

I PARTE

INDUSTRIALIZAÇÃO DOS FINOS DE MINÉRIO DE FERRO: PELOTIZAÇÃO ⁽¹⁾

PAULO MIGUEL BOHOMOLETZ ⁽²⁾

RESUMO

O Autor, acatado especialista, aborda o tema pelos capítulos: Introdução e histórico sobre pelotas; Preparação das matérias primas; Aplicações das pelotas na redução e na aciação; Mercado interno e mercado externo; Posição do Brasil.

Concluiu com o seguinte apelo:

"... Vemos pelo quadro I que, mesmo exportando em 1970 cerca de 29 Mt de óxidos de ferro (minérios, concentrados e pelotas) e consumindo ainda, nós mesmos, aproximadamente 11 Mt, tendo um faturamento correspondente estimado em US\$ 257 milhões, — a nossa participação no mercado mundial de minério de ferro não ultrapassará de 8%.

Como se vê, isso é muito pouco em face do que precisamos para o nosso desenvolvimento e independência. Que os nossos homens responsáveis meditem sobre este setor da atividade nacional e lhe propiciem as leis e os recursos necessários; que o livrem das peias burocráticas, dos entraves formalísticos e das injunções políticas, — que nada constróem e sòmente atrasam."

1. INTRODUÇÃO

Os minérios de ferro que constituem as grandes reservas do nosso País podem ser classificadas em três tipos: as hematitas compactas e friáveis, as hematitas pulverulentas ricas e os itabiritos. Cada um desses tipos de minério caracteriza-se por constituição mineralógica, composição química e outras propriedades, tais como: dureza, friabilidade, granulometria, superfície

(1) Contribuição Técnica n.º 502. Apresentada ao XVIII Congresso Anual da Associação Brasileira de Metais; Belo Horizonte, julho de 1963.

(2) Membro da ABM e de seu Conselho Diretor; Engenheiro de Minas e Metalurgia e Professor; Assessor Técnico da Presidência da Cia. Vale do Rio Doce; Rio de Janeiro, GB.

(3) Ver, na II PARTE e na III PARTE, uma outra Contribuição Técnica e mais a discussão conjunta de ambas.

específica, densidades, etc. A predominância de conjuntos dessas propriedades pode indicar a aplicação industrial mais adequada para cada um deles. Assim, as hematitas compactas e resistentes, que puderem suportar numerosos manuseios e transportes sem degradação exagerada, têm sua aplicação principal nas aciarias, como agentes oxidantes e antitérmicos, podendo, evidentemente, ser britadas a fim de, reduzindo-se-lhes as dimensões, serem destinadas a outras aplicações metalúrgicas.

As hematitas pulverulentas ricas podem e devem ser utilizadas, sob a forma de aglomerados, como constituintes das cargas metálicas dos aparelhos de redução. Tais aglomerados presentemente constituem a pelota, o sinter e o briquete.

Os itabiritos, rocha ferrífera à qual — até que melhor critério apareça — atribuímos o teor máximo de ferro de 60%, representam, no Quadrilátero Ferrífero, cêrca de 80% das respectivas reservas. Deve-se acrescentar que esta rocha, encontrando-se intercalada entre as camadas de hematita, impossibilita a mineração destas últimas, sem a sua remoção prévia. Ora, a remoção desses itabiritos é uma operação que, sob o ponto de vista industrial, custa praticamente o mesmo que a extração do minério nobre. Êste fato torna obrigatória a industrialização dos itabiritos a fim de que a economia do sistema minerador não seja prejudicada.

As reservas de itabirito até agora conhecidas oferecem um teor de ferro compreendido entre 40% e 45%. A sua industrialização deverá, pois, compreender duas fases: a primeira representada pela concentração, a fim de elevar o seu teor de ferro ao nível de 68% e uma segunda fase que consistirá na aglomeração da fração fina dos concentrados obtidos, destinando-se a fração de granulometria mais grossa à exportação. Percebe-se, assim, que a industrialização dos finos de minérios de ferro tem como objetivo a produção de um aglomerado suscetível de manuseios, transbordos e longos transportes, visando-se principalmente o mercado internacional.

Até o presente, o aglomerado que satisfaz a êsses requisitos é o "pellet", já entre nós designado por pelota. Pode-se tentar definir a pelota como um aglomerado de forma esférica, obtido, por rolamento em tambores, discos ou outros dispositivos, de óxidos de ferro finamente moídos e devidamente umedecidos, submetendo-se as esferas assim obtidas à secagem e queima, desenvolvendo-se nesta última operação a consolidação da pelota pelo intercrescimento de grãos dos óxidos de ferro constituintes e reforçada pela fase escória resultante das impurezas normais do minério e aglomerantes eventualmente adicionados.

Percebe-se facilmente que um processo de aglomeração dessa natureza deva ser utilizado para o aproveitamento da imensa

massa de hematitas brandas finas e ricas, que possuímos em estado natural, e dos concentrados ricos dos itabiritos, os quais somos obrigados a beneficiar.

Condições geológicas opostas às nossas e conteúdos de ferro dos minérios de diversas partes do mundo criaram uma tecnologia para tornar econômica a utilização dos respectivos minérios. Assim, os óxidos de ferro finamente disseminados nos duríssimos taconitos americanos ou os minérios de teor relativamente baixo da Escandinávia levaram os técnicos a estudar meios econômicos para o seu aproveitamento. Os minérios das regiões citadas requeriam, como é óbvio, concentração. Esta operação exigia, por sua vez, moagem fina, o que imprimia ao minério dimensões incompatíveis para sua utilização direta em altos fornos. Surgiu, pois, a necessidade de aglomeração, isto é, reunir em corpos de dimensões conspícuas minérios finamente fracionados.

Dos diversos processos de aglomeração nos ocuparemos daquele constituído pela *pelotização*. O desenvolvimento desse processo pode ser sumariado como segue:

2. HISTÓRICO SÔBRE PELOTAS

1911 — *Suécia*: A. G. Anderson tenta aglomerar concentrados úmidos. Utiliza para isso um tambor, submetendo as pelotas cruas assim obtidas a processo de secagem e queima. Assinala ainda Anderson a vantagem de se adicionar aglomerante.

1913 — *Alemanha*: C. A. Brackelsberg fabrica pelotas cruas, como Anderson, adicionando aglomerante e endurecendo as pelotas pela evaporação da água à baixa temperatura.

1926 — *Alemanha*: Em Rheinhausen é construída uma usina pilôto para experimentar o processo de Brackelsberg. Algum tempo depois, esta usina deixa de operar.

1929 — *Áustria*: É registrada na Áustria uma patente de Brackelsberg referentes a processos e equipamentos para produzir pelotas em fornos rotativos, a partir de materiais pulverizados.

1934/1936 — *Estados Unidos*: Independentemente dos trabalhos de Brackelsberg, E. P. Barrett e R. S. Dean, do United States Bureau of Mines, desenvolveram um processo de fabricação de pelotas cruas, idêntico ao de Brackelsberg. Não usaram aglomerante; porém, queimaram as pelotas. É importante assinalar que, já nessa oportunidade, Barrett chamou atenção

para o fato de que a formação das pelotas cruas é uma função da quantidade de água adicionada e da maneira pela qual esta adição é feita, da composição mineralógica e da granulometria do minério.

Na mesma época, Dean verificou que se podiam obter pelotas com considerável resistência mecânica, desde que as mesmas tivessem sido queimadas entre 500°C e o ponto de fusão do minério.

1943 — *Estados Unidos*: A Mines Experiment Station, na University of Minnesota, empreende trabalhos de pesquisa sôbre a pelletização dos concentrados dos taconitos do Lago Superior.

1944 — *Estados Unidos*: Continuam os trabalhos na Universidade de Minnesota, dirigidos por E. W. Davis, em cooperação com C. V. Firth, H. H. Hade e outros. Nessa ocasião, Barrett realiza experiência de acôrdo com as sugestões de Dean. A patente requerida por Dean chamou a atenção de Davis e Firth, ocasião em que Firth publicou o primeiro trabalho de pesquisa sôbre a pelletização de minérios de ferro.

