

## AGLOMERAÇÃO DE FINOS DE ÓXIDO DE FERRO - RESÍDUO INDUSTRIAL

Cassola M. S.<sup>1</sup>, Moraes, S. L.<sup>1</sup>, Tumolo, M. Fl.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IPT/SP Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A - Divisão de Metalurgia - Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais. Av. Prof. Almeida Prado 535, 05508-901 – Cidade Universitária, São Paulo, SP. email: [mrnc@ipt.br](mailto:mrnc@ipt.br)

<sup>2</sup> UNIMETAL – Indústria e Comércio e Empreendimentos LTDA. Av. Dr. Antonio de Souza Neto, 362 – B. 18001-970 Sorocaba, SP.

### RESUMO

A presente pesquisa de aglomeração por briquetagem de finos de óxido de ferro, resíduos gerados nos processos de fabricação de aço, visava:

- estudar diversos aditivos ligantes capazes de conferir aos briquetes resistência mecânica suficiente para o seu manuseio a verde ou a seco;
- a otimização da taxa de umidade e do nível de dosagem dos aditivos.

Para os diversos aglomerantes investigados verificou-se que o nível ótimo de umidade para confecção dos briquetes é de cerca de 7% (base seca). Em relação aos aditivos aglomerantes, estes conferiram um aumento de resistência à compressão a seco da ordem de 500kgf/briquete.

### INTRODUÇÃO

Dentre as preocupações advindas da geração de resíduos industriais, duas são as principais. Uma é referente à destinação a ser dada aos resíduos, devido ao dano que estes podem causar ao meio ambiente, aliado à própria dificuldade de reutilização, sem novo processamento. Outra é a minimização de custos e a otimização de resultados. O aumento natural de produção, somado ao desenvolvimento de sistemas mais eficientes de coleta tem elevado a níveis significativos de estoques de resíduos siderúrgicos, o que, por sua vez, tem levado forçosamente as usinas a procurarem utilizações para este tipo de material [Mantovani, M.C-1996]. Além disso, a exploração progressiva das jazidas minerais tem causado dificuldades na obtenção de minérios química e fisicamente adequados para a utilização imediata nos processos siderúrgicos [Quariguasi Netto-1991].

As melhorias introduzidas decorrentes do ajustamento da empresa em níveis mais elevados de qualidade ambiental frequentemente resultam no uso mais racional e produtivo dos insumos, reduzindo os custos de produção, além de gerar novas oportunidades de negócio [Gazeta Mercantil-Gestão Ambiental-1996].

A solução definitiva para este problema mais tentada nas últimas décadas, sem dúvida, é a da aglomeração dos materiais gerados, sendo que vários processos já foram desenvolvidos, seja por pelletização, seja por briquetagem.

Aproveitando a filosofia da não agressão ao meio ambiente aliado ao benefício técnico e comercial a ser atingido através do reaproveitamento dos resíduos, o IPT em parceria com a UNIMETAL estudou o processo de briquetagem do óxido de ferro gerado pelas indústrias siderúrgicas, que consiste em recolher o material estocado, aglomerá-lo na forma de briquetes e retorná-lo ao processo, recuperando-se os finos de óxido de ferro.

### METODOLOGIA

#### Preparação das amostras

Para a realização dos ensaios, utilizou-se por matéria prima, amostras codificadas como óxido de ferro e coque. A amostra de óxido de ferro de aproximadamente 25,0 kg foi homogeneizada em pilha e retiradas 4 alíquotas de aproximadamente 5,0 kg e 5 alíquotas de aproximadamente 1,0 kg. Uma alíquota de aproximadamente 1,0 kg foi quarteada em quarteador tipo Jones, obtendo-se amostras para os ensaios de análise granulométrica e umidade.

A amostra de coque de aproximadamente 26,5 kg foi homogeneizada em pilha e retiradas 22 alíquotas de aproximadamente 1,0 kg e 11 alíquotas de

aproximadamente 0,5 kg. Uma das alíquotas de aproximadamente 0,5 kg foi quarteada em quarteador tipo *Jones*, obtendo-se amostras para os ensaios de análise granulométrica e umidade.

#### Caracterização das matérias primas

A caracterização teve por objetivo avaliar as características físicas das matérias-primas, ou seja, do óxido de ferro e do coque, determinando-se a umidade, a densidade real e a distribuição granulométrica. O ensaio de determinação de umidade foi realizado por secagem em estufa à temperatura de 105°C até peso constante, indicando 1,1% para o coque e 3,3% para os finos. A determinação da densidade real foi realizada em picnômetro apenas para óxido de ferro, indicando 3,7 g/cm<sup>3</sup>.

