



## PARTE V AGLOMERAÇÃO



### CAPÍTULO 22 – ENSAIOS CONTÍNUOS DE BRIQUETAGEM EM BANCADA E PILOTO

**João Alves Sampaio**

Engenheiro de Minas/UFPE, Mestre e Doutor em  
Engenharia Metalúrgica e de Materiais/COPPE-UFRJ  
Tecnologista Sênior do CETEM/MCT

**Lauro Santos Norbert Costa**

Engenheiro Metalúrgico/PUC-Rio, Mestre em  
Engenharia Metalúrgica e de Materiais/COPPE-UFRJ  
Pesquisador do CETEM/MCT

**Marcelo Corrêa de Andrade**

Químico/UNIGRANRIO-Rio, Mestre em  
Processos Químicos e Bioquímicos/Escola de Química-UFRJ  
Técnico Químico do CETEM/MCT



## 1. INTRODUÇÃO

O processo de briquetagem teve início em 1848, nos EUA, quando foi concedida uma patente a William Easby intitulada “Um método de conversão de carvão moído”. Com esta primeira patente e a crescente necessidade de recuperar partículas finas oriundas de processos de beneficiamento ou de resíduos, foram desenvolvidas as tecnologias de aglomeração. Aglomeração é o termo geral empregado para designar algumas operações aplicadas a materiais de granulação fina para transformá-los em corpos, ou fragmentos coesos, por meio de mecanismos físicos e/ou químicos, conferindo-lhes tamanho e forma adequados a seu uso.

Nas áreas de mineração e metalúrgica, o termo aglomeração designa operações aplicadas aos minérios e/ou concentrados de operações unitárias prévias, de granulação fina, transformando-os em aglomerados.

O conceito de fração fina na indústria de processamento mineral depende do tipo de processo. Assim sendo, no beneficiamento convencional do carvão, as partículas com tamanho inferior a 0,6 mm são consideradas finas. Já no beneficiamento de minério de ferro, as frações finas são inferiores a 20 µm. Não se pode, portanto, generalizar o conceito de fração fina, sem considerar o processo de beneficiamento, a aplicação do produto final, dentre outros.

Os três principais processos de aglomeração de finos usados nos setores mineiro e metalúrgico são a pelotização, a sinterização e a briquetagem, cujos produtos são, respectivamente, a pelota, o *sinter* e o briquete. A pelotização é o processo indicado para aglomeração de finos de minério, em particular, concentrados de ferro. A sinterização é um processo de aglomeração mais utilizada nas usinas siderúrgicas integradas. Associada à briquetagem de finos de carvão mineral, estão as aplicações clássicas desses processos.

Neste Capítulo são discutidos os princípios básicos da briquetagem, em especial com aglomerante. É feita ainda uma descrição sucinta de um equipamento de briquetagem, inclusive os seus procedimentos operacionais desse equipamento.

## 2. PRINCÍPIOS DE OPERAÇÃO NA BRIQUETAGEM

A briquetagem consiste na aglomeração de partículas finas por meio de pressão, com auxílio ou não de aglomerante, permitindo a obtenção de um produto compacto. A redução do volume do material, em alguns casos, e as resistências mecânicas ao impacto permitem que materiais originalmente finos possam ser transportados e armazenados de forma mais econômica (Komarek, 1991).

A briquetagem é feita com aglutinantes quando o material a ser aglomerado não possui resistência à compressão e ao impacto, após ser compactado. As pressões empregadas são normalmente baixas para evitar uma nova fragmentação das partículas. Quando a briquetagem é feita sem aglutinante, seu sucesso depende da forma como a coesão ou deformação plástica das partículas finas ocorreu, no momento de sua geração. As forças responsáveis, nestes casos, pela coesão das partículas após a compactação devem apenas assegurar que a distância entre os cristais tornem-se a menor possível. É comum, no entanto, a utilização de lubrificantes, como água, grafite e outros para reduzir atritos na operação (Carvalho; Brinck, 2004; Komarek, 1991).

A briquetagem, a quente, é utilizada quando os finos a serem aglomerados possuem resistência mecânica elevada. Para não aumentar muito a pressão na compactação, esta deve ocorrer no regime plástico do material. Finos de minério de ferro e cinzas de altos-fornos (*black ashe*) são briquetados a 1.000°C. O limite superior da temperatura de briquetagem, a quente, é definido pela temperatura capaz de fundir as partículas em conjunto. Deve ser acrescentado que o sucesso da briquetagem, a quente, depende muito do tratamento térmico realizado após a compactação (Castelões; Correia, 1995).

