

Recebido: 12-03-2015 Aceito: 24-07-2015

Propriedades de briquetes obtidos de finos de carvão vegetal

Danilo Barros Donato¹, Carlos Miguel Simões da Silva¹, Mateus Alves de Magalhães¹, Carlos Alberto Araújo Júnior¹, Angélica Cássia Oliveira Carneiro¹, Benedito Rocha Vital¹

¹ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa – MG, Brasil.

RESUMO O objetivo do trabalho foi avaliar algumas propriedades físico-químicas e mecânicas dos briquetes produzidos a partir de finos de carvão vegetal e diferentes aglutinantes, farinha de trigo, silicato e melaço de soja. A mistura entre os finos de carvão, água e aglutinante foi realizada com o auxílio de uma betoneira. Ao final da homogeneização, essa mistura foi colocada em uma briquetadeira. A análise química imediata e a densidade aparente dos briquetes foram determinadas. Além disso, estimou-se o poder calorífico útil e a densidade energética de cada tratamento. A resistência à compressão dos briquetes quando submetidos a um determinado esforço foi determinada em uma máquina universal de ensaios. Observou-se que os briquetes produzidos com o aglutinante de silicato apresentaram um maior teor de cinzas que os demais. O poder calorífico superior dos briquetes variou significativamente em função dos tratamentos. O maior valor obtido foi 6944,5 kcal/kg para o briquete com melaço de soja. A resistência à compressão dos briquetes produzidos com o melaço de soja e com farinha de trigo não diferiram significativamente entre si. Contudo, os briquetes produzidos com o silicato tiveram uma menor resistência a compressão (0,39 Kgf/cm²). Os briquetes produzidos com todos os aglutinantes testados nesse estudo são recomendados como fonte energética em usos domésticos e comerciais.

Palavras-chave: aglutinantes, finos de carvão vegetal, briquetadeira.

Properties of briquettes obtained from charcoal fines

ABSTRACT The aim of the study was to evaluate some physical, chemical and mechanical properties of briquettes made from charcoal fines and different binders, wheat flour, silicate and soy molasses. The mixing between charcoal fines, water and binder was performed in a mixer. After homogenization, the mixture was placed in a briquetter. Immediate chemical analyzes and apparent density of briquettes were determined. Moreover, power calorific helpful value and energetic density of each treatment was estimated. Compression strength of briquettes when subjected to a determined load was performed in a universal testing machine. Briquettes produced with silicate binder showed higher ash content than the other types of briquettes. High heating value of briquettes significantly varied as a function of the treatments. The highest value of high heating value was 6944.5 kcal / kg for the briquette with soy molasses. Compression strength of briquettes made with molasses and soybean flour did not differ significantly. However, the briquettes produced with silicate presented less compression strength (0.39 kgf / cm²). The briquettes produced with all binders tested in this study are recommended as an energy source for domestic and commercial uses.

Keywords: binders, charcoal fines, briquetter.

Introdução

Minas Gerais é o estado que mais produz e consome carvão vegetal no país, impulsionado, principalmente, pelo seu desenvolvido setor siderúrgico. Segundo dados do Governo de Minas (2013), o estado produziu 3,5 milhões de toneladas de carvão vegetal em 2011, correspondendo a 85,4% da produção total brasileira. Em decorrência desses valores, há o

acúmulo de um volume bastante expressivo de finos de carvão que são gerados em todas as atividades do processo produtivo do carvão, desde a carbonização, peneiramento e transporte até a utilização final.

A geração de finos ocorre naturalmente devido a friabilidade do carvão vegetal, a qual é a propriedade associada à susceptibilidade do produto em se desfazer em finos quando

submetido à abrasão e choques mecânicos. É afetada pela umidade, pelo diâmetro e pelo comprimento da madeira carbonizada (CARNEIRO et al., 2013).

Dentre as possibilidades de reaproveitamento desses finos de carvão, estão a injeção nas ventaneiras dos altos-fornos siderúrgicos (MACHADO; ANDRADE, 2004), uso como condicionante para substrato de mudas (SOUCHIE et al., 2011) e a briquetagem para possibilitar a aplicação como redutor em alto-fornos ou para a geração de energia (LUCENA et al., 2008; PEREIRA et al., 2008).

A briquetagem é um processo mecânico na qual se aplica pressão em uma biomassa dispersa em partículas, visando compactá-la em sólidos com geometria definida (KALIYAN; MOREY, 2009). Quando se utiliza os finos de carvão, é necessária a adição de algum material aglutinante que possibilite a adesão das partículas para que o briquete não se desfaça novamente em finos (LUCENA et al., 2008).

