

# RECICLAGEM DA LAMA FINA DE ACIARIA EM PELOTAS METALIZADAS<sup>1</sup>

Walter Luiz da Costa Reis<sup>2</sup>  
André Tarcizo de Oliveira Vieira<sup>3</sup>  
João Henrique Echternacht<sup>4</sup>  
José Ricardo de Oliveira<sup>5</sup>  
Elson Longo<sup>6</sup>

## Resumo

As exigências legais e de mercado vêm obrigando as indústrias a buscar ganhos de desempenho e redução no impacto ambiental. As lamas e pós gerados em aciaria LD apresentam restrições severas quanto a sua reciclagem no processo siderúrgico, em função de elementos contaminantes, principalmente metais pesados, como o zinco. A CSN através de sua planta de pelotização de resíduos desenvolveu uma pelota metalizada contendo lama fina de aciaria. Durante o processamento da pelota ocorre redução significativa do teor de zinco, permitindo sua utilização como carga metálica. Este trabalho descreve o desenvolvimento do processo de fabricação da pelota contendo lama fina de aciaria, desde o percentual admissível na composição da mistura, passando pelo pelotamento e finalmente pela queima. As pelotas foram caracterizadas antes e depois de metalizadas para comprovação da redução do teor do zinco incorporado na pelota pela lama fina de aciaria. Os resultados positivos do teste demonstram a viabilidade de implantação do processo industrialmente a fim de se reciclar a lama fina de aciaria.

**Palavras-chave:** Lama fina de aciaria; Óxido de ferro; Pelotização; Resíduos.

## RECYCLING OF FINE SLUDGE TO THE BOF CONVERTER BY METALLICAL PELLETS

### Abstract

The legal demands and of market they come forcing the industries to look for won of acting and reduction in the environmental impact. The fine sludge generated at BOF converter has severe restrictions with relationship its recycling at metallurgical process, in function of contaminates elements, mainly heavy metals, as the zinc. CSN through its plant of pelletizing of residues developed a metallical pellet contents fine sludge BOF converter. During the processing of the pellets it happens significant reduction of the text of zinc, allowing its use as metallic load. This work describes the development of the process of production of the pellets contends fine sludge BOF converter, from the percentile acceptable in the composition of the mixture, going by the pelletizing and finally for the it burns. The pellets were characterized before and after burned for confirmation of the reduction of the text of the zinc incorporated in the pellet by the fine sludge BOF converter. The positive results of the test demonstrate the viability of implantação of the process industrialmente in order to recycle the fine sludge BOF converter.

**Key words:** Fine sludge BOF converter; Iron oxide; Pelletizing; Recycling.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao XXXVIII Seminário de Aciaria – Internacional, 20 a 23 de maio de 2007, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *MSc – Gerente Geral de Processos Siderúrgicos da CSN.*

<sup>3</sup> *Coordenador de Projetos Especiais da CSN*

<sup>4</sup> *MSc – Engenheiro de Desenvolvimento Sênior da CSN*

<sup>5</sup> *MSc – Engenheiro Especialista da CSN*

<sup>6</sup> *Professor Dr. – CMDMC/UNESP – Araraquara*

## 1 INTRODUÇÃO

As pressões ambientais forçam o desenvolvimento de novas tecnologias para o aumento da eficiência dos processos com conseqüente diminuição dos resíduos gerados, objetivando:

- Menor consumo de energia.
- Fontes alternativas de energia
- Elevada produtividade
- Produtos de elevada qualidade
- Menor impacto ambiental

O processo de produção de aço está diretamente associado à geração de resíduos. Anualmente são gerados milhões de toneladas de pós e lamas recicláveis e outros milhões de toneladas de escória.

Dos pós recicláveis contendo ferro, em torno de 60% são reciclados como matéria-prima para a planta de sinterização.

A Tabela 1, mostra o destino de alguns destes resíduos.

