

## II PARTE

# EVOLUÇÃO RECENTE DO PROCESSO DE PELOTIZAÇÃO DE MINÉRIOS DE FERRO <sup>(1)</sup> <sup>(3)</sup>

CARLOS DIAS BROSCH <sup>(2)</sup>

### RESUMO

*A "pelotização" vem se desenvolvendo com notável ritmo evolutivo, tanto do ponto de vista de produção industrial como sob o aspecto qualitativo do seu processamento. O Autor apresenta alguns ensaios sobre a obtenção de pelotas auto-redutoras, explica o mecanismo e balanço térmico do processo e tece alguns comentários sobre os novos horizontes desta recente tecnologia.*

### 1. DESENVOLVIMENTO QUANTITATIVO DA PELOTIZAÇÃO

Embora o processo de pelotização de minérios finos tenha surgido no campo siderúrgico há pouco mais de um decênio, rapidamente atingiu o nível atual de produção de cerca de vinte milhões de toneladas anuais.

Com base nas curvas de crescimento, prevê-se que dentro de três anos, a tonelage de minério sinterizado seja ultrapassada pelo minério sob forma de "pelotas". De fato, enquanto se prevê na década de 1960-1970, um crescimento na produção norte-americana de sinter passando de 25 milhões de toneladas para cerca de 28 milhões, ou seja, 10% de aumento, a produção de pelotas passará de 15 milhões em 1960 para 45 milhões de toneladas em 1970, com um aumento relativo de cerca de 300 por cento.

(1) Contribuição Técnica n.º 503. Apresentada ao XVIII Congresso Anual da Associação Brasileira de Metais; Belo Horizonte, julho de 1963.

(2) Membro da ABM; Engenheiro Responsável da Seção de Características e Beneficiamento de Matérias Primas Siderúrgicas do Instituto de Pesquisas Tecnológicas; São Paulo, SP.

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

## 2. EVOLUÇÃO DA TÉCNICA DE PELOTIZAÇÃO

O tambor cilíndrico pelotizador, primeiro equipamento usado para fazer pelotas, mostrou deficiência quanto ao rendimento de obtenção de pelotas calibradas em tamanho (faixa entre duas dimensões) e também na forma e integridade estrutural das mesmas. (\*)

O rendimento foi melhorado com o uso de pelotizadores cilíndrico-cônicos e, mais recentemente, com o "multi-cone" que obriga o material, em processo de pelotização, a prosseguir o curso longitudinal para a descarga, em função do crescimento da pelota. O multi-cône trabalha com velocidade angular bem inferior à do tambor comum (cêrca da metade) e permite a recirculação da carga em pontos adequados do tambor, economizando o ciclo operacional.

A velocidade de rotação dos pelotizadores cilíndricos fica limitada a um valor de aceleração próximo a  $G/2$  a fim de se obter o efeito de queda moderada das pelotas; o aumento da velocidade tangencial, desejável para maior produtividade, fica dependendo de um aumento dimensional do equipamento em diâmetro, com o sacrifício do coeficiente de sua utilização volumétrica. (Vide fórmulas (1) e (2).)

$$V = W \times R \quad (1)$$

$$A = \frac{G}{2} = W^2 \times R \quad (2)$$

onde:

V = valor tangencial

W = valor angular em radianos/min.

R = Raio do tambor cilíndrico

A = Aceleração centrípeta

Também, a técnica de quedas sucessivas, para promover o crescimento das pelotas, obriga, no caso de maiores unidades, a maiores alturas de queda, muitas vêzes incompatível com a resiliência e resistência da pelota crua. Experimentou-se, com êxito, a adoção dos pelotizadores de "disco", que suprimem o efeito de queda das pelotas e permitem um maior coeficiente de utilização volumétrica do equipamento.

(\*) Na história de Pelotização convém reportar o "pneu de avião", como primeiro equipamento rudimentar utilizado.

As características tecnológicas das pelotas cruas produzidas nos dois tipos de equipamento, cilíndrico ou de disco, favorecem a êste último, quando se trata de um minério de qualidade menos plásticas ou de misturas em que se procura reduzir ao mínimo o teor de aglomerantes.

