



XXI Congresso Brasileiro
de Engenharia Química

Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o
Ensino de Engenharia Química
Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro

CONTRIBUIÇÃO ENERGÉTICA DE RESÍDUOS DA PODA DO CAJUEIRO EM UM BLEND DE BIOMASSA SÓLIDA

M. R. PONTE¹, Y. L. MACHADO², A. M. T. GADELHA¹, R. A. da SILVA³, J. Q. MALVEIRA³ e
M. A. de S. RIOS²

¹ Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável

² Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Mecânica

³ Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará, Laboratório de Referência em Biocombustíveis
E-mail para contato: marcelo.grintequi@gmail.com

RESUMO – *O Brasil, nos últimos anos, vem diversificando sua matriz energética objetivando uma maior sustentabilidade e a minimização dos impactos ambientais. Dessa forma, a utilização de distintas biomassas surge como uma potencial fonte de energia “substituta” aos combustíveis derivados do petróleo. Neste trabalho, foi avaliado o poder calorífico superior e o teor de cinzas de um Blend produzido a partir da mistura do bagaço da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) e da poda do cajueiro (*Anacardium occidentale*). Os resultados experimentais mostraram o mesmo valor de poder calorífico ($16,9 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) para as proporções formuladas entre 75:25 % e 25:75 % (bagaço da cana/poda de cajueiro), o qual foi superior ao poder calorífico do bagaço da cana-de-açúcar em sua forma pura (100 %) – $14,3 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Já, o teor de cinzas, produto indesejado após a combustão, foram quantificados próximos à 6 %, muito inferior ao do bagaço da cana puro (100 %) – 17,8 %.*

1. INTRODUÇÃO

A Biomassa é uma das fontes de energia alternativas com um potencial crescente nos últimos anos. No Brasil, a matriz energética apresenta uma participação de 43,5 % de renováveis, em que, destes, os produtos oriundos da cana-de-açúcar predominam com 18,1 %. Ao que tange à matriz elétrica, as fontes renováveis apresentam 74,6 % da oferta interna. A contribuição hidráulica reduziu sua participação em torno de 4,5 % de 2013 para 2014, enquanto isso a biomassa, constituída por lenha, bagaço de cana e lixívia, cresceu 12,7 % no mesmo período (EPE, 2015). Dados recentes do DMSE (2015) apontam que ao final de 2015, a matriz elétrica constituía-se por 79,4 % de renováveis apresentando um crescimento de 2014 a 2015 da eletricidade gerada a partir da biomassa com um aumento de 7 %.

Segundo Cortez *et al.* (2008) do peso inicial da cana-de-açúcar cerca de 30 % corresponde ao bagaço gerado pela indústria açucareira. Como a safra coincide com o período de estiagem nas

PROMOÇÃO

REALIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO





XXI Congresso Brasileiro
de Engenharia Química

Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o
Ensino de Engenharia Química
Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro

regiões Sudeste e Centro-Oeste, o uso deste recurso, em termelétricas, pode auxiliar na preservação dos níveis dos maiores reservatórios das usinas hidrelétricas do país. Até o ano de 2020, a eletricidade produzida por este setor poderá representar 18 % da matriz energética brasileira (UNICA, 2015).

Em relação à cajucultura, o Brasil, foi o quarto maior produtor mundial no ano de 2006. Tomando como base a produção de castanha, entre os períodos de 2006 a 2012 houve uma produção média de 181 mil toneladas (IBGE, 2012). Nos tratos culturais do cajueiro, mesmo sendo uma colheita temporária, são realizadas diversas operações de podas com a geração de resíduos (EMBRAPA, 2012).

Segundo estudos realizados por Maluf (2014), o crescente uso do bagaço pode promover uma competição entre os fins de etanol de segunda geração (2G) e a cogeração que, atualmente, garante a autossuficiência elétrica em diversas usinas, além de ressaltar que cada aplicação dependerá do retorno financeiro. No entanto, o desenvolvimento de novas tecnologias seria promissor para o etanol 2G, visto que impactaria na liberação de áreas para a plantação de outras culturas agrícolas. No entanto, no caso de maior produtividade da terra ao longo do tempo, o uso etanol de primeira geração (1G) pode se sobressair.

Entretanto, o emprego da biomassa para combustão exige estudos prévios de caracterização que permitam indicar as condições do material, como também dos produtos gerados. O Poder Calorífico Superior (PCS) é um parâmetro que reflete a quantidade de energia liberada, sob a forma de calor, durante a combustão completa por unidade de massa. Enquanto, o teor de umidade relaciona-se à quantidade de água livre presente na biomassa e o teor de cinzas corresponde à fração de resíduos inorgânicos após a sua calcinação (Cortez *et al.*, 2008).

