

# PRODUÇÃO DE CARGA METÁLICA A PARTIR DE PELOTAS AUTO-REDUTORAS EM MÁQUINA DE SINTER PILOTO<sup>1</sup>

*André Tarcizo de Oliveira Vieira<sup>2</sup>  
Fábio André da Silva Nascimento<sup>3</sup>  
João Henrique Echternacht<sup>4</sup>  
José Ricardo de Oliveira<sup>5</sup>  
Miguel Ângelo Bentes<sup>5</sup>*

## **Resumo**

Os processos desenvolvidos para reciclagem dos resíduos contendo ferro são limitados para o uso em Altos-Fornos pelo percentual de zinco e álcalis, e conseqüente formação de carga inativa no interior desses aparelhos siderúrgicos. Este trabalho descreve o processo desenvolvido de produção de carga metálica com concentrados provenientes da lama do alto-forno ricos em ferro e carbono. A carga metálica pode ser utilizada em fornos elétricos como carga adicional. Para desenvolver o trabalho foi necessário constituir uma formulação adequada dos resíduos, visto que não se iria processar a moagem dos materiais, para formação da pelotas auto-redutora, na pesquisa do diâmetro ideal, do tempo de queima e da vazão de ar para queima das pelotas no forno. A produção foi desenvolvida no forno caixa piloto do laboratório de pesquisa da CSN. Alcançou-se índices de metalização na ordem de 70%. Os resultados da produção piloto demonstram a viabilidade do desenvolvimento em escala industrial do projeto.

**Palavras-chave:** Carga metálica; Lama de alto forno; Pelotização; Resíduos.

## **PRODUCTION OF METALLIC CHARGE FOR PELLETS SELF-REDUCING IN MACHINE OF PILOT SINTER.**

### **Abstracts**

The processes developed for recycling of the residues contend iron they are limited for the use in blast furnace for the percentile of zinc and alkalis, for the risk of formation of inactive load in the interior of those metallurgical apparels. This work describes the development of a metallic charge with coming residues of the blast furnace sludge rich in iron and carbon. The metallic charge can be used in electric (or arc) furnace as additional load. To develop the work it was necessary to constitute an adapted formulation of the residues, because it would not process the milling of the materials, for formation of the pellets self-reducing, in the research of the ideal diameter, of the time of it burns and of the flow of air for it burns of the pellets in the furnace. The production was developed in the furnace pilot box of the laboratory of research of CSN. It was reached metalization indexes in the order of 70%. The results of the pilot production demonstrate the viability of the development in industrial scale of the project.

**Key words:** Metallic charge; Blast furnace sludge; Pelletizing; Recycling.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao XXXVII Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 18 a 21 de setembro de 2007, Salvador - BA, Brasil.*

<sup>2</sup> *Coordenador de Projetos Especiais da CSN*

<sup>3</sup> *Técnico de Desenvolvimento Especialista da CSN*

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

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

## INTRODUÇÃO

Para a sobrevivência das futuras gerações a reciclagem de materiais é essencial para a sustentabilidade do planeta, reduzindo significativamente os impactos ambientais das atividades antrópicas e diminuindo a demanda por recursos naturais. Com o crescimento da atividade de reciclagem abriu-se novas oportunidades no mercado, com reflexos não só econômico-financeiros bastante positivos, como também ambientais e sociais.

Os processos de reciclagem se intensificam devido a percepção da redução do espaço no planeta para armazenar os resíduos gerados pelos processos industriais e pelo descarte pós consumo de bens e produtos e aos indícios cada vez mais evidentes de esgotamento dos recursos naturais.

A importância econômica do setor siderúrgico nacional é grande, principalmente no centro-sul do País. Este setor constitui-se num dos mais importantes setores industriais, gerando riquezas e milhares de empregos. No entanto, a geração de resíduos é grande nesta atividade industrial. Em geral estes resíduos são ricos em óxidos de ferro e compostos por partículas finas. O manuseio de pós finos gera muita partícula em suspensão e perda de material, dificultando sua reutilização diretamente no processo.

O descarte dos resíduos no meio ambiente é uma prática que deve ser abandonada. Assim, é necessário o emprego de tecnologias limpas que permitam o seu reaproveitamento ou reciclagem de maneira econômica e ecológica.