A amostra de finos de óxido de ferro foi submetida a classificação granulométrica por peneiramento a úmido. A análise granulométrica do coque foi realizada por peneiramento a seco, utilizando-se para as duas amostras peneiras da série Tyler (mesh). Após a realização da análise granulométrica por peneiramento a úmido da amostra de óxido de ferro, verificou-se que aproximadamente 83% da amostra se encontrava abaixo da malha 400 (0,037 mm); optou-se, então, pela complementação da análise, realizando-se análise granulométrica “sub-sieve” da fração passante na malha 400 (0,037 mm). A análise granulométrica “sub-sieve” foi realizada em aparelho Shimadzu SA-CP2, pelo modo combinado, 1200 rpm, nível 2. O resultado do ensaio indica que 29,0% da amostra é retida em 10 micra e 52% em 2 micra.

#### Aditivos ligantes

Os aditivos ligantes utilizados numa fase exploratória foram: Açúcar mascavo, Melaço em pó, Melaço Líquido, Bentonita, Glucose de milho (Karo), Silicato de sódio (alcalino), Carbonato de sódio (anidro), Fubá (Mogul), Goma arábica, Cal hidratada, Cimento Portland, Ácido acético, TPP – tripolifosfato, P/D2114-E24, IPT – FB585, CMC- Carboxi-metil-celulose, PVA – (ATPEG 600), Estearato de zinco.

#### Preparação da mistura

As alíquotas de óxido de ferro e coque utilizadas nestes ensaios, foram as obtidas nos itens 3.1.1 e 3.1.2, para preparação de mistura na proporção 3:1, respectivamente, perfazendo um total de 30,0 kg de mistura. A homogeneização foi realizada utilizando-se misturador para laboratório marca *Fungel*. Após esta etapa com o material obtido, confeccionou-se uma pilha alongada para retirada de alíquotas de aproximadamente 300,0 g. À cada ensaio tomava-se uma alíquota da mistura, a qual era adicionado determinado ligante para posterior confecção dos briquetes.

#### Ensaio de briquetagem

Os ensaios consistiram em prensar as partículas em formas definidas (briquetes). Os briquetes foram produzidos em prensa hidráulica marca *Ciola*, em forma cilíndrica, com 30 mm de altura por 30 mm de diâmetro, com força de compactação de 7,5 kg/cm<sup>2</sup>, equivalente a 2,1 t.

A massa individual de cada briquete variou de acordo com a umidade de cada material ensaiado. Antes e durante a confecção dos briquetes, foram controlados os diferentes fatores que poderiam afetar os ensaios, ou seja, o teor de umidade das matérias primas; o tamanho médio e distribuição das partículas; a molhabilidade das matérias primas; e a natureza e quantidade de ligante dosado às matérias primas; Os briquetes obtidos foram submetidos aos seguintes ensaios:

*Resistência à compressão a verde* - Imediatamente após a briquetagem, 3 briquetes eram escolhidos aleatoriamente, rompidos em prensa mecânica (*Solotest*) e anotada a força de ruptura em kgf/briquete.

*Resistência à compressão a seco* - Dos briquetes produzidos, 3 eram escolhidos ao acaso e secos à temperaturas de 105°C, por um período de 24 (vinte e quatro) horas. Após o resfriamento ao ar, eram rompidos em prensa mecânica (*Solotest*) e a força de ruptura anotada em kgf/briquete.

## RESULTADOS OBTIDOS

#### Resistência à compressão a verde

O melhor nível de umidade obtido nos trabalhos experimentais é de cerca de 7%. A resistência à compressão a verde para a mistura sem adição de ligante (0%), foi ~100 kgf/briquete. Verifica-se que alguns

ligantes melhoram a resistência à compressão a verde, destacando-se dentre eles: o melãoço, o silicato de sódio, a cal hidratada, o cimento, ácido acético, CMC, IPT-FB585, estearato de zinco.(figura 1)

**Resistência à compressão a seco**

Pela análise da resistência à compressão a seco da mistura, a secagem do briquete confeccionado com a mistura e sem adição de ligante (0%), não aumenta significativamente a resistência, concluindo-se que a adição de ligante é um fator importante para o aumento da resistência. (figura 2 ).

Para a avaliação do comportamento de cada constituinte da mistura briquetou-se o óxido de ferro puro e o coque em separado, verificando-se que o óxido de ferro puro briquetado sem adição de ligante, apresenta uma resistência à compressão a seco superior a 250 kgf/briquete. O coque puro nesta mesma condição apresenta baixa resistência à compressão inferior a 50 kgf/briquete.

**Otimização do nível de dosagem dos ligantes**

Nesta etapa variou-se o nível de dosagem de alguns ligantes que se mostraram mais promissores. O teor de umidade do briquete foi mantido em 7%.

