



PROPRIEDADES DE BRIQUETES DE FINOS DE CARVÃO VEGETAL PRODUZIDOS COM DIFERENTES AGLUTINANTES

Danilo B. DONATO¹, Wagner D. CANAL¹, Diego C. RAMOS¹, Matheus P. C. F. PEREIRA¹, Welliton L. CÂNDIDO¹, Angélica de C. O. CARNEIRO¹ e Benedito R. VITAL¹

¹ - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, Minas Gerais, Brasil *danilobdonato@gmail.com

Resumo: O objetivo do trabalho foi avaliar as propriedades físicas, químicas e mecânicas de briquetes produzidos com finos de carvão vegetal e diferentes aglutinantes. Foram empregados três aglutinantes: farinha de trigo, silicato e o melaço de soja. A mistura entre os finos de carvão, água e o aglutinante foram feitas com auxílio de uma betoneira. Ao final da homogeneização, essa mistura foi colocada em uma briquetadeira. Para a avaliação das propriedades dos briquetes produzidos, determinou-se a umidade, análise química imediata, densidade aparente, poder calorífico superior e estimou-se o poder calorífico útil e a densidade energética de cada tratamento. Os ensaios mecânicos para avaliar a resistência à compressão foram feitos 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 foram significativamente diferentes entre si. O maior valor obtido foi 6944,5 kcal/kg para o melaço de soja. A resistência à compressão para os briquetes produzidos com o melaço de soja e de farinha de trigo não diferiram significativamente entre si. Contudo os produzidos com o silicato tem um menor valor. Conclui-se que os briquetes de finos de carvão produzidos com os aglutinantes avaliados nesse estudo são recomendados como fonte energética em usos doméstico e comercial.

Palavras-chave: Aglutinantes; finos de carvão vegetal; briquetagem.

PROPERTIES OF COAL BRIQUETTES FINE OF VEGETABLE PRODUCED WITH DIFFERENT AGLUTINANTES

Abstract: The objective was to evaluate the physicochemical and mechanical properties of briquettes using fine vegetable and different binders coal. Wheat flour was used, silicate and soy molasses as binders. The mixture of fine coal, water and binder were done with the aid of a mixer. At the end of homogenization, the mixture was placed in a briquetadora. Were determined by chemical analysis, density, useful calorific value and the energy density of each treatment. The mechanical tests to evaluate the compressive strength of the briquettes when subjected to a determined effort was made in a universal testing machine. It was observed that the briquettes produced with the silicate binder had a higher ash content than the other. The gross calorific value of the briquettes were significantly different. The highest value was equal to 6944.5 kcal / kg for soy molasses. The compressive strength for briquettes made from molasses and soy flour did not differ significantly from each other. However, the silicate was produced with a lower value. The briquettes produced with all binders tested in this study are recommended as an energy source for domestic uses.

Keywords: Binders; charcoal fines; briquetting.

1. 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 geração de um volume bastante expressivo de finos de carvão, que ocorre 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 que é a propriedade associada à susceptibilidade do produto em se desfazer em finos quando submetido à abrasão e choques mecânicos. É afetada pela umidade, o diâmetro e o comprimento da madeira a ser carbonizada (CARNEIRO et al., 2013).

Dentre as possibilidades de reaproveitamento desses finos de carvão, estão a injeção nas ventaneiras dos altos-fornos siderúrgicos (MACHADO e ANDRADE, 2004), uso como condicionante para substrato de mudas (SOUCHIE et al., 2011) e a briquetagem para possibilitar a aplicação com redutor em alto-fornos siderúrgicos ou para a geração de energia em diversas atividades (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-las em sólidos com geometria definida (KALIYAN e 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 na produção de briquetes de carvão vegetal são o amido, a fécula de mandioca, o piche, o alcatrão, o melão de cana e o silicato de sódio, entre outros (QUIRINO e 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 dos briquetes e no custo final de produção dos mesmos.

Com isso, o objetivo do presente estudo foi avaliar as propriedades físicas, químicas e mecânicas de briquetes de finos de carvão vegetal produzidos com os aglutinantes farinha de trigo, silicato e o melão de soja.

2. Material e Métodos

A confecção dos briquetes foi realizada em uma propriedade particular localizada na zona rural do município de Coimbra-MG. Para a produção dos briquetes, foram utilizados os finos de carvão em duas granulometrias (0,8 mm e 3 mm), água e aglutinantes, nas seguintes proporções: 40 kg de finos com 0,8 mm, 30 kg de finos com 3 mm, totalizando 70 kg de finos de carvão, 30 e 5 kg de cada aglutinante avaliado.

Para produção dos briquetes, foram utilizados com aglutinantes a farinha de trigo, o adesivo de silicato e o melão de soja.

A mistura entre os finos de carvão, a água e cada aglutinante na proporção descrita acima foi realizada em uma betoneira, até uma completa homogeneização dos componentes.

Posteriormente, essa mistura foi colocada em uma briquetadeira de extrusão por parafuso, 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).