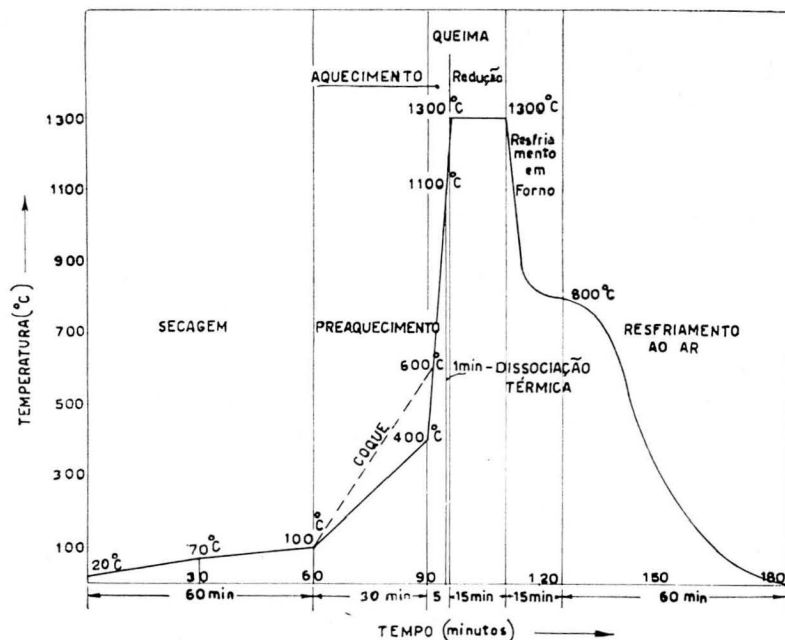


Fig. 1 — Ciclo de tratamento térmico para pelotas auto-redutoras.

### 3. FORNOS DE SECAGEM E DE CALCINAÇÃO (OU QUEIMA)

Os fornos rotativos de grandes comprimentos, tipo semelhante ao utilizado nas indústrias de cimento, têm sido substituídos por fornos menos longos, associados a esteiras de grades. Assim, a etapa de secagem e pre-aquecimento é efetuada com grande eficiência nas grades móveis (semelhantes às esteiras usadas na sinterização), aproveitando-se o calor sensível dos gases quentes dos fornos de calcinação. A velocidade de secagem (100-300°C) e pre-aquecimento (300-800°C) é regulada independentemente da calcinação pela velocidade da esteira, de forma a evitar o choque térmico, desfavorável à obtenção de pelotas boas sob o ponto de vista estrutural (ausência de fissuras) e de resistência. Observou-se que tanto o aquecimento lento

(aproximadamente 15°C/min) como o resfriamento lento (aproximadamente 50°C/min) são essenciais para se obter a pelota com alta resistência mecânica.

Este processo de aquecimento que associa os dois tipos de equipamento, conhecido como "*grate-kiln*", inicialmente usado pela Allis-Chalmers, tem tido grande sucesso em novas instalações industriais. Quanto aos fornos verticais, eles têm sido aplicados em unidades de menor capacidade. Novos processos de pelotas auto-redutoras tendem a emprestar maior importância a este tipo de forno, por ser mais adequado à atmosfera redutora.

#### 4. TAMANHO E FORMA DAS PELOTAS

As pelotas, inicialmente produzidas em calibragem entre 1 a 2 polegadas, foram gradualmente sendo reduzidas em dimensões, passando por 5/8", 1/2" e atualmente atingindo dimensões diminutas como seja cerca de 1 cm de diâmetro. A faixa dimensional em Altos-Fornos de grandes dimensões (1.200 t/dia), tem sido entre 3/8" e 1/2" (80%), admitindo-se 10% de tolerância para os extremos dimensionais (5/8" e 1/4").

À medida que diminui o tamanho das pelotas, melhoram as condições de exposição das mesmas aos gases redutores (aumento da área específica externa) mas, em contraposição, obriga a aumentar a potência das máquinas soprantes, em consequência da diminuição da permeabilidade da carga e aumento da perda de pressão na passagem dos gases ascendentes.

De fato, a perda da carga "J" para velocidade de infiltração unitária é:

$$J = K. S^{1.5} \times F_P, \quad (3)$$

onde S = superfície específica e  $F_P$  é fator relativo à porosidade do meio (Sullivan e Karman).

