

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DA CANA DE AÇÚCAR NA GERAÇÃO DE ENERGIA

Vinicius de Sousa Barros , Mateus Maciel Mendes¹, Caio Augusto Chaves¹, João Victor Teixeira de Abreu¹, Alves Marcelo Mendes Pedroza³, Elaine da Cunha Silva Paz³

¹Graduando em Engenharia Elétrica -IFTO. e-mail-viniifto2@gmail.com

¹Graduando em Engenharia Elétrica -IFTO. e-mail-caio273@gmail.com

¹Graduando em Engenharia Elétrica -IFTO. e-mail-

³Doutor NO Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química - UFRN. Professor do IFTO e-mail: <fmendes@ifto.edu.br>

³Mestre no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental - UNAERP. Professora do IFTO. e-mail: <elaine@ifto.edu.br>

Resumo: Essa pesquisa tem como objetivo produzir carvão a partir da pirólise de bagaço de cana-de-açúcar em reator de leito fixo. O material foi coletado na indústria BUNGE na cidade de Pedro Afonso – Tocantins. O material foi transportado em sacos plásticos para o Laboratório LARSEN localizado no Instituto Federal do Tocantins (campus Palmas). O resíduo foi triturado em moinho de facas e peneirado em peneira com abertura de 0,59 mm (ABNT 30, Tyler 28) para garantir a homogeneidade e facilitar os procedimentos analíticos. A secagem dos resíduos foi feita a 60 °C em uma estufa de marca Thorth, modelo Th-520- 150 por um período de 24 horas. Para obtenção do carvão a partir da biomassa em estudo foi realizado uma pirólise na temperatura de 500 °C em reator de leito fixo. A amostra apresentou um teor de material volátil igual a 73,78%, sendo essa variável associada à presença de material orgânico, sendo lignina, celulose e hemicelulose os principais constituintes orgânicos voláteis encontrados na biomassa. O rendimento médio de obtenção de carvão através do processo de pirólise foi de 44,2 %. O bagaço da cana-de-açúcar se apresenta como uma fonte alternativa para a produção de carvão ativado através do processo de pirólise

Palavras-chave: cana de açúcar, energia, pirólise, resíduos industriais

1 INTRODUÇÃO

Dentre as alternativas energéticas, a biomassa destaca-se no panorama brasileiro pelo seu enorme potencial de aproveitamento para a matriz energética. As condições climáticas regionais favorecem a produção desse insumo de modo a satisfazer consideráveis níveis de demanda. Esse é um dos principais fatores que justifica o interesse na pesquisa referente à produção de biocombustíveis a partir da biomassa (Pedroza, 2014).

A biomassa compreende toda a matéria orgânica vegetal que é produzida através da fotossíntese, tais como: culturas e resíduos agroflorestais e a matéria orgânica contida nos rejeitos domésticos e industriais. A energia desses materiais tem origem nas transformações energéticas a partir da radiação solar. Esse potencial energético pode ser liberado diretamente através da queima por combustão da biomassa ou processada com a geração de outras fontes energéticas mais adequadas tais como o álcool, o carvão vegetal e o bio-óleo. A biomassa é reconhecida por muitos pesquisadores da área energética como uma das mais relevantes novas formas de energia para produção de eletricidade tendendo a um crescente uso. Nos últimos tempos, tem-se focalizado atenção em identificar as espécies convenientes da biomassa, que possam proporcionar opções para substituir as fontes convencionais de energia provenientes de combustíveis fósseis (Vieira, 2009).

Os processos de produção e utilização da biomassa são responsáveis pela geração de grande quantidade de resíduos, sendo estes, na maioria das vezes, depositados inadequadamente no meio

ambiente, provocando impactos ambientais, perda de matéria-prima e energia. Com o objetivo de minimizar impactos ambientais relacionados à grande geração e má destinação de resíduos sólidos urbanos e agroindustriais, torna-se necessária à busca por novos meios de tratamento, disposição e o aproveitamento dos resíduos para agregar valor às cadeias produtivas (Vieira, 2011, Pedroza, 2014).

A cana-de-açúcar vem sendo considerada como uma das matérias-primas mais importantes da atualidade, pela sua diversidade de materiais produzidos, sendo etanol, açúcar, energia, cachaça, caldo-de-cana, rapadura, além de seus subprodutos, que são totalmente reutilizados, sendo a vinhaça que é destinada a adubação e fertirrigação, devido a grande concentração de nutrientes, que são capazes de potencializar o crescimento e brotação, além de sua utilização para produção de biogás, por também conter em sua composição grandes quantidades de matéria orgânica.

