

GASEIFICAÇÃO DE BRIQUETES DE CASCA DE EUCALIPTO

ANTONIO CARLOS VIEIRA¹ JADIR N. SILVA², FÁBIO ZANATTA³, SAMUEL MARTIN⁴

¹Eng. Agrícola, M.S., Prof. Assistente, Depto. de Física, UFV, Viçosa – MG, Fone: (0XX31)3899-2984, acvieira@ufv.br.

²Eng. Agrícola, Ph.D., Prof. Titular, Depto. de Eng. Agrícola, UFV, Viçosa – MG.

³Eng. Agrícola, Mestrando em Eng. Agrícola, UFV, Viçosa – MG.

⁴Eng. Agrônomo, Doutorando em Eng. Agrícola, UFV, Viçosa – MG.

Escrito para apresentação no
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola
31 de julho a 4 de agosto de 2006 - João Pessoa - PB

RESUMO: O uso térmico da biomassa gaseificada traz a grande vantagem da queima extremamente limpa do gás combustível, quando comparado à queima direta da biomassa. O aproveitamento da biomassa constituída por resíduos de madeiras e agrícolas como alternativa energética, por meio da briquetagem, é estimulado pelo fato de que tais resíduos consistem, em geral, de materiais particulados, com dimensões não uniformes; sua baixa densidade incrementa o custo de transporte e armazenamento, além de que possuem baixo preço de comercialização. Este trabalho foi desenvolvido para avaliar a viabilidade técnica do uso de briquetes de casca de eucalipto para aquecimento de ar, em um reator de gaseificação de fluxo concorrente acoplado a uma câmara para combustão dos gases produzidos. O processo de gaseificação/combustão com briquetes de casca de eucalipto é capaz de gerar ar quente, limpo, isento de fumaça e impurezas. O fator de ar durante os testes, em média, foi de 45%. O sistema apresentou eficiência térmica média de 42,8%, e eficiência global de 78%. O consumo médio de briquetes foi de 30 kg.h⁻¹. A temperatura média do ar na saída do sistema foi de 108°C.

PALAVRAS-CHAVE: energia de biomassa, briquetes, gaseificação.

Gasification of briquettes of eucalyptus bark

ABSTRACT: The thermal use of the gasified biomass brings the great advantage of an extremely clean burning of the fuel gases, as compared to the direct burning of the biomass. The use of the biomass constituted by wood and agricultural residues as an energetic alternative, through the briquetting, has been stimulated by the fact that such residues consist, in general, of materials particled with non uniform dimensions; their low densities increase the transport and storage costs and, in addition, they have low commercialization prices. This work was developed to evaluate the technical viability of the use of briquettes of eucalyptus bark for air heating through a gasification reactor of concurrent flow coupled with a combustion chamber for the produced gases. The gasification/combustion process of briquettes generates hot air exempt of smoke and impurities. The relative moisture during the tests, on average, was of 45%. The system exhibited average thermal efficiencies of 42,8% and global efficiencies of 78%. The average fuel consumption was 30 kg.h⁻¹. The average air temperature in the exit of the system was 108°C.

KEYWORDS: biomass energy, briquettes, gasification.

INTRODUÇÃO: O desenvolvimento de programas de pesquisa visando-se a obtenção de tecnologias alternativas de termo-conversão de biomassa de origem vegetal teve um grande avanço a partir da década de 70 (GÓMEZ et al., 2000) e, a gaseificação da biomassa tem se apresentado como uma alternativa sustentável para geração de energia, com baixa emissão de poluentes. A redução da produção de monóxido de carbono na geração energética é fundamental para controlar a poluição