Alguns exemplos de aglutinantes utilizados são o amido, a fécula de mandioca, o piche, o alcatrão, o melaço de cana e o silicato de sódio (QUIRINO; BRITO, 1991; PEREIRA et al., 2008). A escolha correta do aglutinante é uma questão importante a ser avaliada, já que este influencia diretamente nas propriedades químicas, físicas e mecânicas dos briquetes produzidos, bem como no custo final de produção dos mesmos.

Com isso, o objetivo do presente estudo foi avaliar algumas propriedades físicas, químicas e mecânicas dos briquetes produzidos por pequenos produtores de Minas Gerais, utilizando finos de carvão vegetal e diferentes materiais aglutinantes.

Material e Métodos

A confecção dos briquetes foi realizada em uma propriedade particular localizada na zona rural do município de Coimbra, Minas Gerais. Para a produção dos briquetes, foram

utilizados os finos de carvão em duas granulometrias (moinha fina e moinha grossa), água e aglutinantes, nas respectivas proporções: 70 kg de moinha de carvão, sendo 40 kg da moinha com granulometria 0,80 mm e 30 Kg de moinha com granulometria 3 mm, 30 e 5 kg.

Para a fabricação dos briquetes, foram empregados a farinha de trigo, o adesivo de silicato e o melaço de soja como aglutinantes. A mistura entre os finos de carvão, a água e o aglutinante nas proporções descritas acima foram feitas com auxílio de uma betoneira, até uma completa homogeneização dos componentes. Posteriormente, essa mistura foi colocada em uma briquetadeira de extrusão por parafuso para carvão, modelo EXR-04. Este equipamento possui uma matriz que possibilita fabricar briquetes em formato cilíndrico com 50 mm de diâmetro e capacidade de produção média de 400 kg por hora (Figura 1).

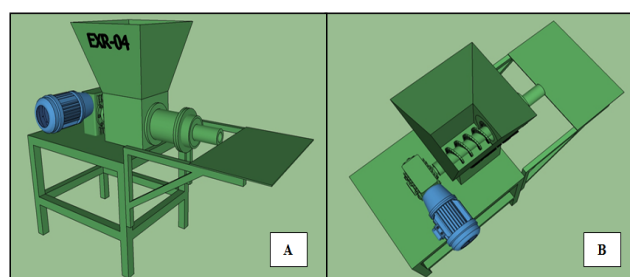


Figura 1 – Imagem ilustrativa da briquetadeira de extrusão utilizada para produção dos briquetes. A - vista lateral; e B - Vista Superior.

Foi realizado o mesmo procedimento para cada tipo de aglutinante, caracterizando-se assim 3 tratamentos. Logo após a produção dos briquetes, estes foram secos à sombra e a temperatura ambiente em um galpão coberto por um período de 15 dias. Depois de secos, os briquetes foram levados ao Laboratório de Painéis e Energia da Madeira da Universidade Federal de Viçosa para a realização das análises.

Foram determinados para cada tratamento o teor de umidade, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo, aplicando-se a metodologia expressa na norma NBR 8112 (ABNT, 1986)

e adotando as normas complementares NBR 5734 (ABNT, 1988) e NBR 6923 (ABNT, 1981).

Também determinou-se a densidade aparente dos briquetes, seguindo-se os procedimentos da norma ABNT NBR 9165 e as normas complementares NBR 5734 (ABNT, 1988).

O poder calorífico superior dos briquetes foi determinado utilizando-se a metodologia descrita pela norma da NBR 8633 e pelas normas complementares NBR 5734 e NBR 6923 (ABNT, 1981). Posteriormente, foi estimado pela Equação 1 o poder calorífico útil em kcal/kg, o qual considera a energia gasta para evaporar a água presente na biomassa.

$$PCU = \{[PCS - 600 \cdot (9H/100)] \cdot (1 - U)\} - (600 \cdot U) \quad \text{Equação 1}$$

Em que: PCU = poder calorífico útil (kcal/kg); PCS = poder calorífico superior (kcal/kg); H = hidrogênio contido na biomassa (%); U = umidade em base seca (%).

A densidade energética (MJ/m^3) foi obtida através da multiplicação do poder calorífico útil e da densidade aparente da biomassa. Considerou-se que 1 kcal corresponde a $4,19 \times 10^{-3}$ MJ.