A produção de cana-de-açúcar não parou de crescer desde o ano 2000. Dentro do contexto da cogeração, e em face da crise do setor energético brasileiro, que teve início em 2001, o setor sucroalcooleiro tem apresentado um grande potencial de geração de energia, apresentando atrativos econômicos e ambientais, principalmente devido à queima de bagaço de cana-de-açúcar na produção como combustível. De acordo com a literatura, uma tonelada de cana gera cerca de 320 kg de bagaço, do quais 90% são usados na produção de energia. A importância da cogeração de energia utilizando o bagaço reside no fato de que ela coincide com o período de seca dos reservatórios das usinas hidrelétricas e, dessa forma, apresenta-se como alternativa para diversificação da atual matriz energética brasileira.

Nesse projeto será investigada a produção de carvão e bio-óleo a partir de resíduos lignocelulósicos da indústria sucroalcooleira na região do MATOPIBA, Brasil. Espera-se que esse trabalho contribua para que esses resíduos tenham destinação mais adequada e aproveitamento do resíduo, vislumbrando assim uma oportunidade de negócio nessa área temática.

2 REFERENCIAL TEÓRICO/ESTADO DA ARTE

2.1 Origem e Classificação Científica da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (Figura 3.1), a princípio originária da espécie *Saccharum officinarum*, provém do território asiático, e era aí semeada desde tempos ancestrais. Com o tempo, vários outros espécimes foram produzidos com a ajuda de inovações tecnológicas, pois a planta original provocava diversas enfermidades.

Cana-de-açúcar é um grupo de espécies de gramíneas perenes altas do gênero *Saccharum*, tribo *Andropogoneae*, nativas das regiões tropicais do sul da Ásia e da Melanésia e utilizadas principalmente para a produção de açúcar e etanol. Tem caules robustos, fibrosos e articulados que são ricos em sacarose.



Figura 3.1 – Cana-de-açúcar

A planta tem entre dois e seis metros de altura. Todas as espécies de cana-de-açúcar mestiças e as principais cultivares comerciais são híbridos complexos. A cana pertence à família Poaceae, uma família de plantas economicamente importantes, como milho, trigo, arroz e sorgo e muitas culturas forrageiras, conforme Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Classificação Taxonômica da Cana-de-açúcar

Classificação taxonômica	
Reino	<i>Plantae</i>
Divisão	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Liliopsida</i>
Ordem	<i>Poales</i>
Família	<i>Poaceae</i>
Gênero	<i>Saccharum</i>

No Brasil esta planta desembarcou pelas mãos dos portugueses, no início do século XVI. Ela prosperou principalmente no Nordeste deste país, sendo responsável por esta nação se converter na melhor criadora e exportadora de açúcar neste período, que se estendeu até o século XVII.

Ela se desenvolve melhor em climas que se caracterizam por apresentar duas estações bem diferenciadas, uma de altas temperaturas e a outra úmida, que possibilitam a evolução germinativa, a rebentação e o progresso do vegetal. A estação fria e seca é necessária para incentivar o estágio maduro e, como resultado deste processo, a concentração de sacarose nos caules de nós salientes. As regiões tropicais são as que oferecem melhores recursos para o desenvolvimento da cana, pois ela necessita da luz solar para seu crescimento.

3.2 Produção de cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas do mundo, cultivada em mais de 100 países, e representa uma importante fonte de mão de obra no meio rural nesses países. Apesar desta difusão mundial, cerca de 80% da produção do planeta estão concentradas em dez países, como mostra a Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Produção da cana-de-açúcar no mundo

País	Área colhida (10 ha)	Produção (10 t)	% Área colhida	Produtividade (t/ha)
Brasil	6,153	455,3	30,2	74,0
Índia	4,200	281,2	20,6	67,0
China	1,220	100,7	6,0	82,5
México	0,668	50,6	3,3	75,7
Tailândia	0,936	47,7	4,6	51,0
Paquistão	0,907	44,7	4,6	51,0
Colômbia	0,426	39,8	2,1	93,4
Austrália	0,415	38,2	2,0	92,0
Indonésia	0,370	30,2	1,8	81,6
Estados Unidos	0,364	26,8	1,8	73,6
Outros	4,713	276,2	23,1	58,6
Total	20,372	1.391,4	100,0	68,3

Fonte: Autor, (2017)

Observa-se que o Brasil e a Índia respondem, em conjunto, por pouco mais da metade da cana produzida mundialmente. Tal fato assume especial relevância quando se consideram possíveis expansões da produção de cana, principalmente pela grande diferença de modelos de produção agrícola consagrados no Brasil (concentrados em grandes produtores) e pela Índia (baseados em pequenos produtores).

