

AGLOMERAÇÃO DE MOINHA DE CARVÃO VEGETAL E SUA POSSÍVEL APLICAÇÃO EM ALTO-FORNO E GERAÇÃO DE ENERGIA

Daniel Avelar Lucena ¹
Raphael Dias de Medeiros ¹
Urano Troseski Fonseca ²
Paulo Santos Assis ³

Resumo

Este trabalho tem por objetivo analisar as características de briquetes de carvão vegetal a partir de resíduos siderúrgicos (moinha) e verificar a influência das mesmas sobre seus desempenhos quando submetidos ao processo de redução e oxidação. Para avaliar tais desempenhos, preconizou-se um índice denominado “índice de combustão” (ICOM), integrando num só valor o tempo de combustão, a temperatura gerada durante a combustão e a massa consumida para gerá-la. Para a caracterização dos briquetes foram determinados umidade, teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo, poder calorífico, densidade, porosidade e resistência à compressão. Finalmente, analisar o briquete, por meio da equivalência energética. Desta forma pretende-se obter uma nova forma de reaproveitamento deste resíduo sob a forma de briquetes e sua possível viabilidade como redutor em alto-forno.

Palavras-chave: Briquetes; Pelotas; Resíduo siderúrgico; Reaproveitamento.

FINE CHARCOAL AGGLOMERATION AND ITS FEASIBILITY FOR BLAST FURNACE USAGE AND FOR ENERGY GENERATION

Abstract

This paper has an objective for analysis of charcoal pellet, produced from charcoal wastes and verifies the influence of certain variables on reduction and oxidation. For evaluation such performance, a combustion index was defined based on combustion time, temperature and mass of material. For characterization of pellets, it was determined the moisture, volatiles materials, ash and fixed carbon, so as calorific power, density, porosity, and compression strength as well. Finally, the pellet produced from the waste was analyzed under the point of view of energy equivalence, and possibility for using the produced material for charging into the blast furnace throat. This way, a new form for using this waste has been proposed with a certain magnitude of success, not only for substitute fuel in vapor generator, but including the charging of that pellet jointly with the lump iron ore.

Key words: Briquette; Pellet; Ironmaking waste; Recycling.

I INTRODUÇÃO

Em um país com as características de crescimento demográfico e desenvolvimento industrial do Brasil, onde os investimentos para produção de energia não acompanharam a evolução da demanda, a discussão sobre opções de geração adicional de energia reveste-se de singular importância. Do mesmo modo, devido à dimensão e às grandes distâncias internas do país, o aspecto “concentração de energia”, visando viabilizar o seu transporte, torna-se relevante.

A briquetagem é uma forma muito eficiente para concentrar a energia disponível na biomassa. O carvoejamento de resíduos

na produção de carvão particulado fino, para posterior briquetagem, seria um ótimo processo para ampliar a oferta de carvão vegetal, com a vantagem adicional de reduzir a pressão de exploração sobre as florestas remanescentes. No entanto, o carvoejamento industrial destes resíduos, na prática, inexistente no Brasil, principalmente de forma contínua, como é tradicional em outros países, que produzem, de longa data, os briquetes de carvão vegetal.

Acredita-se que o briquete de finos de carvão vegetal possa vir a representar uma opção

¹Membro da ABM. Graduando em Engenharia Metalúrgica e de Materiais – UFOP. Rua Professor Antônio de Paula Ribas 383, Agua Limpa – 35400-000 - Ouro Preto – MG. daniel-lucena@hotmail.com

²Membro da ABM. Engenheiro Metalúrgico – UFOP. Rua Quartzos, 07, Vila Samarco – 35400-000 - Ouro Preto – MG utroseski@yahoo.com.br

³Membro da ABM, Prof. Titular da Escola de Minas, UFOP, Prof. da REDEMAT, Pesquisador do CNPq. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Morro do Cruzeiro s/n, Bauxita – 35400-000 - Ouro Preto – MG. assis.ufop@gmail.com

real para geração de energia no Brasil. Com isso, poderia ser aumentado de modo significativo o papel da biomassa como fonte energética, que, em nosso país, é reconhecida como potencialmente bastante expressiva.

