kcal/100 kg H}_2\text{O}} \\ \xi_{evaporação} &= \mathbf{443,93 \text{ kcal/kg}} \end{aligned} \quad (13)$$

Sendo a energia gasta na evaporação de H<sub>2</sub>O igual a 443,93 kcal/kg de biomassa, a energia disponível para o sistema segundo a equação (13) é igual a:

$$\begin{aligned} \xi_{disponível} &= \xi_{evaporação} + \xi_{efetiva} \\ \xi_{disponível} &= 443,93 \text{ kcal/kg} + (-4.378,63) \text{ kcal/kg de biomassa} \\ \xi_{disponível} &= -3.934,70 \text{ kcal/kg} \cdot 4.184 \text{ J/kcal} \end{aligned}$$

**$\epsilon_{\text{disponível}}=16,46 \text{ MJ/kg}$**

A diferença entre o valor medido experimentalmente e o teórico pode ser calculado pela equação (14):

$$\left( \frac{\text{Poder calorífico Experimental} - \text{Poder calorífico Teórico}}{\text{Poder calorífico Experimental}} \right) \cdot 100 \quad (14)$$

Logo:

$$\left( \frac{19,17 - 16,46}{19,17} \right) \cdot 100$$

Tendo uma diferença percentual de **14%**.

Vale salientar que os cálculos de comparação das demais biomassas seguem a mesma sequência de análise.

## 4. CONCLUSÃO

O poder calorífico da madeira é diretamente influenciado pelo teor de umidade e pela massa específica básica, sendo que qualquer variação em algum desses parâmetros influencia no poder calorífico. Quanto maior o teor de umidade maior é o gasto energético para evaporar a água presente na madeira, e quanto menor a massa específica básica menor será o seu poder calorífico. O poder calorífico inferior do cavaco de eucalipto calculado estequiometricamente foi de **16,46 MJ/kg**, enquanto o obtido experimentalmente pelo IPT foi de **19,17 MJ/kg**; portanto o desvio foi de 14%.

## 6. REFERÊNCIAS

SOARES, Thelma Shirlen et al. USO DA BIOMASSA FLORESTAL NA GERAÇÃO DE ENERGIA. 2006. 9 p. Artigo (**USO DA BIOMASSA FLORESTAL NA GERAÇÃO DE ENERGIA - ENGENHARIA FLORESTAL**)- Universidade Federal de Viçosa, Garça, 2006. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/florestal1\\_000gapwcajw02wx5ok04xjloyxd3fpu2.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/florestal1_000gapwcajw02wx5ok04xjloyxd3fpu2.pdf)>. Acesso em: 17 set. 2018.

FOELKEL, Celso. Parte 1: Biomassa Florestal & Florestas Energéticas. In: FOELKEL, Celso. Utilização da Biomassa do Eucalipto para Produção de Calor, Vapor e Eletricidade. 1. ed. [S.l.: s.n.], 2016. cap. 43, p. 1-239. Disponível em: <[http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT43\\_Florestas\\_Energeticas\\_Eucaliptos.pdf](http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT43_Florestas_Energeticas_Eucaliptos.pdf)>. Acesso em: 17 set. 2018.



AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. (Brasil). Biomassa. In: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. (Brasil). Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 3. ed. Brasília: [s.n.], 2008. cap. 4, p. 63-74. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2018.

PERRY, R. H.; GREEN, D. W.; MALONEY, J. O. Perry's chemical engineers' handbook. 7th ed. New York: McGraw-Hill, 1988.