atmosférica e o aquecimento global. Por isto pode se dizer que a própria tecnologia da gaseificação da biomassa é uma forma de controle ou de prevenção da poluição (FERNANDES, 2000). O gás combustível pode então ser usado para fins térmicos (como em secadores ou aquecedores), para fins de geração de eletricidade ou para fins químicos (na produção de metanol, por exemplo) (MONTENEGRO, 2000). O Brasil possui em torno de 5.300.000 ha de florestas plantadas, cuja produtividade média se situa na faixa de 30 m³/ha/ano. A casca representa algo em torno de 10% do volume. Assim, podemos estimar uma quantidade de resíduos, constituídos unicamente pelas cascas, em aproximadamente, 15.900.000 m³/ano. Os resíduos briquetados são menos higroscópicos e muito mais resistentes ao apodrecimento ou à fermentação do que os resíduos na condição natural, facilitando a estocagem e o transporte. Na perspectiva de que os briquetes de casca de eucalipto venham constituir uma fonte energética de elevada importância, no que tange ao aproveitamento de biomassas em sistemas de gaseificação, foi avaliada a viabilidade técnica do uso de briquetes de casca de eucalipto como alternativa energética para aquecimento direto de ar, usando-se um sistema de gaseificação com posterior queima dos gases.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi realizado no Laboratório de Fontes Alternativas de Energia para Secagem de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Foi utilizado um reator para gaseificação de biomassa, de fluxo concorrente, ao qual se acoplou uma câmara para combustão dos gases produzidos (Figura 1a). Foram utilizados para a gaseificação briquetes produzidos a partir de casca de eucalipto que, uma vez picada, peneirada e secada, sem a adição de aglomerantes, foi compactada à pressão de aproximadamente 150 MPa. Possuem forma cilíndrica, com diâmetro de 0,10 m e comprimento próximo de 0,50 m. Tendo em vista as dimensões do reator fez-se necessário o fracionamento dos mesmos para comprimentos de $0,10 \pm 0,04$ m (Figura 1b).



(a)



(b)

Figura 1 – (a) Detalhes do gaseificador e das entradas de ar primário no reator e no combustor; (b) briquetes de casca de eucalipto, fracionados.

O poder calorífico superior (PCS) dos briquetes foi determinado por meio de bomba calorimétrica, segundo as normas ASTM D-2015-66. O poder calorífico inferior (PCI) e o poder calorífico inferior úmido (PCI_u) foram calculados pelas equações citadas por LOPES (2002), usando a composição elementar da casca de eucalipto. Os balanços de massa e energia foram feitos com base nos princípios de conservação da massa e energia, levando-se em conta um sistema operando em regime permanente. O teor de água foi determinado pelo método do forno de secagem conforme a norma ASTM D-3173 e o teor de cinzas de acordo com a norma ASTM D-3174. A massa específica aparente dos briquetes foi determinada conforme a norma estabelecida para o carvão vegetal, NBR 6922/81 (ABNT, 1981). Foram efetuadas três repetições com 60 kg de briquetes em cada uma delas. O processo teve início com a queima de uma pequena quantidade de carvão para se obter a chama piloto para queima dos gases, utilizando um lança-chamas, acoplado a um botijão de GLP. A seguir, o lança-chamas era

introduzido em uma das aberturas circulares do reator de gaseificação para se iniciar a queima dos briquetes. Foram mantidas fechadas todas as demais entradas de ar e acionado o sistema de ventilação. Após a retirada dos lança-chamas, foram reguladas as aberturas de entrada de ar primário e secundário do combustor até a obtenção de ar quente e limpo na saída do sistema. Foram efetuadas medições de temperatura, nas zonas do gaseificador, nas câmaras de combustão e de mistura, na saída do sistema de exaustão, a cada 15 minutos, usando-se termopares tipo K (cromel-alumel), conectados a termômetros digitais. A temperatura e a umidade relativa do ar ambiente foram registradas em gráfico de um termo-higrógrafo nos mesmos instantes de determinação das demais temperaturas. Para o cálculo das vazões mássicas de ar primário e secundário nas diversas aberturas do gaseificador/combustor, e do ar quente na saída do sistema de exaustão, foram medidas as velocidades do ar em tais pontos, nos mesmos instantes de medição das temperaturas, usando-se um termo-anemômetro digital de pás rotatórias com registro das medidas em memória de massa. No cálculo da eficiência térmica considerou-se que ocorreu a completa combustão dos gases produzidos e o sistema operou em regime permanente. As eficiências térmica e global podem ser determinadas pelas equações 1 e 2, respectivamente.