## 3. BRIQUETAGEM COM AGLOMERANTES

Diversos materiais são briquetados com aglomerantes. Concentrados de minério de ferro, de cromita e de fluorita são briquetados com um aglomerante que consiste de cal e melaço ou com silicato de sódio. Cimento Portland é usado como um aglomerante para bauxita, e os aglomerantes de lignosulfonato, que são um resíduo da indústria papelreira, são usados para

minérios de cobre e para magnesita. Misturas de vidros, água e barrilha, feitas em batelada, formam um aglomerante para areia silicosa. Os aglomerantes são divididos, de acordo com sua função, em aglomerantes do tipo matriz, tipo película e aglomerantes químicos (Komarek, 1967). Alguns exemplos de cada aglomerante são listados no Quadro 1.

Quadro 1 - Tipos de aglomerantes utilizados na briquetagem de produtos de minérios.

Tipo Matriz	Tipo Película	Aglomerantes Químicos
Carvão	Breu	Água de alcatrão
Ca(OH) <sub>2</sub> + Melaço	Asfalto de Petróleo	Silicato de sódio
Silicato de sódio + CO <sub>2</sub>	Cimento Portland	Lignosulfonatos

Fonte: Komarek, 1994

Aglomerantes do tipo matriz engastam as partículas em uma fase aglomerante substancialmente contínua. Portanto, as propriedades dos briquetes são determinadas, em grande parte, pelas propriedades do aglomerante.

Aglomerantes do tipo película, como colas, geralmente, dependem da evaporação da água ou de algum solvente para desenvolver sua resistência. Aglomerantes do tipo solvente são usados algumas vezes, ainda que o material possa ser briquetado somente com pressão, visto que podem ser utilizadas pressões menores, e briquetes com uma estrutura mais porosa podem ser fabricados deste modo.

Aglomerantes químicos podem ser tipo película ou matriz. Os aglomerantes químicos usados para areias de fundição são bons exemplos de aglomerantes do tipo película (Grandin, 1994; Komarek.; e Roman, 1989). As características dos briquetes são avaliadas por alguns testes padronizados, que são, principalmente: resistência à compressão, ao impacto, à abrasão e à penetração de água. Às vezes é ensaiada a temperatura de choque.

#### **4. BRIQUETAGEM SEM AGLOMERANTES**

Briquetes feitos sem aglomerantes são geralmente produzidos à baixa pressão. Quando os briquetes são feitos sem aglomerantes, no entanto, o sucesso do processo depende da moagem ou deformação plástica das partículas para aproximá-las ao máximo. Não surpreende que muitos componentes orgânicos cristalinos possam ser briquetados somente com pressão. As forças que aglomeram esses cristais não são fortes nem específicas, portanto, é necessário somente comprimir os cristais individuais em estreito contato.

#### **5. ENSAIOS DE BRIQUETAGEM EM LABORATÓRIO**

Os trabalhos de briquetagem, em unidade piloto, iniciam-se com ensaios exploratórios em escala de bancada, em que podem ser testados vários parâmetros importantes do processo de briquetagem, tais como a distribuição granulométrica do material a ser aglomerado, seu teor de umidade, o tipo, a quantidade e as propriedades dos agentes aglutinantes, a faixa ideal de temperatura do material ou mistura antes da prensagem e condições de briquetagem durante a prensagem, de modo a obter um produto consistente. Também podem ser determinados, dependendo da aplicação: o peso específico do material a ser processado, o poder calorífico e análise imediata, a porcentagem de betumes, as características de tratamento térmico, dentre outros.

Uma vez conhecidas as informações básicas dos materiais que se pretende aglomerar, o programa de testes preliminares deve ser iniciado e conduzido em etapas. Estes primeiros ensaios são denominados comparativos e são executados com pequena quantidade de material, da ordem de 1,0 kg. A otimização das condições de briquetagem é feita segundo uma série de ensaios, nos quais se estudam as variáveis do processo. Tais ensaios, em pequena escala, resultam em economia de tempo, material e oferecem dados operacionais mais importantes à operação em escala contínua. Com isso, é possível otimizar o processo em escala piloto, minimizando o número de ensaios e tempo operacional.

