

# POEIRA DE ACIARIA ELÉTRICA: RECICLAGEM VIA PELOTAS AUTO-REDUTORAS COM COQUE DE PETRÓLEO<sup>(1)</sup>

Rododolfo Hamakawa Ito<sup>(2)</sup>  
Cyro Takano<sup>(3)</sup>

## Resumo

Durante a fabricação de aços em aciarias elétricas é gerado um resíduo muito fino chamado de poeira de aciaria elétrica (PAE). Esse material, além de possuir um alto teor de ferro (~ 45%), enfrenta dificuldades para ser descartado por ser considerado um resíduo perigoso. O assunto desse estudo foi um método de reaproveitamento já desenvolvido e estudado no qual a PAE é aglomerada com um redutor (nesse trabalho, o coque de petróleo) e um aglomerante (normalmente o cimento Portland). O material aglomerado é chamado de pelota auto-redutora. As caracterizações das matérias primas mostraram que a PAE apresenta-se aglomerada ou com as partículas finas depositadas sobre as maiores e que a área de superfície específica tanto da PAE, como do coque de petróleo e do cimento Portland estão na mesma ordem de grandeza. A resistência mecânica das pelotas a frio encontrada foi muito alta (474 Newton/pelota). As pelotas a quente apresentaram um resultado peculiar, pois quando as pelotas eram aquecidas até 1240°C a tendência da resistência mecânica foi de aumentar com o aumento de temperatura. A partir de 1260°C a resistência caiu bruscamente e manteve-se em baixa. Os ensaios de crepitação foram realizados com pelotas com prévia secagem ou não. Esses ensaios mostraram que as pelotas tinham uma alta tendência à crepitação, fenômeno cuja explicação é o tempo de armazenamento das pelotas após a pelletização. Além da crepitação, também foram realizados ensaios para avaliar o grau de inchamento e redução da pelota. Em nenhum momento houve inchamento catastrófico. Os ensaios de redução visaram observar o comportamento na faixa de temperaturas entre 1200 e 1300°C. Verificou-se o coalescimento do material, que foi mais intenso em altas temperaturas. As pelotas aquecidas a 1260°C ou mais apresentaram ainda muita porosidade, inclusive ao redor dos núcleos metálicos coalescidos. Esses dois fenômenos explicam a baixa resistência mecânica nas pelotas aquecidas a altas temperaturas.

**Palavras-chave:** Reciclagem; Pelotas auto-redutoras; Resíduos de aciaria.

- <sup>1</sup> 60º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM. Belo Horizonte. 25 a 28 /07/2005.
- <sup>2</sup> Eng. Metalurgista. Trabalho realizado como aluno do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
- <sup>3</sup> Membro da ABM. Prof. Associado do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

## 1 INTRODUÇÃO

Nas atividades industriais, em quase todos os casos, há a geração de resíduos, em geral indesejados.

Ultimamente são esses resíduos que tem chamado a atenção de todas as áreas, envolvidas direta ou indiretamente com as atividades industriais, e são dois os principais motivos para isso. O primeiro motivo tem conotação ambiental, e é baseado em pressões, sejam elas do governo, através da legislação, de ONG's, da comunidade ou mesmo do mercado. O outro fator que torna os resíduos importantes é a diminuição de custos com menor geração e/ou reaproveitamento desses resíduos.

Os resíduos industriais podem ter basicamente três destinos e são eles o descarte, o reaproveitamento interno ou o reaproveitamento externo, que no caso seria a venda dele para que uma outra indústria o use como matéria prima. A escória de alto forno, por exemplo, é largamente comercializada para fabricação de cimentos. O descarte puro e simples de resíduos tem sido cada vez mais desestimulado, principalmente devido às normas cada vez mais rígidas quanto às qualidades de aterros. Já a reciclagem de resíduos tem sido apontada como a solução mais interessante para o problema dos resíduos industriais, pois é o principal componente para a realização de um desenvolvimento auto-sustentável. Ou seja, atualmente grandes investimentos estão sendo direcionados a essa área, seja para técnicas de tratamento de resíduos na própria usina, reciclagem por terceiros, obtenção de sub-produtos ou mesmo para descartes mais eficientes.

O setor siderúrgico é o que tem realizado os maiores investimentos para pesquisa no que diz respeito ao reaproveitamento de resíduos. Como exemplo citam-se os processos FASTMET e TECNORED que utilizam pelotas auto-redutoras, também, para reciclagem de poeiras e lamas geradas durante a fabricação de aços.

Esse trabalho, em específico, trata de um resíduo produzido pelos fornos elétricos a arco para a fabricação de aço, a chamada Poeira de Aciaria Elétrica (PAE). Esse resíduo possui duas razões para ser recuperado: ele possui alguns óxidos metálicos (principalmente Fe e Zn) que podem ser reaproveitados, mas por conter também residuais de elementos pesados ele seja considerado perigoso.

Dentre os processos de reaproveitamento, um que vêm sendo bastante estudado<sup>(1 a 9)</sup> é o das pelotas auto-redutoras, como é o Processo FASTMET.

