

# RECICLAGEM DE RESÍDUOS SIDERÚRGICOS CONTAMINADOS COM ÓLEOS DIVERSOS NO PROCESSO DE PELOTAS CSN <sup>1</sup>

*André Tarcizo de Oliveira Vieira*<sup>2</sup>

*Carlos Renato Gomes*<sup>3</sup>

*João Henrique Echternacht*<sup>4</sup>

*José Ricardo de Oliveira*<sup>5</sup>

*Fábio André da Silva Nascimento*<sup>6</sup>

*Renata Aparecida da Cunha Pereira*<sup>7</sup>

*Walter Luiz da Costa Reis*<sup>8</sup>

## Resumo

As leis ambientais cada vez mais restritivas, o advento do desenvolvimento sustentável e a atratividade econômica da reciclagem fazem com que cada vez mais as empresas invistam em projetos de recuperação de materiais. Na siderurgia, a maior demanda de carga metálica vem estimulando o desenvolvimento de uma nova tecnologia de aproveitamento de resíduos. Recentemente na CSN – Companhia Siderúrgica Nacional - foi desenvolvido um processo de produção de pelotas de resíduos com aplicação em alto forno e aciaria. Nesse estudo, foram realizados testes com aplicação de resíduos oleosos, que são resíduos de difícil reciclagem interna na siderurgia. Com o propósito de avaliar os resultados da produção de pelotas, foram caracterizadas as matérias primas e as pelotas produzidas. Os resultados preliminares da produção industrial confirmaram os impactos positivos da utilização de resíduos no processo siderúrgico.

**Palavras-chave:** Reciclagem; Resíduos siderúrgicos; Pelotização; Resíduos oleosos.

## RECICLING OF CONTAMINATED METALLURGICAL RESIDUES WITH SEVERAL OILS ON THE PROCESS OF PELLETS OF CSN

### Abstract

The environmental laws more and more restrictive, the coming of the maintainable development and the economic attractiveness of the recycling do with that more and more the companies invest in projects of recovery of materials. In the metallurgy, the largest demand of metallic load comes stimulating the development of a new technology of use of residues. Recently in CSN – Companhia Siderúrgica Nacional - a process of production of pellets of residues was developed with application at blast furnace and steel mill. In that study, tests were accomplished with application of oleaginous residues, that are residues of difficult recycling it interns in the metallurgy. With the purpose of evaluating the results of the production of pellets, the matters cousins and the produced pellets were characterized.

The results preliminaries of the industrial production confirmed the positive impacts of the use of residues in the metallurgical process.

**Key words:** Recycling; Metallurgical residues; Pellet plant; Oleaginous residues.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

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

<sup>3</sup> *Técnico de Desenvolvimento*

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

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

<sup>6</sup> *Técnico de Desenvolvimento*

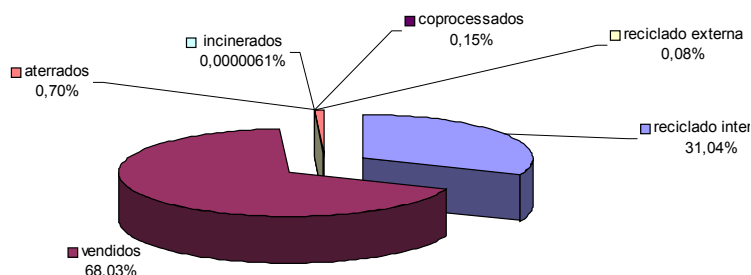
<sup>7</sup> *MSc – Analista Ambiental*

<sup>8</sup> *MSc – Gerente Geral de Laminados*

## 1 INTRODUÇÃO

As siderúrgicas integradas geram diversos tipos de resíduos sólidos em grande quantidade. Entre estes resíduos temos os recicláveis contendo ferro, os finos de coque e as escórias. Entre os recicláveis contendo ferro estão: as poeiras e lamas de alto-forno e aciaria; as carepas de lingotamento contínuo, de escarragem e de laminação; o óxido de ferro sintético, gerado na decapagem ácida; a Lama de retifica dos cilindros de laminação, dentre outros.

