

COCOMBUSTÃO DE BIOMASSA TORREFICADA E CARVÃO MINERAL

Felipe FACCHINI¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, felipefacchini91@gmail.com

RESUMO

Biomassas são fontes de energia com potencial para substituir parcialmente combustíveis fósseis, especialmente o carvão mineral. No entanto, biomassas no estado natural apresentam certas desvantagens, como menor poder calorífico superior e maior teor de umidade, fazendo com que seja necessária uma maior quantidade de biomassa para obter o mesmo rendimento energético em relação ao uso de carvão mineral. Para contornar essas desvantagens, é aplicável um tratamento térmico denominado torrefação, que visa retirar da biomassa os componentes voláteis de menor conteúdo energético e tendência hidrofílica. Nesse trabalho, foi realizada cocombustão de biomassa torreficada com carvão mineral proveniente da reserva de Candiota-RS. Amostras de bambu-mossô adulto (*Phyllostachys heterocycla*), torreficadas em forno mufla, foram utilizadas nas proporções de 10%, 20% e 30%. As misturas foram submetidas à análise termogravimétrica com fluxo de ar sintético, simulando um ambiente de combustão para observar a influência da participação de bambu como matéria-prima para cocombustão com o carvão. Foram estimados através das curvas derivadas das TGA os eventos de ponto de ignição de carbono fixo, reatividade do combustível, temperatura de fim do processo de combustão (*Burnout*) e cinzas ao fim do processo. A amostra com 30% de bambu torreficado foi a mais reativa, levando cerca de 43 min para que se desse o início da combustão do carbono fixo presente em sua composição. Quanto às temperaturas de burnout, a mesma mistura indicou que o fim do processo ocorreu a uma temperatura inferior ao processo do carvão Candiota -500°C contra 610°C do carvão. A utilização dessa biomassa torreficada pode apresentar um balanço energético favorável para a co-combustão com o carvão, como exemplificado nas proporções utilizadas no ensaio.

Palavras-chave: biomassa, torrefação, cocombustão.

ABSTRACT

*Biomass is a energy source with potential to partially replace fossile fuel, specially mineral coal. However, biomass as received might show disadvantages such as lower heating value and higher moisture content, demanding a larger quantity of biomass to achieve the same energy yield as that of mineral coal. To work around these disadvantages, a termal treatment named torrefaction can be applied in order to remove volatiles with lower energetic content and hidrophylcal behavior. On this article, simulated cocombustion was carried out by, blending mineral coal from Candiota-RS reserve and torrefied biomass. Bamboo samples (*Phyllostachys heterocycla*), torrefied at a muffle furnace, were used in proportions of 10%, 20% and 30%. These blends were submitted to thermogravimetric analysis using synthetic air flow, simulating a combustion process and allowing the observation of the to rrefied biomass influence as co-participating feedstock with mineral coal. The thermal events such as fixed carbono ignition, fuel reactivity, burnout temperature and final ashes content were estimated by observing the derivative curves of the thermogravimetric analysis. The blend sample with 30% torrefied bamboo was found out to be the most reactive one, taking ca. 43 min to engage on the combustion of its fixed carbono content. As for the burnout temperatures, the same sample indicated a much lower temperature as that of the original coal without any biomass addition -500°C for the blend and 600°C for the coal. The addition of torrefied biomass to mineral coal for combustion processes may show a positive energetic outcome, as exemplified with the blend proportions chosen in this article.*

Key-Words: biomassa, torrefaction, cocombustion.

1 INTRODUÇÃO

Uma das alternativas à utilização de combustível fóssil é a biomassa, que é a maior fonte

de energia renovável no planeta, responsável atualmente por cerca de 10% da produção energética mundial (IEA, 2015). Biomassas são fontes de

energia com potencial para substituir combustíveis fósseis, especialmente o carvão mineral. Sua utilização vem se expandindo na indústria, no entanto biomassas no estado natural apresentam desvantagens como menor poder calorífico superior e maior teor de umidade, fazendo com que seja necessária uma maior quantidade de biomassa para obter o mesmo rendimento energético em relação aos combustíveis fósseis (CHEW, 2011).