Nesse trabalho buscou-se analisar o comportamento a frio e a quente de pelotas auto-redutoras compostas por PAE, coque de petróleo e cimento Portland ARI (alta Resistência Inicial).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização das Matérias Primas

A PAE e o coque de petróleo foram caracterizados pelas seguintes técnicas: análise química; análise granulométrica; e área de superfície específica.

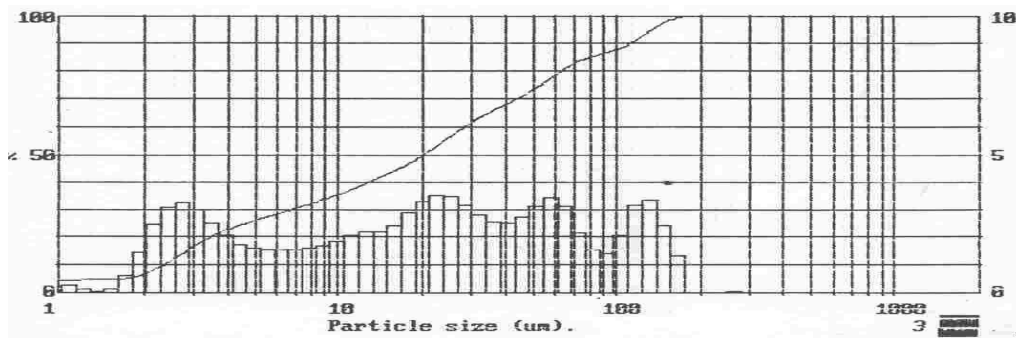
As análises químicas das matérias primas estão na Tabela 1 e a composição da pelota está na Tabela 2. Na Tabela 3 estão os resultados das áreas de superfície específica. As distribuições granulométricas dos materiais estão nas Figuras 1, 2 e 3.

**Tabela 1.** Análises químicas das principais matérias primas (%).

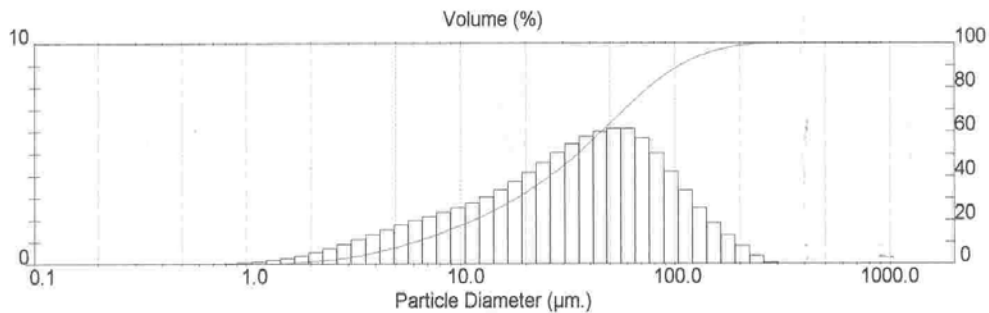
	Poeira de Aciaria Elétrica	Cimento	Coque Petróleo
Na <sub>2</sub> O	Pp	0,04	
MgO	1,62	0,55	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,40	4,92	
SiO <sub>2</sub>	2,72	19,05	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,37		
SO <sub>3</sub>	1,35	2,63	
Cl	1,43		
K <sub>2</sub> O	1,29	0,73	
CaO	6,37	64,30	
CaO livre	n.d.	1,01	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,37		
MnO	3,70		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	65,0	2,78	
NiO	<<		
CuO	0,16		
ZnO	13,9		
Br	0,03		
SnO <sub>2</sub>	0,05		
PbO	1,13		
outros	0,11	3,99	
C <sub>fixo</sub>			94,72
Cinzas			0,82
matéria volátil			4,46
S			0,73

**Tabela 2.** Composição da pelota auto-redutora estudada.

	PAE	Coque de petróleo	Cimento Portland
Pelota	75,5%	18%	6,5%



**Figura 1.** Histograma e curva acumulada do PAE.



**Figura 2.** Histograma e curva acumulada do coque de petróleo.

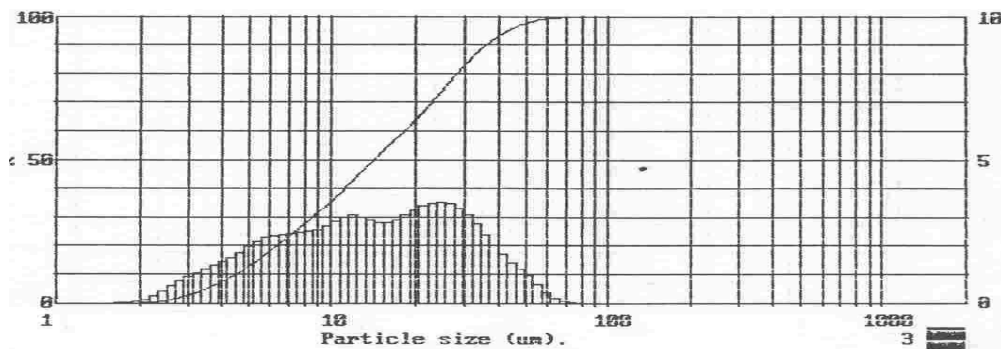


Figura 3. Histograma e curva acumulada do cimento Portland ARI.

