



# A PELOTIZAÇÃO A FRIO – ECONOMIA DE ÓLEO COMBUSTÍVEL NO BRASIL

Jader Martins

*Uma revisão do processo de pelotização Grangold foi feita com a finalidade de se mostrar as características básicas do processo de pelotização a frio com cimento. Alguns dados referentes às propriedades físicas e metalúrgicas das pelotas foram fornecidos. O trabalho faz algumas comparações das vantagens econômicas do processo de pelotização a frio em relação ao processo de aglomeração convencional e mostra também que o processo de aglomeração a frio no Brasil poderá resultar numa enorme economia de combustível derivado de petróleo.*

**A** energia, como insumo básico para o setor industrial, tem sido considerado fator extremamente relevante pelos órgãos governamentais, e a implantação de novos projetos envolvendo alto consumo de combustíveis derivados de petróleo, tem recebido alguns tipos de restrições.

Nos processos atuais de aglomeração de finos de minério, a energia sob a forma de óleo combustível é um dos insumos mais significativos. Pesquisas vêm sendo desenvolvidas, em diversos países, com o objetivo de se reduzir o custo de produção dos produtos aglomerados através da busca de alternativas que possam minimizar o consumo de óleo combustível.

Como exemplo, pode-se citar, no caso do Brasil, a política atual da Companhia Vale do Rio Doce referente a busca de fontes alternativas, uma vez que o seu consumo anual de óleo combustível na secagem e endurecimento de

pelotas é da ordem de 500.000 m<sup>3</sup>. A CVRD tem realizado pesquisas objetivando adicionar finos de carvão vegetal aos finos de minérios de ferro durante a preparação da carga a ser pelotizada, operar com queimadores de carvão em pó, utilizar mistura álcool-óleo, etc; tudo isto visando diminuir o consumo de óleo combustível. Estas alternativas correspondem a apreciável redução no consumo total de derivados de petróleo quando comparadas com os processos convencionais de aglomeração.

Pesquisas recentes vêm sendo conduzidas no sentido de se produzir pelotas endurecidas através de ligações químicas a baixa temperatura, como é o caso atual da Companhia Grangesberg, na Suécia. O principal objetivo desses estudos é o de se obter pelotas com propriedades físicas e metalúrgicas adequadas à sua utilização na siderurgia, tanto nos alto-fornos como em fornos elétricos (Processo COBO), permitindo investi-

mentos inferiores em relação ao processo convencional e minimizando os custos operacionais (menor consumo de óleo combustível, energia, mão-de-obra e outros insumos).

O processo de pelotização a frio tem sido também considerado como a melhor alternativa no tratamento e aproveitamento dos rejeitos finos, gerados nos grandes complexos siderúrgicos; processo esse que, além de contribuir para a preservação da qualidade ambiental, aproveita uma matéria-prima de baixo custo e alta qualidade para o alto-forno.

### HISTÓRICO DO PROCESSO DE PELOTIZAÇÃO GRANGCOLD

A idéia de se usar cimento como aglomerante hidráulico na pelotização de minério de ferro, não é muito recente. Há 60 anos (1, 2) atrás, pesquisadores alemães patentearam o uso de cimento como aglomerante na produção de briquetes de minério de ferro.

Naquela ocasião, grandes dificuldades surgiram com a estocagem e manuseio dos aglomerados, devido à tendência que os mesmos possuíam de se aderirem uns aos outros. Muito embora os briquetes apresentassem excelentes propriedades físicas, o processo de aglomeração a frio não foi tecnicamente viável.

No início da década de 60, o laboratório de processamento mineral da Companhia Granges, na Suécia (3, 4, 5), começou a desenvolver o processo de aglomeração, denominado Grangcold, baseado essencialmente, no uso de aglomerantes hidráulicos, tais como cimento Portland, cimento de escória de alto-forno, cimento pozolana, etc., para o endurecimento de "pelotas frias" (cold-bonded pellets). O processo Grangcold de pelotização conseguiu solucionar o proble-

ma da tendência que os aglomerados possuíam de se aderirem uns aos outros, através de técnica muito eficiente e simples — revestindo os aglomerados com o próprio minério de ferro.