## 6. TIPOS DE EQUIPAMENTOS

Utilizam-se quatro tipos de equipamento, com variações, nas operações de briquetagem. Os produtos incluem-se as mais diversas formas, dependendo das matrizes utilizadas e da destinação dos mesmos.

- (i) briquetagem por extrusão contínua em máquinas tipo maromba;
- (ii) briquetagem em prensa de laboratório;
- (iii) briquetagem em prensas hidráulicas, em que os moldes são preenchidos de forma intermitente;
- (iv) briquetagem em prensas de rolos, em que o material flui continuamente entre dois rolos paralelos, com cavidades ou moldes dispostos em sua superfície de tamanho e forma adequados, girando com a mesma velocidade e em sentido contrário (Figura 1).



Figura 1 – Máquina contínua de briquetagem existente no CETEM.

Para os ensaios preliminares de briquetagem, são necessários misturadores para produtos finos, frios e quentes, em vários tamanhos, e prensa de pistão capaz de controlar as condições de pressão previamente definidas. O enchimento do molde e a manipulação da prensa devem ser feitos com cautela. Deve haver disponibilidade de equipamento para determinação da resistência ao rompimento das amostras e há a necessidade de um tambor cilíndrico para determinação da resistência à abrasão.

## 7. TIPOS DE BRIQUETE

Alguns formatos e tamanhos típicos de briquetes podem ser produzidos, com máquinas de dois rolos, com base em minérios, produtos químicos, plásticos, combustíveis sólidos e metais. A Figura 2 ilustra diferentes materiais briquetados em máquinas de rolos.



Figura 2 – Formatos de briquetes obtidos por meio de prensas de rolos.

- 1) Cromita com 2,25% de melaço e 2% de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .
- 2) Coque com 8% de aglomerante de alcatrão de breu de carvão.
- 3) Pó de carvão comprimido somente com pressão.
- 4) Cloreto de sódio prensado com rolos lisos.
- 5) Sucata de polietileno prensada com rolos corrugados e no formato de xadrez.



- 6) Pelotas de cloreto de sódio prensadas a 100°C, somente com pressão.
- 7) Briquete de minério e coque composto.
- 8) Fluorita e cal comprimida somente com pressão.
- 9) Hematita com aglomerante de cal-melaço.
- 10) Carvão de menos 60 malhas comprimido somente com pressão.
- 11) Concentrado de minério de chumbo e areia com aglomerante de cal-melaço.
- 12) Mistura de batelada de vidro com 8% de água.
- 13) Óxido de magnésio comprimido somente com pressão.
- 14) Concentrado de minério de cromita com aglomerante de cal-melaço.
- 15) Pelotas reduzidas de Midrex com 1,5% de silicato de sódio e 1% de  $\text{Ca(OH)}_2$  como aglomerante.
- 16) Lateritas de níquel com 10% de água.
- 17) Aparas de torneamento de latão desengraxadas a quente, comprimidas somente com pressão.
- 18) Limalha de furação de ferro fundido prensada a 650°C.
- 19) Pó metálico de níquel com 0,2% de aglomerante de Acrysol prensado em uma tira contínua.
- 20) Ferro reduzido prensado em uma tira contínua somente com pressão.

## 8. CONTROLE OPERACIONAL DOS EQUIPAMENTOS

A quantidade mínima de amostra utilizada nos ensaios de laboratório deve ser de aproximadamente 1,0 kg. A amostra global a ser utilizada deve ser homogeneizada em pilha ou segundo outra técnica, de modo a permitir a retirada de mais alíquotas representativas, caso haja necessidade de mais ensaios.

Procede-se, então, à britagem do material a uma granulometria adequada à briquetagem do minério com densidade elevada, em geral abaixo de 3,3 mm. Faz-se nova pilha alongada de homogeneização do material britado, a fim de retirar as amostras representativas para os ensaios de análise granulométrica e briquetagem em laboratório. Recomenda-se ao operador a leitura do Capítulo 1 deste livro, para melhor proceder as etapas de amostragem e preparação.