**Tabela 1-** Destino dos principais resíduos sólidos recicláveis da produção de ferro primário e aço.

<b>Resíduo</b>	<b>Destino</b>	<b>Observação</b>	<b>%massa</b>
<i>Pó Coletor de Alto-Forno</i>	Sinterização	Presença de zinco	41% Fe e 26% C
<i>Lama de Alto-Forno</i>	Disponibilizado em aterro para venda	Presença de zinco	37% Fe e 20% C
<i>Pó de sinterização</i>	Sinterização	Piora na Permeabilidade da mistura a sinterizar	45% Fe
<i>Fino de coque (moinha)</i>	Sinterização	Presença de álcalis	70%C
<i>Lama Grossa de Aciaria LD</i>	Aciaria – concentrado de ferro em substituição a sucata	Aumento na geração de finos	87% Fe onde 85% metal
<i>Lama Fina de Aciaria LD</i>	Disponibilizado em aterro para venda	Presença de zinco	60% Fe onde 10% metal
<i>Carepa</i>	Sinterização	Perda na redutibilidade	70% Fe

Ainda que a utilização dos resíduos siderúrgicos contendo ferro, via sinterização, seja um caminho natural na siderurgia, estes resíduos na sua grande maioria possuem uma granulometria muito reduzida, diminuindo em muito a permeabilidade do leito da carga, alterando a produtividade da máquina.

A pelletização de tais resíduos, constitui uma alternativa mais técnica, visto que para este processo é desejável a granulometria reduzida, ou seja, super finos.

Dentre os resíduos encontramos a lama fina de aciaria que é um material que apresenta uma granulometria bem pequena permitindo seu pelletamento.

O problema da utilização da lama fina de aciaria na fabricação de pelotas é a presença de zinco em sua composição.

Este trabalho pretende mostrar que é possível utilizar o resíduo na fabricação de uma pelota metalizada em escala industrial com uma redução expressiva no teor de zinco.

O trabalho se desenvolveu na planta piloto de pelletização implantada na Usina Presidente Vargas (UPV), da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), associando-se diferentes tecnologias.

O produto resultante do processo é aglomerado rico em ferro com teores de ferro metálico acima de 50% podendo substituir a sucata no processo da aciaria.

A metodologia do trabalho consistiu em: caracterização das matérias primas, elaboração da mistura dos componentes; pelletização; secagem; queima no forno rotativo; e análise dos resultados.

## 2 MATERIAIS E METODOS

### 2.1 Caracterização dos Materiais

As matérias primas utilizadas na produção de pelotas foram:

- Lama fina de aciaria LD
- Óxido de ferro sintético (URA)
- Finos de coque
- Cal recuperado em despoeiramento

As características físicas dos materiais estão descritas na Tabela 2.

**Tabela 2** – Características Físicas das Matérias Primas

Matéria Prima utilizado na produção da pelota	Umidade	Densidade Aparente	Granulometria
	%	g/cm <sup>3</sup>	mesh
Lama Fina de Aciaria LD	40 a 60	2,0	60 % < # 325
Óxido de Ferro Sintético (URA)	1 a 2	1,8	100 % < # 325
Finos de coque	1 a 5	0,8	40% < # 150
CAL RECUPERADA EM DESPOEIRAMENTO	1 a 5	1,5	80% < # 150

As características químicas dos materiais estão descritas na Tabela 3.

**Tabela 3** – Características químicas das Matérias Primas

	Fe <sub>Total</sub>	SiO <sub>2</sub>	Zn	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	C
Lama Fina de Aciaria LD	54,4 %	3,1 %	2,68 %	0,08%	1,72 %	9,02 %	1,6 %
Óxido de Ferro sintético	74,5%	0,18%	0,013%	0,158%	0,16%	-	-
Finos de coque	-	3,2%	-	2,3%	1,1%	1,3%	88%
Cal recuperado em despoeiramento	-	1,43%	-	-	2,76%	91,6%	-

### 2.2 Método

Para a produção das pelotas foi utilizada a planta piloto de pelletização que é composta por equipamentos desenvolvidos e construídos na CSN. O reaproveitamento de componentes e peças de unidades desativadas na Usina

Presidente Vargas - UPV, possibilitou uma redução expressiva nos custos da instalação da planta piloto.