1946 — *Suécia*: É criado um comitê especial pelo Jernkontoret para realizar experiências de pelletização. Foi então estabelecido um acôrdo com a Universidade de Minnesota. O comitê prôpriamente dito era constituído pelos Srs. Prof. S. Moertsell, Prof. M. Wiberg, G. Helmer, B. Hessle, S. Fornander e K. Goerling, sob a presidência do Dr. Magnus Tigerschield, contando ainda com a colaboração dos Srs. B. Waller, P. A. Ilmoni, J. Staelhed, N. Winblad, B. Bjoerkvall, L. O. Uhrus, H. Kihlander, J. Uggla e E. von Hofsten.

*

Como fruto de todos êsses trabalhos, em 1951 foram construídas as primeiras usinas industriais de pelletização, nos Estados Unidos e na Suécia. Os resultados das operações dessas usinas foram utilizados na orientação de outros numerosos trabalhos de pesquisa e experimentação nesse setor. Como resultado final de natureza industrial, existem hoje, em operação e construção: nos Estados Unidos — 10 usinas de pelletização, com a capacidade anual total de 26.400.000 toneladas; no Canadá, nas condições anteriores — 7 usinas, com a produção anual esperada de 13.700.000 t; na Suécia, também em construção e operação — 9 usinas, totalizando uma capacidade anual de produção de cêrca de 1.500.000 t; na América do Sul está operando a usina Marcona, no Perú, com o programa anual de 1.000.000 t por ano; no Japão, a Kawasaki está produzindo

cêrca de 1.300.000 t por ano; na Itália, em Montecatini, deve estar em curso de construção uma usina com a capacidade anual estimada em 300.000 t. Vê-se, assim, que já existem em construção e operação 29 usinas, totalizando uma capacidade da ordem de 44.200.000 toneladas por ano. É de se notar que não foram computadas as usinas existentes no leste europeu.

3. PREPARAÇÃO

A) FUNDAMENTOS

Admite-se que partículas de minério sejam envolvidas por um filme de água, formando assim conjunto fundamental minério-água (fig. 1 A). Ressalta logo uma condição básica: deve haver molhabilidade da partícula mineral. O contacto de dois ou mais conjuntos forma um núcleo, porquanto a coalescência de diversos filmes de água, por efeito da tensão superficial, requerendo o estado de equilíbrio, impõe o mínimo da energia livre à superfície do sistema, resultando, então, para êste núcleo, a forma geométrica mais estável. Obtidos êsses núcleos, a continuação do processo de formação das pelotas impõe o crescimento dos mesmos. Esta segunda etapa do processo pode ser obtida de três modos:

- 1) Absorção pelo núcleo de partículas sêcas (fig. 1 B).
- 2) Absorção pelo núcleo do conjuntos-fundamentais (fig. 1 C).
- 3) Pela reunião de dois ou mais núcleos (fig 1 D).

Os núcleos maiores resultantes dêsses fenômenos continuam a crescer mediante incorporação de novas partículas de minério, por ação de rolamento e entrechoques. Esta concepção é devida à equipe de pesquisadores do "Applied Research Laboratory", da United States Steel, que se dedica ao problema.

A estabilidade das pelotas assim obtidas é assunto de investigações permanentes. Êste fenômeno tem sua explicação tentada por vários pesquisadores; destacando-se a de Tigerschioeld e Ilmoni, que atribuem ao fenômeno da capilaridade o papel principal na coesão entre as partículas minerais. Na figura 2 representa-se um tubo capilar como constituinte unitário do sistema. Se imaginarmos um conjunto de partículas de minério, tal como obtido pelo crescimento de núcleos, percebe-se que êste conjunto forma um sistema de tubos capilares com bases interligadas pelos seus poros e vazios saturados com água. Face a êste

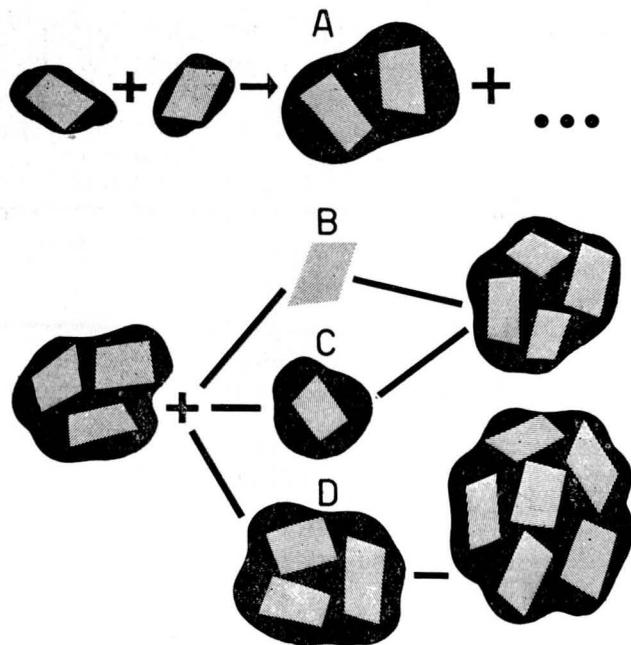
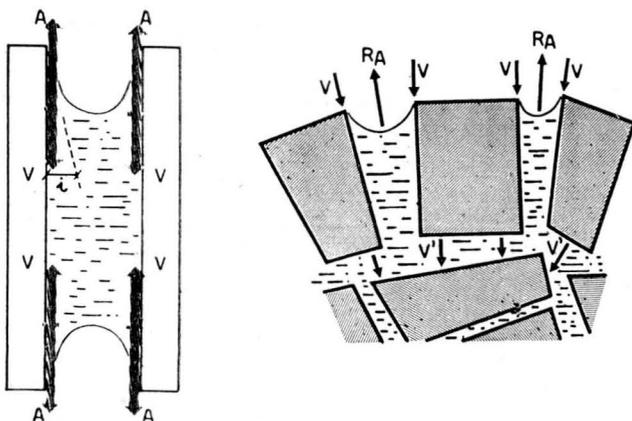


Fig. 1 — Na formação das pelotas, admite-se que partículas de minério sejam envolvidas por um filme de água (fig. 1-A). Segundo o texto, a continuação do processo de formação das pelotas dar-se-ia segundo os modos "B", "C" e "D".



Figs. 2 e 3 — Tiggerschield e outros pesquisadores atribuem o fenômeno da coesão entre as partículas minerais à capilaridade. Referindo-se à figura 2, o texto aplica a fórmula clássica do tubo capilar.

arranjo, aplicam-se às partículas superficiais da pelota reações V (fig. 3), que dão coesão ao sistema, porquanto são essas reações também transmitidas às partículas internas através da água.

Decorre da teoria exposta que a resistência da pelota depende essencialmente dos fenômenos capilares e em consequência da tensão superficial da fase líquida. Referindo-nos à figura 2, podemos reproduzir a fórmula clássica do tubo capilar:

$$Z = \frac{2 \alpha \cos i}{r \rho g}$$

que para:

$$\alpha = 72,7 \text{ dina/cm (a } 20^{\circ}\text{C)}$$

$$i = 0^{\circ}$$

$$\rho = 1 \text{ g/cm}^3$$

$$g = 981 \text{ cm/seg}^2$$

Resulta:

$$Z = \frac{0,15}{r} \text{ cm de coluna d'água}$$

Para:

$$r = 0,0001 \text{ m, } Z = 15 \text{ m}$$

Esta relação mostra a dependência entre os raios dos capilares e a intensidade dos respectivos fenômenos. Considerando que o raio médio dos poros é médio pela expressão:

$$r = \frac{2 \varepsilon}{S \rho_s (1 - \varepsilon)} \text{ onde:}$$

ε é porosidade da pelota, em %;

S é a superfície específica das partículas do minério, em cm^2/g ;

ρ_s é a massa específica verdadeira do concentrado, em g/cm^3 , percebe-se que r , é função do inverso da superfície específica. Ora, como Z é função inversa de r , como já vimos, tem-se que Z é função direta de S .

Percebe-se, então, que o fenômeno capilar, responsável pela resistência, depende diretamente da superfície específica e, portanto, da granulometria do minério. Não é difícil compreender

que as condições ótimas para a formação da pelota crua exigirão ainda um empacotamento conveniente das partículas de minério, bem como uma concentração adequada de água.

A maneira de se combinarem satisfatoriamente todos êsses fatores é o problema da indústria de pelotização. Por êste motivo, diversos são os processos e equipamento oferecidos ao mercado.

