



# DETERMINAÇÃO DA ENERGIA FORNECIDA DE QUATRO CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR

M. C. DIAS<sup>1</sup>, A. M. B. da SILVA<sup>2</sup>, A. D. de LIMA<sup>3</sup>

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

**RESUMO** – *Com grande destaque entre as fontes de energia renováveis a biomassa oriunda do bagaço da cana-de-açúcar apresenta um grande potencial na produção de energia elétrica e tem uma vasta área de cultivo no Brasil. Além da área cultivada outro fator favorável na produtividade do setor sucroalcooleiro que resulta em ganho na produção de energia elétrica é a diversidade de cultivares plantadas, o melhoramento das espécies e as características da região onde ela é cultivada. Dados divulgados pela União da Indústria da Cana-de-Açúcar (UNICA) mostram que do total processado 92,3% foi feito pela região Centro-Sul compreendida pelos Estados da região Sul, Sudeste e Centro-Oeste, já os 7,7% restante foi feito pelos Estados da região Norte-Nordeste. Através da demanda por energia oriunda de fontes renováveis o objetivo desse trabalho é determinar a energia fornecida pelo bagaço da cana-de-açúcar para uma caldeira aquatubular pela queima do bagaço de quatro cultivares de cana-de-açúcar SP 80-1816, RB72-454, SP80-3280 e SP81-3250.*

## 1. INTRODUÇÃO

A biomassa proveniente da cana-de-açúcar ao passar por processos industriais é convertida quase que na sua totalidade em fonte energética. A energia elétrica é uma parcela de energia oriunda do processamento da cana-de-açúcar, ela contribui de maneira significativa nos processos industriais e no desenvolvimento industrial e econômico de determinadas regiões que tem usinas de açúcar e álcool instaladas (BEN, 2019).

Com registro de origem na nova Guiné sendo transportada para a Índia após o primeiro contato com o homem, a cana-de-açúcar é uma planta do gênero *Saccharum* com a seguinte morfologia: colmos onde se concentra a sacarose, pontas e folhas que fazem parte da palha da cana. Na produção de etanol o processamento da cana-de-açúcar resulta em 28% de bagaço, em termos energético o bagaço equivale a 49,5% do total de energia proveniente da cana, o etanol 43,2% e o vinhoto 7,3% (Cortez, Lora, e Gómes, 2008).

A produção de energia elétrica nas usinas de açúcar e álcool é possível através da queima do bagaço da cana-de-açúcar nas unidades de cogeração energética, mais especificamente nas caldeiras de cogeração. A energia que uma tonelada de cana-de-açúcar gera em média atinge um valor de 1.718.000 kcal de potencial energético. Para a produção de energia elétrica a biomassa



em termos energéticos é qualquer recurso proveniente de matéria orgânica podendo ser ela de origem animal ou vegetal.

A utilização da biomassa como fonte energética beneficia o meio ambiente diminuindo a dependência no uso de combustíveis fósseis. No Brasil as usinas termelétricas possuem 41 GW de potência instalada correspondendo a 27% do total em operação no país, um quanto desse valor energético tem origem na utilização do bagaço da cana-de-açúcar (ANEEL, 2019).

Após a moagem da cana-de-açúcar o bagaço resultante é utilizado como principal insumo na produção de vapor para utilização em turbinas na produção de energia elétrica. Sua composição varia conforme o tipo de cultivar podendo conter 45 a 55% de água, 40 a 53% de fibra, 2 a 5% de sólidos dissolvidos e 1% de cinzas dissolvidas e outros elementos conforme mostra a tabela 1.