Apesar da importância econômica da cana-de-açúcar, sua cultura representa muito pouco em termos de ocupação de área, quando comparada àquelas dedicadas à produção de grãos. A área colhida de cana-de-açúcar no mundo foi de aproximadamente 20,4 milhões de hectares em 2006, enquanto que a área colhida de soja foi de 93,0 milhões de hectares, de milho correspondeu a 144,4 milhões de hectares, de arroz, a 154,3 milhões de hectares e a área colhida de trigo foi de 216,1 milhões de hectares.

No Brasil, a cana-de-açúcar é a terceira cultura temporária em termos de ocupação de área, bem atrás da soja e de milho, como pode ser visto na Tabela 3.2, devido, em particular, à excelente eficiência de conversão fotossintética da cana, que permite uma produtividade excepcional, em torno de 75 t/ha em média.

3 METODOLOGIA/MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Coleta de resíduos e preparo da amostra

O material foi coletado na indústria BUNGE na cidade de Pedro Afonso – Tocantins. O material foi transportado em sacos plásticos para o Laboratório LARSEN localizado no

Instituto Federal do Tocantins (campus Palmas). O resíduo foi triturado em moinho de facas e peneirado em peneira com abertura de 0,59 mm (ABNT 30, Tyler 28) para garantir a homogeneidade e facilitar os procedimentos analíticos. A secagem dos resíduos foi feita a 60 °C em uma estufa de marca Thorth, modelo Th-520- 150 por um período de 24horas.

4.2 Caracterização da Biomassa

4.2.1 Cálculo da Densidade Aparente

Acoplou-se uma proveta de 100 mL em uma balança analítica, conforme Figura 4.1. Zerou-se a balança e adicionou-se a biomassa *in natura* seca na forma em pó e obteve-se as massas(g) nas sucessivas adições nos respectivos volumes de 20mL, 40mL, 60mL, 80mL e 100mL. Determinou-se a densidade, média e o desvio padrão.



4.2.2 Teor de

Figura 4.1 - Densidade Aparente

Cinzas

De acordo com Sanchez *et al.*, (2009), o teor de cinzas foi obtido adicionando a massa de aproximadamente 1g de fibra de biomassa em triplicata a cadinhos de porcelana com peso constante pré-determinado. A amostra foi calcinada a uma temperatura de 915 °C durante 30 minutos em mufla de marca Coel modelo Hm. Na sequência o cadinho é colocado em um dessecador por 1hora para esfriar e em seguida pesado. O teor de cinzas foi determinado pela Equação1:

$$\% \text{ Cinza} = \frac{(P1-P2)}{(P0)} \times 100 \quad (1)$$

P1= peso do cadinho +amostra

P2= peso do cadinho + amostra após o aquecimento na presença de oxigênio

P0= peso da amostra

4.2.3 Teor de Umidade

A umidade da biomassa foi determinada em conformidade com a norma ASTM D 3173-85. A massa de aproximadamente 1g de resíduo foi adicionado a cadinho de porcelana com peso constante pré-determinado. A amostra foi aquecida em uma estufa à temperatura de 110 °C por um período de 1 hora. Na sequência o cadinho foi colocado em um dessecador por 10 minutos e pesados. O procedimento foi realizado em triplicata. O teor de umidade foi determinado segundo a Equação 2.

$$\% \text{ Umidade} = \frac{(P1+P0)-P2}{(P0)} \times 100 \quad (2)$$

P1= peso do cadinho

P2= peso do cadinho + amostra após o aquecimento na estufa

P0= peso da amostra

4.2.4 Material Volátil

Em conformidade com Sanchez *et al.*, (2009), a determinação do teor de material volátil da biomassa foi obtida em triplicata pesando cerca de 1g de amostra em um cadinho de porcelana com peso constante pré-determinado. A amostra foi aquecida em uma mufla à temperatura de 900° C, na ausência de oxigênio por um período de durante 20 minutos. O teor de umidade foi determinado mediante a Equação 3.

$$\% \text{ Material Volátil} = \left[\frac{(P+P0)-P3}{(P0)} \right] \times 100 \quad (3)$$

P= peso do cadinho vazio

P0= peso da amostra inicial

P3= peso do cadinho + amostra final

4.2.5 Teor de Carbono fixo

O teor de carbono fixo será obtido através da diferença descrita segundo a Equação 4.

$$\text{Carbono Fixo} = 100 - (\% \text{ Umidade} + \% \text{ Cinzas} + \% \text{ Material Volátil}) \quad (4)$$

4.3 Pirólise da Biomassa

A biomassa foi introduzida ao reator na forma de briquete. A conversão térmica foi efetuada em um reator de leito fixo (Figura 4.2) de quartzo, de 100 cm de comprimento e diâmetro externo de 10 cm. O reator foi aquecido a 500 °C por forno bipartido reclinável. O reator foi operado em regime de batelada, sendo empregado vapor de água como gás de arraste.