B) MATÉRIAS PRIMA

a) *Minérios* — O minério de ferro do qual se vão produzir as pelotas, antes de mais nada, deve ser rico. Entende-se por riqueza teores acima de 63% de ferro. Percebe-se logo que nem todos os minérios supridos pelo mercado internacional satisfazem a esta condição. Portanto, todos aquêles que pretenderem fabricar êsse material e que não dispuserem do minério conveniente deverão concentrá-lo.

A concentração em geral — sistema complexo de operações unitárias — é uma função da composição mineralógica, da composição da ganga e de diversas propriedades tais como: granulometria, facilidade de moagem, densidade, porosidade, fator de forma, superfície específica, permeabilidade magnética, redutibilidade, etc. Entre os minérios de ferro mais importantes destacam-se os óxidos de ferro hematitas e magnetitas. É pelas primeiras que são constituídas, quase que na sua totalidade, as reservas ferríferas do Brasil. Êstes dois óxidos se diferenciam acentuadamente pela permeabilidade magnética, o que de antemão quase que define as linhas mestras de um processo de concentração. Entretanto, as propriedades termodinâmicas e químicas também as distinguem significativamente.

Como se sabe, a hematita é um mineral não suscetível de oxidação, ao passo que a magnetita pode ser transformada em hematita por uma ustulação oxidante, tendo esta reação um caráter exotérmico. Como veremos adiante, esta propriedade representa um dos fatores importantes na escolha do processo de pelotização. Como foi visto durante o exame do capítulo referente aos fundamentos da preparação, a formação da pelota exige uma granulometria muito baixa. Portanto, aquêles minérios naturais que, pelo menos parcialmente, atendam a essa condição concorrem ponderavelmente para um custo operacional conveniente. Entretanto, deve-se observar que minérios duros são difíceis de se moer à granulometria requerida, podendo assim destruir, pelo menos em parte, a vantagem inicial. Decorre daí a necessidade imperativa de se determinar esta, bem como muitas outras propriedades de um minério, antes de se escolher o processo industrial.

Os minérios encravados na área de operação da Cia. Vale do Rio Doce, como já foi dito, são constituídos por hematitas compactas e brandas, hematitas pulverulentas ricas e itabiritos. Referir-nos-emos nesta palestra ao segundo tipo, isto é, hematitas pulverulentas ricas, também chamadas jacutingas — muito a contragosto dos nossos geólogos.

A análise química dêsse minério acusa teor de ferro oscilando em torno de 68,7%; sílica em torno de 0,32%; alumina, cerca de 0,40% e fósforo em torno de 0,017%. Daí se vê que

o “Rise ratio” teórico, isto é, a relação $\frac{\text{Ferro}}{\text{Sílica} + \text{Alumina}}$, é de 95,5. Se admitirmos durante os trabalhos de mineração uma contaminação em sílica da ordem 1%, o novo valor seria 40, que é duas vezes superior ao “Rice ratio” médio do minério canadense, como mais adiante teremos oportunidade de comentar (fig. 4).

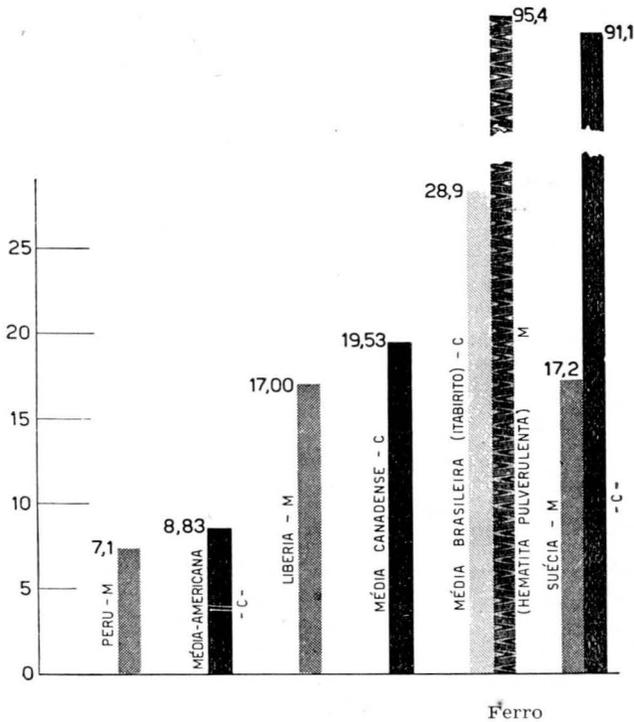


Fig. 4 — “Rise ratio”, isto é, relação $\frac{\text{Ferro}}{\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3}$ para vários minérios e concentrados, comparada com a de minérios brasileiros. Em preto: concentrados; em cinza, minérios.

As reservas dêsse tipo de minério, até agora cubadas na área da Cia. Vale do Rio Doce, atingem a um valor superior a 30 milhões de toneladas. Não é demais esperar-se uma reserva total de algumas centenas de milhões de toneladas dentro do Quadrilátero Ferrífero. Portanto, só êste tipo de minério, sem se falar nos concentrados que advirão do processo de enriquecimento dos itabiritos, como já foi referido, garantem ao Brasil matéria prima excepcional para fabricação de pelotas, dentro de condições de competição internacional.

b) *Aglomerantes* — O aglomerante pode desempenhar, na formação da pelota, uma função tríplice:

- 1) Dar à pelota crua a resistência mecânica necessária ao seu transporte e empilhamento nas fases sucessivas do processo.
- 2) Imprimir propriedades de boa resistência ao choque térmico, choque êste que se produz à entrada das câmaras de secagem e queima.
- 3) Eventualmente, servir como agente de aglomeração da pelota queimada, formando compostos químicos com Fe, tais como: $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$; $\text{MgO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$; etc. Além dessas ligações, pode formar outras, de menor importância, que são aquelas correspondentes à fase escória que resulta da combinação com impurezas do minério (SiO_2 e Al_2O_3).

As duas primeiras propriedades são da mais alta importância, como é óbvio. Entretanto, o aperfeiçoamento do equipamento de fabricação poderá ser desenvolvido — e o está sendo — no sentido de se evitarem as mudanças bruscas no encaminhamento das pelotas cruas para os aparelhos de queima. Isto conseguido, a primeira das propriedades perderá uma boa parte da sua importância. Análogamente, a melhoria no desenho dos aparelhos de secagem e queima poderá restringir a importância da segunda propriedade. Por aí se vê a necessidade da contínua pesquisa e investigação sobre o processo, o que requer das nações que desejam desenvolver-se tecnologicamente um forte incentivo na preparação de pessoal especializado em alto nível.

Entre os numerosos aglomerantes já investigados destacam-se:

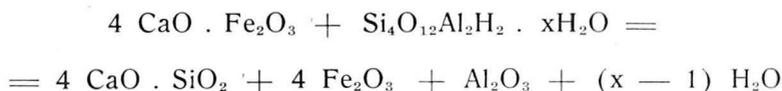
- 1) *Bentonitas* — que são argilas Montmoriloníticas, de fórmula ideal $\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot \text{Al}_2\text{H}_2 \times \text{H}_2\text{O}$, geralmente ions de Ca ou Na, além de outros.

As Bentonitas destinadas à pelotização devem ser sódicas, porquanto estas gozam da propriedade de se dispersar espontaneamente, devido à separação das suas lâminas constituintes.

Este fenômeno, devido ao ion Na, faz com que a Bentonita se disperse na água contida no sistema, preenchendo os vazios entre as finas partículas do minério. Esta técnica requer, portanto, que a granulometria do aglomerante seja compatível com os volumes intersticiais do minério, sem reduzir em demasia os contactos minério-minério.

- 2) *Hidróxido de Cálcio* — oferece praticamente os mesmos resultados que a Bentonita. Todavia forma com o Fe_2O_3 a Ferrita monocálcica que desempenha função aglomerante na pelota queimada.

O uso de um ou outro desses agentes depende de muitos fatores, tais como: disponibilidade (no Brasil, por exemplo, não conhecemos ainda reservas industriais de Bentonita sódica), custo, composição de minério natural ou concentrado a pelotizar, etc. É preciso cotejar cuidadosamente todos esses fatores a fim de se evitarem técnicas erradas. Assim, por exemplo, se numa pelota tivermos simultaneamente bentonita e cálcio-ferrita, à temperatura de 1200°C , desenvolve-se a reação:



o filme de silicato CaSiO_3 pode ser prejudicial à redução posterior. Estes aglomerantes são usados nos Estados Unidos e Canadá.