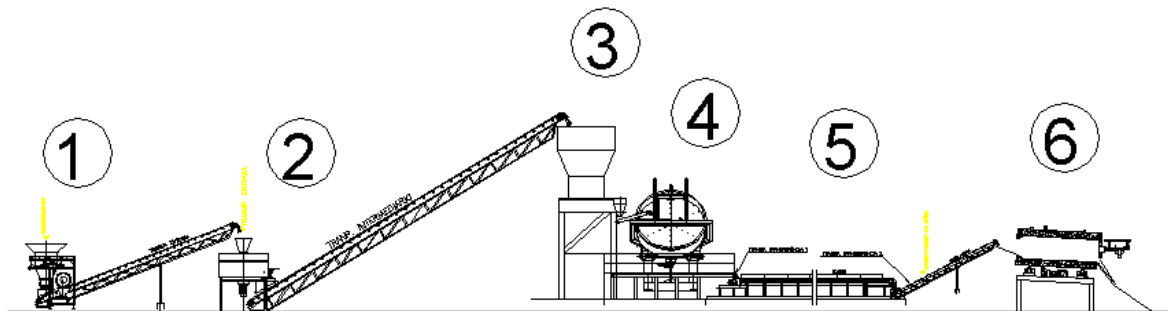
Equipamentos pertencentes a planta piloto:

- Silo balança para capacidade de até 600 kg e balança eletrônica, para até 50 kg.
- Misturador simples de pás (equipamento reaproveitado)
- Silo dosador (equipamento reaproveitado da antiga Fundição CSN)
- Prato Pelotizador de 3m de diâmetro (fabricado na CSN)
- Forno secador (desenvolvido e fabricado pela CSN)
- Forno rotativo para queima da pelota (desenvolvido e fabricado na CSN)
- Correias transportadoras (equipamentos reaproveitados de várias unidades desativadas)

A planta piloto de pelotização de resíduos pode produzir diferentes tipos de pelotas, apresentando flexibilidade para o desenvolvimento de diferentes produtos e aplicações.

A planta é capaz de produzir pelotas calcinadas e desidratadas.

Na Figura 1 esta descrito o diagrama dos equipamentos utilizados para este projeto.



**Figura 1** – Diagrama da planta piloto de pelotização de resíduos ( 1 silo balança, 2 misturador, 3 silo dosador, 4 prato pelotizador, 5 forno secador e 6 forno rotativo de queima)

### 2.3 Produção das Pelotas

Para o estudo foram elaboradas algumas misturas de resíduos para a produção de pelotas. Estas misturas estão descritas na Tabela 4.

**Tabela 4** – Formulação testada

Matéria prima	Mistura 1	Mistura 2	Mistura 3
Lama Fina de Aciaria	15 %	35 %	55 %
URA	60 %	45 %	25 %
Finos de Coque	20%	20 %	20 %
Cal recuperado	5 %	0 %	0 %

A produção foi operacionalizada nos equipamentos descritos anteriormente, conforme fluxo de produção abaixo (Figura 2).