Dependendo das proporções, o material residual obtido na combustão pode onerar um processo devido tanto ao tratamento quanto ao descarte. Este trabalho propôs como objetivo principal, a quantificação da fração de material não combustível, umidade e cinzas, em “*blends*” de bagaço da cana-de-açúcar e da poda de cajueiro nas seguintes proporções: (75:25 % e 25:75 %)/(bagaço da cana:poda de cajueiro). O poder calorífico superior (PCS) foi o parâmetro utilizado para avaliar e comparar o conteúdo energético tanto do bagaço de cana na sua forma pura, quanto sua participação percentual nos *blends* formulados visando à sua aplicação em termelétricas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, foram utilizados dois resíduos agroindustriais: o bagaço da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e a poda do cajueiro (*Anacardium occidentale*), apresentados na Figura 1, ambos coletados das culturas da Macrorregião de Baturité-CE.

PROMOÇÃO

REALIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO





Figura 1 – Matérias-primas utilizadas neste estudo experimental: a) poda do cajueiro (*Anacardium occidentale*); b) bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*).

As amostras foram submetidas a tratamentos prévios: As amostras de cana-de-açúcar foram submetidas a secagem à temperatura ambiente por um período de 5 dias consecutivos, enquanto as podas de cajueiro foram trituradas em um triturador (TR200), em seguida peneiradas em uma peneira com malha de 1 mm visando a sua redução e homogeneização.

Os “blends” utilizados, neste estudo, (X%:Y%), onde: X foi o bagaço da cana e Y a poda de cajueiro foram preparados reunindo-se as amostras trituradas e peneiradas conforme descrito anteriormente. As proporções formuladas foram: (75%: 25%) e (25%:75%) (m/m) denominados como *blend 1* e *blend 2*, respectivamente. As caracterizações das matérias-primas individuais também foram realizadas.

Para caracterização das amostras foram determinados os seguintes parâmetros: poder calorífico superior-PCS ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$); umidade – W (%) e cinzas – A (%), sendo estes dois últimos seus teores calculados em base seca (b.s.). As análises foram realizadas conforme as respectivas normas dispostas na Tabela 1 abaixo, além dos equipamentos apontados, utilizou-se também uma balança de precisão (Marca: Marte ; Modelo: AY220). Para o tratamento dos dados experimentais, por exemplo, construção de tabelas e gráficos utilizou-se o *software Microsoft Excel 2010*.

Tabela 1 – Normas utilizadas para caracterização das amostras investigadas neste trabalho

Análises	Normas	Equipamentos	
		Marca	Modelo
PCS	ASTM E711-87	Calorímetro digital IKA	C200
W	ABNT NBR 14929	Determinador MARTE	ID200
A	NBR 13999	Mufla QUIMIS	Q.318.24

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 abaixo mostra os resultados das caracterizações realizadas para as amostras investigadas neste estudo. Como se pode observar o “blend 1” apresentou um menor teor de umidade quando comparado ao “blend 2” isto, provavelmente, seja resultado da maior concentração da matéria-prima (bagaço de cana) na sua forma pura 100 %, a qual encontra-se presente na formulação deste blend. De acordo com estudos apontados por Santos *et al.*, (2011) a faixa de umidade, aqui, observadas para ambos os *blends*, provavelmente, esta não influencie, consideravelmente, em seu processo de combustão. Ambos os blends apresentaram teores de cinzas aproximados o que implica que os teores individuais das matérias-primas não exerceram influência significativa nesta propriedade. Baixos teores de cinzas podem trazer benefícios tanto econômicos quanto ambientais em diferentes processos de combustão (Cortez *et al.*, 2008).

Tabela 2 – Teores de umidade (W) e cinzas (A) para as amostras analisadas

Material	W (%)			A (%)		
	Verificações	Média	Desvio Padrão	Verificações	Média	Desvio Padrão
Bagaço-cana	9,9	10,0	0,2	17,4	17,8	0,5
	10,1			18,1		
Poda-cajueiro	23,3	23,9	0,9	5,0	4,8	0,2
	24,5			4,7		
Blend 1	9,4	9,5	0,2	6,2	6,0	0,2
	9,7			5,8		
Blend 2	12,5	12,6	0,2	6,1	5,6	0,7
	12,7			5,1		
Redução média entre o Bagaço e o Blend 1	-	5,0%	-	-	66,3%	-
Redução média entre o Bagaço e o Blend 2	-	-25,8%	-	-	68,4%	-

Ainda na Tabela 2, ao se comparar o conteúdo de cinzas dos *blends* em relação ao bagaço de cana pode ser observado que a presença deste reduziu, consideravelmente, o teor de cinzas em torno de 66,3 % e 68,4 %, para os *blends* 1 e 2, respectivamente. Esta redução pode elucidar que a utilização do bagaço de cana resultaria numa menor produção de cinzas, visto que estas são produtos indesejáveis do processo de combustão.

A Figura 2 abaixo mostra os resultados das variações (umidade e cinzas) obtidas para ambos os *blends* em comparação ao bagaço da cana. Observa-se, claramente, que o bagaço de cana analisado apresenta um conteúdo em cinzas, aproximadamente, três vezes superior aos *blends* formulados.