O setor siderúrgico vem, há alguns anos, adotando uma política de gestão de resíduos, que consiste na transformação destes em co-produtos reutilizados no próprio setor ou comercializados como insumos para utilização em outras atividades.

A adequada gestão do volume de resíduos representa um equilíbrio entre o aumento da eficiência dos processos, que reduz a geração de resíduos, e a melhor destinação dos resíduos gerados, que prioriza a recuperação, reutilização ou reciclagem dos materiais. São práticas que propiciam simultaneamente a redução de custos e a minimização dos impactos ambientais.

Em 2006, a geração média de resíduos (pós, lamas e agregados siderúrgicos) pelo setor foi equivalente a 420kg por tonelada de aço produzido, dos quais a escória representa 78%.

**Tabela 1 – Geração de resíduos no setor siderúrgico**

		Pós	Lamas	Agregados Siderúrgicos
Geração Total de resíduos (t)	2004	1.063.046	1.034.949	8.803.259
	2005	1.600.627	1.440.164	9.613.041
	2006	1.501.103	1.375.343	10.114.273
Quantidade anual de resíduos comercializados para outro setor (t)	2004	147.809	503.251	7.413.408
	2005	282.404	572.877	8.420.036
	2006	230.871	626.981	9.135.602
Quantidade anual de resíduos reutilizados no próprio setor (t)	2004	825.620	127.929	659.544
	2005	1.166.663	288.786	525.460
	2006	1.098.834	203.943	1.490.369
Quantidade anual de resíduos disponibilizados em aterro	2004	89.617	403.769	-
	2005	151.560	578.501	-
	2006	171.398	544.419	-

Durante o ano de 2006, algumas empresas do setor foram autuadas com multas que totalizaram R\$ 1,1 milhão relativas a não conformidades com leis e regulamentos ambientais, além de 13 sanções não monetárias. A maior parte das irregularidades esteve relacionada a ocorrências nos sistemas de tratamento e controle de efluentes e resíduos.

A partir da análise deste panorama a CSN desenvolveu um processo de aglomeração que gera uma pelota com características auto-redutoras constituída por 100% de resíduos. Estas pelotas podem ser adicionadas em um reator gerando gusa adicional ao processo.

O presente trabalho é voltado fundamentalmente para o desenvolvimento de uma alternativa para a utilização dos pós e lamas que são disponibilizados em aterros.

Este trabalho mostra que é possível produzir uma carga metálica a partir de uma pelota auto-redutora queimada num forno de sinterização em escala laboratorial.

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 um aglomerado rico em ferro com teores metálicos acima de 70% 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 piloto de sinter do laboratório; e análise dos resultados.

## 2 MATERIAIS E METODOS

### 2.1 Caracterização dos Materiais

Matérias primas possíveis para utilização na produção de aglomerados:

**Tabela 2** – Características da matérias primas

Resíduos	Geração t/mês	SiO <sub>2</sub>	AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fet	FeO	Fe met	C	Zn	Umidade
PÓ SISTEMA 7 ACIARIA	150	1,11	0,32	3,74	0,44		62,39					1,0%
LAMA FINA ACIARIA	8.000	1,76	0,11	9,09	2,67	70,90	61,49		10,62	0,20	0,80	45,0%
PÓ SISTEMA 6 ACIARIA	30	8,58	30,00	10,40	8,36		7,26					1,0%
PÓ DE BH ACIARIA	310	2,30	0,50	12,70	1,60	75,00	52,50			0,20	0,30	1,0%
LAMA ETE LTQ2	1.200	1,10	0,90	0,10	0,20	85,70	60,00			9,00	0,05	55,0%
PÓ SALA CORRIDA	360	2,90	3,50		1,10	89,40	62,60				0,07	0,5%
LAMA ETEQ	4.200	4,76	0,74	9,36	1,41	43,90	35,00	5,52	0,00	5,00	0,08	50,0%
CAREPA	11.000	0,39	0,13	0,23	0,02	32,40	73,80	65,70	0,27	0,70	0,06	5,0%
PÓ DE COLETOR	4.000	8,30	1,61	11,80	0,82	26,80	29,32	13,50	0,14	23,00		8,0%
PÓ DE CAL	120			95,00								0,5%
PÓ DE PRECIP.PRIMÁRIO	1.200	8,00	2,00	11,00	1,50	58,00	43,00	3,00	0,01	3,00		1,0%
PÓ VARREÇÃO S. HOUSE	900											0,5%
LAMA DE ALTO DE FORNO	7.143	12,00	3,50	18,70	3,50	43,80	46,86	12,00	7,80		0,11	30,0%
URA PR CSN	150					98,00						1,0%