Diante do exposto, tem-se como objetivo geral deste trabalho a realização de um estudo de caracterização de briquetes de carvão vegetal, principalmente quanto ao seu comportamento durante a combustão. Para isso foi necessário elaborar um índice de combustão que representasse o desempenho qualitativo do briquete na geração de calor e que permitisse a comparação de diferentes procedências do material. Finalmente, procurou-se analisar a correlação deste índice com as principais características físicas e químicas dos briquetes.

Segundo o Ministério da Agricultura,⁽¹⁾ a viabilidade técnica e econômica do acondicionamento desses resíduos, comprovada, justifica a alocação de recursos de financiamento para apoiar o aproveitamento desses resíduos como atividade econômica, bem como outras medidas que se fizerem necessárias para estruturar o mercado desse produto.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A briquetagem é uma forma bastante eficiente para concentrar a energia disponível da biomassa. 1 m³ de briquetes contém pelo menos cinco vezes mais energia que 1 m³ de resíduos. Isso, levando-se em consideração a densidade a granel e o poder calorífico médio desses materiais. Portanto, devido à dimensão às grandes distâncias internas do país, o aspecto concentração energética assume também grande importância.⁽²⁾

A briquetagem consiste na aplicação de pressão a uma massa de partículas, com ou sem adição de ligante, e com ou sem tratamento térmico posterior. No caso do carvão vegetal, usa-se, geralmente, um ligante, que pode ser de várias naturezas, porque esta é a maneira mais econômica de compactá-lo. O processo exige bons conhecimentos sobre as forças coesivas entre os sólidos, adesividade do ligante, comportamento reológico do conjunto partícula-ligante e, fundamentalmente, propriedades físicas das partículas, química de superfície e mudanças físicas e químicas durante o processo de aquecimento.⁽³⁾

Ainda segundo esse autor, tanto a porosidade como a solidez e a resistência de um carvão vegetal dependem das condições sob as quais foi feita a carbonização. Isto justifica o estudo das conseqüentes modificações que podem ocorrer em briquetes submetidos a tratamentos térmicos durante ou após a secagem. Também é de importância fundamental o estudo do poder adsorvente e absorvente das partículas do carvão vegetal, ou seja, a química de superfície, juntamente com o estudo da estrutura do pó do carvão (moinha), que permitirá determinar a relação pasta ligante/esqueleto granular, visando regular as misturas exatas, possibilitando controlar o fenômeno de *creep*, que acontece a determinadas temperaturas do tratamento térmico e, também, evitar a formação da trinca do briquete na ocasião da desmoldagem.

2.1 Processos de Compactação

Existem cinco tipos de equipamentos ou princípios básicos de compactação de resíduos:

- Prensa extrusora de pistão mecânico - tecnologia desenvolvida desde o princípio do século e bastante conhecida no mundo. Um pistão ligado excêntrica a um grande volante força o material a ser compactado por meio de um tronco de cone. No Rio Grande do Sul existe fábrica deste equipamento, a única do país. Na Figura 1 pode-se observar as características do equipamento e do processo de produção.