Uma forma de contornar as desvantagens apresentadas é um processo denominado torrefação, que tem como finalidade aumentar o rendimento energético da biomassa. Esse processo consiste de um tratamento térmico conduzido a temperaturas de 200°C até 300°C, cujo produto final é um material com perdas de até no máximo 30% da sua massa original, mas mantendo até 90% do seu valor energético inicial. (TUMULURU, 2011). São necessárias pesquisas que promovam e estimulem a substituição os combustíveis fósseis por recursos renováveis. Nessa categoria, encontram-se as biomassas, matérias orgânicas de ciclo fechado que podem ser utilizadas como fonte de energia. Para a substituição da gasolina, é popularmente conhecida a opção do etanol, combustível de tecnologia brasileira baseada na cana-de-açúcar. Porém, tal opção não é aplicável para alimentação de fornos industriais e caldeiras, por exemplo. Para substituição do carvão, existem variadas biomassas sólidas de fácil obtenção. No entanto, biomassas dispostas para colheita na sua forma natural, ou seja, sem algum tratamento prévio, podem não apresentar competitividade energética para substituir combustíveis fósseis como o carvão. A problemática discutida nesse trabalho é a utilização de uma tecnologia existente para contornar as desvantagens apresentadas pela biomassa de bambu e fazer com que ela passe de combustível em potencial para combustível aplicável na substituição parcial de combustíveis fósseis.

Dentre as vantagens desse tipo de biomassa podemos citar seu PCS semelhante a de biomassas de madeira utilizadas para conversão térmica –sendo inclusive superior à casca de arroz- e menor geração de emissões atmosféricas, já que não apresenta em sua composição elementar enxofre ou elevados teores de cinzas, presentes em outras biomassas vegetais utilizadas no Brasil e no Rio Grande do Sul.

Além disso, em comparação com as biomassas de cavacos de madeira, podemos citar seu rápido crescimento, ficando disponível para

colheita e aproveitamento em uma média de 3 a 5 anos por ciclo, enquanto biomassas de madeira necessitam de 10 a 20 anos (TRUONG; LE, 2014). É reconhecido como a espécie vegetal de maior taxa de crescimento, podendo se adaptar a zonas tropicais e subtropicais com condições climáticas variáveis e inclusive em solos de baixa qualidade, requisitando um mínimo precipitação média anual de 1000 a 1500 mm e temperatura média anual de pelo menos 15 a 20°C (SCURLOCK et al., 2000). Devido a esses fatores, o bambu apresenta rendimento por área superior ao de qualquer outra espécie vegetal em áreas de cultivo de plantio energético. Truong e Le (2014) constataram que sob condições ideais de cultivo o rendimento pode atingir anualmente até 50 toneladas por hectare.

O tratamento térmico via torrefação pode tornar uma biomassa viável para servir de insumo para processos de conversão térmica, tais como combustão, cocombustão, gaseificação ou pirólise. O processo diminui os custos de transporte envolvidos, pois promove maior rendimento energético da biomassa por volume transportado e apresenta outras vantagens, como baixo custo de aplicação e menor geração de resíduos (TUMULURU apud ACHARYA et al., 2002).

Acharya et al. (2015) concluíram que a biomassa, após passar pelo processo de torrefação, apresenta características similares ao carvão quanto à melhor susceptibilidade para moagem. Ao mesmo tempo, tem como vantagens uma menor geração de cinzas e menor umidade, o que por tabela coloca o material como melhor opção para combustão, já que é necessário retirar menos energia do sistema para perder a umidade.

2 METODOLOGIA

Para a torrefação da biomassa de bambu foi utilizado o forno mufla da empresa Quimis, no Laboratório de Fundição da Unisinos, que é munido de controlador eletrônico. As amostras de bambu, previamente secas e moídas, foram dispostas em cadinhos de porcelana até cerca de metade do volume –totalizando cerca de 15 g - semicobertos com vidro de relógio para escape dos gases voláteis gerados. Foram utilizadas amostras de bambu moído com granulometria média de 0,625 mm, em duplicatas.