Após vários anos de pesquisas em laboratório, a primeira planta piloto de pelotização a frio, usando cimento Portland como aglomerante, foi instalada em 1966 para pelotização de concentrado de magnetita. No final daquele ano, um pequeno teste foi realizado em alto-forno na aciaria de Oxelosund utilizando-se pelotas de cimento-magnetita, e os resultados foram bem satisfatórios. Conseqüentemente, decidiu-se por construir uma segunda planta piloto, com maior capacidade (15 t/h) em Strassa e, novamente, os resultados obtidos corresponderam à expectativa. Como as pelotas obtidas possuíam qualidades comparáveis a pelotas obtidas através de processo industrial de queima, a Companhia Granges concluiu que uma usina industrial seria economicamente viável e que as pelotas produzidas possuíam propriedades mecânicas e metalúrgicas bem favoráveis.

Devido a comprovação da viabilidade e economicidade do processo, decidiu-se então construir uma usina com capacidade de 1,5 milhão de toneladas anuais e que começou a operar em 1970-71. Em 1972, a usina já atingia a produção normal.

### O Processo Grangcold

O concentrado de magnetita, com teores de 68% Fe, 3% SiO<sub>2</sub> e 0,015% P, utilizado na aglomeração, é proveniente de flutuação reversa de minério de ferro com alto teor de fósforo.

No que se refere ao aglomerante, este consiste, essencialmente, de clinker de cimento Portland e escória de alto-forno

granulada e seca. A utilização de escória como aglomerante é devida principalmente à sua composição química — diminui a basicidade total do aglomerante. Com isto, é possível melhorar as qualidades metalúrgicas das pelotas.

Clinker e escória, na razão 3/2, são moídos juntos em um circuito aberto, composto de um moinho de barra e um de bolas, até que a mistura atinja a superfície específica desejada. Depois de moída, a mistura clinker-escória é adicionada (10%) ao concentrado de magnetita para ser homogeneizado em um misturador tipo moinho de barra. A mistura é então enviada a uma bateria de quatro discos, com diâmetros de 6 m e uma capacidade nominal de 70 t/h.

Após a aglomeração, pelotas com o tamanho médio de 15 mm de diâmetro são transportadas para silos de endurecimento, cuja capacidade é de 12.000 t. Durante o transporte através de correias, as pelotas são revestidas com concentrados para evitar a aderência que possa ocorrer durante o endurecimento inicial. Logo após o segundo dia de cura, as pelotas já atingiram a resistência à compressão (60 kg/pelota) considerada suficiente para suportar o peneiramento, necessária para a separação do concentrado utilizado como revestimento superficial.

A última operação consiste em estocar as pelotas em silos secundários (25.000 t de capacidade), para que seja efetuada a cura final, cujo tempo de duração é de aproximadamente quatro semanas.

### Propriedades das Pelotas Grangcold

Embora a resistência à compressão das pelotas produzidas em Grangesberg seja inferior aos valores comumente encontrados em pelotas queimadas (pro-

cesso tradicional), suas propriedades mecânicas têm sido consideradas satisfatórias pelos operadores de alto-forno. Svensson et alii (4) mencionam uma resistência à compressão de 150 kg/pelota (15 mm de diâmetro) e um valor de 92% acima de 6,3 mm no teste de abrasão (ISO — tumbler test).

Experiência anterior do autor (6), trabalhando com cimentos especiais de alta atividade (alta superfície específica) e minério de ferro (hematita) do quadrilátero ferrífero, indica que é possível obter uma resistência à compressão de 350 kg/pelota para pelotas de 16 mm de diâmetro, quando a quantidade de cimento adicionada é de, aproximadamente, 10%. O valor encontrado nos testes de abrasão para estas pelotas foi de 98% acima de 6,3 mm, o que é bem acima de valores encontrados no processo tradicional de queima.

No que se refere às propriedades metalúrgicas, as pelotas produzidas pelo processo Grangcold, apresentam propriedades bem interessantes. Devido à ausência de ligações de alta temperatura de difusão, e principalmente devido à ausência de escorificação, as características das pelotas a frio são bem diferentes de pelotas queimadas. Por causa de sua alta porosidade (30 a 40%), pelotas a frio possuem um alto índice de redutibilidade, quando comparadas com pelotas queimadas, que têm porosidade em torno de 25%.