Tabela 3. Áreas de superfície específica do PAE e do coque de petróleo.

	PAE	Coque de petróleo	Cimento Portland
Área superf. específica (m <sup>2</sup> /g)	3,7	5,6	1,2

## 2.2 Pelotização

Após a mistura a pelotização foi feita num disco de ~1m de diâmetro, em escala piloto, e com diâmetro das pelotas de 10 a 15 mm.

## 2.3 Ensaios de Crepitação, Redução e Inchamento

Os ensaios de crepitação, redução e inchamento foram realizados no Laboratório de Fusão-Redução do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da EPUSP. Este laboratório possui o forno resistivo Lindberg/Blue para temperaturas de até 1500°C utilizado durante o estudo. Os detalhes do sistema estão descritos na ref.(3).

### a) Ensaios de crepitação

Para a realização do ensaio de crepitação foram selecionadas pelotas aleatoriamente que foram submetidas a um choque térmico, ou seja, com a pelota sendo levada da temperatura ambiente a temperaturas de 700°C, 900°C e 1000°C, e mantidas durante 5 minutos. A cada temperatura foram ensaiadas 10 pelotas. Estas pelotas foram previamente secas a 140°C por um período de aproximadamente 24 horas em estufa.

### b) Ensaios de redução e inchamento

Estes ensaios consistiam em submeter as pelotas a um ciclo térmico de aquecimento, semelhantes aos ensaiados pelo Mantovani<sup>(5)</sup>. As pelotas utilizadas pertenciam ao mesmo lote que foi seco numa estufa e utilizadas nos ensaios de crepitação.

Esses ensaios realizados foram interrompidos em determinadas etapas a fim de que fossem observadas as variações volumétricas das pelotas, seu grau de redução durante o ciclo térmico e sua resistência mecânica. O ciclo térmico empregado está na Tabela 4.

Tabela 4. Ciclo térmico aplicado aos ensaios de inchamento e redução.

Temperatura	675°C	1200°C (etapa 1)	1220°C (etapa 2)	1240°C (etapa 3)	1260°C (etapa 4)	1280°C (etapa 5)	1300°C (etapa 6)
Tempo	3'	1'	1'	1'	1'	1'	1'

O inchamento das pelotas foi avaliado segundo a variação do diâmetro ao cubo de cada pelota, em cada etapa.

A análise do grau de redução das pelotas envolveu duas etapas. Inicialmente uma pelota interrompida em cada etapa e uma que passou pelo ciclo completo eram selecionadas, embutidas em resina, esmerilhadas, recobertas e analisadas no MEV com EDS.

Além disso as pelotas também foram observadas em microscópio óptico.

No estudo do grau de redução também foi feito um balanço de massa, pois das análises químicas sabe-se as quantidades de óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e outros óxidos redutíveis contidos inicialmente em cada pelota. Sabendo-se a massa final e a massa inicial e considerando a proporção  $\text{CO}/\text{CO}_2$  pelo equilíbrio, a cada temperatura, é possível estimar o nível de redução atingido.

#### *b) Ensaios de ciclo térmico utilizando balança de precisão*

Além da simples realização de ciclos térmicos, também foram realizados ensaios utilizando a balança posicionada na plataforma superior do forno. O procedimento experimental foi o mesmo utilizado nos ensaios de inchamento e redução, com exceção do fato de que no caso, o conjunto fio-porta amostras estava conectado à balança. Essa balança está ligada a um computador e fornece a ele medidas da massa da pelota, que são armazenadas num arquivo com intervalos de tempo pré-definidos. A partir disso é possível traçar uma curva da perda de massa da pelota em função do tempo.

## **2.4 Ensaios de Resistência à Compressão a Frio e a Quente**

Os ensaios de resistência mecânica à compressão foram realizados com o equipamento Dietert Detroit Universal série 405-0386, que também é utilizado na avaliação da resistência de corpos de prova cilíndricos de areia.

## **2.5 Análises Microscópicas**

Para auxiliar no estudo do comportamento das pelotas auto-redutoras é necessário observar a morfologia da pelota e comparar as diferentes estruturas formadas durante o ciclo térmico. Foram utilizados dois meios para a realização de tal estudo, o microscópio óptico e o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1 Caracterização das Matérias Primas**

#### *a) análise química*

Vale observar que o teor de zinco é dependente da composição da carga e conseqüentemente da fração de sucata galvanizada utilizada, ou seja, com o aumento da quantidade de sucata galvanizada constituindo a carga do forno elétrico o teor de zinco na poeira de aciaria elétrica também aumenta. Outro fato a ser levado em conta é que o silício e o cálcio nesse caso podem não estarem na forma de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{CaO}$ , e sim como hidróxidos, ferritas, silicatos, entre outros.