Os ensaios mecânicos para avaliar a resistência à compressão dos briquetes quando submetido a uma determinada carga ou esforço foram feitos em uma máquina universal de ensaios, marca Contenco, modelo UMC-300, com capacidade de 30 toneladas, que utiliza o *software* Pavitest. A célula de carga utilizada foi de 10 toneladas, carregamento de $0,50 \text{ mm min}^{-1}$ aplicada no sentido diametral dos briquetes, sendo avaliados 12 briquetes como repetições para cada tratamento. Os corpos de prova para realização dos ensaios de resistência a compressão tiveram como dimensões 4 cm de comprimento e 5 cm de diâmetro.

O experimento foi analisado segundo o delineamento inteiramente casualizado (DIC) simples. Os dados foram submetidos aos testes de Lilliefors, para testar a normalidade, e de Cochran, para testar a homogeneidade das variâncias.

Realizou-se a análise de variância, e quando houve efeito dos tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Resultados e Discussão

Observou-se que os briquetes produzidos com o aglutinante de silicato apresentaram um maior teor de cinzas que os demais (Tabela 1). Essa ocorrência é decorrente da presença dasílica, um dos constituintes do adesivo que aparece como resíduo do processo de degradação do material pelo calor. Altos percentuais de cinzas nos briquetes são indesejáveis, uma vez que as cinzas contribuem para redução do seu poder calorífico.

Pereira et al. (2009), avaliando diferentes proporções do adesivo silicato (15, 20, 25, 30 e 35%) para produção de briquetes a partir de finos de carvão vegetal, obtiveram resultados similares, inclusive um maior teor de cinzas para as maiores proporções deste adesivo.

Quanto ao poder calorífico superior dos briquetes analisados nesse estudo, observou-se que os resultados obtidos para os três tipos de briquetes produzidos foram significativamente diferentes entre si. O maior valor obtido foi igual a 6944,5 kcal/kg para o briquete produzido com o aglutinante de melão de soja. Consequentemente, a densidade energética dos briquetes de melão de soja foi significativamente superior aos demais, mostrando um maior potencial para geração de energia. Essa maior densidade energética pode ser explicada pela sua maior densidade aparente e também de seu maior poder calorífico útil.

Melo (2000) pesquisando a produção de briquetes a partir de finos de carvão aglutinado com alcatrão, obteve poder calorífico médio de 7639 kcal/kg, sendo este valor maior que os observados neste trabalho. Isso se deve ao tipo de aglutinante utilizado para a produção dos briquetes, visto o alto

poder energético do alcatrão, que ultrapassa o valor médio de 8.000 Kcal/kg.

De acordo com a Tabela 2, observou-se que os valores médios da densidade aparente dos briquetes produzidos com os

aglutinantes de melação de soja e silicato foram estatisticamente iguais e superiores ao valor obtido para os briquetes produzidos com o aglutinante de farinha de trigo.

Tabela 1. Análise imediata, poder calorífico superior e densidade energética dos briquetes de carvão vegetal com três tipos de aglutinantes.

Table 1. Immediate analyzes, high heating value and energetic density briquettes produced with three types of binders.

Aglutinante	Umidade* (%)	Teor de Voláteis* (%)	Carbono fixo* (%)	Teor de cinzas (%)	PCS (kcal/kg)	Densidade Energética (Mj m ³)
Melaço de soja	8,4	23,7	66,5	9,8 c	6944,5 a	18,6 a
Silicato	9,2	22,1	65,4	12,4 a	6537,0 c	16,9 ab
Farinha de trigo	8,9	23,4	65,9	10,6 b	6783,5 b	15,1 b

*Não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste Tukey, a 95% de nível de confiança.

Tabela 2. Valores médios da densidade e da resistência à compressão dos briquetes em função dos aglutinantes.

Table 2. Average values of density and compression strength of briquettes as a function of binders.

Aglutinante	Densidade (g/cm ³)	Área de Aplicação da carga (cm ²)	Carga máxima (Kgf)	Tensão de Ruptura (Kgf/cm ²)
Melaço de soja	0,72 a	20	17,8 a	0,89 a
Silicato	0,70 a	20	7,8 b	0,39 b
Farinha de trigo	0,60 b	20	16,2 a	0,81 a

Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

A resistência à compressão dos briquetes produzidos com o aglutinante de melação de soja e de farinha de trigo não diferiram entre si, sendo esses valores respectivamente de 0,89 e 0,81 Kgf/cm². Contudo, os briquetes produzidos com o silicato apresentaram um menor valor de resistência à compressão que os briquetes produzidos com os demais aglutinantes avaliados.