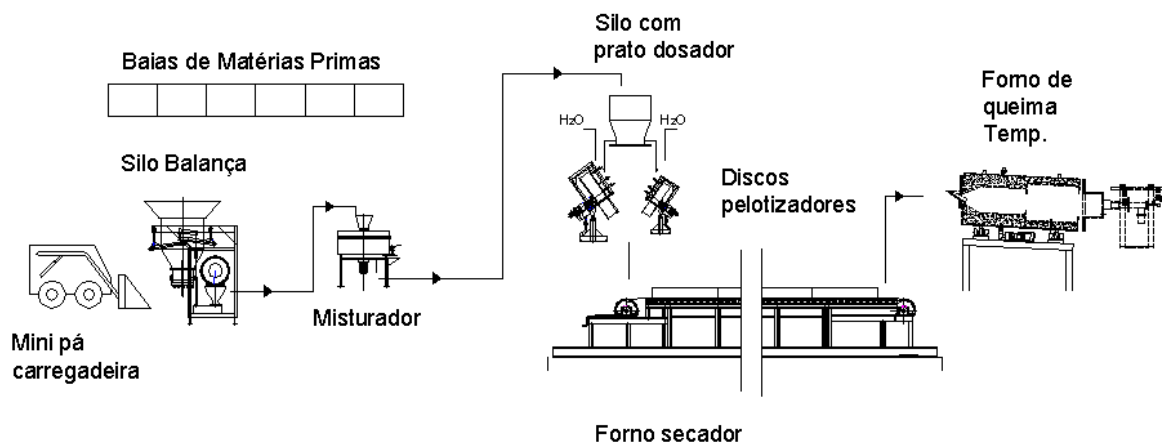


Figura 2 – Fluxo de produção

A Figura 3 mostra em detalhes o forno rotativo empregado no experimento.

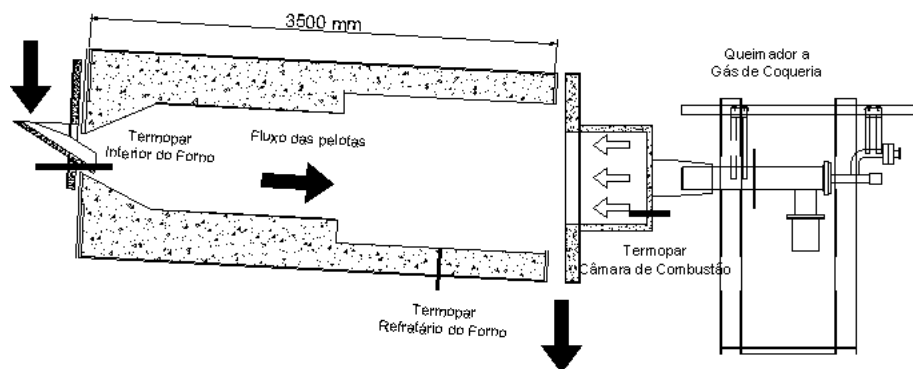


Figura 3 – Forno rotativo de queima

### 3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a produção das pelotas se utilizou um percentual alto de carbono para reduzir os óxidos de ferro e consequente metalização da pelota.

Para a produção das pelotas foram adotados os parâmetros descritos na Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros de produção

Parâmetros de Produção							
Carga do Misturador	Tempo de Mistura	Angulo do Prato Pelotizador	Quantidade de alimentação de sólidos no disco (kg/h)	Velocidade de rotação do disco (rpm)	Temperatura do forno Secador	Tempo de residência no forno secador	Temperatura do forno rotativo para queima
300 Kg	20 min	50°	400	14	200 °C	30 min	1300 °C

Devido ao elevado teor de umidade da lama fina de aciaria, em torno de 45%, foi providenciado uma secagem natural do material até atingir um teor de umidade próximo a 10%. Com a secagem ao ar livre, a lama fina da aciaria tem uma tendência de formação de torrões bem coesos.

Durante o procedimento experimental definido pelas seguintes etapas: preparação das misturas, pelotamento, secagem e queima foram feitas observações que estão descritos na Tabela 6.

**Tabela 6 – Fatos observados durante o experimento**

	Mistura 1	Mistura 2	Mistura 3
Processo de Mistura	Não apresentou dificuldade de mistura	Dificuldade na desagregação dos torrões de lama. (> tempo de mistura)	Grande dificuldade na desagregação dos torrões de lama. Segregação dos componentes finos da mistura.
Processo de Pelotamento	Rápida formação de pelotas.		Grande
Secagem	Não apresentou problemas	Não apresentou problemas	Não apresentou problemas
Resistência Mecânica a Frio	Resistência média de 12 kgf	Resistência média de 18 kgf	Resistência média de 25 kgf
Queima	Pequena geração de fumos	Média geração de fumos	Alta formação de fumos

## 4 ANÁLISES E RESULTADOS

### 4.1 Caracterização das Pelotas

As pelotas obtidas foram submetidas aos ensaios de caracterização descritos abaixo.