A avaliação de cada um dos ligantes está descrita a seguir.

**Melaço** - O uso de melaço na forma de pó ou líquido não interfere nos resultados de resistência à compressão. Para níveis de dosagem de 1% em peso sobre a mistura, a resistência à compressão é da ordem de 200 kgf/briquete e para níveis de 2% é da ordem de 400 kgf/briquete. Os ensaios realizados com açúcar mascavo, açúcar refinado e glucose de milho, apresentaram resultados similares aos obtidos com o melaço. Na figura 3, temos apresentados graficamente os resultados obtidos nos ensaios com melaço em vários níveis de dosagem utilizando-se por amostra o óxido de ferro puro, o coque puro e a mistura.

**Silicato de sódio** - Podemos verificar que o silicato de sódio na dosagem de 2% em peso, confere ao briquete, após a secagem, uma resistência à compressão da ordem de 300 kgf/briquete, valor é inferior ao obtido para o açúcar refinado, melaço e glucose de milho. Níveis de dosagem inferiores não conferiam te resultados satisfatórios.(figura 4).

**Goma arábica** - A goma arábica em nível de dosagem de 2% confere ao briquete, uma resistência à compressão da ordem de 200 kgf/briquete. Para resistência à compressão da ordem de 400 kgf/briquete o nível de dosagem é de 3% em peso. Na figura 5 temos representados os valores de resistência à compressão.

**Cal hidratada e Cimento** - A variação na dosagem de até 5% em peso de cal hidratada, cimento ou a combinação destes, confere ao briquete com mistura uma resistência à compressão da ordem de 250 kgf/briquete, para o briquete de óxido de ferro a resistência com 2% de cal é da ordem de 539 kgf/briquete e para o coque neste mesmo nível de dosagem não confere ao briquete resistência.

**Ácido Acético** - Em relação à umidade, este é o único ligante que confere propriedades de higroscopicidade ao material após a secagem. Os resultados de resistência à compressão do briquete a seco são, no entanto, extraordinários, com valores de 1200 kgf/briquete para níveis de dosagem de 5%. Cassola M. S., Moraes, S. L., Tumolo, M. Fl.

