

**ANÁLISE COMPARATIVA DA COMBUSTÃO DE MISTURAS DE CARVÃO COM
BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR E SORGO LIGNOCELULÓSICO**

RIBEIRO, N.S.¹; LUNA, C.M.R.¹; ARCE, G.L.A.F.^{1,2}; ÁVILA, I.¹

¹UNESP - Universidade Estadual Paulista, Campus Guaratinguetá, Departamento de Energia, Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, 12.516-410, Guaratinguetá-SP, Brasil.

²INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Laboratório Associado a Combustão e Propulsão, Rodovia Presidente Dutra, km 40, 12630-000, Cachoeira Paulista- SP, Brasil.

c_romeroluna@feg.unesp.br; nsribeiro2@gmail.com; gretta@lcp.inpe.br; iavila@feg.unesp.br

Resumo

Neste trabalho foi estudado o comportamento da combustão de misturas entre carvão mineral e duas biomassas (bagaço de cana de açúcar e bagaço de sorgo lignocelulósico) através da análise termogravimétrica. A influência da adição de biomassa na combustão do carvão mineral foi analisada. Os experimentos foram realizados em um analisador termogravimétrico SDTQ600, utilizando uma razão de aquecimento de 15°C/min numa atmosfera oxidante (ar sintético). Foi considerada uma granulometria uniforme para todos os materiais (63µm) com a finalidade de evitar o efeito de decrepitação do carvão e obter uma mistura homogênea entre os materiais. Foram estudadas 3 proporções de biomassa sendo 25, 50 e 75% respectivamente. A partir das curvas TG e DTG foram determinados parâmetros tais como índice de combustão e sinergismo. Os resultados demonstraram que o carvão mineral quando misturado com ambas biomassas apresentaram um efeito sinérgico acima dos 400°C. As curvas DTG demonstraram um efeito sinérgico quando a proporção de biomassa é maior, sendo o maior para o bagaço de sorgo lignocelulósico. Além disso, não há uma relação proporcional entre o índice de combustão e o grau de sinergismo

Palavras-chave: combustão, carvão mineral, cana-de-açúcar, sorgo lignocelulósico, TGA.

Abstract

In this work the combustion behavior of mineral coal blended with two different biomass was studied (sugarcane bagasse and lignocellulosic sorghum bagasse) by TGA. The addition of biomass in the combustion of mineral coal was analyzed. The experiments were performed in a thermogravimetric analyzer SDTQ600, using a heating rate of 15°C/min in an oxidizing atmosphere (synthetic air). A uniform particle size for all materials (63µm) was considered, in order to avoid the decrepitation of coal and to allow a homogeneous mixture of the materials. Three biomass ratios were studied being 25, 50 and 75% respectively. From the TG and DTG curves were determined parameters such as combustion index and synergism. The results showed that when coal blended with either biomass showed a synergistic effect above 400°C. The DTG curves showed a synergistic effect when the proportion of biomass is higher, being the highest for the lignocellulosic sorghum. Furthermore, there is no a proportional relationship between the combustion index and synergism.

Keywords: Combustion, mineral coal, sugarcane, lignocellulosic sorghum, TGA.

1. INTRODUÇÃO

A queima de combustíveis fósseis na geração de energia provocam um incremento das emissões de gases efeito estufa (GEE) principalmente dióxido de carbono (CO₂), o qual tem vínculo direto com o aquecimento global (SPECHT; REDEMANN; LORENZ, 2016).

Com a finalidade de reduzir gradualmente os danos provocados pela combustão de combustíveis fósseis, a demanda por combustíveis alternativos que reduzem as emissões de gases poluentes tende a aumentar nos próximos anos. Assim, a biomassa apresenta um grande potencial para suprir a demanda de energia renovável, sendo objeto de vários estudos (AL-SHEMMERI; YEDLA; WARDLE, 2015; BEHERA et al., 2015; FRAU et al., 2014; KUMAR et al., 2015; KWON et al., 2011; PEREGO; BOSETTI, 2011).