**Tabela 1:** Composição química do bagaço de cana-de-açúcar seco em %.

Elemento químico	Valor médio	Valor máximo	Valor mínimo	Número de dados
C	47,2	49,1	44	9
H	6,3	7,4	5,8	9
N	0,3	0,4	0,2	2
O	44,5	48	41,5	9
S	0,1			1
Cinzas	2,5	3,1	1	8

**Fonte:** Van der Poel et al. (1998).

Um parâmetro importante a ser considerado na biomassa oriunda da cana-de-açúcar para a produção de energia é o poder calorífico, ele é a quantidade de energia liberada na forma de calor durante a combustão completa da unidade de massa do combustível medido em quilo Joule por quilograma (kJ/kg) ou em caloria por quilograma (cal/kg) (Cortez, Lora, e Gómes, 2008).

Objetiva-se neste trabalho verificar qual é o valor da energia fornecida por cada cultivar de cana-de-açúcar levando em consideração as suas particularidades. O estudo será realizado com quatro cultivares de cana-de-açúcar, SP 80-1816, RB72-454, SP80-3280 e SP81-3250 visando encontrar qual cultivar irá oferecer maior energia para produção de vapor em uma caldeira do tipo aquatubular.

## 2. BIOMASSA

A biomassa como fonte energética recebe diversas classificações, o fluxo energético dela é associado aos biocombustíveis que são classificados em três principais grupos de acordo com a origem da sua constituição sendo eles: biocombustíveis da madeira (Dendrocombustíveis), combustíveis de plantação não-florestal (Agrocombustíveis) e os resíduos urbanos. Ainda sobre a classificação da biomassa ela pode ser enquadrada em energéticos primários: quando os materiais ou produtos são obtidos diretamente da natureza como é o caso da cana-de-açúcar que após o seu processamento na indústria terá como um de seus subprodutos o bagaço (Cortez, Lora, e Gómes, 2008).



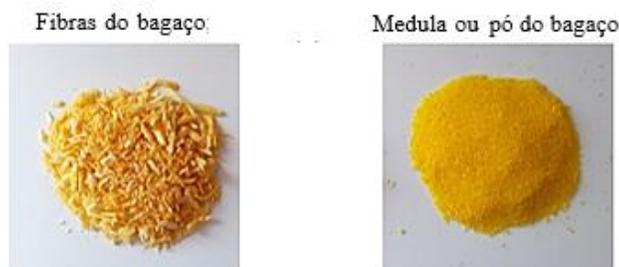
A composição da biomassa da cana-de-açúcar em específico o bagaço, é constituída basicamente de seis elementos químicos na sua fase inorgânica, excluindo se os metais pesados outros dez elementos são encontrados como por exemplo: o silício, alumínio, ferro, cálcio, magnésio, sódio, potássio, enxofre, fósforo e titânio (JENKINS et al., 1998).

Ainda sobre a constituição da biomassa de acordo com González (2015) o poder calorífico varia com a quantidade de umidade presente na biomassa diferenciando-se em dois tipos: Poder Calorífico Superior (PCS) que é a energia liberada em forma de calor na combustão completa de uma unidade mássica de combustível quando o vapor d'água originada durante a combustão é condensado. Já o Poder Calorífico Inferior (PCI) é a energia liberada na forma de calor, assumindo a água como produto da combustão como sendo vapor.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho teve como base o PCS e PCI de cultivares do município de Taquarituba, Estado de São Paulo onde foram realizados os experimentos necessários para encontrar os valores do PCS e PCI de quatro cultivares a saber: SP 80-1816, RB72-454, SP 80-3280 e SP81-32,50. Nesse sentido é de suma importância a confirmação das características do bagaço da cana e independentemente do processo de extração do caldo da cana, ao ser verificado uma amostra do bagaço, dois grupos distintos serão observados. De acordo com Meirelles (1984) o primeiro grupo serão as fibras (partículas maiores) e o segundo é a medula ou pó (partículas menores), a figura 1 mostram as fibras e a medula.