Figura 4.2 – Reator de leito fixo empregado nos experimentos de pirólise de biomassa

Para fins de balanço de massa, após a reação e o resfriamento da unidade de pirólise, todos os produtos do processo (líquido e sólido) foram coletados e pesados. O material sólido foi recuperado diretamente do reator e os líquidos pirolíticos foram coletados após o sistema de condensação dos vapores em funil de separação de fases.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização da biomassa

A Tabela 5.1 mostra os dados obtidos durante as análises imediata e elementar do bagaço da cana-de-açúcar.

Tabela 5.1 – Resultados obtidos durante a caracterização do bagaço da cana-de-açúcar

Biomassa	Análise Imediata (%)			
	Cinzas	Material Volátil	Carbono Fixo	
	11,27	73,78	14,95	
Bagaço de cana	Análise Elementar (%)			
	Carbono	Hidrogênio	Nitrogênio	Enxofre
	44,80	5,35	0,38	0,01

Fonte: Autor, (2018)

Segundo McKendry, (2002) o teor de voláteis é a parte da biomassa que evapora como um gás por aquecimento, sendo assim, o teor de voláteis é quantificado medindo-se a fração de massa da biomassa que volatiliza durante o processo de aquecimento de uma amostra padronizada e previamente seca, em atmosfera inerte, até temperaturas de aproximadamente 850°C. Sabemos que o material volátil está diretamente relacionado a ignição, haja vista que, quanto maior o teor de material volátil maior será a reatividade e conseqüentemente a ignição. Já o teor de carbono fixo (CF) representa a massa restante após a libertação de compostos voláteis, excluindo as cinzas e teores de umidade. O teor de material volátil foi de 73,78 % na biomassa aqui estudada.

As cinzas representam os minerais existentes na biomassa. Valores elevados de cinzas representam baixo poder calórico, e por conseqüência um carvão de má qualidade no qual pode provocar corrosão dos equipamentos utilizados na conversão energética.

A umidade corresponde à perda, em peso, sofrida pelo produto quando é aquecido em condições na qual a água é removida. Na verdade, não é apenas água a ser removida, mas também outras substâncias voláteis nessas condições.

Sabe-se que para um processo de obtenção de energia, a determinação de material volátil e de carbono fixo é de fundamental importância, uma vez que, valores elevados de material volátil e baixo teor de carbono fixo correspondem a uma queima rápida do combustível.

O carbono fixo promove a estabilidade e resistência térmica do combustível. A quantidade de carbono fixo de acordo com Reis *et al.*, (2012) está diretamente relacionada ao poder calorífico superior do carvão vegetal, uma vez que a entalpia associada ao carbono é que determina o valor calorífico dos combustíveis submetidos à pirólise. Enquanto que valores de material volátil elevados sugerem que a estrutura do carvão vegetal, apresente níveis de porosidade, elevado como também densidade reduzida.

O valor da densidade de 0,059 g/mL foi determinado a partir da média dos valores encontrados na Tabela 5.2 e Figura 5.1.

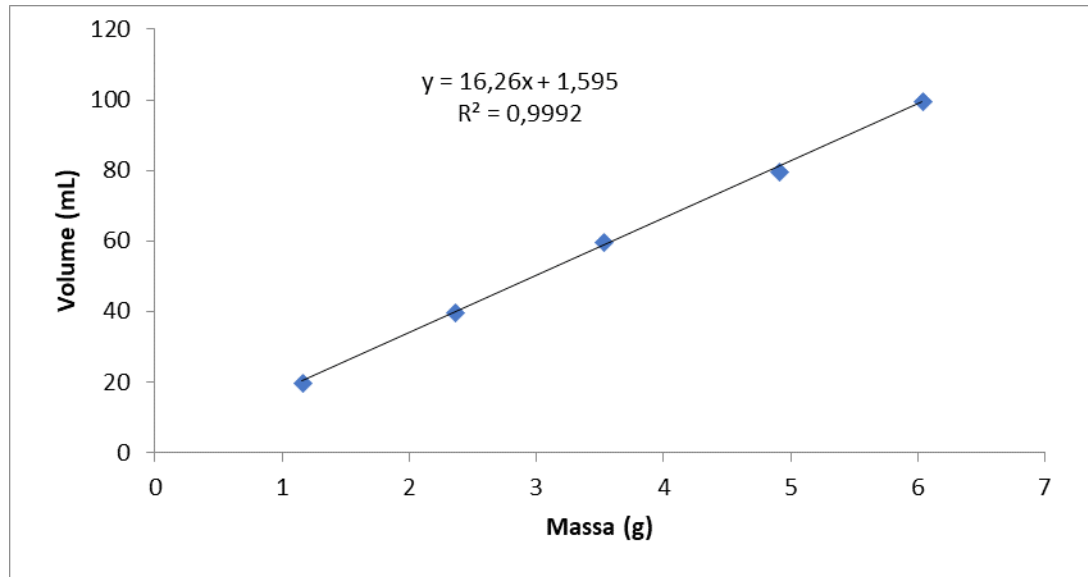
Tabela 5.2 - Resultado da análise da densidade aparente do bagaço da cana