- Teor de zinco na pelota seca
- Teor de zinco na pelota queimada
- Grau de metalização da pelota
- Distribuição granulométrica das pelotas.
- Resistência à compressão da pelota queimada.

**Tabela 7 – Características das Pelotas**

Características das PELOTAS						
Produto	Resistência Mecânica	Granulomet. (5 a 12,5 mm)	Ferro Total	Grau de metalização	Zn Pelota Seca	Zn Pelota Queim.
Mistura 1	30 a 90 kgf	95%	55%	55%	0,35%	0,18%
Mistura 2	30 a 90 kgf	90%	48%	60%	0,82%	0,38%
Mistura 3	30 a 90 kgf	85%	45%	65%	1,30%	0,77%

### 4.2 Resultados

Apesar dos crescentes percentuais da lama fina de aciaria na composição da pelota, os produtos obtidos não apresentaram variações significativas em suas propriedades físicas.

Quanto ao comportamento químico, verificou-se uma diminuição gradativa do teor total de ferro e um aumento no teor de zinco com o aumento do percentual da lama fina na composição da pelota.

O processo de queima da pelota pelo forno rotativo da planta piloto de pelletização consegue remover até 60 dos teores iniciais do zinco.



**Figura 4** – Saída do forno calcinador (pelota queimada)

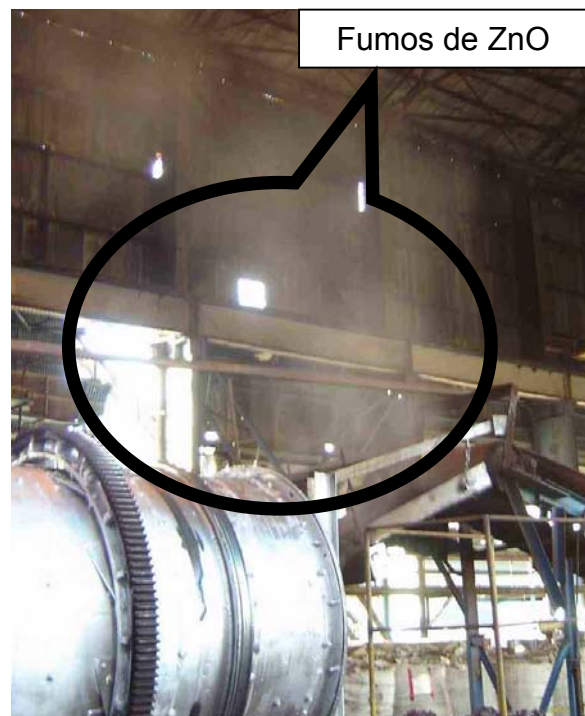
A redução do zinco no processo de queima está diretamente ligado ao tempo de exposição ao calor. Se o tempo de permanência da pelota no interior do forno for aumentado se conseguirá um percentual maior na redução do zinco.

As Figuras 5, 6, 7 e 8 mostram a evolução de fumos de ZnO correspondentes a cada mistura.

O processo se mostrou bastante eficiente também na eliminação dos alcális presente nas matérias primas.



**Figura 5** – Queima de pelota da Mistura 1



**Figura 6** – Queima da Mistura 2



**Figura 7** – Queima da Mistura 3

O processo mostrou-se promissor na utilização de resíduos gerados nos processos siderúrgicos na fabricação de pelotas indicando a possibilidade de montagem de uma planta industrial.

Os testes indicam que um maior tempo de residência no forno rotativo propiciaria uma redução média maior dos teores de zinco e um aumento do grau de metalização da pelota.