Quanto ao coque de petróleo a principal observação a ser feita é em relação ao alto teor de carbono fixo presente. Em carvão mineral, por exemplo, o teor costuma estar ao redor de 70%, bem abaixo dos 94,72% do coque de petróleo.

#### *b) análise granulométrica*

Através dos histogramas pode-se observar que as partículas de PAE apresentam uma distribuição granulométrica completamente irregular. Uma possível explicação para isso seria o estado aglomerado das partículas. Caso elas realmente estejam aglomeradas, o feixe de laser ao atravessar um aglomerado de partículas, o contaria como uma partícula apenas (Figura 4).

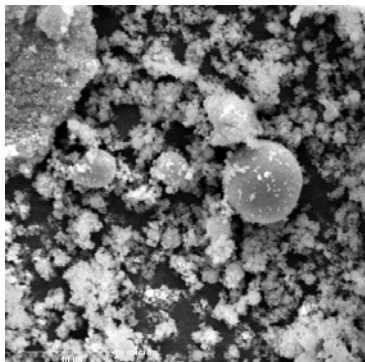
Em relação ao coque, se o histograma do mesmo for comparado a um histograma de carvão mineral, pode-se verificar que as partículas de coque são menores que as de carvão.

*c) área de superfície específica*

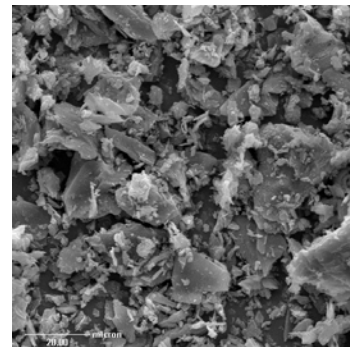
Da Tabela 3 é possível observar que as três matérias primas possuem áreas de superfície pequenas se comparadas à área do carvão mineral (98,43 m<sup>2</sup>/g) utilizado por Mantovani<sup>(5)</sup>, e coerentes com as Figuras 4 a 7.

*d) caracterização da forma das partículas da PAE e do coque de petróleo mediante o uso de microscopia eletrônica de varredura (MEV)*

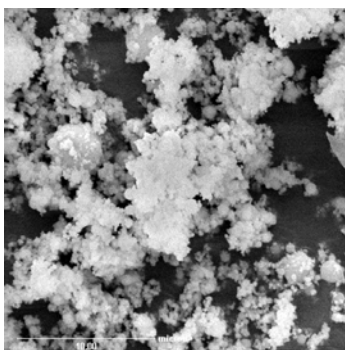
A microscopia eletrônica de varredura forneceu as seguintes fotos dos materiais.



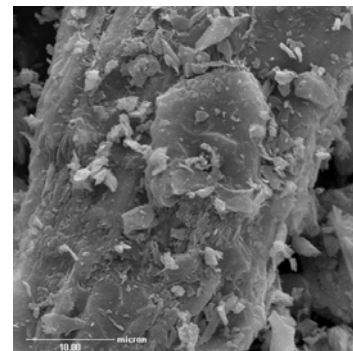
**Figura 4.** Aspecto morfológico das partículas de PAE.



**Figura 6.** Aspecto morfológico das partículas de coque de petróleo.



**Figura 5.** PAE. Existência de grande quantidade de partículas finas (~ 1 µm) aglomeradas e depositadas.



**Figura 7.** Aspecto morfológico das partículas de coque de petróleo.

As figuras acima apresentam alguns aspectos interessantes das matérias primas. Nas Figuras 4 e 5 é possível observar o formato esférico das partículas de PAE. Esse formato esférico é coerente com a teoria, na qual o mecanismo de formação desse material é a evaporação e ejeção das partículas de metal líquido e escória. Essas figuras também auxiliam na interpretação do histograma da PAE. O histograma apresenta uma pequena fração de partículas da ordem de 1 µm, enquanto observa-se claramente a presença em quantidade considerável de partículas de granulometria dessa ordem de grandeza. Essa observação mostra que realmente a distribuição granulométrica irregular deveu-se a formação de aglomerados e deposição das partículas finas sobre as maiores.

As Figuras 6 e 7 mostram um material relativamente compacto e que está de acordo com o valor baixo de área superficial, se comparado com carvão vegetal ou mineral.

### 3.2 Ensaio de Crepitação, Redução e Inchamento

Os ensaios de crepitação serviram para avaliar a viabilidade de utilizar as pelotas estudadas na indústria e quais seriam os processos em que elas melhor se adaptariam. A Tabela 5 abaixo apresenta o resultado do índice de crepitação em função das temperaturas a que as pelotas foram elevadas a partir da temperatura ambiente.