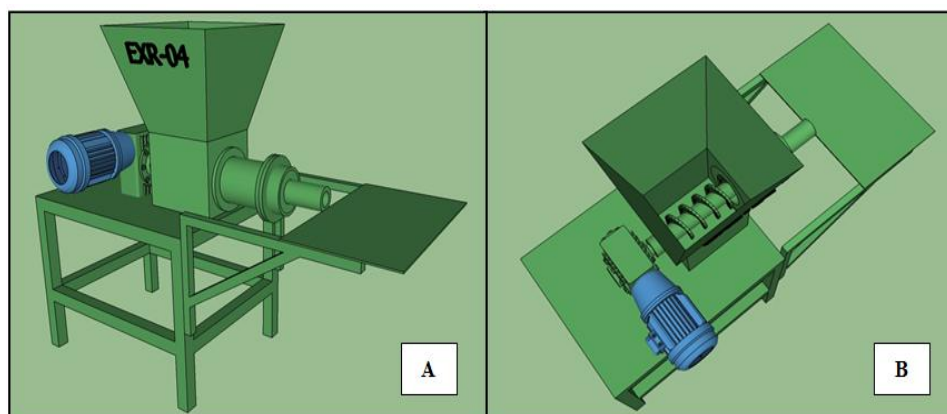


Figura 1 – Imagem ilustrativa da briquetadeira de extrusão utilizada para produção dos briquetes. A - vista lateral; e B - Vista Superior.

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

Foram determinados nos briquetes produzidos com cada tipo de aglutinante, o teor de umidade, e os percentuais de 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).

Foi determinado também a densidade aparente dos briquetes, seguindo-se os procedimentos da norma ABNT NBR 9165 (ABNT, 1985) e as norma complementar NBR 5734 (ABNT, 1988).

O Poder Calorífico Superior (PCS) dos briquetes foi determinado utilizando-se a metodologia descrita pela norma da NBR 8633 (ABNT, 1984) e pelas normas complementares NBR 5734 (ABNT, 1988) e NBR 6923 (ABNT, 1981).

Posteriormente foi estimado pela Equação 1 o Poder Calorífico Útil (PCU) em kcal/kg, o qual considera a energia disponível após a evaporação da água presente no material.

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

Onde:

PCU = Poder Calorífico Útil (kcal/kg);

PCS = Poder Calorífico Superior (kcal/kg);

H = Hidrogênio contido no material (%);

U = Umidade em base seca (%).

A densidade energética (MJ/m³) foi obtida através da multiplicação do Poder Calorífico Útil (PCU) pela densidade aparente do briquete. Considerou-se que 1 kcal corresponde a 4,19 x 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 ao longo da realização dos testes e determinação dos resultados. 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 apresentavam 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 significância.

3. 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 da sílica, 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.

Tabela 1. Umidade, análise química imediata, poder calorífico superior e densidade energética dos briquetes de carvão vegetal com 3 tipos de aglutinantes.

Aglutinante	Umidade* (%)	Materiais voláteis* (%)	Carbono fixo* (%)	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. Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey, a 95% de probabilidade.

Pereira et al. (2009), avaliando diferentes proporções do adesivo silicato (15, 20, 25, 30 e 35%) para produção de briquetes com 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, segundo o teste Tukey ao nível de 5%. O maior valor obtido foi igual a 6944,5 kcal/kg para o briquete produzido com o aglutinante de melaço de soja. Consequentemente, a densidade energética dos briquetes de melaço de soja foi significativamente superior aos demais, resultando em um maior potencial destes briquetes para a geração de energia. Essa maior densidade energética pode ser explicada pela sua maior densidade aparente e também pelo maior poder calorífico útil.

Melo (2000) avaliando a produção de briquetes a partir de finos de carvão aglutinados 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 2. Valores médios da densidade e da resistência à compressão dos briquetes em função dos aglutinantes.

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 na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey, a 95% de probabilidade.

A resistência à compressão para os briquetes produzidos com o melaço de soja e da farinha de trigo não diferiram entre si, sendo esses valores respectivamente de 0,89 e 0,81 Kgf/cm², enquanto que os briquetes produzidos com o silicato apresentaram menor resistência à compressão.

O valor médio obtido para a densidade dos briquetes que utilizou 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, teve uma maior resistência a compressão. Essa baixa resistência dos briquetes produzidos com o aglutinante de silicato provavelmente foi ocasionada pelo baixo percentual utilizado (6%) para a produção do briquete. Esse percentual foi utilizado tendo-se como base os briquetes de uso doméstico que contem de 6 a 10% de amido como aglutinante.

A resistência à compressão com as formulações utilizadas na confecção dos briquetes nesse estudo não foram satisfatório 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.

4. Conclusão

Os briquetes de finos de carvão vegetal produzidos com os aglutinantes avaliados nesse estudo são recomendados para utilização como fonte energética em usos doméstico e comercial, tais como churrasqueiras, fornos de pizzarias e restaurantes, lareiras, caldeiras e outros.



Os briquetes de farinha de trigo e melado de soja apresentaram os melhores valores para as propriedades físicas e químicas, sinalizando a viabilidade da utilização destes aglutinantes na produção de briquetes com finos de carvão vegetal.

A resistência à compressão, para todos os aglutinantes avaliados, foi baixa, mas pode-se verificar que existem condições de aumentar esta resistência com o uso de outras proporções dos aglutinantes. Desta forma, recomendam-se novos estudos para avaliar a influência de diferentes proporções de aglutinantes na resistência mecânica de briquetes a partir de finos de carvão vegetal.

5. 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 bibliográficas

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. p. 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.

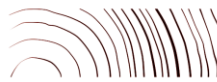
KALIYAN, K.; MOREY, R. V. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass & Bioenergy*. V. 33, n. 3, p. 337–359. 2009.

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 termoquímicas 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.

II CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Belo Horizonte - 2015



II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira
Belo Horizonte - 20 a 22 set 2015



MOTTER, C. et al. Aproveitamento de finos de carvão vegetal para produção de briquetes de uso siderúrgico. 22º Congresso Anual da ABM. Vitória, 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 *Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H.C. Lima. Ciência Florestal. V. 21, n. 4, p. 811-821. 2011.