- 3) *$\text{So}_4\text{Fe} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$* — é um licor sulfúrico subproduto de usinas hidrometalúrgicas. Utiliza-se na Suécia, onde os óxidos predominantes a aglomerar são as magnetitas.

Numerosos outros aglomerantes já foram experimentados, tendo-se fixado a preferência em torno dos três acima citados. No Brasil, com exceção da cal, não dispomos ainda de outros. A equipe da Cia. Vale do Rio Doce, em convênio com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, está pesquisando as argilas nacionais. O alto valor do "Rice ratio", conforme já mencionado, permitir-nos-á, talvez, a utilização das argilas nacionais, sem diluição excessiva do teor de Fe na pelota e sem o rebaixamento do forte do respectivo "Rice ratio".

c) Redutores — Redutores sólidos (moinhas de carvão mineral ou coque) estão sendo utilizados em alguns casos de fabricação de pelotas. A adição desse material pode ser feita à

massa do minério a pelletizar ou então às superfícies das pelotas cruas prontas. Com tal medida pode-se balancear o consumo de combustível e influir sobre a temperatura. Entretanto, as possibilidades de redução parcial das pelotas, provocando fases líquidas, pode causar sérios obstáculos ao processo.

C) PROCESSOS

a) *Formação de pelotas cruas* — Já vimos como se tenta explicar a formação das pelotas cruas, a partir dos agentes fundamentais minério e água. O desenvolvimento de cada uma das fases mencionadas é função do processo utilizado, isto é, das condições de alimentação do minério, da quantidade de água empregada e do modo pelo qual ela é misturada, da forma da superfície de rolamento, do tempo de rolamento da pelota, da sua velocidade linear. Obviamente, as matérias primas devem obedecer a especificações determinadas. Os fenômenos comentados há pouco impõem ao minério, para a formação de boas pelotas cruas, uma granulometria de 80% abaixo de 323 mesh e uma concentração de água em torno de 10%.

Cada minério e cada região geográfica têm suas peculiaridades. Assim, a granulometria citada poderá oscilar, bem como teor de água, notando-se que esta última variável é muito sensível e manifesta-se, apreciavelmente, para cada 0,25% de alteração na sua participação. Outro fator que influi bastante é o aglomerante — tanto pela sua natureza como pela sua concentração e modo de adição, isto é, se seco, se em solução, etc. Quando o aglomerante é a bentonita, sua adição é da ordem de 0,5%. O hidróxido de cálcio adiciona-se em concentrações maiores, atingindo até a 1% ou mesmo pouco mais.

Os aparelhos em uso corrente para formar as pelotas cruas são de dois tipos: tambores e discos giratórios.

1) *Tambores* (fig. 5) — Nos Estados Unidos e na Suécia usa-se de preferência êsse equipamento. O comprimento do tambor varia entre o dôbro e o triplo de seu diâmetro. Sua inclinação oscila entre 2% e 5%.

A sua velocidade de rotação, evidentemente, influi no diâmetro das pelotas em formação. Assim, um tambor com 2,4 m de diâmetro e cêrca de 7 m de comprimento pode produzir aproximadamente 1.000 toneladas de pelotas cruas por dia, com um diâmetro médio de 3/4", desde que a velocidade periférica do tambor seja de 81 m por minuto. É fácil perceber que as pelotas assim formadas terão seus diâmetros compreendidos numa determinada faixa, o que requer o seu peneiramento a fim de escoimar aquelas com diâmetros excessivamente grandes ou pe-

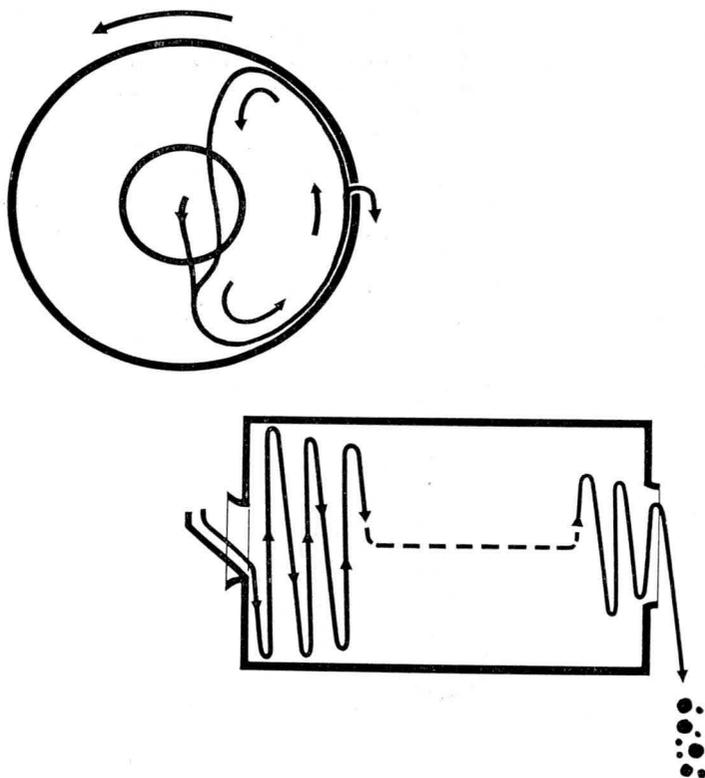


Fig. 5 — Esquema do funcionamento do tambor de pelotização, usado de preferência nos Estados Unidos e na Suécia. Sua inclinação varia entre 2% e 5%.

quenos. A carga de recirculação que disso resulta pode variar entre 100% e 400%. A tendência atual nos Estados Unidos, entretanto, é para produzir pelotas com diâmetro de 3/8".

Atribui-se ao tambor de pelotização como desvantagem o fato de não ser possível proceder-se nêle à classificação das pelotas cruas, o que obriga as mesmas a passarem sôbre peneiras para a classificação a que acabamos de nos referir. Esta operação requer que se aumente a resistência das pelotas cruas para que o seu rendimento seja aceitável. Esta é, pois, uma das razões para que seja adicionado um aglomerante à massa de minério a pelotizar.

Deve-se comentar que atualmente estão sendo empregados aparelhos de classificação das pelotas, no sentido de diminuir a sua quebra durante a operação. Em princípio, o referido aparelho consiste numa mesa de rolos convenientemente espaçados

entre os seus eixos, de modo que as pelotas cujo diâmetro estiver abaixo de certo valor são eliminadas através do espaço livre entre os rolos. Além disso, a operação de rolamento das pelotas cruas reforça-lhes a estrutura.

2) *Discos* — Atualmente, empregam-se, tanto nos Estados Unidos como na Suécia, os discos pelotizadores. O trabalho de desenvolvimento desses aparelhos foi, entretanto, realizado na Alemanha. Os princípios fundamentais da formação da pelota crua são os mesmos. Entretanto, as trajetórias do material fino são diferentes, conforme se pode ver na figura 6.

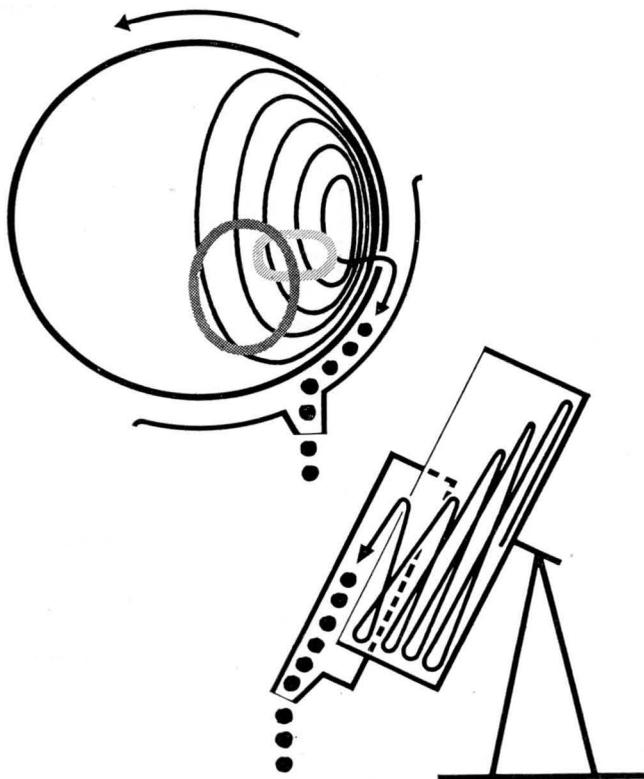


Fig. 6 — Esquema do funcionamento dos discos pelotizadores; note-se que as trajetórias do material fino são diferentes das da figura anterior.