## 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.

Equipamentos pertencentes a planta piloto:

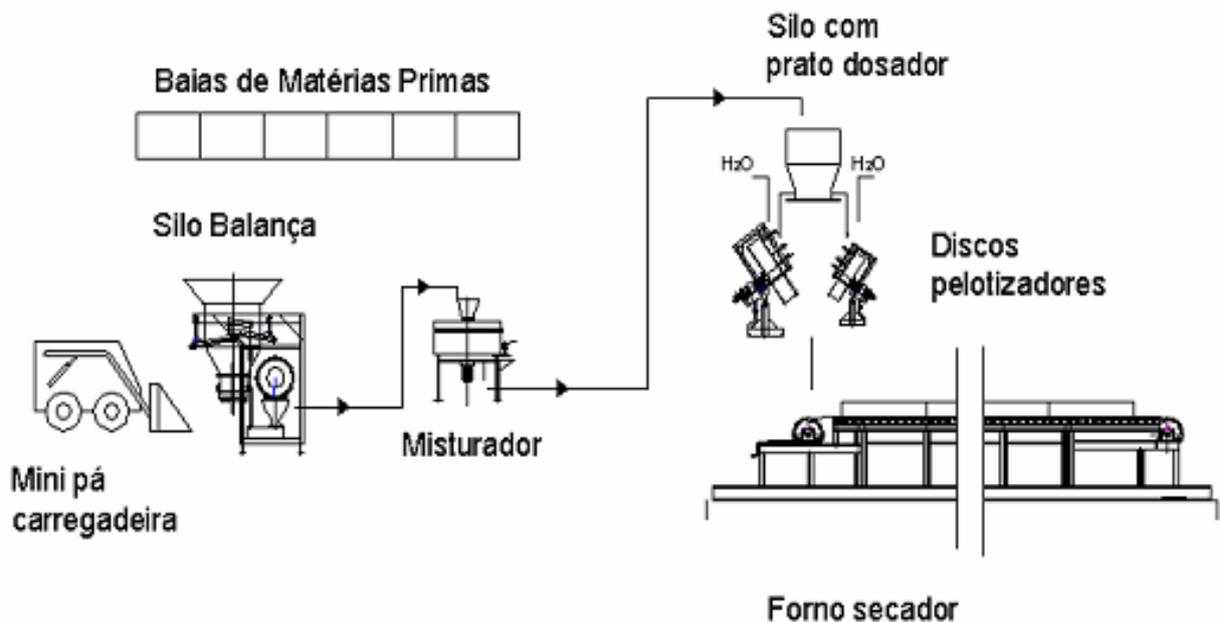
- Silo balança para capacidade de até 600 kg e balança eletrônica, para até 50 kg.
- Misturador simples de pás (equipamento reaproveitado)
- Silo dosador (equipamento reaproveitado da antiga Fundição CSN)
- Prato Pelotizador de 3m de diâmetro (fabricado na CSN)
- Forno secador (desenvolvido e fabricado 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 pelletização 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.

## 2.3 Produção das Pelotas

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



**Figura 1** – Fluxo de produção



**Figura 2** – Prato pelletizador produzindo pelotas

### 3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Em experimentos prévios procurou-se queimar a pelota auto-redutora no forno rotativo (Figura 3) da planta de pelletização onde se conseguiu metalizações na ordem de 50% (Figura 4).



**Figura 3** – Saída do forno calcinador (pelota queimada)



**Figura 4** – Pelotas metalizadas produzida na planta de pelletização

Foram produzidas pelotas auto-redutoras a partir de misturas que proporcionaram uma pelota resistente o suficiente para o manuseio e transporte para o forno piloto de sinter do laboratório.

A mistura utilizada apresenta a seguinte composição.