O rendimento de troca térmica entre os gases quentes e a carga constituída de partidas esféricas, diminui com a diminuição do raio de curvatura, o que contraria o efeito vantajoso da maior superfície de exposição. Procurou-se contornar este obstáculo, usando-se pelotas achatadas, com a forma de "rins". Pouca literatura técnica discorre sobre o assunto; especialmente se faz referência a notícias de origem soviética como sendo delas a paternidade desta nova técnica. A desvantagem das pelotas achatadas reside no seu maior atrito recíproco durante a descida da carga nos altos-fornos.

## 5. PUREZA DAS PELOTAS

Gradualmente foram os técnicos de Alto-Forno exigindo um maior grau de pureza para a carga sob forma de pelotas, em vista da relação teor metálico: produção horária da unidade redutora.

Há dois anos exigia-se como 8:1 a relação Fe:SiO<sub>2</sub> (rice ratio) nas pelotas; hoje exige-se a relação 10:1 como especificação desejável do teor de ferro e impureza ácida das pelotas, o que representa um teor de cêrca de 64% em ferro contido nas pelotas.

Esta evolução do maior grau de pureza das pelotas, veio favorecer o uso de minérios mais ricos, em vista da exigência qualitativa prejudicar sobremaneira o rendimento do aproveitamento dos concentrados dos minérios mais pobres.

## 6. PELOTAS AUTO-FUNDENTES

Assim como o sinter comum evoluiu para o sinter calcário, tentou-se misturar calcário finamente moído juntamente com o minério a ser pelotizado. Além do efeito fluxante, obteve-se grande vantagem no aumento da resistência da pelota calcinada. Especialmente o minério dolomítico de fina cristalização (5 a 10 microns) mostrou-se extremamente favorável à obtenção de pelotas com boas características mecânicas, mesmo quando adicionado em teores moderados (entre 0,5% a 1%). A adoção do fundente calcário não altera, significativamente, as características da pelota crua. É praxe, portanto, associar-se ao fundente e minério, um certo teor de bentonita (cêrca 0,6%).

## 7. PELOTAS AUTO-REDUTORAS

A literatura técnica anglo-americana batizou com o nome de "*metallized pellets*", pelotas reduzidas metalizadas, àquelas feitas com mistura de minério e combustível mineral, em proporção suficiente para promover uma auto-redução que alcança teores superiores a 90% de ferro metálico. A proporção do combustível que tem sido adotada na mistura, varia entre 18% a 25% sôbre o pêsso do minério.

Uma notável peculiaridade quanto à qualidade dos combustíveis pulverulentos adotados nas pelotas auto-redutoras, é a de que suas características coqueificantes são dispensáveis em certo grau. O coque obtido a partir de linhitos e carvões sub-betuminosos produziu resultados iguais ou superiores aos conseguidos com coque normal de Alto-Forno.

As características desejáveis do combustível são a sua pureza (alto teor de carbono fixo, acima de 80%) e sua plasticidade quando reduzida a pó. A destilação a baixa temperatura do combustível mineral, parece favorecer as suas propriedades plasticizantes.

As curvas de redução, teor de ferro reduzido em função do tempo mostram rápida ascendência de gradiente a partir de 1.100°C. A 1.300°C a redução se processa em tempo extremamente curto, qual seja em tempo da ordem de 15 minutos, resultando pelotas de ferro contendo mais de 90% de metal reduzido.

Quando se usa temperatura mais alta, o processo de redução se dá concomitantemente a um início de sinterização (a partir de 1.330°C). Acima desta temperatura, as pelotas amolecem, perdendo a forma, aderindo umas as outras, desfavorecendo o processo.

## 8. RESULTADOS EXPERIMENTAIS OBTIDOS DO "CENTRAL RESEARCH LABORATORIES OF THE BROKEN HILL COMPANY LTD." (EE. UU.)

### *Matérias primas utilizadas:*

Minério de ferro: 55,3% abaixo de 300 malhas e 100%  
18 malhas 64,2% Fe e 2,6% SiO<sub>2</sub>

Coque mineral: 11,9% abaixo de 300 malhas e 100%  
10 malhas 76,0% e 19,7% cinzas.

### *Tamanho de pelotas:*

Grandes: entre 3/4" e 5/8"

Médias: entre 5/8" e 1/2"

Pequenas: entre 1/2" e 3/8"

### *Operação de redução:*

Temperatura de redução: 1.300°C e 1.350°C

Tempo de redução: 15 a 30 minutos

### *Resultados:*

Resistência das pelotas: 100 a 200 kg carga de compressão

Redução: acima de 90% de ferro metálico.