Geralmente, as pelotas Grangesberg de natureza ácida, quando reduzidas, apresentam baixo índice de inchamento. Pelotas com basicidade abaixo de 1,2 ocasionam uma queda de pressão no teste Burghardt, inferior a 10 mm H<sub>2</sub>O, colocando-as, assim, no mesmo nível de pelotas queimadas de boa qualidade. Nos testes de degradação em condições

redutoras (LTBT), as pelotas a frio, normalmente, geram uma quantidade mínima de finos.

Uma composição química típica de pelotas a frio, feita com a adição de 10% de clínker de cimento Portland a minério hematítico do quadrilátero ferrífero, poderia ser aproximadamente de:

	Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
Minério	67,54	2,15	0,73		
Clínker	2,40	22,90	4,40	64,50	1,30
Pelota	61,02	4,23	0,88	6,45	0,13

#### Vantagens e Desvantagens do Processo

Evidentemente, a maior vantagem do processo de aglomeração a frio é a drástica redução no consumo de óleo combustível. Embora o cimento tenha preço elevado e seja considerado uma matéria prima nobre, o emprego de pelotas feitas com 6% de cimento e 4% de escória de alto-forno, implicaria em um consumo indireto (necessário na fabricação de cimento) de 5 kg de óleo combustível BPF por tonelada de pelota, enquanto que o processo tradicional de aglomeração por queima tem um consumo de, aproximadamente, 30 kg de óleo BPF por tonelada de pelota.

Uma usina com capacidade anual de um milhão de toneladas de pelotas a frio resultaria numa redução anual de, aproximadamente, vinte e cinco mil toneladas de óleo combustível BPF, ou seja, uma economia de 4,4 milhões de dólares.

O processo de aglomeração a frio apresenta outra grande vantagem em relação ao processo tradicional de queima — o baixo investimento. Devido a não existência do forno de queima (grelha), o processo de aglomeração a frio possui um investimento bem inferior e também um baixo custo de manutenção.

De acordo com comparação (4) de custo de transformação (pelotas queimadas versus pelotas a frio) feita em 1973-74 para as condições suecas, foi encontrado um valor de custo de transformação, corrigido por tonelada de ferro metálico (Fe) aglomerado, de 5,76 dólares para a pelotização convencional e 5,30 dólares para a pelotização a frio. Deve-se salientar que todo cálculo se refere ao minério magnetita. Caso o minério a ser pelotizado fosse hematita, este custo de transformação deveria ser aumentado para 6,70 dólares para pelotas queimadas, o que representa quase 26% a mais que o custo de transformação do processo Grangold.

Outro fator que é considerado de relevante importância, em relação ao processo a frio, é a sua flexibilidade, pois se desenvolvido em local próximo a complexos siderúrgicos, possibilitaria o aproveitamento de todo material "ultra-fino" (abaixo de 100 $\mu$ ), que não pode ser utilizado pelo processo convencional de sinterização e nem reciclado, evitando assim a descarte de resíduos poluidores (problemas ecológicos) e os demais custos associados.

A utilização destes finos resultaria, então, em:

- disponibilidade de uma matéria-prima de alta qualidade e baixo custo;
- reciclagem de uma riqueza natural;
- preservação do meio ambiente.

Mesmo para a aglomeração de concentrados de minério de ferro ou de finos provenientes da classificação de minério de alto teor, o processo a frio apresenta outra vantagem, como foi demonstrado (7,8) pelo processo COBO: o minério não precisa ser moído no mesmo grau

de finura que ocorre no processo tradicional. É possível se obter resultados satisfatórios na aglomeração, mesmo quando a distribuição granulométrica do material não apresenta alta porcentagem de partículas abaixo de 325 $\mu$ .