$$\eta_t = \frac{\dot{V}_{ar,s} Me_{ar,s} (h_{ar,s} - h_{ar,e})}{\dot{m}_{comb.} PCI_{comb.} + \dot{m}_{carv.} PCI_{carv.}} 100 \quad (1)$$

$$\eta_g = \frac{\dot{m}_{ar,s} h_{ar,s}}{\dot{m}_{ar,e} h_{ar,e} + \dot{m}_{comb.} PCI_{comb.} + \dot{m}_{carv.} PCI_{carv.} + \dot{W}_{motor}} 100 \quad (2)$$

em que: η_t = eficiência térmica, em %; $\dot{V}_{ar,s}$ = vazão volumétrica do ar na saída, em $m^3.h^{-1}$; $Me_{ar,s}$ = massa específica do ar na saída (base úmida), em $kg.m^{-3}$; $h_{ar,s}$ e $h_{ar,e}$ = entalpia do ar na saída e entalpia do ar ambiente na entrada, em $kJ.kg^{-1}$ ar úmido, respectivamente; $\dot{m}_{comb.}$ = vazão mássica de briquetes, em $kg.h^{-1}$; $PCI_{comb.}$ = poder calorífico inferior úmido dos briquetes, em $kJ.kg^{-1}$; $\dot{m}_{carv.}$ = vazão mássica de carvão, em $kg.h^{-1}$; $PCI_{carv.}$ = poder calorífico inferior do carvão, em $kJ.kg^{-1}$; $\dot{m}_{ar,e}$ = vazão mássica de ar ambiente na entrada, em $kg.h^{-1}$ e \dot{W}_{motor} = consumo de energia pelo motor, $kJ.h^{-1}$.

RESULTADOS e DISCUSSÃO: O PCS dos briquetes medido foi de $17611 kJ.kg^{-1}$ e o calculado com base na composição elementar dos mesmos foi de $17107 kJ.kg^{-1}$, dentro da faixa daqueles encontrados na literatura. O valor médio para a umidade dos briquetes foi de 13,9% (base úmida), dentro das exigências para o bom funcionamento de um sistema de gaseificação. O poder calorífico inferior, base seca (PCI_s) e úmida (PCI_u) dos briquetes foram $16293,7 kJ.kg^{-1}$ e $13691,6 kJ.kg^{-1}$, respectivamente. A massa específica dos briquetes, $1018,5 kg.m^{-3}$, aproximadamente, 2,4 vezes superior à da lenha de eucalipto, lhe confere uma densidade energética de $16,6 MJ.m^{-3}$, superior à da lenha de eucalipto ($8,0 MJ.m^{-3}$). O teor de cinzas dos briquetes foi de 9,2%, dentro da faixa prevista por FOELKEL (2005) para a casca de eucalipto. O consumo de energia elétrica pelo motor do sistema de ventilação foi de 2.666,7 W, equivalente a $9.600 kJ.h^{-1}$. Na Tabela 1 são apresentados os resultados dos parâmetros avaliados durante o processo de gaseificação/combustão. MARTIN (2005) trabalhando com 60 kg de lenha de eucalipto no mesmo gaseificador/combustor obteve, para as eficiências térmica e global, 37,90% e 76,57%, respectivamente. As eficiências térmicas se mostraram próximas das encontradas por SANTOS (2003) operando com um gaseificador de fluxo contracorrente, usando lenha de eucalipto como combustível, para aquecimento direto de ar, com o reator envolto por um casulo para aproveitamento do calor residual. A eficiência térmica média para os testes sem recarga foi 46,71% e consumo médio de combustível de $21,17 kg.h^{-1}$ com diferença de temperatura média entre o ar de entrada e o ar de saída de $36,71^\circ C$, bem inferior às variações de temperatura médias obtidas neste trabalho. As eficiências térmicas obtidas também se mostraram superiores àquelas obtidas por SAGLIETTI (1991), cujo rendimento foi de 28%, para uma fornalha de aquecimento indireto e por OLIVEIRA (1996), que obteve uma eficiência térmica média de 30% para um sistema de aquecimento com trocador de calor ar-água.