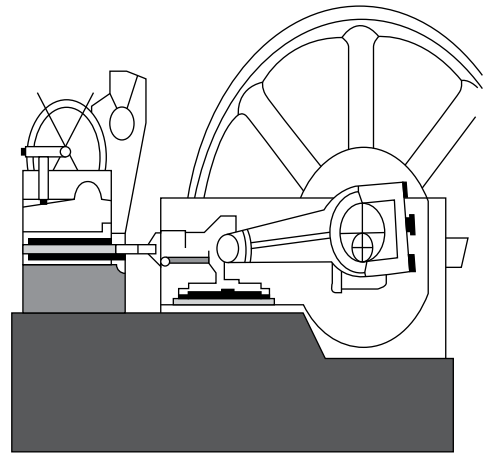


Figura 1. Extrusora de pistão mecânico e suas características de produção.⁽⁴⁾

- Prensa extrusora de rosca sem fim - processo muito usado para resíduos, no exterior. Apresenta excelentes resultados. Seu princípio mecânico é semelhante às marombas da indústria cerâmica. É um equipamento de fácil manutenção e de investimento favorável se comparado aos outros tipos também produzidos no exterior.⁽⁴⁾
- Prensa hidráulica - equipamento que usa um pistão acionado hidráulicamente. O material a ser compactado é alimentado lateralmente por uma rosca sem fim. Uma peça frontal ao embolo abre e expulsa o briquete quando se atinge a pressão desejada. Não é um processo extrusivo e a pressão aplicada geralmente é menor que em outros métodos, produzindo briquetes de menor densidade. No entanto, é o processo com maior número de fabricantes na Europa. Não existe no Brasil este tipo de equipamento

para compactar resíduos, que seria semelhante às máquinas de produzir comprimidos a pastilhas.

- Peletizadora - é um equipamento que opera pelo processo extrusivo. Seu funcionamento é mostrado na Figura 2. É o princípio dos equipamentos de produção de ração animal, onde há necessidade de injeção de vapor para aquecer e corrigir a umidade. Estes equipamentos vêm sendo experimentados para compactação de resíduos com resultados razoáveis. Operando com bagaço, produz *pellets* de diâmetro igual a 10 mm e 30 mm a 40 mm de comprimento, densidade relativa de 1,2 g/cm³ e densidade a granel de 550 kg/m³.⁽⁴⁾
- Enfardadeira - como o próprio nome indica, o equipamento comprime a amassa o resíduo, elevando densidade

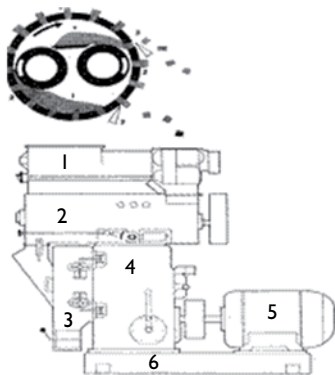


Figura 2. Peletização de ração animal testada para resíduo. 1- Alimentador; 2- Câmara de condicionamento; 3- Facas; 4- Redutor de velocidade; 5- Motor principal; e 6- Base principal.

do bagaço de cana com 20% de umidade a 500 kg/m³. Não exige pré-secagem do material, o que permite a secagem posterior. No entanto, é aconselhável o enfardamento após a secagem.

É importante comparar estes processos com relação à exigência de umidade do resíduo, em função do consumo de energia na secagem. As extrusoras de rosca e de pistão mecânico trabalham com material a 10%-12% de umidade. As de pistão hidráulico aceitam material com 18%-20% de conteúdo de umidade. As peletizadoras trabalham com resíduos com até 20% de conteúdo de umidade, usando pressões de 80 kg/cm² a 320 kg/cm². De qualquer maneira, a umidade que permanece no briquete após a prensagem virá a reduzir seu poder calorífico.

Neste trabalho analisa-se o comportamento de dois diferentes tipos de briquetes originados de moínha de carvão vegetal. Estes materiais foram briquetados de diferentes formas, usando uma peletizadora mecânica de controle manual de alimentação. A Figura 3 ilustra uma foto do equipamento usado durante os ensaios realizados de aglomeração.

Os materiais ensaiados foram procedentes de uma empresa siderúrgica localizada no norte do país.

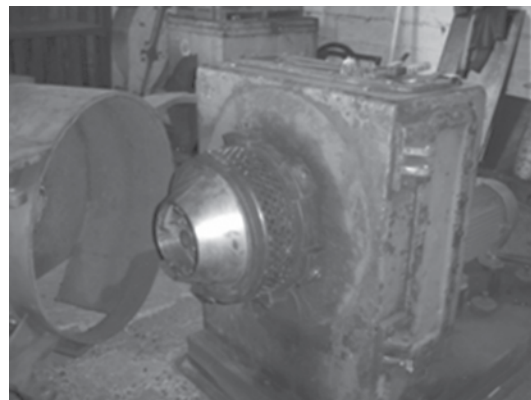


Figura 3. Foto do equipamento usado para ensaios de aglomeração.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela I mostra uma caracterização típica da moínha base de referência para a fabricação do *pellet*. Foram feitas determinações de composição química imediata da moínha. A mesma foi repeneirada em uma tela de 6,35 mm, sendo que o material foi posteriormente cominuído para se ter uma massa mais homogênea a ser aglomerada. Deve ser comentado que o material, de acordo com análise apresenta uma análise compatível com análises similares de moínhas geradas no processo de peneiramento na siderurgia.