**Tabela 5.** Crepitação das pelotas em função da temperatura (%).

	Teor de umidade	700°C	900°C	1000°C
% de crepitação (com secagem)	0,35	20%	60%	60%
% de crepitação (sem secagem)	2,21	80%	100%	100%

As pelotas que não foram secas apresentaram índice muito alto de crepitação. As pelotas que foram previamente secas apresentaram índices de crepitação menores, porém muito alto para processos onde o carregamento é feito diretamente a temperaturas acima de 700°C. As possíveis explicações para os resultados acima são: o teor de umidade após a secagem ainda mostrou-se relativamente alto (seria desejável que fosse menor que 0,1%); e o período que as pelotas ficaram armazenadas antes do início do estudo, de cerca de um ano, acarretando maior hidratação das mesmas. Sabe-se que as pelotas hidratadas apresentam resistências mais altas, portanto um indicador dessa hidratação é a alta resistência a frio das pelotas, de 474 N/P, sendo que a literatura mostra resultados de cerca de 180 N/P<sup>(3)</sup> para pelotas semelhantes a essas.

Para o estudo de inchamento e redução, como foi dito anteriormente, foram realizados os mesmo ensaios. Esses ensaios foram feitos de acordo com o ciclo térmico apresentado na Tabela 4. Neles foram realizados ciclos completos e interrompidos.

O estudo do inchamento das pelotas foi realizado através dos diâmetros médios das pelotas antes e após passarem pelo ciclo térmico. Para esse estudo, os ensaios também foram realizados na temperatura de 1000°C, pois segundo a literatura é ao redor dessa temperatura que costuma ocorrer o inchamento catastrófico. Os resultados estão na Tabela 6.

**Tabela 6.** Resultados de inchamento, redução e de resistência após ensaio.

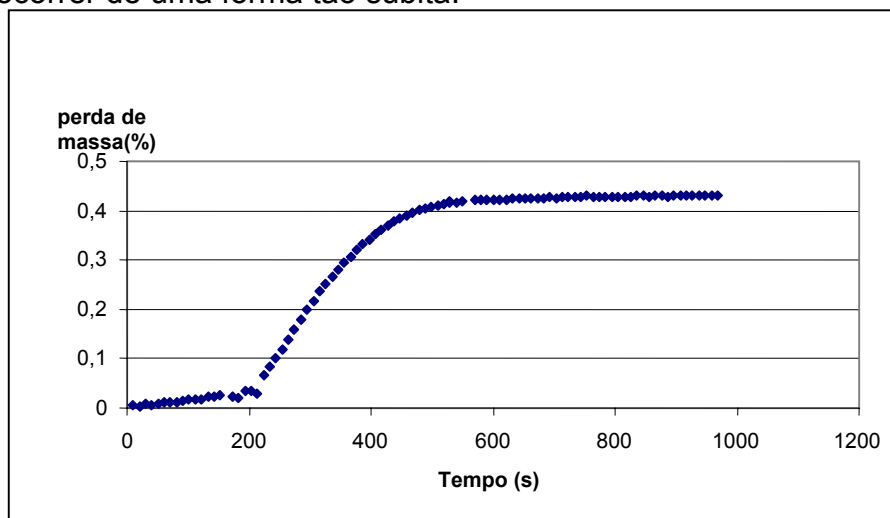
	A frio	1000 oC	1200°C (etapa 1)	1220°C (etapa 2)	1240°C (etapa 3)	1260°C (etapa 4)	1280°C (etapa 5)	1300°C (etapa 6)
Inchamento		1,0	0,9	0,8	0,6	0,6	0,7	0,6
% de perda de massa		-	19,6	24,3	41,0	41,8	40,4	43,1
Resistência (N/pelota)	474	-	80	100	100	30	23	18

Os resultados mostram que as pelotas estudadas não sofrem o chamado inchamento catastrófico.

O estudo da redução baseou-se na perda de massa da pelota durante o ciclo térmico. Para isso, foram utilizadas as mesmas amostras do estudo de inchamento, comparando as massas iniciais e finais. Além desse estudo, também foi desenhado um gráfico da perda de massa em função do tempo utilizando com os dados fornecidos pelo ensaio acoplado à balança de precisão. A Tabela 6 apresenta a perda de massa em função da etapa e a Figura 8 a variação da perda de massa em função do tempo.

Vale observar ainda que, embora não tenha sido feita uma estatística sobre o fato, a crepitação de pelotas durante os ensaios de ciclo térmico foi menos intensa que a apresentada nos ensaios de crepitação para pelotas secas expostas a 700°C.

Nessas condições crepitaram 20% das pelotas, enquanto durante o ciclo, em que a temperatura inicial foi de 675°C, houve um índice de crepitação menor. Esse fenômeno é explicado pela temperatura, ou seja, a 675°C a liberação de voláteis pode não ocorrer de uma forma tão súbita.



**Figura 8.** Evolução da redução, em termos de perda de massa, para o ciclo térmico completo da Tabela 4.

Comparando os resultados obtidos com os de Mantovani<sup>(5)</sup>, observa-se que a redução utilizando coque de petróleo é mais rápida que a com carvão mineral. Esse fato deve-se provavelmente à menor quantidade de impurezas contidas no coque de petróleo.