O valor médio obtido para a densidade dos briquetes que utilizaram o aglutinante de silicato não teve uma relação direta entre a densidade e a sua resistência mecânica. Isto normalmente não acontece, sendo que o briquete produzido pelo aglutinante de farinha de trigo, apesar de uma menor densidade, apresentou uma maior resistência a compressão. Essa baixa resistência dos briquetes produzidos com o aglutinante de silicato foi ocasionada, provavelmente, pelo baixo percen-

tual de aglutinante utilizado (6%). Esse percentual foi utilizado com base nos briquetes de uso doméstico, os quais contém de 6 a 10% de amido como aglutinante.

A resistência à compressão com as formulações utilizadas na confecção dos briquetes nesse estudo não foi satisfatória para o uso industrial. Para uso em altos-fornos, esse valor deveria ser igual ou superior a 70 kgf/cm² (MOTTER, 1979). Por outro lado, eles podem ser empregados em uso doméstico.

Conclusões

Os briquetes produzidos com todos os aglutinantes testados nesse estudo são recomendados como fonte energética em usos domésticos e comerciais.

De acordo com os resultados obtidos para as propriedades físicas e químicas dos briquetes, os aglutinantes de farinha de trigo e melado de soja apresentaram os melhores resultados, sinalizando a viabilidade na obtenção de energia a partir dessas fontes.

A proporção dos aglutinantes testados nesse estudo (6%) resultou em baixa resistência a compressão. Desta forma novos estudos são necessários para avaliar a influência de diferentes proporções de aglutinantes na resistência mecânica de briquetes a partir de finos de carvão vegetal.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, à Secretaria de Estado, Ciência, Tecnologia e Ensino Superior – SECTES/ MG, ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento – CNPq e ao Grupo de Pesquisa de Carvão Vegetal – G6 pelo apoio financeiro.

Referências

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6923:1981 Carvão vegetal - Amostragem e preparação da amostra**. Rio de Janeiro: ABNT, 1981. 15p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112:1986 Carvão vegetal - Análise imediata**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 5p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633:1984 Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 13p.

CARNEIRO, A.C.O.; SANTOS, R.C.; OLIVEIRA, A.C.; PEREIRA, B.L.C. Conversão direta da madeira em calor e energia. In: **"Bioenergia & Biorrefinaria - Cana-de-açúcar & Espécies Florestais"**. Editores: SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J.H. Viçosa, MG. 2013. Pág 355 – 378.

GOVERNO DE MINAS. Perfil do agronegócio de base florestal de Minas Gerais. **Secretaria de estado de agricultura, pecuária e abastecimento de Minas Gerais**. 61p. 2013.

KALIYAN, K.; MOREY, R. V. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass & Bioenergy*. V. 33, n. 3, p. 337–359. 2009.

LUCENA, D.A.; MEDEIROS, R.D.; FONSECA, U.T.; ASSIS, P.S. Aglomeração de moinha de carvão vegetal e sua possível aplicação em alto-forno e geração de energia. **Tecnologia em Metalurgia e Materiais**. V.4, n.4, p. 1-6. 2008.

MACHADO, F.S.; ANDRADE, A.M. Propriedades termo-químicas dos finos de carvão vegetal e de carvão mineral, para a injeção nas ventaneiras de altos-fornos siderúrgicos. **Biomassa & Energia**. V. 1, n. 4, p. 353-363. 2004.

MELO, V. P. S.; **Produção de briquetes de carvão vegetal com alcatrão de madeira**. Viçosa, 2000.53p.. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade federal de Viçosa, Viçosa.

MOTTER, C. et al. **Aproveitamento de finos de carvão vegetal para produção de briquetes de uso siderúrgico**. 22º Congresso Anual da ABM. Vitoria, ES, Julho, 1979.

PEREIRA, F.A.; CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B.R.; DELLA LÚCIA, R.M.; PATRÍCIO JÚNIOR, W.; BIANCHE, J.J. Propriedades físico-químicas de briquetes aglutinados com adesivo de silicato de sódio. **Floresta e Ambiente**. V.16, n.1, p. 23 – 29. 2009.

QUIRINO, W.F.; BRITO, J.O. Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal. **Laboratório de Produtos Florestais**. LPF - Série Técnica Nº 13. 19p. 1991.

SOUCHIE, F.F.; MARIMON JUNIOR, B.H.; PETTER, F.A.; MADARI, B.E.; MARIMON, B.S.; LENZA, E. Carvão pirogênico como condicionante para substrato de mudas de *Tachigalivulgaris* L.G. Silva & H.C. Lima. **Ciência Florestal**. V. 21, n. 4, p. 811-821. 2011.