Tabela I. Análise imediata do carvão vegetal, na forma de moínha que serviu de base para a formação do briquete no nosso experimento. (100% < 6,35 mm).

Variável	Valor (% peso)
Umidade	9,5
Carbono fixo	59,5
Matérias voláteis	25,1
Cinzas	25,4

Foram feitas algumas seleções de ligantes de tal sorte a verificar aquele que melhor se adequaria ao material ensaiado. Desta forma, após ensaios preliminares, chegou-se a duas formulações básicas para atender um mínimo de resistência mecânica compatível com o processo siderúrgico. A Figura 4 ilustra os dois tipos de briquetes produzidos.

Para efeito de comparação, as análises mostradas na Tabela I podem ser comparadas às amostras de vários tipos de moínhas geradas no peneiramento de carvão vegetal em outras usinas brasileiras. Os resultados de avaliação química e térmica de alguns briquetes de carvão vegetal são mostrados na Tabela 2, sendo que a Tabela 3 ilustra os resultados de avaliação física dos briquetes B produzidos pelo grupo de pesquisa.

As propriedades analisadas dos briquetes foram densidade, densidade a granel e carga de

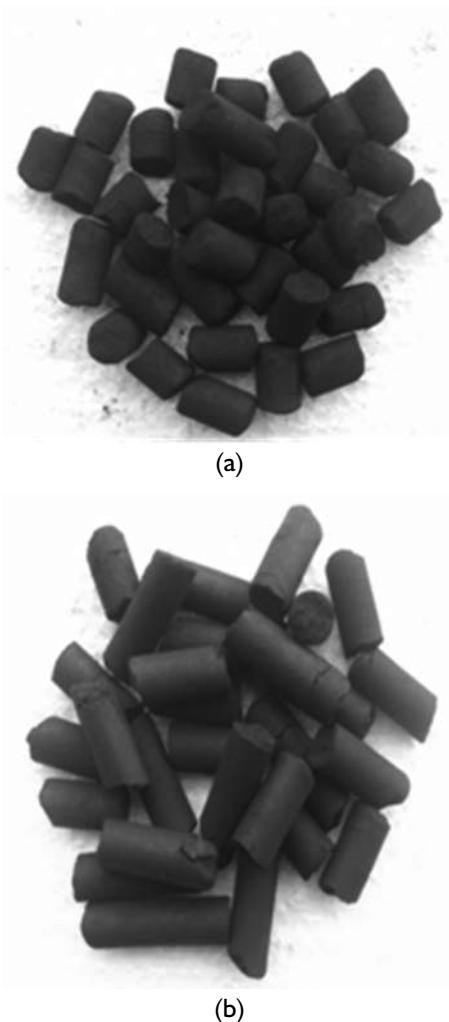


Figura 4. Fotos ilustrativas dos briquetes produzidos usando a mesma moimha e diferentes tipos de ligantes. a) Briquete A; e b) briquete B.

Tabela 2. Análise imediata e poder calorífico superior de alguns briquetes brasileiros já analisados.⁽²⁾

Briquete	Umidade (%)	Volátil (%)	Carbono fixo (%)	Cinza (%)	PCS (kcal/kg)
BR1	8,72	31,63	52,73	15,63	5,598
BR2	6,49	20,21	43,27	36,54	4,704
BR3	6,86	23,28	75,84	0,88	7,205
BR4	7,20	22,72	52,13	25,16	5,865

PCS: poder calorífico superior.

Tabela 3. Resultados preliminares dos briquetes B.