Tabela 11 – Valores dos parâmetros avaliados em cada repetição

Parâmetros avaliados	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Valores médios
Tempo total de queima (h)	1,87	2,15	2,07	2,0 ± 0,1
Tempo de gaseificação (h)	1,38	1,80	1,80	1,7 ± 0,2
Consumo de briquetes (kg.h ⁻¹)	32,14	27,91	29,03	30 ± 2
Consumo de carvão (kg.h ⁻¹)	1,13	1,40	0,58	1,0 ± 0,4
Gasto de GLP na ignição (kg)	0,90	0,60	0,60	0,7 ± 0,2
Produção de cinzas (kg.h ⁻¹)	0,86	0,60	1,74	1,1 ± 0,6
Fator de ar (%)	42,18	50,36	41,00	45 ± 5
Eficiência térmica (%)	42,63	42,59	43,11	42,8 ± 0,3
Eficiência global (%)	77,04	78,46	79,66	78 ± 3

CONCLUSÕES: O acoplamento do reator de gaseificação de biomassa a uma câmara de combustão dos gases produzidos mostrou-se constituir uma alternativa viável tecnicamente, para aquecimento direto de ar, obtendo-se ar quente e limpo para variadas aplicações; a utilização de briquetes de casca eucalipto como combustível para a gaseificação proporcionou regularidade no processo; a eficiência térmica do sistema apresentou resultados similares a outros sistemas de gaseificação/combustão para os mesmos propósitos, citados pela literatura; as temperaturas registradas nas zonas de oxidação e redução do gaseificador se situam na faixa daquelas citadas na literatura; e o elevado teor de cinzas dos briquetes foi fator limitante, pois devido às altas temperaturas nas zonas de oxidação e redução, ocorreu a vitrificação das mesmas, dificultando, após cada teste, o trabalho de limpeza da grelha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- FERNANDES, M.C. **Avaliação tecno-econômica da gaseificação do capim-elefante para eletrificação rural.** Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP. Campinas, 2000.
- FOELKEL, C. **Casca da árvore do eucalipto: Aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando a produção de celulose e papel.** Disponível em <http://eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_casca.pdf> Acesso em 11/10/2005.
- GÓMEZ, E.O., CORTEZ, L.A.B., PÉREZ, J.M.M. et al. **Projeto de pirólise rápida contínua de biomassa com ar em reator de leito fluidizado atmosférico.** In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas.
- LOPES, R.P. **Desenvolvimento de um sistema gerador de calor com opção para aquecimento direto e indireto do ar.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 220 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola).
- MARTIN, S., **Desenvolvimento de um gasificador de biomassa de fluxo concorrente.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 105p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola).
- MONTENEGRO, A.A. **Fontes não-convencionais de energia – as tecnologias solar, eólica e de biomassa.** Florianópolis: UFSC/Labsolar/NCTS, 2000.
- SAGLIETTI, J.R.C. **Rendimento térmico de fornalha a lenha de fluxos cruzados.** Botucatu: 1991. 102 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1991.
- SANTOS, I.S. **Reator de gaseificação de biomassa em fluxo contracorrente.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2003. 76p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola).
- OLIVEIRA, G.A. de. **Desenvolvimento e teste de uma fornalha com aquecimento indireto e autocontrole da temperatura máxima do ar para secagem de produtos agrícolas.** 1996. 69 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.