A partir dos estudos realizados verificou-se que a reação após a pelota atingir altas temperaturas, no caso 1200°C aproximadamente, a taxa de perda de massa passa a ocorrer em uma velocidade muito rápida, ou seja, há aceleração das reações de redução. Na Figura 8 porém observa-se o início do declínio dessa velocidade ao redor dos 400s, ou seja, entre as etapas 3 e 4 do ciclo térmico, o que é coerente com o estudo do ciclo interrompido. Além disso, segundo o gráfico, a estabilização ocorre por volta do instante 540s, ou seja, aproximadamente no final do ciclo utilizado.

Para verificar se houve redução completa da pelota, realizou-se um balanço de massa baseado na composição das matérias primas da pelota e estimou-se a partir dos cálculos uma perda total de massa de 41,6%.

O resultado acima é coerente com a máxima perda de massa obtida (43%). Portanto a redução pode ser considerada completa.

### 3.3 Ensaio de Resistência à Compressão a Frio e a Quente

As pelotas auto-redutoras foram ensaiadas mecanicamente através de ensaios de resistência à compressão em diversas etapas do processo, sendo medidas as resistências mecânicas tanto de pelotas curadas a frio, quanto de pelotas que passaram pelos ciclos térmicos, tanto interrompidos quanto não-interruptos. Esses resultados estão apresentados na Tabela 6.

Analisando os resultados obtidos, verificam-se resultados bastante peculiares para a resistência mecânica das pelotas estudadas em relação aos resultados que existem na literatura. A resistência mecânica da pelota fria está alta, fato que pode ter sua explicação no período longo de cerca de um ano em que elas ficaram armazenadas antes do início do estudo.



Os resultados da resistência mecânica para as pelotas que passaram pelo ciclo térmico estudado nesse trabalho não possuem antecedentes na literatura e devem ser analisados em duas frentes: até a etapa a 1240°C, na qual o comportamento segue a literatura e após ela, quando a resistência mecânica cai bruscamente.

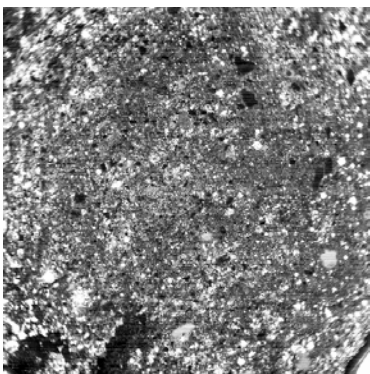
A partir de 1000°C até 1240°C observa-se um aumento gradual da resistência com o tempo e isso já foi observado em diversos trabalhos, entre eles por Mantovani<sup>(5)</sup>. A resistência de pelotas auto-redutoras aglomeradas com cimento é crítica na faixa de temperaturas de 950 a 1000°C pois há perda de água de hidratação do cimento, porém a partir de 1000°C passa a ocorrer sinterização do ferro reduzido e um aumento de resistência mecânica é conferido a mesma.

A partir da etapa em que a pelota é levada a 1260°C, entretanto a resistência mecânica da pelota diminui, fenômeno que ainda não havia sido observado na literatura. A análise microscópica mostrou dois fatos: o primeiro é que não foram formados grandes núcleos metálicos, apenas diversos pequenos evidenciando a ocorrência de coalescimento parcial. Outro fato observado foi a estrutura muito porosa após a redução, muitas vezes formando vazios que se estendem de uma superfície a outra da pelota (Figuras 11 e 14).

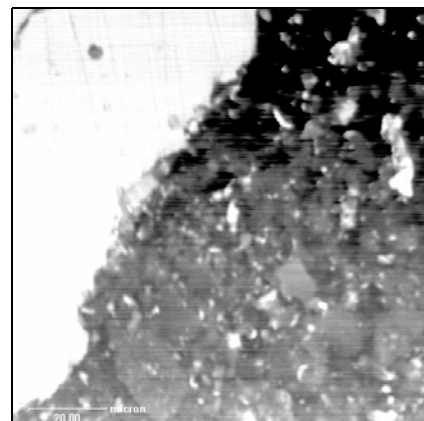
### 3.4 Análises Microscópicas

Foram realizadas análises microscópicas das pelotas após a realização dos ciclos térmicos. Pelotas com o ciclo interrompido em todas as etapas foram observadas para que fosse possíveis o estudo e o entendimento do que ocorre no interior da pelota durante o processo. As fotos (Figuras 9 a 14) apresentadas abaixo foram realizadas tanto em microscópio ótico quanto em MEV.