## 9. ENSAIOS DE OBTENÇÃO DE PELOTAS AUTO-REDUTORAS REALIZADOS NO IPT (\*)

O processamento experimental de fabricação das pelotas auto-redutoras teve o seguinte desenvolvimento, descrito por etapas:

A — *Moagem das matérias primas*: A exigência quanto ao grau de finura do minério e do carvão (ou coque) obtido por moagem não é tão elevado, quanto o exigido na pelotização comum, em que se obtém pelotas oxidadas. A razão é que o combustível presente na mistura auto-redutora desempenha em parte o papel de aglutinante do minério.

Duas horas de moagem em moinho de bolas (100 kg de capacidade) foi o suficiente, partindo-se de minério e carvão vegetal de dimensões abaixo de 1/2 podedaga, para se conseguir finura adequada à pelotização (vide dados experimentais).

B — *Pelotização em tambor*: Utilizou-se um tambor cilíndrico (30 cm  $\varnothing$   $\times$  45 cm) com eixo de rotação em posição horizontal girando com 45 RPM. Obteve-se primeiramente o efeito de mistura (tempo de 5 minutos) e após gradual aspersão de água sobre o material no interior do tambor e sem interromper o movimento, conseguiu-se a formação de pelotas de forma aproximadamente esférica, num tempo oscilando entre 15 a 30 minutos. As pelotas cruas eram ensaiadas em laboratório quanto ao teor de umidade e características mecânicas.

C — *Secagem em estufa*: A secagem gradual era feita em estufa com atmosfera circulante, permitindo a retirada lenta da umidade, na faixa de temperaturas entre 70°C e 100°C, durante aproximadamente 2 horas.

D — *Pré-aquecimento*: O pré-aquecimento é feito nas faixas de temperatura entre 100°C — 400°C para as misturas com carvão vegetal ou 100°C — 600°C para as misturas contendo coque. A velocidade de aquecimento é mais lenta até 250°C e mais rápida acima desta temperatura, quando não há maior risco de ocorrerem fissuras nas pelotas por efeito de choque térmico.

O total do tempo usado para o pré-aquecimento foi de 2 horas e o forno utilizado para esta operação foi uma mufla de aquecimento por resistência elétrica e com controle automático de temperatura.

---

(\*) Seção de Beneficiamento de Matérias Primas Siderúrgicas; Divisão de Metalurgia.

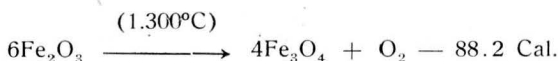
E — *Queima das pelotas*: Retirada as pelotas do forno de pré-aquecimento, eram as mesmas mergulhadas no forno de queima, a 1.300°C. Esse forno era constituído por um elemento tubular de quartzo fundido, aquecido por elemento global e possuindo cêrca de 2 kW de potência.

O lapso de tempo para que a superfície das pelotas se uniformizasse com a temperatura ambiente, variava de 4 a 6 minutos (verificado por pirômetro ótico). A seguir, as pelotas permaneciam durante 15 minutos a essa temperatura.

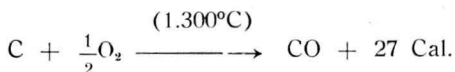
No forno de queima se passam as seguintes reações nas pelotas:

a) *Dissociação térmica da hematita a partir de 1.100°C:*

A dissociação térmica da hematita (\*) é de apenas 0,12% no estado de equilíbrio em atmosfera oxidante a 1.100°C (vide R. B. Sosman — S. Am.-Chem. Soc. n.º 38, pág. 807). Ao atingir, porém, 1.300°C, a dissociação térmica do minério hematítico na pelota se completa, em tempo extremamente curto, cêrca de 2 minutos, segundo a reação endotérmica a 1.300°C:



b) *Oxidação do carbono a monóxido de carbono:*



A medida que a hematita se dissocia, o oxigênio atômico se combina com o carbono presente na pelota, iniciando uma reação exotérmica que favorece a queima parcial do carbono presente, advindo o restante do oxigênio de combustão, da atmosfera, através da estrutura permeável da pelota.