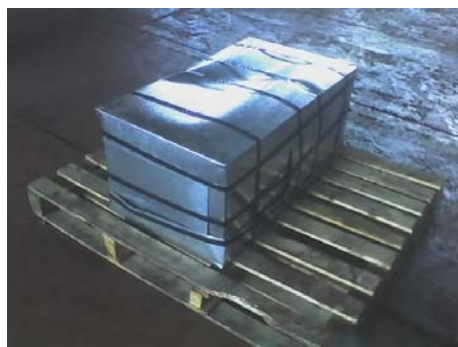
Os resultados obtidos com o produto final habilitam o prosseguimento dos testes para sua utilização na aciaria, como complemento da carga de sucata dos conversores.

As pelotas metalizadas devem ser carregadas no convertedor vazio junto com a sucata, assim durante o vazamento do gusa acontecerá redução dos óxidos contidos na pelota e sua incorporação ao banho.

#### Considerações:

- A velocidade de incorporação de ferro das pelotas é alta quando submetidas a altas temperaturas.
- As pelotas contêm um teor elevado de ferro sendo 50 % em médio na forma metálica.
- A basicidade da escória da pelota é favorável pois está acima de 2, mostrando-se não agressiva ao refratário do convertedor.
- Praticamente não há alteração nos balanços térmicos e de escória no conversor, se adicionado até 2 a 3% da carga.
- Para cada tonelada de pelota auto-redutora substituiríamos 0,59 toneladas de sucata.
- As pelotas podem ser embaladas em caixas para serem colocadas no convertedor.





**Figura 9** – Caixa de armazenagem das pelotas para carregamento no conversor

A metalização observada nas pelotas ocorre por auto-redução devido ao teor de carbono elevado.

Durante o experimento ocorreu a formação de nódulos metálicos, que podem ser explicados pelo colapso da massa de ferro reduzida, segregada a partir dos inertes presentes nas matérias primas na forma de escória. Essa separação ocorreu devido ao movimento de rotação do forno de queima.



**Figura 10** – Nódulos metálicos

## BIBLIOGRAFIA

- 1 Vieira, André Tarcizo de O.; Longo, Elson; Echternacht, João Henrique, Oliveira, José Ricardo, Costa Reis, Walter Luiz – **Produção piloto de pelotas a partir da lama fina de aciaria LD e óxido de ferro sintético, gerado na decapagem ácida da CSN** – XXXVII Seminário de Aciaria ABM. Porto Alegre, Maio de 2006.
- 2 Oliveira, E. R., Martins, J. – **Emprego de Resíduos Siderúrgicos e Pellet Feed Micropelotizados na Sinterização de Minério de Ferro** – R. Esc. Minas, Ouro Preto, 56(4): 249-254, out-dez 2003.
- 3 Noldin Jr, José Henrique; D'Abreu, José Carlos; Martins, Karla de Meo Martins; Rodrigues Filho – **Cinética de Redução de Briquetes Auto-Redutores** – Seminário de Auto-Redução e Aglomeração a Frio do 58º Congresso Anual da ABM. Julho de 2003.
- 4 Nascimento, Ramiro C., et al. – **The Self-Reduction Technology For Recycling of Solid Wastes In An Integrated Steelmaking Plant : A Sustainable Alternative**. – Materials Transactions - vol. 42, no. 12, 2506-2510, 2002.

- 5 Zuo, Guangqing – **Softening and Melting Characteristics of Self-fluxed Pellets with and without the Addition of BOF-slag to the Pellets Bed** – ISIJ International, vol. 40 (2000), No. 12, pp. 1195-1202.
- 6 Takano, Cyro, et al.- **Reciclagem de Resíduos Siderúrgicos Sólidos** – Seminário Nacional sobre Reuso/Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2000
- 7 Landow, M.P., et al – **An Overview of Steel Mill Waste Oxide Recycling by Cold Bonded Roll Briquetting**, Ironmaking Conference, ISS, 1998.
- 8 Roberto G. F. R. Gonzalez; Flávio R. S. De Azevedo; Antônio Vilela; Heinrich W. Gudenau – **Influência da granulometria no perfil radial da mistura de pelotas e carvão utilizado na redução direta em forno rotativo** – XXXVIII Congresso Anual da ABM – São Paulo - 1983
- 9 Norma ISO 4700 – Iron ore pellets – Determination of crushing strength.