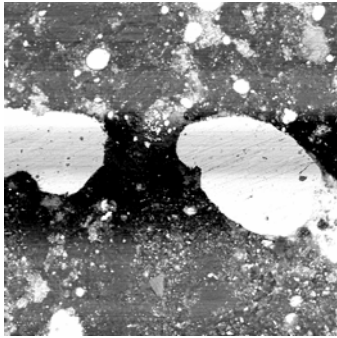
Através da observação microscópica foi possível explicar o fenômeno da diminuição de resistência mecânica após 1240°C. Observando as figuras para as pelotas aquecidas a 1260°C, 1280°C e 1300°C verifica-se o coalescimento da fase metálica. Além disso, há a ocorrência de porosidade nas pelotas, inclusive ao redor das partículas metálicas, o que tende a reduzir a resistência mecânica.



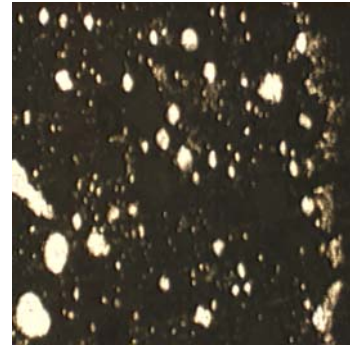
**Figura 9.** (MEV) - 18x .Região externa da pelota interrompida na etapa 3 do ciclo térmico. Observa-se uma grande porcentagem reduzida já esfeirizada. (Perda de massa de 40,97%, que corresponde praticamente à redução completa.)



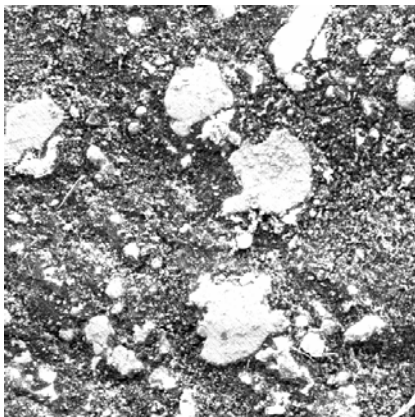
**Figura 10.** (MEV) – Detalhe da figura 9. Aumento de 1000x da pelota com ciclo interrompido na etapa 3. A fase branca é um núcleo metálico.



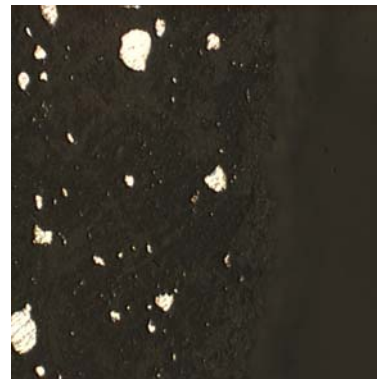
**Figura 11.** (MEV) Aumento de 250x da pelota com ciclo interrompido na etapa 4 (etapa 3 + 1' a 1260°C). As fases brancas são partículas metálicas coalescidas, isoladas entre si por uma porosidade.



**Figura 13.** (Microscopia ótica) – Aumento de 50x da pelota que passou pelo ciclo interrompido na etapa 4. É possível observar o início da formação de uma região porosa, a mais escura.



**Figura 12.** (MEV) – Aumento de 100x da pelota que passou pelo ciclo completo mostrando a morfologia de núcleos de ferro.



**Figura 14.** (Microscopia ótica) – Aumento de 50x da pelota que passou pelo ciclo térmico completo. É possível a observação de uma grande porosidade à direita da imagem. (Pouco visível).

#### 4 CONCLUSÕES

- As pelotas estudadas não desenvolveram inchamento catastrófico;
- A velocidade de redução com o coque de petróleo foi rápida, sendo considerada completa após 6 minutos em temperaturas que permitem a redução do óxido de ferro. Após 4 minutos a redução foi praticamente completa;
- O coque de petróleo mostrou-se melhor que o carvão mineral como redutor de pelotas auto-redutoras de PAE por tornar o processo mais rápido;
- A resistência mecânica a frio alta, associada ao fenômeno de crepitação que ocorreu, apontam para hidratação das pelotas após serem armazenadas pelo período de um ano. Como na prática as pelotas são utilizadas pouco tempo após a pelletização este fenômeno não deve ser crítico;
- A resistência mecânica após ensaios entre temperaturas de 1200 e 1240°C mostrou-se elevada devida à sinterização do ferro reduzido;
- Em temperaturas a partir de 1260°C é observado coalescimento, formando diversas partículas metálicas na pelota. Essas partículas, entretanto estavam cercadas de porosidade, fato que conduz à redução da resistência mecânica. Também foi observado o crescimento das porosidades. O coalescimento da fase metálica e a estrutura porosa gerada em temperaturas mais altas foram responsáveis pela redução da resistência mecânica;