Muitos operadores consideram o disco superior ao tambor, alegando que é mais leve, permite variar facilmente sua velocidade de rotação, bem como mudar com facilidade a sua inclina-

ção, como ainda aumentar a altura das suas bordas sem problemas. Além disso, alegam que se pode classificar as pelotas resultantes com facilidade, porquanto a trajetória de saída, por efeito da força centrífuga, é uma função do diâmetro da pelota.

A capacidade de produção desses aparelhos, dependendo do tipo do minério de ferro, varia entre 3,5 t e 28 t por m² de área do disco e por 24 horas. Esses aparelhos já foram construídos com diâmetro de até cerca de 6 m. O fato de o disco não necessitar de equipamento de classificação das pelotas evita um estágio de degradação do material. Dêste modo, pode ser evitada a adição de agente aglomerante para corrigir a falta de resistência mecânica da pelota crua, na sua condução entre o aparelho pelletizador e o forno de secagem. Se as outras etapas de fabricação da pelota não dispensarem adição de aglomerante, esta poderá, quando nada, ser diminuída pela razão que acabamos de citar. Esta circunstância é importante porque, além de diminuir o custo de operação, deixa de participar na diluição da concentração do ferro metálico no produto final.

As pelotas cruas satisfatórias devem oferecer as seguintes características:

- 1) Resistência à compressão — aproximadamente, 1 kg/pelota.
- 2) Ruptura por quedas repetidas de uma altura de 45 cm. Mínimo de quedas: 5.

É preciso observar que êstes ensaios não estão ainda padronizados e, em geral, não podem ser comparados por falta de homogeneidade.

b) *Secagem* — A fase final da produção de uma pelota sendo constituída por sua queima, percebe-se que deve existir uma etapa intermediária entre a formação da pelota crua e a formação da pelota final. Esta etapa é indispensável a fim de se evitar a decrepitação da pelota pela brusca vaporização da água nela contida, além dos efeitos do choque térmico. Por isso, torna-se indispensável nos processos industriais a existência de aparelhagem adequada.

De um modo geral, a referida aparelhagem é constituída por um sistema de grelhas móveis, sôbre as quais se carrega uma camada de pelotas cruas que são, então, percoladas por uma corrente de gases quentes. A corrente de gás quente pode atravessar a camada de pelotas “de baixo para cima” — “updraft” —, isto é, atravessando primeiramente a grelha e a seguir as pelotas. Também pode fluir no sentido oposto, isto é, atravessar primeiramente as pelotas e a seguir a grelha — é o “down-draft”.

Além dêsse fator, deve-se levar em conta: a temperatura do gás, sua vazão e o tempo da secagem. O método "down-draft" protege a grelha contra o impacto direto do gás quente. Entretanto, apresenta os seguintes inconvenientes:

- a) Tôda a umidade é dirigida para as camadas inferiores de pelotas, aumentando a concentração de água e, portanto, diminuindo a resistência delas. Este fenômeno torna-se então responsável pelo achatamento das pelotas sôbre a grelha, obstruindo assim a passagem dos gases. Ao achatamento citado concorre ainda a ação do pêso próprio das pelotas acrescido da pressão da corrente gasosa.
- b) No sistema "up-draft", os inconvenientes citados não existem; aparece, entretanto, o problema do desgaste mais rápido das grelhas.

A tendência atual reside na utilização da segunda variante, salvo casos especiais. Percebe-se que o aceleração da evaporação da água, sem que se dê a ruptura da pelota, é fenômeno delicado. Por êste motivo, em geral emprega-se um aglomerante que, pela elasticidade da sua variação volumétrica durante o aquecimento, permite a saída do vapor d'água sem fendilhamento nocivo das pelotas. Pode-se supor então que aglomerantes com propriedades químicas e físico-químicas adequadas podem ser utilizados a fim de minorarem os efeitos da secagem e do choque térmico sôbre as pelotas cruas e sêcas, respectivamente.

Pelotas sêcas devem atender a uma resistência à compressão de pelo menos 4 kg/pelota.

As temperaturas de secagem situam-se entre 400°C e 450°C.

As figuras 8 e 9 indicam o processamento da operação.

c) *Queima* — A etapa final da fabricação das pelotas consiste no respectivo pré-aquecimento e queima. A queima objetiva dá às pelotas a resistência necessária. Outras propriedades decorrem da história da fabricação e necessário se torna não prejudicá-las nesta última fase. Assim, um superaquecimento poderá prejudicar a porosidade. Uma temperatura insuficiente ou um tempo de queima curto demais poderá ser responsável por um intercrescimento de grãos insuficiente.

A resistência de uma pelota advém das interligações entre as partículas de minério que as constituem. Entre as naturezas de interligação destacam-se as seguintes:

- 1) Intercrescimento de cristais entre partículas em contacto, em decorrência da temperatura elevada. Nos casos de hematitas, seria o desenvolvimento de respectivos cristais, formando grãos intercrescidos. No caso de magne-

tita, o fenômeno é facilitado, porquanto a queima oxidante deste mineral provoca sua oxidação, transformando-o em hematita, com desprendimento de calor. Misturas de magnetitas e hematitas comportam-se análogamente. É preciso observar que a oxidação da magnetita não é um fenômeno de fácil controle industrial.

- 2) Colagem de grãos por intermédio de compostos que se formam entre os óxidos de Fe e aglomerantes; para exemplificar, podemos citar as ferritas de cálcio; estas se forma pela combinação entre o aglomerante cálcico de Fe_2O_3 à temperatura elevada.
- 3) Ligação por meio da fase escória que é gerada pela reação a SiO_2 do minério e/ou dos aglomerantes com Al_2O_3 , CaO e óxidos de ferro.

Entre êsses tipos de ligação, o primeiro, de longe, é o mais importante.

Os aparelhos onde os fenômenos acabados de descrever se desenvolvem são de três tipos fundamentais, distribuindo-se entre diversas variantes:

- 1) *Forno de cuba* — Utilizado com sucesso para queima de pelotas de magnetitas (fig. 7).
 - 2) *Grelhas móveis*.
- A) *Straight-Grate* — da Arthur G. McKee (fig. 8). Êste aparelho utiliza apenas grelha horizontal móvel, tanto para a secagem como para o pré-aquecimento e queima.
- B) *Sínter-Belt* — da Lurgi (fig. 8). Como o anterior, êste aparelho utiliza apenas grelha móvel para tôdas as operações. A diferença mais importante entre os dois consiste no sentido da circulação dos gases, nas diversas etapas do processo.
- 3) *Grate-Kiln* — da Allis Chalmers International (fig. 9). Êste aparelho é constituído por duas unidades. A primeira é uma grelha móvel, sôbre a qual são desenvolvidas as etapas de secagem e pré-aquecimento. A segunda consiste num forno rotativo onde se desenvolve a etapa de interligação das partículas de minério.

Examinaremos, no capítulo seguinte, as propriedades mais importante que as pelotas devem possuir.

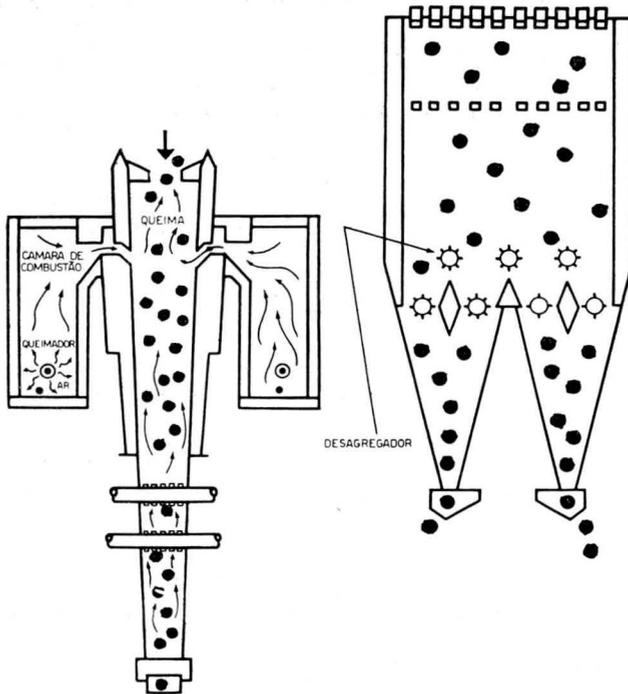


Fig. 7 — Forno de cuba para aquecimento e queima de pelotas; utilizado com sucesso na pelletização de magnetitas. Adaptado de Devaney, F. D. — "Pelletizing in shaft furnaces"; Journal of Metals, fevereiro de 1958.