A briquetagem será feita, inicialmente, com o material original ou com a amostra britada a - 6 mm. Inicialmente, serão adicionadas à amostra quantidades variáveis do aglutinante, escolhido de acordo com o fim a que se destina o produto. Aglutinantes termoplásticos são utilizados quando há a necessidade de alta resistência à compressão e à temperatura. É o caso dos derivados de petróleo, como betume e alcatrão. Os percentuais em peso são muito variáveis (acima de 2%, chegando a mais de 10%, no caso de carvão e coque).

No laboratório, a mistura no material ligante, deve ser feita de modo a se obter um produto homogêneo. Em seguida, deve ser levada à prensa de pistão de laboratório e colocada no recipiente cilíndrico que está localizado no topo da prensa (Figura 3). A quantidade do material depende da sua densidade. O carvão, por exemplo, é testado com 6 g do mineral, ao passo que o concentrado de minério de ferro, mais denso, é testado com cerca de 10 g. Na seqüência fecha-se o êmbolo, na parte superior da prensa e começa-se a aplicar pressão por alavanca lateral. Aplica-se, por exemplo, 1.000 kgf e observa-se a consistência do aglomerado, podendo-se aumentar gradativamente a pressão até 4.000 kgf. Os briquetes produzidos são cilíndricos com 4,9 cm<sup>2</sup> de área.

Nos testes de laboratório são determinados os valores para as variáveis, como: granulometria, umidade, pressão, tipo e quantidade de aglutinante. Dependendo do aglutinante selecionado, pode-se fazer tratamento térmico dos briquetes em estufa, com o intuito de evitar a absorção de umidade pelo aglutinante. Os ensaios de laboratório são conduzidos em uma prensa de pistão tipo Struers, utilizada na execução dos ensaios em laboratórios do CETEM (Figura 3).



Figura 3 – Prensa de pistão, existente no CETEM, utilizada para ensaios descontínuos em laboratório.

Com os resultados obtidos em laboratório e estando os briquetes com as propriedades mecânicas desejadas, passa-se para a etapa piloto, na qual se utiliza um equipamento de rolos duplos.

A máquina de briquetagem do CETEM, de fabricação Bepex Corporation, KG Division, modelo 25MCS10, opera com materiais diversos, com velocidade de rolos variável de 5 a 20 rpm, pressão máxima de trabalho de 2.000 psi, ajuste de abertura entre os rolos de 0,025 cm. A alimentação é forçada, e o aparelho pode operar com material frio ou pré-aquecido. Os rolos têm 25 cm de diâmetro, e a máquina possui dois moldes, sendo o menor com dimensões 1" x 5/8" x 3/8" e o maior com 2" x 1/2" x 3/4".

A máquina de briquetagem possui um alimentador situado no topo do equipamento, sendo o mecanismo de alimentação feito por meio de um parafuso sem-fim. O sistema permite a alimentação do material sob pressão, o qual pode variar, dependendo das condições operacionais.

Inicia-se a operação ajustando a pressão a 1.200 psi. Aciona-se o giro dos rolos no nível desejado e o motor do alimentador no nível mais baixo. Após esta manobra e com o silo do alimentador cheio, aumenta-se a velocidade, ou seja, a rotação do alimentador.

Após o início do funcionamento do equipamento, eleva-se a pressão hidráulica vagarosamente até o valor de 1.800 psi. A cada nível intermediário da pressão, deve o equipamento operar durante um certo tempo, para garantir uma operação segura. Observa-se visualmente a qualidade do produto compactado. Se sua aparência for pouco consistente, reduz-se a velocidade de giro do alimentador ao mínimo e aumenta-se a pressão em algumas centenas de psi. Novamente, com o silo cheio, aumenta-se a velocidade da alimentação até se obter o produto desejado. O procedimento deve ser repetido até a obtenção do produto com a característica requerida; a pressão não pode exceder 2.000 psi.

A velocidade de giro dos rolos pode ser ajustada com o objetivo de variar o tempo de residência do material nos rolos da prensa. Assim, com velocidades menores tem-se maior tempo de residência do material nos rolos, ou seja, maior tempo de compactação. Nesse caso, os briquetes possuem maior peso específico, ideal para sua utilização em processos que deles exijam elevada resistência à compressão, tal como briquetes de finos de carvão mineral a serem usados em altos-fornos. Quando a velocidade dos rolos aumenta, o tempo de compactação diminui e os briquetes possuem menor peso específico.