Briquete	Densidade aparente (g/cm ³)	Densidade verdadeira (g/cm ³)	Porosidade (%)	Densidade a granel (kg/m ³)	Carga de ruptura (kg)
B	0,74	1,61	54,3	360	20

ruptura. Todas estas propriedades foram medidas nos laboratórios da Escola de Minas da UFOP. Em testes preliminares os resultados encontrados foram os seguintes:

As análises referentes ao briquete A estão ainda em andamento, com boas perspectivas em relação a suas propriedades. Além disso, as análises de PCS dos briquetes A e B estão sendo

rigorosamente analisados para se chegar a um valor correto. Alguns dados já indicam valores superiores a 4.500 kcal/kg.

Desta forma, tem-se nos briquetes analisados uma possibilidade de posterior uso em altos-fornos. A princípio os dados de carga de ruptura foram baixos, mas pode-se verificar que existem condições de aprimorar esta resistência com o uso de outros tipos de ligantes.

Após a queima dos briquetes, em pequenos fornos em laboratório, sob condições similares de tempo de processamento no alto-forno, objetivando gradientes térmicos similares aquele reator, até o limite de 1.000°C, observou-se uma boa combustão dos materiais, com um bom poder energético (ICOM). Observou-se que para um tipo de briquete houve uma irrelevante degradação do material, e para o outro, uma degradação um pouco mais acentuada, ou seja, concluindo-se que um dos ligantes adotado foi o correto, e o segundo necessitando de novas correções, além de análise de porcentagens dos mesmos, bem como uma possivelmente adequação granulométrica do material.

Comparado à lenha, o briquete apresenta muitas vantagens. O seu poder calorífico e o baixo teor de umidade (10%-12%) o farão sempre superar à lenha (25%-35% de teor de umidade). Tanto pela maior densidade como pelo maior poder calorífico ter-se-á na estocagem sempre mais energia por unidade de volume, reduzindo-se pátios de estocagem e dimensão de equipamentos de queima. Neste caso este material poderia ser utilizado em cerâmicas, em fornos de calcinação ou outros fornos que se utiliza o último como fonte térmica.

A homogeneidade de forma e a granulométrica regularizam e melhoram a eficiência de queima. Por outro lado, facilitam as operações de manuseio, transporte e alimentação de caldeiras, possibilitando a mecanização. Em alguns casos podem-se duplicar o rendimento de caldeiras. Deve-se novamente frisar que relativamente ao transporte ocorre um favorecimento significativo. As cargas são limitadas por peso e não por volume, utilizando-se a capacidade integral dos meios de transporte.⁽⁵⁾

3.1 Avaliação do Custo do Briquete

É difícil fazer um cálculo preciso do custo do briquete. No entanto pode-se utilizar o princípio da equivalência energética do óleo combustível ou da lenha, que são substituídos geralmente pelo briquete de resíduo.⁽⁶⁾

Basta considerar o poder calorífico inferior do briquete e sua eficiência de queima em caldeiras e relacionar estes valores ao óleo combustível.

Tomando-se como exemplo: o óleo combustível e um briquete produzido, tem-se:

$$\text{PCI óleo comb.} = 9.800 \text{ kcal/kg}$$

$$\text{PCI briquette} = 3.800 \text{ kcal/kg}$$

Considerando a eficiência em caldeiras (n):

$$n_{\text{óleo comb.}} = 92\%$$

$$n_{\text{briquete}} = 80\%$$

Em conseqüência, ter-se-ia uma equivalência energética (I_{eq}) ao óleo combustível igual a 0,337. Portanto, tem-se:

$$I_{eq} = 0,337 \text{ (índice de equivalência ao óleo)}$$

Calculando-se o custo do transporte (CT) por:

$$CT = CT_t \times D \quad (1)$$

onde: CT_t = custo de transporte por tonelada por km; e D = distância em km.

Assim, tem-se o preço máximo que o briquete pode atingir, considerando a substituição do óleo combustível por ele (C_b):

$$C_b = C_{oc} \times 0,337 - CT \quad (2)$$

onde C_{oc} = custo do óleo combustível*; Caso se tenha mais algum custo, como o transporte do resíduo ou de sua coleta, basta abater como feito com CT.