**Tabela 3** – Formulação testada

<b>Matéria prima</b>	<b>Proporção</b>
URA Paraná	20 %
Concentrado de Ferro	50 %
Concentrado de Carbono	25 %
Cal recuperado em despoeiramento	5 %

Para a produção das pelotas foram adotados os parâmetros descritos na Tabela 4.

**Tabela 4** – Parâmetros de produção

<i>Parâmetros de Produção</i>							
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



**Figura 5** – Pelotas secas produzida na planta de pelotização

Após produção, as pelotas foram caracterizadas, obtendo-se os seguintes valores típicos.

**Tabela 5** – Características das Pelotas

Características das PELOTAS						
Produto	Resistência Mecânica	Granulomet. (5 a 12,5 mm)	Ferro total	SiO <sub>2</sub>	CaO	C
Pelota	15 a 30 kgf	85%	50,5%	2,5%	4,5%	20

Os ensaios de compressão foram realizados de acordo com a norma ISO 4700.



**Figura 6** – Máquina para ensaio de compressão

Após a produção das pelotas auto-redutoras, estas foram encaminhadas para a planta piloto de sinterização para queima.

Como o forno da planta piloto de sinterização foi projetado para queima de sínter o qual apresenta menos combustível para queima. Foi tomada a decisão de se aumentar a espessura do bedding a fim de se proteger o equipamento, conforme Figuras 7 e 8.



**Figura 7** – Estudo da preparação das pelotas auto redutoras no forno piloto de sínter



**Figura 8** – Forno piloto de sínter do laboratório e a preparação do material para queima

Foi realizado um segundo teste de queima no forno da planta piloto de sinterização com o propósito de se substituir o badding lateral por uma camada de manta de fibra cerâmica (Figura 9).



**Figura 9** – Diminuição do bedding lateral

Durante a queima foram observados os seguintes parâmetros operacionais na máquina de sinter piloto (Figura 10):

- Massa de Pelota 12.490 g
- Temperatura de Ignição 500° C
- Tempo de Ignição 120 s
- Tempo de pós-ignição 5s
- Tempo de queima: 4'50" (o tempo de queima é obtido até a temperatura de exaustão atingir o seu valor máximo)
- Temperatura máxima de exaustão: 361° C
- Durante a queima ocorreu emissão de fumaça.
- Vazão do ar 8,3 Nm<sup>3</sup>/min.
- 



**Figura 10** – Máquina de sinter Piloto

Foi avaliado também a opacidade dos gases emitidos pela chaminé conforme Figura 11.



**Figura 11** – Chaminé da máquina de sinter Piloto

#### **4 ANÁLISES E RESULTADOS**

Após a queima do material foram realizadas análises químicas para se determinar o grau de metalização (Figura 12).



**Figura 12** – Foto do material metalizado

A Tabela 6 descreve as características químicas do aglomerado:

**Tabela 6** – Característica do aglomerado metálico

Característica do aglomerado						
Produto	Ferro Metálico	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	SiO <sub>2</sub>	CaO	C
Aglomerado Metálico	58,4	12,8	16,2	3,1%	5,6%	0,5%

## 5 RESULTADOS

O material devido as características granulométricas e magnéticas pode ser manuseado, acondicionado ou a granel.

A Figura 13 demonstra como o material pode ser acondicionado.



**Figura 13** – Material içado por eletroímã industrial

O processo desenvolvido demonstrou a viabilidade da utilização de resíduos siderúrgicos contendo óxido de ferro para a produção de aglomerado metalizado, o qual pode substituir parte da sucata adquirida de terceiros, para abastecimento dos convertedores LD da CSN.

O processo se mostrou bastante eficiente também na eliminação do zinco presente nas matérias primas.

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

O aglomerado metálico deve ser carregado no convertedor vazio junto com a sucata, assim durante o vazamento do gusa acontecerá a incorporação ao gusa e a redução dos óxidos restantes presentes.

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.

A partir dos resultados obtidos, foi depositado, junto ao INPI, o privilégio de patente do processo desenvolvido.

## **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.
- 10 BENTES, M.A.G., ECHTERNACHT, J.H, OLIVEIRA, J.R, VIEIRA, A.T.O. – Desenvolvimento de aglomerado metálico a partir de pelotas auto-redutoras composta de resíduos siderúrgicos – Relatório interno do Centro de Pesquisas da CSN, 2006