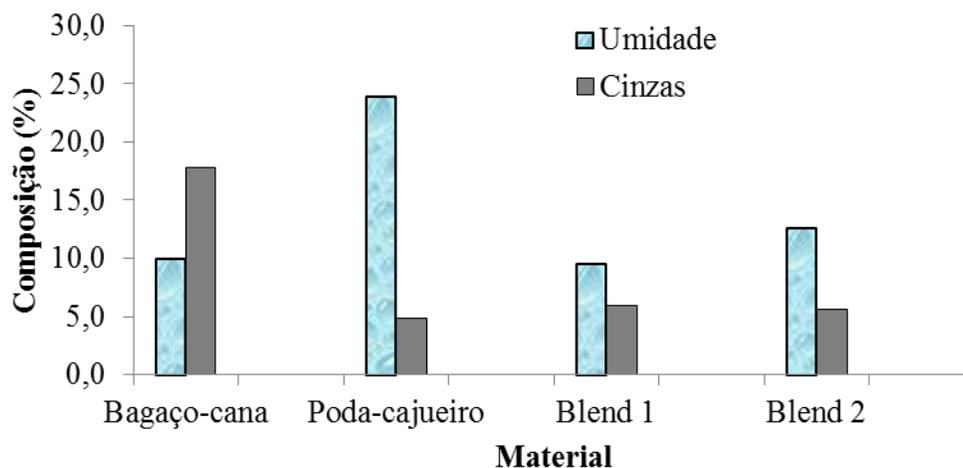


Figura 2 – Representação gráfica da composição não combustível dos materiais analisados.

Na Tabela 3 abaixo pode ser observado que o bagaço de cana *in natura* promoveu um aumento em torno de 18,2 % no poder calorífico superior de ambos os *blends*, bem como o alto valor de umidade da poda do cajueiro não exerceu influencia na redução desta propriedade.

Tabela 3 – Poder calorífico das amostras analisadas neste estudo

Material	PCS (MJ/kg)		
	Verificações	Média	Desvio Padrão
Bagaço-cana	14,0	14,3	0,4
	14,6		
Poda-cajueiro	17,5	17,5	0,1
	17,4		
Blend 1	17,0	16,9	0,0
	16,9		
Blend 2	16,8	16,9	0,1
	17,0		



XXI Congresso Brasileiro
de Engenharia Química

Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o
Ensino de Engenharia Química
Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro

4. CONCLUSÕES

Os "blends" formulados apresentaram menores teores de materiais não-combustíveis (umidade e cinzas), bem como um maior valor de poder calorífico superior (PCS) quando comparado ao bagaço de cana *in natura*. Independente, de sua concentração no "blend" analisado, a presença do bagaço de cana promoveu uma redução no teor de cinzas acima de 66 % em ambos os "blends" (1 e 2) o que pode tornar menos onerosos os processos de geração de calor, reduzindo, assim, paradas para limpezas de equipamentos, por exemplo. Logo, sua utilização, em processos de cogeração, como resíduo agrícola possa vir a se tornar atrativo e viável, não somente, em sua forma *in natura*, mas, também, em misturas com diferentes tipos de resíduos agrícolas estimulando a geração de emprego e renda, bem como fortalecendo a agricultura familiar em diferentes regiões do país.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e a FUNCAP/CAPES pelas bolsas concedidas, à UNILAB, e em especial ao LARBIO (Laboratório de Referência em Biocombustíveis), do Núcleo de Tecnologia do Estado do Ceará (NUTEC).

6. REFERÊNCIAS

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. (Organizadores) *Biomassa para energia*. 3. ed. Campinas: Editora da UNICAMP, 2008.

Departamento de Monitoramento do Sistema Elétrico – DMSE (Brasil). Ministério de Minas e Energia. *Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro: dezembro-2015*. 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 16 jun. 2015.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (Brasil). *Sistemas de Produção*. 2012. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 30 jan. 2014.

Empresa de Pesquisa Energética – EPE (Brasil). Ministério de Minas e Energia. *Balanço Energético Nacional 2015: Ano base 2014*. Rio de Janeiro: EPE, 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 19 jun. 2015.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (Brasil). *Produção agrícola municipal - lavoura permanente*. 2012. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 25 jun. 2014.

MALUF, G. *A Competição entre o Etanol de Segunda Geração e a Produção de Eletricidade pelo Uso do Bagaço*. 2014. 93 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronegócio, Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=39938104>>. Acesso em: 11 fev.

PROMOÇÃO

REALIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO





XXI Congresso Brasileiro
de Engenharia Química

Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o
Ensino de Engenharia Química
Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro

2016.

SANTOS, M. L. dos et al. Estudo das condições de estocagem do bagaço de cana-de-açúcar por análise térmica. *Química Nova*, [s.l.], v. 34, n. 3, p.507-511, 2011. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s0100-40422011000300024. Disponível em: <<http://www.scielo.br>>. Acesso em: 11 fev. 16.

União da Indústria de Cana-de-Açúcar - UNICA (São Paulo). *A Sustentabilidade no Setor Sucroenergético Brasileiro*. 2015. Disponível em: <<http://www.unica.com.br>>. Acesso em: 19 jun. 2015.

PROMOÇÃO

REALIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO