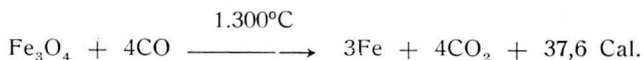
c) *Redução do óxido ferroso-férrico:*

A redução da magnetita pelo monóxido de carbono é uma reação exotérmica na temperatura de 1.300°C, ao contrário da que resulta da redução direta pelo carbono (reação endotérmica).

(\*) O equilíbrio termodinâmico na dissociação térmica da hematita depende grandemente da energia da superfície; Sosman (op. cit.) partiu de hematita microcristalina proveniente de hidróxido de ferro calcinado. No cristal puro da hematita de dimensões centimétricas, a dissociação se inicia a temperatura muito mais elevada (acima de 1.400°C).



Esta reação exotérmica explica a rápida difusão calorífica no interior da pelota, não obstante ser esta má condutora do calor.



F — *Resfriamento das pelotas*: As pelotas são retiradas do forno a 1.300°C e colocadas em um forno de aquecimento a 800°C, durante 15 minutos e em seguida, esfriadas ao ar. Esta prática se recomenda para se obterem pelotas de alta resistência mecânica em vista da existência do resíduo de óxidos metálicos não reduzidos.

As pelotas com teor insignificante de óxido de ferro podem sofrer resfriamento brusco, retirando-se as pelotas do forno a 1.300°C diretamente ao ar.

\*

O ciclo de tratamento térmico das pelotas auto-redutoras é ilustrado na figura 1, totalizando cêrca de 4 horas de aquecimento, sendo que tão sômente 20 minutos a 1.300°C.

## 10. BALANÇO TÉRMICO NA PELOTIZAÇÃO REDUTORA (\*)

A — *Composição de 1 t de pelotas cruas*:

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	760 kg
C .....	180 kg
H <sub>2</sub> O .....	60 kg

B — *Secagem (100°C)*:

Calor absorvido pelo Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (760 kg):

$$760 [0.1416 (100) + 0.000188 (100)^2] = 12.500 \text{ k.cal}$$

Aquecimento do C (180 kg):

$$180 [0.2142 (100) + 0.000166 (100)^2] = 4.280 \text{ k.cal}$$

(\*) Os dados de balanço térmico e do calor de reação a 1.300°C foram calculados pelo Autor baseados em dados de J. V. Richards ("Metallurgia Calculations").

Aquecimento e vaporização do  $H_2O$  (60 kg):

$$\text{Aquecimento: } 60 \times 100 = 6.000 \text{ k.cal}$$

$$\text{Vaporização: } 60 \times 6055 = 36.390 \text{ k.cal}$$

---


$$\text{Total: } 42.390 \text{ k.cal}$$

$$\text{Total: } (2.1) + (2.2) + (2.3) = 59.170 \text{ k.cal}$$

Observação: Gastaríamos 12 kg de óleo combustível para a operação de secagem, com um rendimento de 50%.

C — *Pré-aquecimento das pelotas secadas (100°C — 1.300°C):*

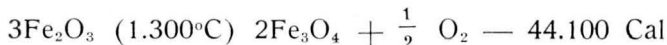
$$\text{Pré-aquecimento do } Fe_2O_3 \text{ (760 kg): } 338.000 \text{ k.cal}$$

$$\text{Pré-aquecimento do C (180 kg): } 89.000 \text{ k.cal}$$

---


$$\text{Total: } 427.200 \text{ k.cal}$$

D — *Dissociação térmica do  $Fe_2O_3$ :*



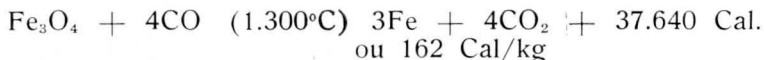
Resulta que a 1.300°C, a dissociação do  $Fe_2O_3$  absorve cerca de 92 Cal. por quilo; portanto, a dissociação de 760 kg de  $Fe_2O_3$ , absorverá: 70.000 Cal.

E — *Oxidação de carbono a monóxido do carbono:*



Portanto, a oxidação incompleta de 180 kg de carbono, produzirá 405.000 k.cal.

F — *Redução do  $Fe_2O_3$  pelo CO:*



Portanto, a redução pelo monóxido de carbono de 732 kg de  $Fe_3O_4$ , produzirá 119.000 Cal; a reação exotérmica tende a prosseguir até o âmago da pelota.

G — *Resumindo*: o processamento pirometalúrgico de 1 t de pelotas cruas, contendo 760 kg de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 180 de kg de Carvão e 60 kg de água envolve as seguintes reações:

Reações Endotérmicas:

Secagem:	— 59.170 k.cal
Pré-aquecimento:	— 427.200 k.cal
Dissociação térmica:	— 70.000 k.cal
	<hr/>
	— 556.370 k.cal

Reações Exotérmicas:

Oxidação do carbono:	+ 405.000 k.cal
Redução do $\text{Fe}_3\text{O}_4$ pelo CO:	+ 119.000 k.cal
	<hr/>
	+ 524.000 k.cal

Resulta, pois, um saldo negativo de 32.370 k.cal por tonelada de pelota crua ou 47.600 k.cal por tonelada de pelota reduzida com 91% de ferro metálico.

Do estudo do balanço térmico se apreende que, feita a secagem das pelotas em unidade industrial separada, o pré-aquecimento das pelotas pode ser feito por recuperação térmica, aproveitando-se o calor gerado nas reações exotérmicas de queima do carbono e de redução indireta do minério. É o que tem sido feito industrialmente, associando-se o pré-aquecimento em esteira com aproveitamento dos gases quentes do forno rotativo de calcinação.

Outro dado que se deduz do Balanço térmico, é que o consumo de óleo no forno de calcinação, será mínimo; apenas o necessário para escorvar as reações e compensar perdas de calor.

## 11. RESULTADOS EXPERIMENTAIS OBTIDOS NA DIVISÃO DE METALURGIA DO I.P.T.

Misturas ensaiadas; matérias primas empregadas:

Minério de Fe procedente do Vale do Paraopeba, contendo 68% de ferro metálico e cerca de 2%  $\text{SiO}_2$  mais  $\text{Al}_2\text{O}_3$  moído a menos de 70 malhas, contendo 50% abaixo de 325 malhas.

Coque da Cia Siderurgica Nacional, reduzido a menos 70 malhas e contendo 20% abaixo de 325 malhas.

Carvão vegetal procedente de Apiaí; menos 20 malhas e 25% abaixo de 325 milhas.

MISTURA N.º 1:

Minério de Fe: 100 partes em pêso (sêco)

Coque (C.S.N.): 20 partes em pêso (sêco)

*Resultados obtidos:*

Pelotas cruas:

Umidade contida: 6,5%

Compressão: 0,3 kg

Resistência a quedas repetidas (10 cm altura): 75

Resistência a quedas repetidas (45 cm altura): 6

Altura máxima de queda: 115 cm

Pelotas secadas a 100°C durante duas horas:

Resistência: 0,6 kg

Pelotas secadas a 150°C durante duas horas:

Resistência: 0,6 kg

Pelotas secadas a 250°C durante duas horas:

Resistência: 0,5 kg

Pelotas secadas a 300°C durante duas horas:

Resistência: 0,4 kg

Pelotas queimadas a 1.300°C durante 15 minutos:

Resistência: 120 kg

Redução: teor de ferro reduzido (metálico): 75,0%

MISTURA N.º 2:

Minério de Fe: 100 partes em pêso (sêco)

Carvão vegetal: 20 partes em pêso (sêco)

Água: 6 partes em pêso

*Resultados obtidos:*

Pelotas cruas:

Umidade contida: 6,7%

Compressão: 0,6% kg

Número de quedas repetidas (10 cm de altura): 3

Numero de quedas repetidas (45 cm de altura): 0

Altura máxima de queda: 40 cm

Pelotas secadas a 100°C durante duas horas:

Resistência: 0,40 kg

Pelotas secadas a 150°C durante duas horas:

Resistência: 0,30 kg

Pelotas secadas a 250°C durante duas horas:

Resistência: 0,10 kg

Pelotas secadas a 300°C durante duas horas:

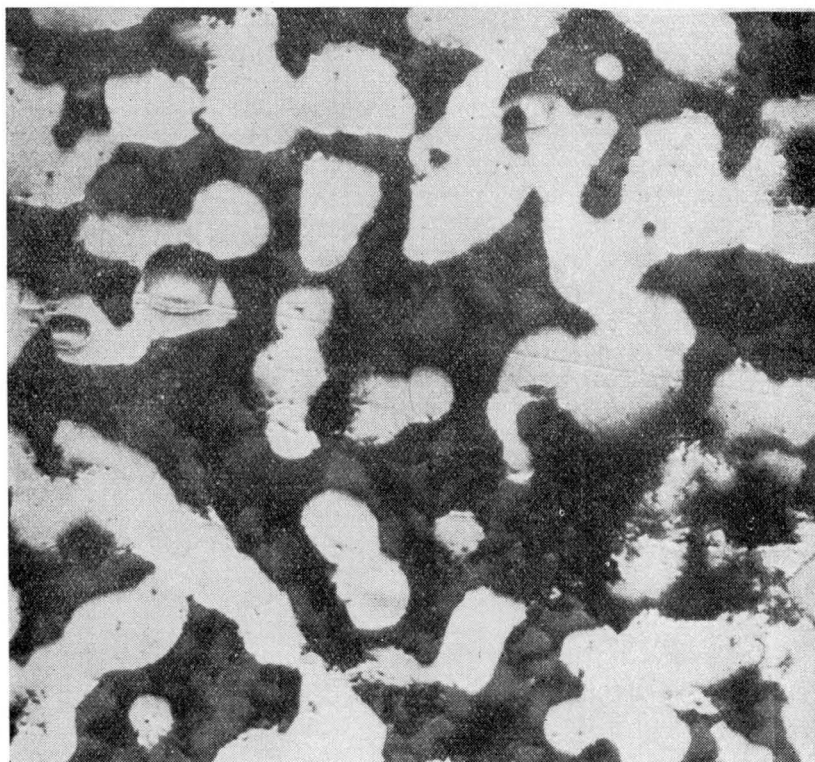
Resistência: 0,05 kg

Pelotas queimadas a 1.300°C durante 15 minutos:

Resistência: 70 kg

Redução: teor de ferro reduzido: 91,0%

*Nota* — O aspecto micrográfico da seção média polida de uma pelota obtida com esta mistura, é vista na figura 2.



Aspecto micrográfico de pelota pré-reduzida no IPT a partir da Mistura N.º 2 e contendo 91% de ferro reduzido. 500 ×. As áreas claras correspondem à ferrita, com algum óxido residual; as áreas escuras são porosidades preenchidas pela resina usada na montagem do corpo de prova.

## 12. PERFORMANCE OPERACIONAL DO ALTO-FORNO COM O USO DE PELOTAS REDUZIDAS

O Alto-Forno vem experimentando na prática operacional, sucessivos aperfeiçoamentos que visam, além do aumento de produção horária, a economia do "coke-rate", e a regularidade de seu funcionamento. Assim, o condicionamento da umidade do ar insuflado, o uso do oxigênio e a injeção de hidrocarbonetos, constituem recursos visando os objetivos mencionados.

Quanto à matéria prima, a introdução do sinter auto-fundente permitiu regularidade operacional ao mesmo tempo que reduzia o "coke-rate" e aumentava a produção; a diferença era de 10% a 30%, tanto no aumento de produção do Alto-Forno como na economia do "coke-rate". A vantagem era tanto mais ponderável quando se comparava com a prática de um leito de fusão, dimensionalmente não bem cuidado quanto ao bitolamento do minério e coque.

O uso de pelotas de minério constitui novo avanço na técnica operacional comparado ao uso do minério sinterizado. Nova vantagem observou-se no aumento de produção e diminuição do "coke-rate", e da mesma ordem de grandeza já mencionada, isto é, de 10% a 30%, ou seja, de 20% a 70% se se compara aos dados obtidos no Alto-Forno com a prática de carga bruta de minério fundente e coque.

Não se obteve progresso até o momento na tentativa de se usar pelotas auto-fundentes.

Entretanto grandes perspectivas se apresentam, em vista do sucesso obtido nas provas experimentais com pelotas auto-reduzidas, realizadas em Buceton, Pa. EE. UU. da América. O Alto-Forno piloto, usando ar pré-aquecido a 950°C, experimentou um aumento de 44% na produção e diminuição de 55% no "coke-rate" ao mudar a carga de pelotas oxidadas (66,19% de Fe) para pelotas reduzidas com 86,49% de Fe; o "coke-rate" passou de 500 kg de coque por tonelada de gusa para 280 kg para uma mesma quantidade de escória de 130 kg por toneladas de gusa.

## 13. NOVOS HORIZONTES NA PRÁTICA SIDERÚRGICA COM O USO DE PELOTAS PRÉ-REDUZIDAS

A obtenção econômica e sob forma viável de produção em massa, de esponja de ferro sob forma de pelotas, contendo mais de 90% de ferro metálico, e com certo teor de carbono residual que compensa uma parcial reoxidação da pelota, pode vir a constituir um impacto no processo tradicionalmente adotado

na Siderurgia clássica, não obstante os sucessivos aperfeiçoamentos ultimamente introduzidos no notável reator, altamente eficiente, que é o Alto-Forno.

Se os inumeráveis processos de obtenção de ferro esponja não tiveram, até o momento, senão restrito sucesso industrial, isto se deve tanto ao lado econômico desfavorável (ou pelo menos não flagrantemente vantajoso comparado à redução clássica do Alto-Forno), como à dificuldade em se adaptar o processo à alta produção, isto é, a escala superior a mil toneladas diárias por unidade industrial.

A possibilidade de substancial redução do consumo do coque no Alto-Forno mediante esta prática (280 kg/t gusa), e previsivelmente 50% desta quantidade em fornos baixos do tipo cubilô com pré-aquecimento de ar, aliada à possibilidade de se consumir outro tanto de combustível adicional, sob forma pulverulenta nas pelotas auto-redutoras, nesta categoria classificado o carvão vegetal de alto interêsse no caso brasileiro, — constitui grande incentivo para a Siderurgia Nacional. Pode-se mesmo pensar na fusão direta das pelotas metálicas em forno elétrico, como é o caso do processo Dwight-Lloydd McWane, já em fase de produção industrial avançada nos EE. UU. (cêrca de 1 milhão de toneladas anuais).

Do ponto de vista de matéria prima, que é o ângulo de maior atenção do relator, nota-se visível tendência em se apurar o teor elementar das matérias primas, tanto do minério de ferro como do coque. O sacrifício de um maior rendimento na concentração do minério ou no beneficiamento do carvão, é altamente compensador nestes novos processos siderúrgicos. Se já se estipula a relação 1/10 na ganga do minério (cêrca de 64% de Fe) como limite inferior de pureza das pelotas em breve ultrapassará de 1:20 (ou seja cêrca de 66,6% de Fe), o que dará ao minério brasileiro posição de realce no mercado internacional. Quanto ao tipo de minério, sem dúvida o magnético é o mais vantajoso sob o ponto de vista de tecnologia de pelotização, para a obtenção das pelotas oxidadas e tudo leva a crer, ser o hematítico para as reduzidas. Quanto ao combustível, os coques obtidos de carvões antracitosos mais puros, e de carvões betuminosos e sub-betuminosos de baixo teor em cinzas (menos de 5%) bem como o carvão de madeira, bem destilado e de baixo resíduo incombustível, serão as matérias primas de maior valia, em relação à novel tecnologia em pauta.

Ao contrário da técnica de obtenção do *ferro-coque*, em que se usa o combustível não destilado, de mistura ao minério, na obtenção de pelotas auto-redutoras o uso de coque é o mais recomendável devido à maior concentração volumétrica de carbono.

AGRADECIMENTOS

O Autor agradece a colaboração recebida da Seção de Metalografia do IPT, através dos Engenheiros Paulo Sérgio Pereira da Silva e Ubirajara M. de Carvalho e Silva, e o apoio recebido do Chefe da Divisão de Metalurgia, Dr. Eng. Luiz C. Corrêa da Silva, para a realização deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

- J. A. INNES — *Metallized pellets from ore-coke mixture*. Journal of Metals, April, 1963.
- NORWOOD B. MELCHER — *Smelting pre-reduced iron ore pellets*. Journal of Metals, April, 1963.
- M. J. GREAVES and ALAN ENGLISA — *Engineering Contributions to New Techniques of Iron Ore Agglomeration*". Symposium on Agglomeration — 1961.

**MN**

**FERRO-NIQUEL**

— ISENTO DE IMPUREZAS —  
EM LINGOTES

PRODUZIDO PELA  
**MORRO DO NIQUEL S.A.**

REPRESENTANTE EXCLUSIVO

**BRASIMET**

COMÉRCIO E INDÚSTRIA S. A.  
PÇA. DA REPÚBLICA, 497 - 8º ANDAR  
FONE 37-3176 - SÃO PAULO - 2

RIO DE JANEIRO  
AV. PRES. WILSON, 165 - C. P. 1820  
FONES: 52-2160 e 52-2168