Após efetuados os ensaios de valorização térmica, foi selecionada a amostra que obteve melhor rendimento de acordo com o conceito da torrefação –

até 70% de massa e até 90% do conteúdo energético original. As condições e caracterização dos produtos desse ensaio estão identificados na tabela 1 abaixo, onde constam os rendimentos mássico (η_m) e energético (η_e). No caso, a melhor condição foi a amostra torreficada a 275°C, representada na figura

Tabela 1 - Resultados dos ensaios de torrefação em forno mufla

		220°C			275°C			300°C		
Controle (MJ/kg)		PCS (MJ/kg)	η_m (%)	η_e (%)	PCS (MJ/kg)	η_m (%)	η_e (%)	PCS (MJ/kg)	η_m (%)	η_e (%)
0,625 mm	18,454	19,70	91,38	97,64,	23,75	49,13	63,30	28,45	28,94	44,62

Fotografia 1 – Bambu moído e torreficado a 275°C



Fonte: Registrada pelo autor.

As misturas foram submetidas à análise termogravimétrica com fluxo de ar sintético, simulando um ambiente de combustão para observar a influência da participação de bambu como matéria-prima para co-combustão com o carvão. As análises foram realizadas no Laboratório de Termoanálise da CIENTEC – Fundação de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul.

De acordo com Bada et al. (2014) pode-se determinar a reatividade do combustível analisado no ensaio (R_c , em %/min.K), indicado pela perda máxima de massa ($DTG_{máx}$, em %/min) e temperatura onde ocorreu o pico de degradação mássica ($T_{máx}$, em Kelvin) e calculado de acordo com a equação 1:

$$R_c = 100 \times DTG_{máx} \times T_{máx}^{-1} \quad [\text{Eq. 1}]$$

1. Para análise do comportamento térmico da biomassa torreficada e sua influência na co-combustão com carvão, essa amostra foi utilizada para produzir misturas de 10%, 20% e 30% com amostras de carvão Candiota.

3 RESULTADOS

Nos gráficos da figuras 1 e 2 estão representados o comportamento dos combustíveis

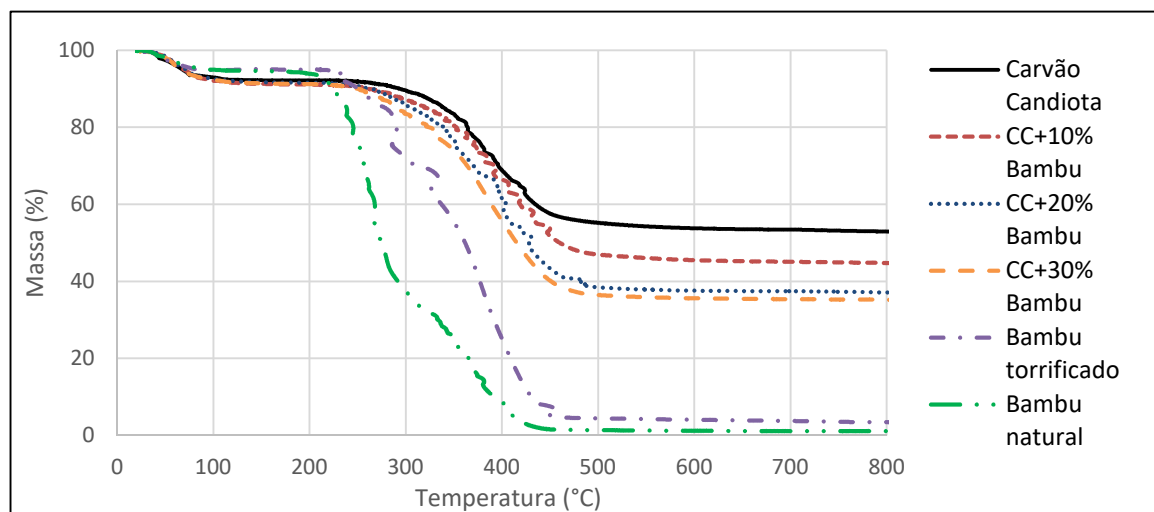
via TGA com ar sintético para as amostras de bambu, bambu torreficado e as misturas com CC. (relação % de massa em função da temperatura e em função do tempo, respectivamente). O processo tende a ser mais rápido em função da volatilidade do combustível em questão, sendo o bambu natural o mais reativo, levando cerca de 37 min – estimando pelo gráfico da figura 15 a partir do momento em que a curva da derivada apresenta um crescimento exponencial após os picos de degradação mássica decorrente da liberação de voláteis - para que se desse início à combustão do carbono fixo presente em sua composição. Para esse mesmo fenômeno ocorrer com o carvão Candiota foram necessários cerca de 53 min.