Baseando nos resultados preliminares obtidos, pode-se, portanto inferir que:

- Existe possibilidade de usar a metodologia proposta para produzir *pellet* de moinha de carvão vegetal usando o processo, para o seu possível uso no alto-forno juntamente ao minério de ferro carregado, desde que exista certa compatibilidade de tamanhos dos mesmos com o último. Este método poderá ser usado, devendo favorecer a redução do minério de ferro. Certamente medidas deverão ser tomadas no sentido de se garantir uma resistência mínima do material para que o mesmo suporte a movimentação de carga antes de se enfiar no topo do alto-forno. Novos ensaios deverão ser conduzidos para se obter resultados com uma maior confiabilidade. Já existe um projeto que está sendo proposto com o objetivo de instrumentar a UFOP junto ao CEFET-OP para se desenvolver uma série de ensaios para o estudo em tela.⁽⁷⁾
- Existe uma grande perspectiva, sob o ponto de vista energético, de se substituir finos de madeira, ou outras fontes térmicas, para reatores que necessitam de aquecimento,

por briquetes de moinha de carvão vegetal. Neste caso os valores equivalentes, considerando dados de literatura e dados atuais do preço de petróleo de 70 USD/BEP, tem-se uma estimativa de custo máximo do briquete de cerca de 120 USD/t; uma avaliação grosseira do problema identifica a possibilidade de uso deste material como fonte energética potencial.

4 CONCLUSÕES

Diante dos testes executados, dos resultados obtidos e discutidos neste trabalho, pode-se concluir que:

- O índice de combustão (ICOM), proposto neste trabalho, é indicativo satisfatório do comportamento de um briquete durante a combustão, atendendo com objetividade e segurança;
- Existe uma necessidade de comparar a qualidade de diferentes briquetes, e criar a possibilidade futura de se estabelecer, por meio dele, classes de qualidade de briquetes de carvão vegetal;
- A compactação é fator preponderante para a qualidade de um briquete de carvão vegetal e de seu comportamento na combustão;
- Possibilidade de substituir parcialmente carvão vegetal granulado por “pellet” carregado junto com o minério de ferro; e
- Os ensaios indicaram que a despeito do elevado teor de cinzas, não se constituiu em fator limitante para o desempenho de um briquete de carvão vegetal na combustão.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Sr. João Bosco da Reciclos que muito incentivou o grupo para desenvolver tal pesquisa; à FAPEMIG pelo apoio dado à participação dos alunos de graduação; à UFOP pelo apoio na infra-estrutura para permitir a realização de ensaios e ao Sr. Moreira de uma empresa em Araraquara, SP, que nos auxiliou na confecção dos briquetes.

* Circ. Téc. LPF, Brasília, vnl. 1. n° 2 89-80. (1991)

REFERÊNCIAS

- 1 BRASIL. Ministério da Agricultura. **Proposta de utilização energética de florestas a resíduos agrícolas**. Brasília; MA; 1984. 166 p.
- 2 QUIRINO, W.F. **Características de briquetes de carvão vegetal a secomportamento na combustão**. 1991. 80p (Dissertação de (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba: ESALQ, 1991.
- 3 SALEME, J.E.F. **Estudo básico para briquetagem do carvão vegetal**. Ouro Preto: Escola de Minas e Metalurgia, s.d.
- 4 KUBINSKY, E.J. **Densifying wood waste, a machinery comparison**. World Wood, June 1986
- 5 QUIRINO, W.F.; BRITO, J.O. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais, Secretaria do Meio Ambiente, 1991. (LPF – Série técnica, 13)
- 6 QUIRINO, W.F. **Briquetagem de resíduos lignos- celulósicos** Brasília: Laboratório de Produtos Florestais, Secretaria do Meio Ambiente, [s.d.].
- 7 ASSIS, P.S. Proposta de Criação de um N.I.T Núcleo de Inovação Tecnológica Referência: FINEP TIB 02/2006 Aproveitamento de resíduos siderúrgicos através de aglomeração usando processo de peletização Projeto FINEP, Abril de 2006. 250p.

Recebido em: 03/11/07

Aceito em: 11/03/08

Proveniente de: SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO E MATÉRIAS-PRIMAS, 36., 2006, Ouro Preto, MG. Vitória, ES. São Paulo: ABM, 2006.