De acordo com LI et al., (2014) a biomassa possui algumas deficiências, tais como: disponibilidade sazonal, alto teor de umidade, baixo poder calorífico e baixa massa específica. Uma maneira de superar essas deficiências é utilizar a técnica de co-combustão de biomassa e carvão (LI et al., 2015). O Brasil dispõe de diversas biomassas, dentre as quais os resíduos agroindustriais (biomassa) da produção de açúcar e etanol tais como o bagaço e palha da cana de açúcar e recentemente a inserção de variedades de sorgo (sacarino, lignocelulósico, entre outros). O sorgo lignocelulósico surge como uma alternativa a ser utilizada na entressafra da cana-de-açúcar e a produtividade do sorgo desenvolvido no Brasil é de cerca de 2,5 vezes maior do que a de cana ou de milho (CARVALHO et al., 2015). A literatura apresenta diversos trabalhos referente à co-combustão de misturas entre carvão e biomassa, no entanto, não há literatura referente sobre a mistura de carvão e bagaço de sorgo lignocelulósico.

2. OBJETIVO

Estudar o comportamento da combustão do carvão mineral e suas misturas com duas biomassas canaveiras (bagaço de sorgo lignocelulósico e cana-de-açúcar) através de análises termogravimétricas determinando o sinergismo e índice de combustão.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Neste estudo foram utilizadas amostras de carvão mineral betuminoso CE-4500 (C) e duas biomassas sendo bagaço de cana-de-açúcar (BC) e bagaço de sorgo lignocelulósico (BS) respectivamente. Foram consideradas proporções mássicas de 25, 50 e 75% de biomassa para a análise das misturas.

3.2 Analisador termogravimétrico

Um analisador termogravimétrico TG/DTA/DSC da TA Instruments - SCTTGA-DSCQ600 foi usado neste estudo. Todos os materiais tiveram uma granulometria de 63 µm e aproximadamente 5 mg de amostra para os materiais puros e as misturas foram usadas. Ar sintético (21% O₂ e 79% N₂) foi empregado como gás oxidante em uma vazão de 100 mL/min. Uma razão de aquecimento de 15°C/min e uma temperatura final de 1000°C foram definidas.

3.3 Sinergismo

O sinergismo foi avaliado baseado no trabalho Gil et al. (2010), onde a curva DTG calculada da mistura foi determinada sendo:

$$DTG_{calc} = x_c DTG_c + x_b DTG_b \quad (1)$$

onde DTG_c e DTG_b são as taxas de perda de massa correspondente aos materiais puros, x , a proporção mássica do material e os subscritos, c e b , indicam carvão e biomassa respectivamente. Com a finalidade de quantificar o grau sinergismo foi determinado o erro relativo (DTG_{erro}) entre as curvas DTG experimental e calculada da mistura (OYEDUN et al., 2014).

$$DTG_{erro} = \left[\frac{DTG_{exp} - DTG_{calc}}{DTG_{exp}} \right] \times 100 \quad (2)$$

3.4 Índice de combustão

O índice de combustão (S) é um parâmetro utilizado para avaliar o desempenho da combustão, onde quanto mais elevado é seu valor, indica uma melhor reatividade do combustível ou da mistura (BURATTI et al., 2015; LÓPEZ et al., 2014; MOON et al., 2013; VAMVUKA; SFAKIOTAKIS, 2011). O índice de combustão é calculado da seguinte maneira:

$$S = \frac{DTG_{\max} * DTG_{\text{mean}}}{T_i^2 * T_b} \quad (3)$$

Sendo DTG_{\max} e DTG_{mean} as taxas de perda de massa máxima e média, T_i e T_b são as temperaturas de ignição e *burnout* respectivamente. A temperatura de ignição e queima serão determinados pelo método de interseção (LU, CHEN 2015).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise do sinergismo

As Figura 1 e 2 apresentam as curvas DTG das misturas entre carvão e ambas biomassas, onde se observa o perfil dos materiais puros, da mistura calculada e experimental respectivamente. Para a análise foram considerados os valores da curva DTG na faixa de temperaturas entre 100 e a respectiva temperatura de *burnout*.

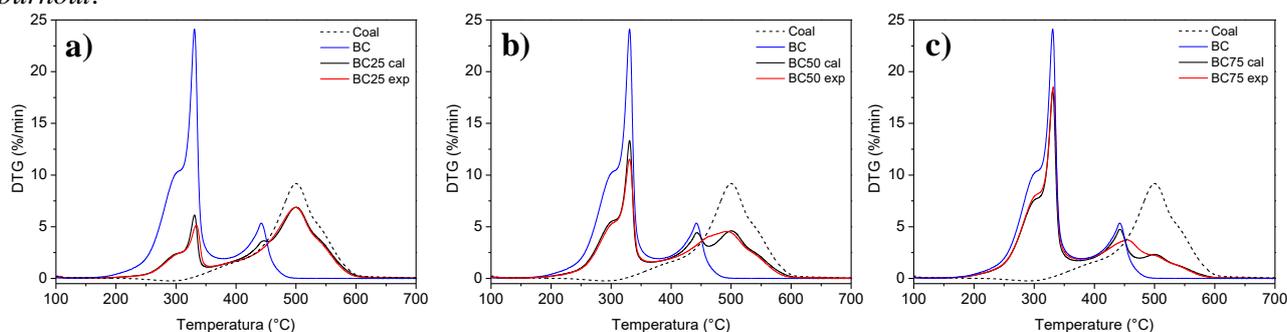


Figura 1. Curvas DTG das misturas carvão e bagaço de cana-de-açúcar (BC).