**Figura 1:** Constituição do bagaço da cana.



**Fonte:** Acervo do autor.

As amostras foram colhidas coincidentemente com a data de colheita da cana-de-açúcar feita no mês de outubro do ano de 2007 e na ocasião do estudo foram colhidos 10 colmos por variedade (LIMA, 2009). O poder calorífico superior é determinado através da utilização de bomba calorimétrica adiabática utilizando as técnicas padrão ASTM - Standard Method for Gross Calorific Value of Solid Fuel (CORTEZ; LORA; GÓMES, 2008). Já o poder calorífico inferior é encontrado com base no valor do poder calorífico superior, os resultados encontrados nesse experimento estão descritos na tabela 2.



**Tabela 2:** Poder calorífico das cultivares de cana pesquisadas.

Cultivares	Volume de palhão (m <sup>3</sup> /t)	PCS - Poder calorífico superior (Mcal/t)	PCI - Poder calorífico inferior (Mcal/t)	Umidade %
SP 80-1816	7,964	4582,70	4247,90	69,04
RB72-454	8,610	4511,34	4176,79	70,57
SP80-3280	9,369	4426,97	4092,17	69,60
SP81-3250	10,619	4331,77	3996,97	69,13

**Fonte:** Modificado de LIMA (2009).

O cálculo da energia fornecida pela biomassa será baseada em parâmetros similares ao de uma caldeira atual. A produção de vapor da caldeira utilizada como modelo será 300.000 kg/h a uma temperatura de 520 °C com uma pressão de trabalho igual a 6,7 Mpa. O gás resultante da combustão terá uma temperatura de 160°C e o rendimento estimado do PCI será de 90%. Os demais valores de referência que serão utilizados para o cálculo da energia fornecida pelo bagaço da cana-de-açúcar está disposto na tabela 3.

**Tabela 3:** Valores de referência para operação de uma caldeira aquatubular.

Dados considerados	Valor	Unidade
Calor específico médio do combustível	3,02	kJ/kg.°C
Temperatura do combustível	30	°C
Temperatura de referência	25	°C
Massa ar seco	4,79	kg/kgcomb
Calor específico da água líquida	4,19	kJ/kg°C
Umidade do ar ambiente	0,019	kgágua/kgarseco
Calor específico médio do vapor d'água	1,9	kJ/kg°C
Temperatura do ar de combustão	30	°C

**Fonte:** Modificado de Cortez; Lora; Gómes, (2008).

A quantidade de energia fornecida pelo bagaço da cana-de-açúcar com base nas características da caldeira e os valores de referência da tabela 2 e 3 é dada por:

$$Q_u = c_{pc} \cdot (t_c - t_r) + m_{arsec} \cdot \left[ c_{pa} + (w \cdot c_{pv}) \right] \cdot (t_{ar} - t_r) + PCS \text{ (kJ/kg)} \quad (1)$$

Onde:

$C_{pc}$  - Calor específico médio do combustível:

$T_c$  - Temperatura do combustível:

$T_r$  - Temperatura de referência:

$m_{arsec}$  - Massa de ar seco:

$C_{pa}$  - Calor específico da água líquida:

$W$  - Umidade do ar ambiente:

$C_{pv}$  - Calor específico médio do vapor d'água:

$T_{ar}$  - Temperatura do ar de combustão.



O consumo de bagaço necessário nessa caldeira para manter as características operacionais será determinado através da divisão do calor total transferido pelo combustível que no modelo estudado é igual a 991.858,2 MJ/h (valor determinado pelo balanço de massa) pelo PCI do bagaço em base úmida.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O consumo bagaço da cana-de-açúcar se estabeleceu em torno de 6,3%, maior do que a variedade SP 80-1816. Efetuando um comparativo no consumo de bagaço em t/h dessa variedade com variedade SP81-3250 resulta em 3,492 t/h de bagaço consumido a mais do que a primeira cultivar. Os valores foram analisados e apresentado os resultados na Tabela 4.