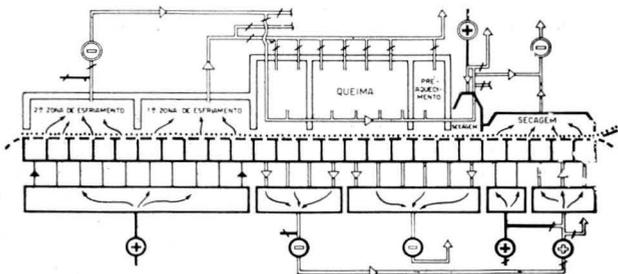


Fig. 8 — Forno para aquecimento e queima de pelotas pelo sistema de "grelha contínua"; adaptado de "Contributions of Arthur G. Mc. Kee & Cy. to the development of pelletizing systems". Utiliza grelha horizontal móvel, tanto para secagem como para o pré-aquecimento e queima.

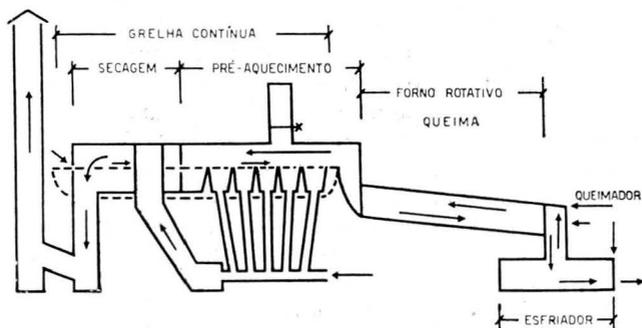


Fig. 9 — Forno "grate-kiln" da Allis Chalmers International; constituído de duas unidades.

D) *Ensaio*s — Há que distinguir entre os ensaios de estudos e pesquisas e os de natureza industrial. Dêstes referiremos os que são mais usualmente comparados e discutidos, dando alguns xemplos:

1) Análise química, em %: Fe entre 60 e 69; Fe^{++} entre 0,3 e 9,8; SiO_2 entre 4,7 e 8,5; Al_2O_3 entre 0,3 e 0,5; CaO entre 0,05 e 0,7; H_2O até 4%.

2 — Quanto à análise granulométrica, a tendência atual para altos fornos é para diâmetros oscilando entre 3/8" e 5/8".

3 — Características físicas:

Resistência — 130 a 200 kg/pelota.

Tumbler test — ASTM (50 lb; 200 revol. a 25 rpm) em tambor padrão para ensaios de coque. Máximo 6% abaixo de 28 mesh.

Massa específica aparente — 3,35 a 3,90 g/cm³.

Pêso da unidade de volume — 2,0 a 2,30 t/m.

Porosidade — 25% a 35%.

3. APLICAÇÕES

A) *Redução*

Já foi comentada a conveniência de se aglomerarem os minérios finos a fim de se obter um produto com elevadas propriedades de utilização. Os maiores consumidores de óxidos de

ferro são os aparelhos de redução e, entre eles, o alto forno. Por êste motivo, pesquisa-se em todos os centros siderúrgicos importantes do mundo êsse assunto. As conclusões não são tôdas concordes, entretanto, existem resultados indiscutíveis; a discordância refere-se mais, talvez, à validade de certas extrapolações. Para ilustrar o assunto, citaremos alguns dados que nos parecem muito significativos. Assim, o trabalho de T. F. Olt, publicado no Journal of The Iron And Steel Institute, fevereiro de 1962, descreve as experiências realizadas pela Armco Steel Corporation. É um longo e excelente trabalho. Dêle extraímos apenas três gráficos, que nos parecem convincentes quanto às vantagens do uso de pelotas na carga dos altos fornos:

1 — O Gráfico "A" mostra a diminuição do valor da relação CO/CO_2 à medida que é aumentada a contribuição de pelotas na carga do forno. Isto significa que a "função gasogênio" diminui. No caso em aprêço, entre os anos 1953 e 1961, as variações situam-se entre os seguintes extremos:

Para zero % de pelotas, CO/CO_2 valia 2,15
 Para 82% de pelotas, CO/CO_2 era 1,22

2 — Para o mesmo período de tempo e, portanto, para a mesma variação na alimentação de pelotas, o consumo de coque variou como indicado no Gráfico "B":

Para zero % de pelotas, o "coke rate" foi de 734 kg/t
 Para 82% de pelotas, o "coke rate" era de 522 kg/t

3 — Ainda para a mesma época, o acréscimo de produção do alto forno é indicado no Gráfico "C", em função do suprimento de vento e da carga de pelotas. Em termos de pelotas, a variação de produção situa-se entre os extremos:

Para zero % de pelotas, produção de 1215 t métricas/dia
 Para 82% de pelotas, produção de 2385 t métricas/dia

Como se vê praticamente o dôbro. Escusado é dizer quão importante é essa possibilidade para a nossa siderurgia, que importa 70% do carvão requerido pelo seu consumo.

Os resultados apontados são indubitavelmente, encorajadores. Entretanto, mesmo no caso de participações menores de pelotas na carga do forno, o balanço é positivo. Apresentamos, a seguir, alguns dados extraídos do interessantíssimo trabalho de H. N. Lander e J. W. Banks, intitulado "Blast Furnace Operation with a One Hundred Per Cent Pellet Burden", e apresen-

tado ao 3.º Congresso Internacional de Siderurgia, realizado no Luxemburgo, entre 1 e 4 de outubro de 1962. Os autores são, respectivamente, Diretor de Pesquisas e Superintendente dos Altos Fornos da "The Youngstown Sheet and Tube Company".

Os autores comparam, no primeiro quadro do seu trabalho, dado das marchas de dois altos fornos. O primeiro dêles, o n.º 3 da Armco Middletown, trabalhando com 95% de pelotas; o segundo, o n.º 7 da U.S.S. de Gary, usando 100% de sínter autofundente. Ambos os fornos de 616 pés quadrados de área de cadinho e respectivos diâmetros de 28 pés. Pode-se resumir estes elementos mediante a comparação das respectivas variações:

Produção de gusa/pé quadrado de área de cadinho	+ 26,7%
Consumo de coque/tonelada de gusa	+ 6%
Volume de escória/t gusa	— 10%
Vento, pés cúbicos/minuto	+ 13,9%
Temperatura do vento	1390 F contra 1510 F (com sínter)
Pressão, psi	27,7 contra 21,5 (sínter)
Si no gusa	0,65% e 0,96%
S no gusa	0,03% e 0,03%
CO/CO ₂	1,24 e 1,47
Basicidade	0 e 0,83

Do que se acabou de dizer, conclui-se que não há dúvida sobre as possibilidades da expansão do uso das pelotas com reflexo positivo na siderurgia. É indispensável, entretanto, estudar o assunto altamente, em cada caso particular. Ainda não se dispõe de elementos para extrapolações seguras.

b) *Aciaria*

As pelotas estão sendo usadas nas aciarias desempenhando funções oxidantes e antitérmicas. A necessidade de atravessar rapidamente o leito de escória e afundar no banho metálico impõe a necessidade de se lhes dar volume maior e mais elevada densidade. Outras vantagens consistem na facilidade de manuseio e carga, por se tratar de material praticamente equidimensional; além disso, a constância da sua composição química facilita os cálculos das adições.

4. MERCADOS

a) *Mercado Externo*

Já tivemos oportunidade de nos referir à necessidade de produzirmos aglomerados para exportação, como uma decorrência da nossa riqueza quantitativa e qualitativa das hematitas brandas ricas e dos futuros concentrados de itabiritos. A previsão

atual para o consumo de pelotas em 1970 é da ordem de 82 milhões de toneladas por ano, assim distribuídas:

Estados Unidos	72 milhões t/ano
Europa Ocidental	8 milhões t/ano
Leste Europeu	0,5 milhões t/ano
Japão	1,5 milhões t/ano

O mercado americano é o mais promissor de todos, não só devido às suas dimensões como também às condições géo-econômicas em geral e energéticas em particular. A abundância de energia nos Estados Unidos não exige dos seus sistemas siderúrgicos que funcionem como gasogênios cujo CO deva ser integrado como produtor de energia nas respectivas regiões. Tal circunstância aconselha e justifica a aplicação de todos os recursos que permitam a utilização percentual do alto forno como um aparelho de redução.