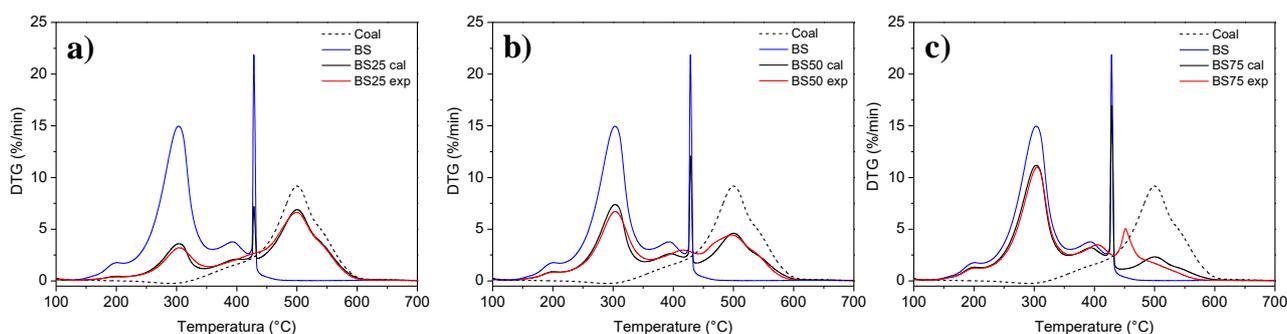


Figura 2. Curvas DTG das misturas carvão e bagaço de sorgo lignocelulósico (BS)

Analisando as Figuras 1 e 2, as diferenças entre os perfis DTG experimental do DTG calculado é resultado da interação entre o carvão e a biomassa, sendo um indicativo do efeito sinérgico em ambas misturas. Pode-se observar que acima de 400 °C estas diferenças são maiores sendo mais claras em proporções mássicas de 50 e 75% respectivamente. A Tabela 1 apresenta os valores do erro relativo para a quantificação do sinergismo. Dos valores podemos observar que a mistura entre carvão e bagaço de sorgo lignocelulósico apresenta um maior sinergismo quando comparado com a mistura entre carvão e bagaço de cana-de-açúcar nas proporções mássicas de 50 e 75 % respectivamente.

Tabela 1. Valor do erro relativo indicando o grau de sinergismo entre duas misturas.

% biomassa	DTG _{erro}	
	BC	BS
25	14.35	17.68
50	14.70	26.42
75	15.36	47.85

4.2 Análise da combustão

A Figura 3 exibe os valores do índice de combustão dos materiais puros e as respectivas misturas. O carvão apresentou o menor índice de combustão, sendo o maior do bagaço de sorgo lignocelulósico seguido do bagaço de cana-de-açúcar. Este resultado pode estar relacionado ao conteúdo de voláteis e à reatividade do carbono fixo dos materiais. Pode-se observar que em baixas frações de biomassa houve uma redução do índice de combustão. As misturas entre carvão e bagaço de cana-de-açúcar apresentaram os maiores índices de combustão, quando comparado com as misturas de bagaço de sorgo lignocelulósico. O índice de combustão determinados neste estudo estão próximos dos valores determinados por Liu et al. (2015) para o carvão betuminoso de elevado teor de cinza da China (4,6) e lignita dos Estados Unidos (9,8). Analisando o índice de combustão da Figura 3 e o grau de sinergismo da Tabela 1, podemos observar que não existe uma relação proporcional entre o grau de sinergismo e o índice de combustão.