## Agradecimentos

À FAPESP e ao CNPq pelos apoios.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 GOSKEL, M.A. Fundamentals of Cold Bound Agglomeration. **AGGLOMERATION** 77, 1977, p. 877-900.
- 2 MANTOVANI, M.C. ; TAKANO, C. ; CAVALLANTE, F.L. Poeira de aciaria elétrica: caracterização e reciclagem por auto-redução. SEMINÁRIO DE MEIO AMBIENTE. **Anais**. ABM. São Paulo. 1999, p. 21-47.
- 3 MANTOVANI, M.C.; TAKANO, C. The Strength and the High Temperature Behaviors of Self-reducing Pellets Containing EAF Dust. **ISIJ Int.** V. 40, No 3, 2000. p. 224-230
- 4 TAKANO, C. ; NASCIMENTO, R.C. ; LENZ E SILVA, G.F.B. ; SANTOS, D.M. ; MOURÃO, M.B.; CAPOCCHI, J.D.T.. Recycling of Solid Wastes from Integrated Steelmaking Plant: A Sustainable Alternative. **ISIJ Int.**, V. 42, No. 12, 2001. p. 2506-2510.
- 5 MANTOVANI, M. C. Caracterização de poeiras geradas em fornos elétricos a arco e seu estudo quando aglomeradas na forma de pelotas auto-redutoras. **Tese de Doutorado**, EPUSP, São Paulo, 1998.
- 6 NASCIMENTO, R.C.; LENZ, G.; GENTILE, E.F.; TAKANO, C.; MOURÃO, M.B. The self-reducing technology for the recycling of solid wastes in integrated steelmaking plant. FOURTH JAPAN-BRAZIL SYMPOSIUM ON DUST PROCESSING-ENERGY-ENVIRONMENT IN METALLURGICAL INDUSTRIES **Anais**. Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2002, p. 115-123
- 7 MANTOVANI, M.C.; CAVALLANTE, F.L.; TAKANO, C.; MOURÃO, M.B. Electric Arc Furnace Dust Characterization and Recycling by Self-reducing Pellets. FIRST JAPAN-BRAZIL SYMPOSIUM ON DUST PROCESSING-ENERGY-ENVIRONMENT IN METALLURGICAL INDUSTRIES. **Anais**. Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1999, p. 31-47
- 8 MANTOVANI, M.C.;TAKANO, C. Estudo sobre o comportamento de pelotas auto-redutoras compostas por poeiras geradas em fornos elétricos a arco. 54º CONGRESSO ANUAL DA ABM . São Paulo, SP. 25. a 29 de julho de 1999, **Anais**, ABM, 1999. p. 1334-1444
- 9 9) TAKANO, C.; MANTOVANI, M.C. Recycling of Electric Arc Furnace Dust by Self-Reducing Process. 2ND. INTERNATIONAL CONGRESS ON SCIENCE AND TECHNOLOGY OF IRONMAKING. Toronto, Canada, 21/25 março 1998. **Anais**,. Iron & Steel Society, USA, 1998, V. 57, p.1255-1262.

# ELECTRIC ARC FURNACE DUST: RECYCLING VIA SELF-REDUCING PELLETS USING PRETROLEUM COKE

Rodolfo Hamakawa Ito  
Cyro Takano

## Abstract

During the steel production in electric arc furnaces (EAF) is generated a very fine residue, the EAF dust. This material requires special disposal dumping because it is classified environmentally as a dangerous one. It contains around 45%Fe (total) in the oxidized form and can be recovered. One alternative to solve this problem is to recycle it to the process after agglomerating as self-reducing pellets. The subject of this study was to evaluate the effect of using petroleum coke as the reductant. The Electric Arc Furnace dusts and petroleum coke were characterized by chemical analysis, particle size distribution, specific surface area (BET) and scanning electron microscopy. This characterization showed that the EAF dust, due to its fineness presents tendency to agglomerate themselves or the finer one adhere on the surface of larger one. The surface area of coke, EAF dust and Portland cement (1.9 ~ 5.64 m<sup>2</sup>/g) are similar. The mechanical strength characterization of the pellets is important to evaluate the degradation during transportation, charging and at the reduction process. The compression strengths were determined for the cold pellets and for the pellets after submitted to the thermal cycle (hot). The mechanical strength of cold pellets is high (474 Newton per pellet). Hot pellets had peculiar mechanical strength. Above 1000°C and under 1240°C the mechanical strength increases with temperature increase. Above 1260°C the strength decreases and remains low. The high temperature behavior of pellets was also carried through evaluation of decreptation (thermal shock), swelling and reduction. For the decreptation test the pellet, dried or not, was submitted directly from room to high temperatures (700°C, 900°C and 1000°C). Pellets didn't resist to thermal shock, and the reason is the long period of curing. For the swelling and for the reduction, thermal cycles were established to simulate some of the industrial processes. These cycles were complete or interrupted to make possible the study of the process. In these tests no swell was observed. The reaction behavior was also measured by continuous determination of the weight loss during the thermal cycle. The study was complete with microscopic observation that showed high metallic coalescence at high temperatures. The pellets heated up to 1260°C had much porosity. The coalescence and the porosity are the reasons to the lower mechanical strength.

**Key-word:** Recycling; Self-reducing pellets; Steelmaking dusts.

*Metallurgical and Materials Eng. Dept. University of Sao Paulo. Brazil.  
Av. Prof. Mello Moraes, 2463 Sao Paulo -SP. 05508-900 Brazil  
cytakano@usp.br*