Tendo em vista as menores temperaturas e tempos necessários para que a combustão em si iniciasse, cabe aqui indicar que a utilização dessa biomassa - tanto natural como torreficada - pode apresentar um balanço energético favorável para a co-combustão com o carvão, como exemplificado nas proporções utilizadas no ensaio.

Portanto, para consideração da combustão combinada de bambu natural+carvão, deve-se atentar à temperatura de início do processo de combustão (*Burnout*), como menciona Bada et al. (2014). Aliando-se à maior reatividade da biomassa com a menor geração de cinzas no processo cabe aqui ressaltar a possibilidade real de utilizar o bambu torreficado como insumo para co-combustão com carvão, sendo ainda necessário balanço de energia

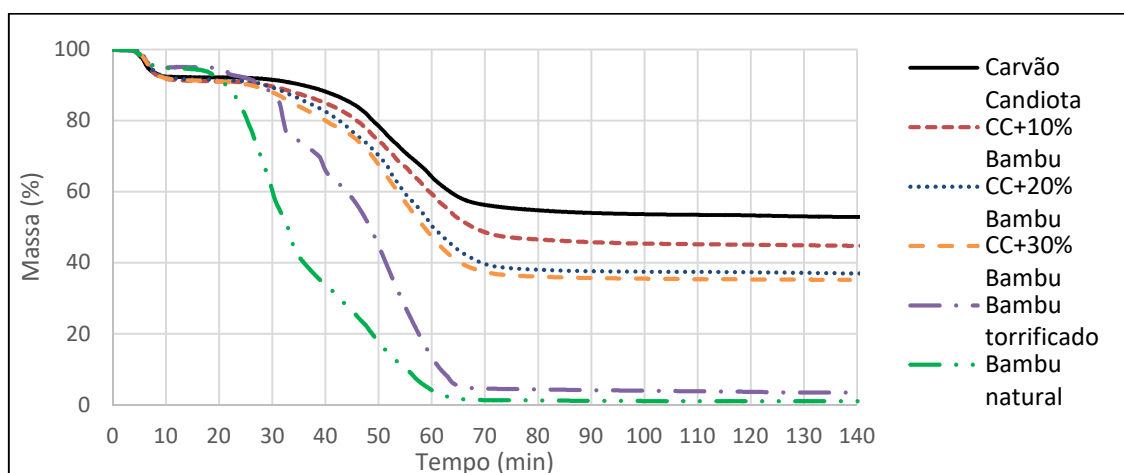
detalhado levando em conta as variáveis do processo de uma planta de pré-tratamento térmico completa.

Figura 1 - Gráfico comparativo da simulação de combustão (Variação de massa em função da temperatura)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 2 – Gráfico comparativo da simulação de combustão (Variação de massa em função do tempo)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme demonstrado na tabela 2, onde estão explicitados os parâmetros observados nos gráficos das figuras 1 e 2, de imediato percebe-se a grande influência de utilizar uma biomassa como matéria-prima para co-combustão ao observar a quantidade final de cinzas ao término do processo. Se inicialmente essa quantidade situava-se em 52,78%, para a mistura de 30% de composição de bambu torreficado o valor apresentado foi de 35,17%. Não há indicativo de grande diferença na geração de cinzas com a mistura de 20%, uma vez que a quantidade apresentada foi de 36,89%. O menor efeito observado foi no blend de 10% de bambu, indicando quantidade de cinzas final de 44,69%.