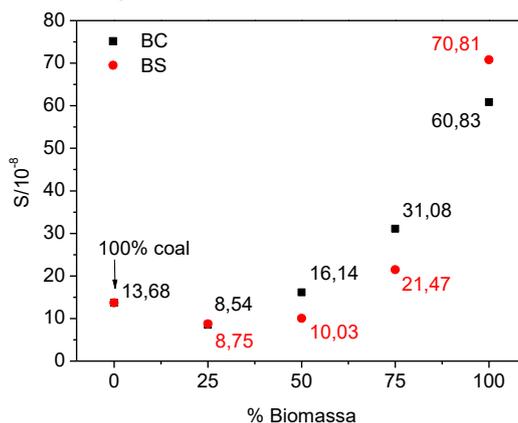


Figura 3. Variações do índice de combustão em função da proporção de biomassa.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram comparadas misturas entre carvão mineral e duas biomassas canavieiras bagaço de cana de açúcar e bagaço sorgo lignocelulósico respectivamente. O efeito sinérgico pode ter um efeito favorável ou desfavorável em função da interação dos materiais. O índice de combustão mostra-se um parâmetro relevante na avaliação do desempenho da combustão de misturas de carvão com biomassas.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq Processo 150894/2014-7) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São (FAPESP - Processo 2013/21244-5) pelo suporte financeiro.

7. REFERÊNCIAS

- AL-SHEMMERI, T. T.; YEDLA, R.; WARDLE, D. Thermal Characteristics of Various Biomass Fuels in a Small Scale Biomass Combustor. **Applied Thermal Engineering**, abr. 2015.
- BEHERA, B. et al. House hold collection and use of biomass energy sources in South Asia. **Energy**, abr. 2015.
- BURATTI, C. et al. Thermogravimetric analysis of the behavior of sub-bituminous coal and cellulosic ethanol residue during co-combustion. **Bioresource technology**, v. 186, p. 154–62, jun. 2015.
- CARVALHO, W. S. et al. Thermogravimetric analysis and analytical pyrolysis of a variety of lignocellulosic sorghum. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 95, p. 337–345, mar. 2015.
- FRAU, C. et al. Characterization of several kinds of coal and biomass for pyrolysis and gasification. **Fuel**, v. 152, p. 138–145, out. 2014.
- GIL, M. V et al. Thermal behaviour and kinetics of coal/biomass blends during co-combustion. **Bioresource technology**, v. 101, n. 14, p. 5601–8, jul. 2010.
- KUMAR, A. et al. A review on biomass energy resources, potential, conversion and policy in India. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 45, p. 530–539, maio 2015.
- KWON, K. C. et al. Catalytic oxygenation of liquid biomass for hydrocarbon fuels. **Renewable Energy**, v. 36, n. 3, p. 907–915, mar. 2011.
- LI, S. et al. Study on co-pyrolysis characteristics of rice straw and Shenfu bituminous coal blends in a fixed bed reactor. **Bioresource technology**, v. 155, p. 252–7, mar. 2014.
- LI, S. et al. Co-pyrolysis characteristic of biomass and bituminous coal. **Bioresource technology**, v. 179, p. 414–20, mar. 2015.
- LIU, Z. et al. Influence of biomass on coal combustion based on thermogravimetry and Fourier transform infrared spectroscopy. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 122, n. 3, p. 1289–1298, 2015.
- LÓPEZ, R. et al. Oxy-combustion of corn, sunflower, rape and bioresidues and their blends from the perspective of thermogravimetric analysis. **Energy**, v. 74, p. 845–854, set. 2014.
- LU, J. J.; CHEN, W. H. Investigation on the ignition and burnout temperatures of bamboo and sugarcane bagasse by thermogravimetric analysis. **Applied Energy**, v. 160, p. 49–57, 2015.
- MOON, C. et al. Effect to blending ratio on combustion performance in blends of biomass and coals of different ranks. **Experimental Thermal and Fluid Science**, v. 47, p. 232–240, maio 2013.
- OYEDUN, A. O. et al. Thermogravimetric analysis of the pyrolysis characteristics and kinetics of plastics and biomass blends. **Fuel Processing Technology**, v. 128, p. 471–481, dez. 2014.
- PEREGO, C.; BOSETTI, A. Biomass to fuels: The role of zeolite and mesoporous materials. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 144, n. 1-3, p. 28–39, out. 2011.
- SPECHT, E.; REDEMANN, T.; LORENZ, N. Simplified mathematical model for calculating global warming through anthropogenic CO₂. **International Journal of Thermal Sciences**, v. 102, p. 1–8, abr. 2016.
- VAMVUKA, D.; SFAKIOTAKIS, S. Combustion behaviour of biomass fuels and their blends with lignite. **Thermochimica Acta**, v. 526, n. 1-2, p. 192–199, nov. 2011.