Ao examinarmos os Gráficos "A" e "B", tivemos oportunidade de observar as reais vantagens do emprêgo de pelotas sob este ponto de vista. O desenvolvimento contínuo da indústria petroquímica garante aos empreendimentos mineradores de carvão mineral mercado permanente, sem ser sensivelmente afetado pela diminuição do "coke rate" dos altos fornos, decorrente do emprêgo de pelotas.

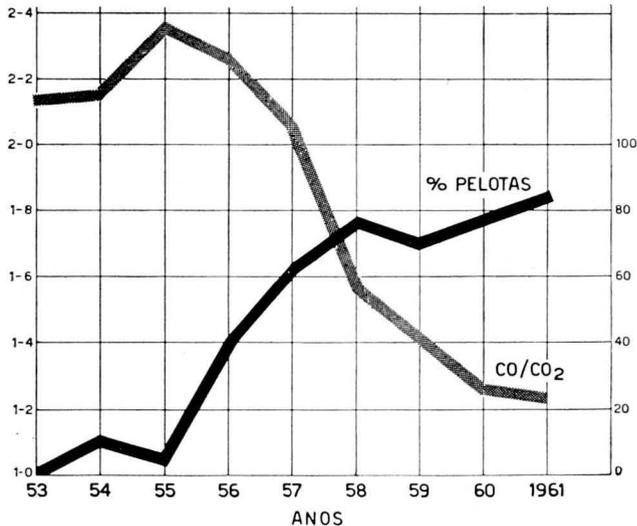


Gráfico "A" — O mercado norte-americano, devido às suas dimensões, condições geo-econômicas em geral e energéticas em particular, — é mais promissor de todos para pelotas. Segundo Olt, T. F. — Journal of the Iron and Steel Inst.; II, 1962. Ver gráficos "B" e "C", a seguir.

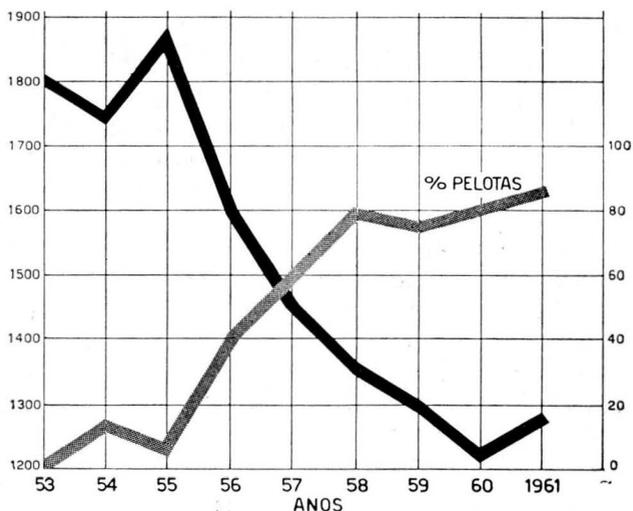


Gráfico "B" — Relação entre a % de pelotas na carga e o "Coke rate", em Lb/Nthm. Segundo o autor citado.

Na Europa, a situação apresenta-se de forma diversa: praticamente, todos os grandes grupos siderúrgicos europeus participam do sistema energético, mediante o suprimento do gás CO. Dêste modo, o abaixamento do valor da relação CO/CO₂, de um lado, e a diminuição do "coke rate", de outro, podem gerar condições tais cujo reflexo sôbre o sistema energético global pode ser negativo. Entretanto, a pobreza dos minérios de ferro europeus forçou o fechamento de numerosas minas e a aquisição, no exterior, de minérios mais ricos. A economicidade do conjunto requer, por conseqüência, um rendimento mais elevado para o setor de redução do parque siderúrgico. Dêste modo, o europeu procura atualmente certificar-se da vantagem do uso de pelotas nas cargas dos seus altos fornos e também procura estabelecer até que ponto a diminuição da produção das suas minas de carvão, como decorrência da diminuição do "coke rate", pode ser evitada mediante o aumento de produção de gases combustíveis pelas suas coquerias, a fim de que a mistura dêstes últimos com os gases empobrecidos dos altos fornos possa manter o balanço energético necessário. Êste fenômeno é da mais alta importância, porquanto, como se sabe, os sistemas de geração de energia elétrica europeus são ligados internacionalmente. Assim, o desequilíbrio econômico de um dos componentes do sistema pode prejudicar a economia global.

Tendo em vista estas considerações, é que estimamos para 1970 um provável consumo de pelotas, na Europa, de 8 Mt/ano. Esta previsão tem por base as expansões da produção de aço

da Europa Ocidental, por intermédio do aumento de produção das unidades existentes pela aplicação de tecnologia atualizada, em vez de atingí-lo com a construção de novas unidades que requererão imensos investimentos de capital. Assim, no caso em que as experiências, em curso, de emprêgo de pelotas, na Europa, sejam bem sucedidas, é muito provável que os projetos para novas usinas de sinterização de grande capacidade sejam cancelados, restringindo-se apenas àquelas necessárias para recuperar os finos de minérios e coque, inevitavelmente existente em qualquer usina. Evidentemente, decisões de tal magnitude só poderão ser tomadas diante da certeza do comprador de que o preço da unidade percentual de ferro nas novas cargas dos altos fornos será compatível com a economia do processo, economia esta que, além de envolver aspectos tecnológicos, também engloba relações de comércio internacional dos respectivos países.

Como se vê, trata-se de assunto da mais alta complexidade e que não deve ser resolvido nos gabinetes. O conhecimento do mercado internacional e das suas tendências requer uma equipe altamente especializada, que deverá permanentemente os mercados atuais e possíveis mercados futuros a fim de possibilitar ao Brasil o seu comparecimento em condições compatíveis. Esperamos ainda poder freqüentar os mercados do leste europeu e do oriente que, a partir de 1970, talvez consumirão 2 milhões de toneladas/ano.

b) *Mercado Interno*

Com relação ao mercado interno, somos de opinião que o emprêgo de pelotas por nossas usinas siderúrgicas deve ser seriamente levado em consideração por ocasião das respectivas expansões. Não se pode deixar de cotejar os investimentos requeridos pela expansão de usinas do porte da C. S. N., USIMINAS, COSIPA, BELGO-MINEIRA, e, em futuro próximo, outras, com aqueles que serão necessários por um ou dois grandes centros de pelotização capazes de satisfazer com seu produto as cargas para os altos fornos, podendo, assim, aumentar a produção nacional de gusa, sem a construção de novas unidades de redução, além de obter um "coke rate" mais baixo, com sensível reflexo na poupança de divisas destinadas à importação do carvão mineral.

As estimativas feitas permitem prever para 1970 um consumo de pelotas pelos altos fornos nacionais de ordem de 500.000 toneladas/ano.

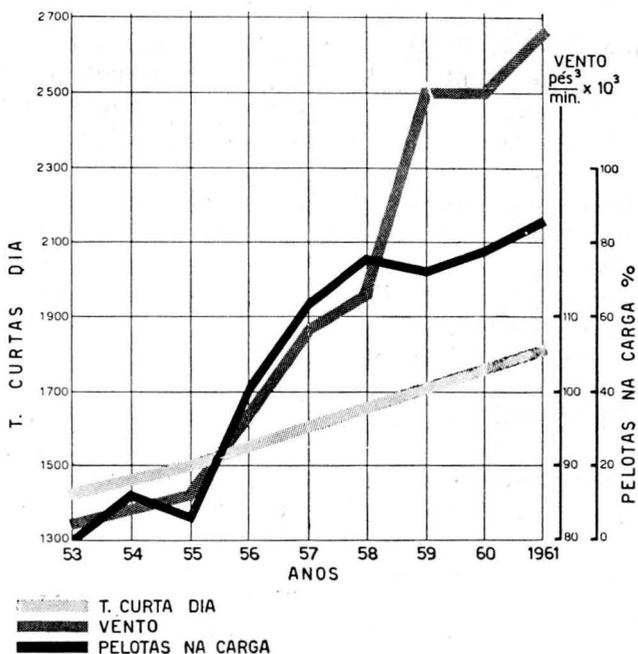


Gráfico "C" — Relação entre a produção média, em toneladas curtas/dia, com a % de pelotas na carga. Autor citado.