Certamente, a maior desvantagem do processo de aglomeração a frio consiste na adição de ganga ao minério rico, e a conseqüente redução do teor metálico (Fe) da pelota. Acrescentando-se 10% de cimento, resultaria numa adição de óxidos ácidos (silica e alumina) de 2,5 a 3,0%. Esta desvantagem poderia, talvez, ser compensada pelo baixo custo da pelota e também pelo crédito positivo que se ganharia com adição de óxido cálcio (evitando-se adição de calcário no alto-forno) à pelota. É interessante ressaltar que quartzito é adicionado no processo de sinterização como fundente, e o processo não deixa de ser viável por este motivo.

### Aglomeração a Frio no Brasil

Segundo Svensson et alii (4), o processo de aglomeração a frio usando-se clinker e escória como agente aglomerante, é um processo particularmente adequado para os países em desenvolvimento, por causa do baixo investimento inicial (60% inferior a processo tradicional), e sua simplificada tecnologia.

Dentro de uma perspectiva brasileira, há um outro fator de considerável importância na aglomeração a frio — o tipo de minério.

Os próprios suecos, após iniciarem as operações em Grangesberg, reconheceram que o processo Grangcoold seria um processo muito mais promissor para aglomeração de hematita do que magnetita. Chegaram a esta conclusão não só

por causa da excelente qualidade das pelotas obtidas com hematita em testes de laboratório, mas principalmente por causa do custo bem mais elevado correspondente à queima de pelotas de magnetita, é devido a oxidação de 40 a 50% inferior ao da queima de pelotas de hematita.

No Brasil, ao contrário da Suécia, o clima favorece consideravelmente a aglomeração a frio. Isto ocorre por causa da elevada temperatura média existente neste país. Como a reação de hidratação do clinker que ocasiona o endurecimento da pelota, é uma reação que desenvolve mais rapidamente com o aumento de temperatura, seria possível se obter aqui um processo de cura das pelotas mais acelerado, do aquele obtido em Grangesberg.

### Conclusão e Sugestões

As perspectivas de aplicação do processo de aglomeração a frio no Brasil, a base de cimento e escória de alto-forno, são bastante promissoras; evidentemente, há a necessidade de se desenvolver estudos mais aprofundados a respeito das características de cimento e de minério, como também das propriedades das pelotas.

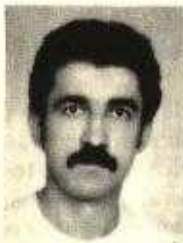
A produção de pelotas a frio, junto a grandes complexos siderúrgicos, e também junto às grandes minerações de minério de ferro (CVRD, MBR e outras) para aglomeração de finos, resultará na utilização de uma matéria-prima de qualidade superior ao sinter e por um baixo custo.

Vantagens apresentadas pelo processo a frio, tais como o baixo custo de capital, simplicidade tecnológica, aproveitamento de rejeitos, preservação do meio ambiente e, principalmente, a alta

*economia de combustíveis derivados de petróleo, devem ser consideradas quando comparadas ao processo convencional.*

## 8 — BIBLIOGRAFIA

1. SVENSSON, J. — Steel Times; v. 197; pp 363-364; Maio; 1969.
2. GEORGE, H. D. & BOARDMAN, E. B. — Iron and Steel Engineer; v. 50; pp 60-64, Novembro; 1973.
3. SVENSSON, J.; BRASK, G.; HENNING, U.; vom KRONHELM, E. & LINDER, R. — "Grangold Pelletizing: State of the Practice" — International Iron and Steel Congress; Dusseldorf; 1974.
4. KIHLESTEDT, P. G. — Jerkont. Ann.; v. 8; pp 373-399; 1969.
5. MARTINS, J. — "The Pelletizing of Iron-Ores — Studies in the Hardening of Cold-Bonded Iron Ores and in the Kinetics of Bailing" — Tese de PhD, Universidade de Leeds; 1978.
6. HASSLER, B. — "Control of Properties of Iron Ore Agglomerates by Use of Additives in Cold-Bound Autoclaved Pellets" — International Iron and Steel Congress; Dusseldorf; 1974.
7. LINDBERG, N. G. & FALK, T. S. — CIM Bulletin, v. 69; pp 117-126; setembro, 1976.



*O Engenheiro Jader Martins é formado pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais e PhD pela Universidade de Leeds, Inglaterra. Exerce atualmente o cargo de Engenheiro Senior — Setor de Tecnologia Mineral — na Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais — CETEC.*