**Tabela 4:** Resultados do consumo de bagaço da cana-de-açúcar.

Cultivares	PCI - Poder calorífico inferior (Mcal/t)	Umidade %	Consumo de bagaço (kg/s)
SP 80-1816	4247,90	69,04	15,52
RB72-454	4176,79	70,57	15,78
SP80-3280	4092,17	69,60	16,11
SP81-3250	3996,97	69,13	16,49

Fonte: Autor.

Dentre as quatro cultivares de cana-de-açúcar analisadas a energia útil fornecida na queima do bagaço da cana-de-açúcar teve uma diferença entre as cultivares, essa diferença ficou em 6%, os resultados estão descritos na tabela 5.

**Tabela 5:** Resultados da energia fornecida proveniente da queima do bagaço da cana-de-açúcar.

Cultivares	Energia fornecida (kJ/kg)
SP 80-1816	19.272,00
RB72-454	18.973,72
SP80-3280	18.621,05
SP81-3250	18.127,72

Fonte: Autor.

O cálculo da energia útil fornecida pelo bagaço-da-cana de açúcar é muito importante para a determinação de parâmetros de processos industriais que utilizam o vapor proveniente das caldeiras como fonte secundária de energia. Esses valores servem para determinar como por exemplo a quantidade de bagaço que será consumido na caldeira, a pressão de vapor de trabalho da caldeira assim como a quantidade de vapor que será destinada para os processos de produção e para a geração de energia.



## 5. CONCLUSÃO

A utilização da variedade SP 80-1816 para a queima mostrou ser mais vantajosa. A diferença encontrada entre as cultivares analisadas mostra que a cultivar SP 80-1816 teve uma energia fornecida de 19.272,00 kJ/kg e a cultivar SP81-3250 18.127,72 kJ/kg, esse resultado mostrou uma diferença de 1.144,28 kJ/kg, quantificando esse valor em tonelada resulta em 1.144,28 MJ/ton de energia. Esse resultado ajuda na escolha da melhor variedade de cana-de-açúcar para utilização como fonte primária de energia e também como insumo para suprir os requisitos energéticos dos equipamentos que utilizam essa matéria-prima como fonte energética.

## 6. REFERÊNCIAS

- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Matriz de energia elétrica**. [S. l.], 1.tri. 2019. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>> Acesso em: 13 ago. 2019.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2019. Rio de Janeiro: **Empresa de Pesquisa Energética, 2019**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2019>>. Acesso em: 23 jul. 2019.
- CORTEZ, Luis Augusto Barbosa; LORA, Electo Eduardo Silva; GÓMES, Edgardo Olivares. **Biomassa para energia**. Campinas: Unicamp, 2008.
- DONADIO, P. A., ABRAFATI. Manual básico sobre tintas. 2011.
- GONZÁLEZ, MSc. Felipe Orlando Centeno. **Avaliação da combustão de bagaço e palha de cana-de-açúcar numa fornalha de caldeira industrial AMD a partir da modelagem por CFD**. 2015. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Itajubá - Instituto de Engenharia Mecânica Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Itajubá, 2015.
- LIMA, Adriano Dawison de. **Otimização do aproveitamento do palhiço da cana-de-açúcar**. 2009. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/90515?show=full>>. Acesso em: 10 ago. 2019.
- MEIRELLES, A. J. A., Secagem de bagaço de cana em Leito fluidizado in a fluidized bed. Universidade Estadual de Campinas, 1984, Dissertação (Mestrado).
- UNIÃO NACIONAL DA BIOENERGIA. **A História da Cana-de-açúcar - Da Antiguidade aos Dias Atuais**. [S. l.], [201-]. Disponível em: <<https://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=993>>. Acesso em: 6 ago. 2019.
- VAN der Poel, P. W., Schiweck, H., Schwartz, T. **Sugar Technology Beet and Cane Sugar Manufacture**. Berlin, Verlag Dr. Albert Bartens KG, Germany, 1998, 1118p.
-