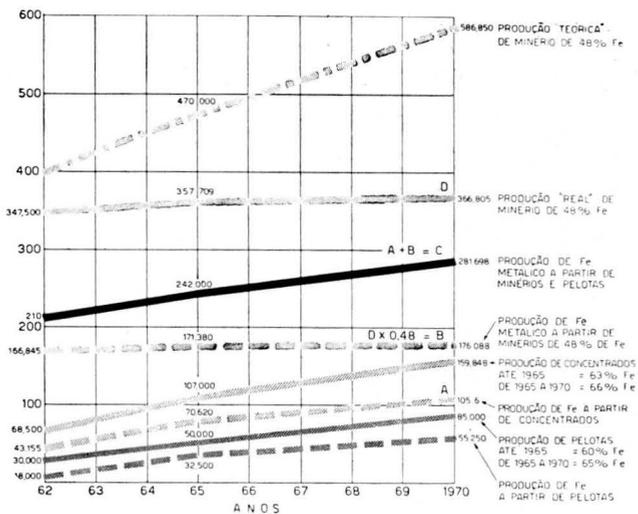


Gráfico "D" — Panorama mundial da produção de minérios, concentrados e pelotas, com previsão até 1970. Toneladas 10⁶.

5. POSIÇÃO DO BRASIL

Já tivemos oportunidade de referir sôbre as nossas reservas de minérios de ferro. Temo-las para atender a qualquer mercado, por mais exigente que seja. O que nos cabe fazer é nos preparar científica, tecnológica e comercialmente para uma competição intensa, agressiva e rápida. Possuímos tôda a gama de minérios ricos que requerem apenas classificação rigorosa para atender às exigências cada vez mais crescentes do mercado, hoje pertencente ao comprador.

Possuímos imensas reservas de Hematitas brandas riquíssimas (68% a 69% de Fe), que aguardam apenas a aglomeração. Tais minérios mui dificilmente são obtidos, por custosos processamentos de mineração e concentração, nos países hoje nossos competidores. Todavia, não nos devemos esquecer de outros prováveis fornecedores de minérios igualmente ricos, tais como a África, etc. Devemos correr muito e sem tropeços se desejarmos conquistar um lugar de destaque, destaque medido em divisas, no mercado internacional. O Gráfico "D" ilustra o que acabamos de afirmar.

A batalha a que nos referimos já começou: a Cia. Vale do Rio Doce amplia suas frentes, inclusive associando seus interesses aos de emprêsa privada, melhora sua capacidade de transporte, desenvolve o pôrto de carregamento, cria uma emprêsa de navegação para poder participar dos negócios da navegação e também ganhar nos fretes. Tudo isto é necessário; porém, não suficiente. Devemos abrir mais frentes, atualizar mais transportes ferroviários, aparelhar novos portos. É preciso, porém, agir rapidamente. Esta rapidez tem sua justificativa no aumento forte da produção com o seu conseqüente barateamento, a fim de que se possa fazer frente à contínua degradação dos preços internacionais.

Para melhor sentir o que acabamos de dizer, examinemos o Quadro I. Vemos por êle que, mesmo exportando em 1970 cêrca de 29 milhões de toneladas de óxidos de ferro (minérios, concentrados, pelotas), e consumindo, ainda, nós mesmos, aproximadamente 11 milhões de toneladas, tendo um faturamento correspondente estimado em 257 milhões de dólares, a nossa participação no mercado mundial de minério de ferro, não ultrapassará de 8%. Como se vê, isto é muito pouco, em face do que precisamos para o nosso desenvolvimento e independência. Que os nossos homens responsáveis meditem sôbre êste setor da atividade nacional e lhe propiciem as leis e os recursos necessários; que o livrem das peias burocráticas, entraves formalísticos e injunções políticas que nada constrôem e sômente retardam.

QUADRO 1

Posição do Brasil como exportador de minérios de ferro, concentrados e pelotas. A nossa participação no mercado mundial não ultrapassará, em 1970, de 8% do total. 1.000 toneladas

	1962	1965	1970
Produção mundial de minério	347.500	357.704	366.805
Produção mundial de pelotas	30.000	50.000	85.000
Produção mundial de concentrados para sinter	38.500	57.000	74.848
Total em 1.000 t	416.000	464.704	526.653
Participação do Brasil	11.349	24.333	40.978
Participação do Brasil em %	2,7	5,2	7,7
<i>Exportação do Brasil</i>			
Minérios (1.000 t)	7.571	15.500	24.000
Faturamento (US\$ milhão)	68,146	137,800	203,6
Concentrados (1.000 t)	—	—	2.000
Faturamentos (US\$ milhão)	—	—	14,0
Pelotas (1.000 t)	—	80	3.200
Faturamentos (US\$ milhão)	—	0,1	40,0
Faturamentos totais (US\$ milhão)	69,146	137,9	257,6

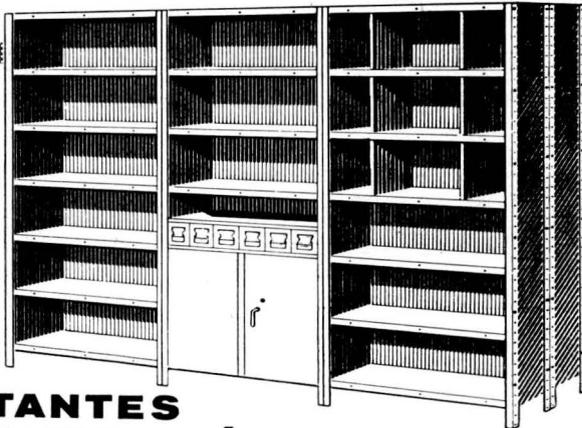
BIBLIOGRAFIA

1. "Agglomeration" — Simpósio Internacional realizado em Philadelphia, Pennsylvania, em 12-14 de abril de 1961. Interscience Publishers — 1962.
 - a) BHRANY, U. N.; JOHNSON, R. T.; MYRON, T. L. and PELCZARSKI, E. A. — "Dynamics of Pelletization".
 - b) RUMPF, H. — "The Strenght of Granules and Agglomerates".
 - c) GOLDSTICK, T. K. — "A Survey the Literature Pertinent to Iron Ore Pelletizing".
2. Troisième Journées Internationales de Sidérurgie Luxembourg — 1-4 octobre 1962.

LANDER, H. N. e BANKS, J. W. — "Blast Furnace Operations with a One Hundred Per Cent Pellet Burden".
3. TIGERSCHIÖLD, M. and ILMONI, P. A. — "Fundamental factors influencing the Strenght of Green and Burned Pellets made From Fine Magnetite ore Concentrates — Blast Furnace Coke oven and Raw Materials Conference". April 10-12, 1950 — Cincinnati, Ohio.

4. TIGERSCHÖLD, M. — *"Aspects on Pelletizing of Iron Ore Concentrates"*. The Journal of the Iron Steel Institute, vol. 177, May, 1954.
5. MEYER, KURT — *"Development of Iron Pelletizing"*. Stahl und Eisen, 76 (1956), n.º 10, págs. 588-95.
6. OLT, T. F. — *"Blast-Furnace performance using iron ore pellets"*. Journal of the Iron and Steel Institute, February, 1962.
7. De VANEY, F. D. — *"Pelletizing in Shaft-furnace"*. Journal of Metals, February, 1958.
8. ROSE, E. H. — *"Iron Ore: The Big Picture"*. Journal of Metals, November, 1961.
9. HYDE, R. W.; LANE, B. M. and GLASER, W. W. — *"Iron Ore Resources of the World Engineering and Mining Journal"*, December, 1962.

a maneira mais funcional de
armazenar qualquer produto...



**ESTANTES
DES-MON-TÁ-VEIS**

FIEL



- infinita variedade de combinações
- adaptáveis para qualquer recinto

MÓVEIS DE AÇO FIEL S.A.

RUA XAVIER DE TOLEDO, 157 — Tel. 37-7551
FILIAL RIO DE JANEIRO: Av. RIO BRANCO, 185
Sobreloja — Telefone 42-8818