Experimento	Massa (g)	Volume (mL)	Densidade (g/mL)
1	1,16	20	0,058
2	2,35	40	0,058

3	3,52	60	0,059
4	4,9	80	0,061
5	6,03	100	0,060
Média			0,059
Desvio Padrão			0,001

Fonte: Autor, (2017)

Figura 5.1 – Determinação do valor de densidade da biomassa em estudo



Fonte: Autor, (2017)

4.2 Ensaios de pirólise de bagaço da cana-de-açúcar

A Tabela 5.3 apresenta os dados experimentais obtidos durante a pirólise da biomassa em reator de leito fixo. O rendimento médio de carvão foi de 44,2%.

Tabela 5.2 – Dados experimentais obtidos durante a pirólise de biomassa a 500 °C em reator de leito fixo

Experimentos	Temperatura em °C	Massa da amostra (g)	Rendimento carvão (%)
1	500	11,050	43,34%
2		11,046	44,68%
3		11,073	43,21%
4		11,091	45,57%

Fonte: Autor, (2017)

De acordo com a tabela o rendimento médio obtido foi de 44,2% .

5 CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

O bagaço da cana-de-açúcar se apresenta como uma fonte alternativa para a produção de carvão ativado através do processo de pirólise. A biomassa in natura apresentou baixo índice de enxofre, o que aponta com a possibilidade do seu uso como biocombustível. O carvão obtido nessa pesquisa pode ser empregado no tratamento de água, efluentes domésticos e industriais e na purificação de gases. que apropriado, sugestões para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- GOMEZ, E. O. **Estudo da pirólise rápida de capim elefante em leito fluidizado borbulhante mediante caracterização dos finos de carvão**. 2002. 103 f. Tese (Rese de Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2002.
- HAJI, A.G., PARI, G., NAZAR, M., HABITATI, Characterization of activated carbon produced from urban organic waste. **Internat. J. Sci. Eng.**, v. 5, p. 89-94, 2013.
- INGUANZO, M., DOMINGUEZ, A., MENÉNDEZ, J. A., BLANCO, C. G., PIS, J. J. On the pyrolysis of sewage sludge: the influence of pyrolysis conditions on solid, liquid and gases fractions. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 63, p. 209 - 222, 2002.
- PEDROZA, M. M., SOUSA, J. F., VIEIRA, G. E. G., BEZERRA, M. B. D., Characterization of the products from the pyrolysis of sewage sludge in 1 kg/h rotating cylinder reactor. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 105, p. 108-115, 2014.
- PEDROZA, M. M., VIEIRA, G. E. G., SOUSA, J. F., (2011), Características químicas de lodos de esgotos produzidos no Brasil. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica**, v. 4, p. 1-13, 2011.
- PEDROZA, M. M., VIEIRA, G. E. G., SOUSA, J. F., PICKLER, A. C., LEAL, E. R. M., MILHOMEN, C. C. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. **Revista Liberato**, v. 11, p. 147-157, 2010.
- VIEIRA, G. E. G., PEDROZA, M. M., SOUSA, J. F., PEDROZA, C. M. O Processo de Pirólise como Alternativa para o Aproveitamento do Potencial Energético de Lodo de Esgoto – Uma Revisão. **Revista Liberato**, v. 12, p. 81 – 95, 2011.
- VIEIRA, G. E. G., ROMEIRO, G. A., SELLA, S. M., DAMASCENO, R. N., PEREIRA, R. G. Low temperature conversion (LTC) – An alternative method to treat sludge generated in an industrial wastewater treatment station – Batch and continuous process comparison. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 1544 – 1547, 2009.