Considerando a reatividade (R_c) com a percentagem de perda de massa por tempo e unidade de temperatura, nota-se, também, a diferença de reatividade apresentada tanto pelas misturas de bambu + carvão quanto pela biomassa de bambu natural e torreficada, sendo todas maiores que a reatividade do carvão Candiota sem misturas. Esse fato é explicado pela maior volatilidade da biomassa e de sua presença nas misturas utilizadas, diminuindo o ponto de ignição do material e resultando em um processo mais rápido de degradação mássica ao longo do tempo. Nesse sentido, ainda observa-se a notável diferença no ponto de ignição dos combustíveis, T_{ICF} , que foi determinado através da observação do comportamento das curvas derivadas conforme

referiram Bada et al. (2014), e indica que misturas de biomassa influenciam na diminuição do ponto de ignição do carbono fixo, à medida que proporção da biomassa de bambu na mistura aumenta.

Tabela 2 - Pontos de ignição, reatividade dos combustíveis, temperatura de *burnout* e teor de cinzas do carvão e misturas.

Amostra	T _{icf} (°C)	R _c (%/min.K)	Burnout (°C)	Cz (%)
Carvão Candiota	410	0,0519	610	52,78
CC+10% Bambu	335	0,0811	533	44,70
CC+20% Bambu	330	0,10	517	36,90
CC+30% Bambu	327	0,1025	500	35,17
Bambu torreficado	325	0,1691	470	3,37

Fonte: Elaborado pelo autor.

4 CONCLUSÕES

Tendo realizado os ensaios de valorização para a biomassa de bambu, foi possível observar que algumas condições empregadas dos ensaios de torrefação selecionados foram eficientes para indicar que são boas alternativas de tratamento prévio para o bambu com vistas à sua utilização como insumo auxiliar na combustão.

Para a torrefação, a melhor amostra obtida em termos de rendimento foi um produto sólido de PCS 23,75 MJ/kg, com indicativo de pouca quantidade de voláteis, o suficiente para que seu ponto de ignição ainda se mantenha menor em relação ao carvão – 325°C contra 410°C do carvão.

Os ensaios para a simulação de co-combustão com carvão indicaram eficiência para diminuir o ponto de ignição e a quantidade de cinzas geradas no processo, ao apresentar um ponto de ignição da mistura CC+30% Bambu de 327°C e quantidade finais de cinzas de 35,17%.

5 REFERÊNCIAS

ACHARYA et al.. *Review on comparative study of dry and wet torrefaction*. Sustainable Energy Technologies and Assessments, v. 12, p. 26–37, ago. 2015. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em 25 nov. 2016.

BADA et al.. *Investigation of combustion and co-combustion characteristics of raw and thermal treated bamboo with thermal gravimetric analysis*. Thermochemica Acta v. 589, p. 207-214, mai 2014. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em 25 nov. 2016.

CHEW, J.J. Recent Advances In Biomass Pretreatment – Torrefaction Fundamentals And Technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. n. 15, p. 4212-4222. Outubro, 2011. Disponível em <www.sciencedirect.com>. Acesso em 25 nov. 2016.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Key World Statistics*. 2015. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/key-world-energy-statistics-2015.html>. Acesso em 28 jun. 2016

SCURLOCK et al.. *Bamboo: An Overlooked Biomass Resource?*. 2000. Disponível em: <>. Acesso em 25 nov. 2016

TRUONG, An Ha. LE, Thi My Anh. *Overview of bamboo biomass for energy production*. 2014. v. 1, jul. 2014 Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em 25 nov. 2016.

TUMULURU et al. *A review on biomass torrefaction process and product properties for energy applications*. Industrial Biotechnology v.7, p. 384-401, 17 set. 2011. Disponível em <www.sciencedirect.com>. Acesso em 25 nov. 2016