A Figura 4 ilustra a visão frontal e os rolos da prensa, sendo evidenciado o formato do briquete obtido com tal rolo. Trata-se de um briquete típico sob forma de almofada, no caso da máquina do CETEM, com as dimensões 2" x 1/2" x 3/4".

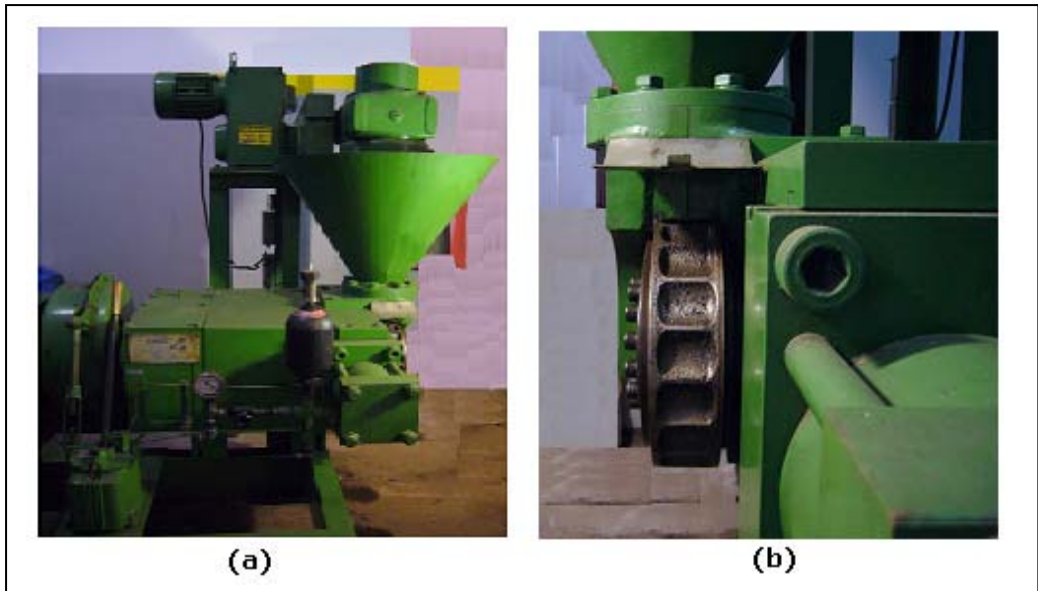


Figura 4 – Em (a), visão lateral da máquina de briquetagem e, em (b), detalhe da forma dos briquetes.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a colaboração da Eng<sup>a</sup>. Regina Célia Monteiro Castelões pelo fornecimento da bibliografia especializada.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Carvalho, E.A., Brinck, V. Briquetagem em Tratamento de Minérios. In: Luz, A. B., Sampaio, J. A. , Almeida, S. L. M. (eds); Tratamento de Minérios. 4ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004, p.613-635.
- Castelões, R. C. M.; Correia, J. C. G. Briquetagem de Finos de Carvão Mineral da Mina de São Roque da Carbonífera Criciúma, SC. In: XVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia. Rio de Janeiro, 1995, v.1, p. 80-87.
- Grandin, F. H. Compacting and Briquetting. In: Environmental Technology Applications- Power Handling and Processing, v. 6, nº 1, 1994.
- Komarek, R. K. Binderless Briquetting of Peat, Lignite, Sub-Bituminous and Bituminous Coals in Roll Press. (IBA Proceedings, vol. 22, 22nd Biennial Conference, San Antonio, TX, 1991.
- Komarek, R. K, Roman, T. Research for Wider Application of Roll Presses. IBA Proceedings, vol. 21, 21st. Biennial Conference, New Orleans, LA, 1989.
- Komarek, R. K. Roll-Press Briquetting Can Help Lime Producers Improve Materials Handling. Mining Engineering Magazine, dezembro, 1993.
- Komarek, R.K. Selecting Binders and Lubricants for Agglomeration Processes. Chemical Engineering Magazine, dezembro, 1967.
- Komarek, R. K. Selecting A Roll-Press Briquetter To Improve Material Handling. Powder and Bulk Engineering Magazine, fevereiro, 1994.
- Schinzel, W. The Briquetting of Coal. General information regarding. The possibilities and requirements , RI 61/81, CETEM, 1981.