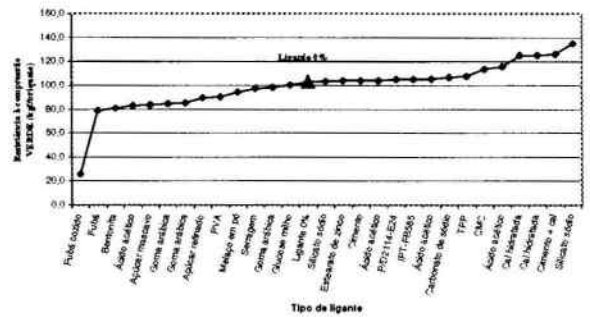


Figura 1 – Resistência à compressão dos briquetes verdes por tipo de ligante

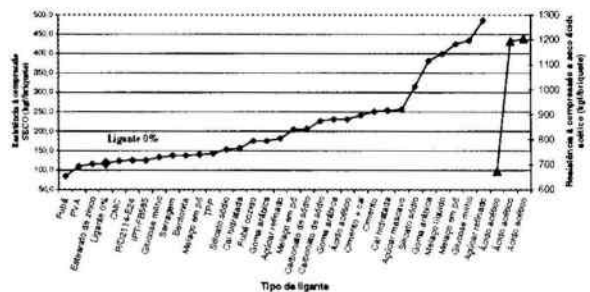


Figura 2 – Resistência à compressão dos briquetes secos por tipo de ligante

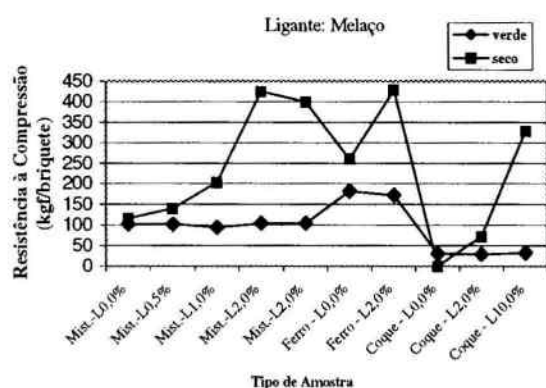


Figura 3 - Resistência à compressão com diversos níveis de dosagem de melaço

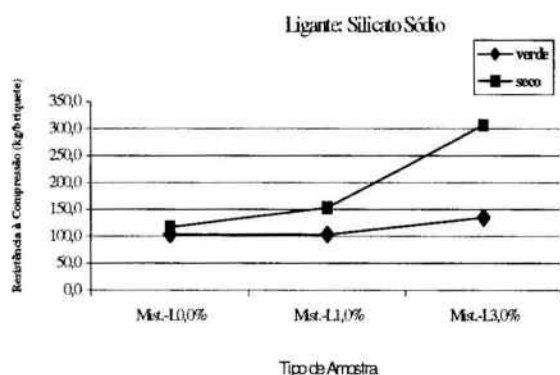


Figura 4 - Resistência à compressão utilizando por ligante o Silicato de Sódio

## CONCLUSÕES

Pela análise dos resultados dos resultados obtidos nos ensaios de aglomeração de finos de óxido de ferro por briquetagem, podemos concluir que o produto obtido com as matérias primas sem a adição de aglomerantes não oferece resistência mecânica mínima para o manuseio.

O alto valor de resistência à compressão (1200 kgf/briquete) apresentado pela utilização de ácido acético, é surpreendente, porém deve-se estudar uma forma de minimizar o efeito higroscópico que este aglomerante confere ao material

Foram identificados alguns aglomerantes potenciais tais como a cal hidratada, o cimento, o melaço os quais em nível de dosagem de 2% em peso conferem ao

produto aglomerado resistência à compressão superior a 400 kgf/briquete.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Mantovani, M. C. **Comportamento a frio e a quente de pelotas auto-redutoras de resíduo de aciaria**. São Paulo, 1996, p.1. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Quariguasi Netto, P. G. et al. Aspectos cinéticos da redução de misturas autoreductoras de finos e resíduos. In: SEMINÁRIO DE RECUPERAÇÃO DE REJEITOS NA INDÚSTRIA METALÚRGICA, São Paulo, SP, 1991. *Anais*. São Paulo, ABM, p. 181-182.
- Gazeta Mercantil – Gestão Ambiental, São Paulo, **Ecoestratégia para conquista de mercado** (fascículo encartado), São Paulo, 1996
- Lima, J.R.B. *Estudo da carboxi-metil-celulose como aglomerante para pelletização*. Dissertação de mestrado, EPUSP, São Paulo, 1992.
- Lima, J.R.B, Chaves, A.P. Estudo da carboxi-metil-celulose como aglomerante para pelletização. *Boletim técnico da Escola Politécnica da USP*, departamento de Engenharia de Minas, BT/PMI/014, EPUSP, São Paulo, 1992.
- Lima, J.R.B, Chaves, A.P. Study of surface properties in agglomeration processes. INTERNATIONAL MINERAL PROCESSING CONGRESS, 17. *Annals*. Sydney, 1993. p. 1395-1402.
- Chaves, A.P. Recycling of limestone quarry fines via pelletization. Internal report. Southern Illinois University, Carbondale, 1993. Paul, B.C.; Chaves, A.P.; White, C.M.; McKinney, G. Pelletization solution to fines-handling problem. *Pit and Quarry*, jun/jul. 93, p. 30-3, p. 34-7.
- Chaves, A.P.; Paul, B.C. Pelotização de finos de calcário. *Reciclagem de Rejeitos da Indústria Metalúrgica*. ABMCOREME, SP, 1992, p.469-82.
- Paul, B.C.; Chaves, A.P.; White, C.M. Recycling of limestone quarry fines via pelletization. Congresso Italo-brasileiro d'ingegneria mineraria, 2. Resoconti. São Paulo, 1993.p. 883-97.

- Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Relatório n. 34.084/96 - Ensaio de aglomeração de "pellet-feed" com diferentes tipos de ligantes. Relatório final. IPT, São Paulo, 1996.
- Cassola, M.S; Chaves, A P. Effect of the addition of organic binders on the behaviour of iron ore pellets. Revista Kona 1998.
- Cassola, M.S; Chaves, A P.I Simpósio de Minério de Ferro: Caracterização, Beneficiamento e Pelotização. 14 a 17 de outubro 1996, Ouro Preto – MG.
- Norma IT 216 Determinação de umidade. Companhia Vale do Rio Doce – Diretoria de Pelotização e Metálicos, Vitória, ES. 1998.
- Norma IT 417 Amostragem e identificação e preparação de amostra de pelota crua para testes físicos. Companhia Vale do Rio Doce – Diretoria de Pelotização e Metálicos, Vitória, ES. 1998.
- Norma IT 517 Determinação do número de quedas de pelotas cruas e resistência à compressão de pelotas cruas e secas. Companhia Vale do Rio Doce – Diretoria de Pelotização e Metálicos, Vitória, ES. 1998.
- Norma IT 817 Amostragem, identificação, quarteamento e preparação de amostras de pelotas queimadas para testes físicos, químicos e metalúrgicos. Companhia 13.