**Distribuição dos resíduos na Usina presidente Vargas - UPV**



**Figura 1** – Gráfico da distribuição dos resíduos gerados na CSN em 2005

### 1.1 Resíduos Sólidos e a Reciclagem no Processo Siderúrgico

A atratividade econômica da política dos 3 R's – Redução, Reciclagem e Reutilização e o respeito às leis ambientais cada vez mais restritivas, tornam o estudo da recuperação de resíduos no processo siderúrgico uma prática freqüente adotada pelas empresas.

Resíduos são materiais decorrentes de atividades antrópicas, gerados como sobras de processos ou aqueles que não possam ser utilizados com a finalidade para as quais foram originalmente produzidos.

Especificamente na siderurgia, esses resíduos são as escórias, lamas, pós de sistemas de despoejamento e carepas.

Otimizados os processos na siderurgia e considerando a possibilidade de se aproveitar a carga metálica de resíduos para aplicação como matéria prima no próprio processo, a *reciclagem* torna-se um processo fundamental importância no desenvolvimento tecnológico de novos processos.

Os resíduos oleosos, são foco desse estudo, são considerados resíduos classe I, segundo a norma NBR 10.004 de classificação de resíduos. Significa dizer que esses materiais apresentam algum tipo de periculosidade para o meio ambiente e possuem uma série de restrições em relação ao seu acondicionamento, estocagem, transporte e destinação final. Dentre os resíduos oleosos, os de interesse na reciclagem no próprio processo são as carepas contaminadas dos laminadores, os finos de ferro, as lamas de retífica e dentre outros resíduos que podem ser utilizados como fonte de ferro com geração menos expressiva. São gerados principalmente nos processos de laminação de tiras a frio e a quente e no processo de retífica de cilindros.

Além disso, são considerados produtos perigosos segundo ANTT 420 de transporte terrestre de produtos perigosos e seu acondicionamento e transporte são especializados, o que onera todo o processo desde a geração até a destinação final do material.

Atualmente na CSN são dadas destinações para esse tipo de resíduo que são processos ambientalmente corretos, tais como o aterro industrial e o co-processamento, mas que não reaproveitam a carga metálica contida no material. Naqueles processos, o resíduo é aterrado em aterros especiais ou são diluídos na composição do cimento no forno de clínquer a altas temperaturas.

Em se tratando de uma siderurgia, onde existem recursos que poderiam ser utilizados para a reciclagem de resíduos metálicos, ainda assim esse processo é difícil por causa do tipo de contaminação existente. A reciclagem nos processos convencionais da siderurgia exigiriam investimentos em equipamentos de controle de poluição mais eficientes, o que poderia inviabilizar o processo de aproveitamento interno dos mesmos na empresa.

Na sinterização, por exemplo, a presença de compostos orgânicos oleosos no resíduo formam subprodutos na combustão incompleta que danificam o precipitador eletrostático, que é o equipamento de controle de poluição atmosférica nesse processo. No alto forno e na aciaria, tanto a granulometria dos resíduos quanto a presença do contaminante seriam os fatores limitantes para a reciclagem nesse processo. Para serem reciclados, os resíduos contaminados.

Recentemente foi desenvolvido e patenteado um processo na CSN que permitiu a reciclagem desses resíduos no processo siderúrgico, sem a necessidade de maiores investimentos. O processo de produção de pelotas a partir de resíduos CSN permitiu também o estudo de incorporação dos resíduos oleosos gerados na usina e sua aplicação como matéria-prima no processo, permitindo a recuperação metálica contida e agregando valor aos materiais.

## **2 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO**

O trabalho foi desenvolvido abordando a seguinte metodologia:

- Caracterização das matérias primas;
- Desenvolvimento dos equipamentos para pelletização;
- Desenvolvimento dos processos de pelletização.

### **2.1 Caracterização das Matérias Primas**

As matérias primas que foram utilizadas na produção de pelotas;

- Óxido de ferro sintético (URA)
- Concentrado de Ferro da Lama do Alto Forno
- Concentrado de Carbono da Lama do Alto Forno
- Pó de Precipitador
- Carepa
- Lama Fina de Aciaria
- Cal recuperado em despoeiramento

Como resíduos oleosos, foram utilizados os seguintes materiais:

- Carepa de laminação a quente
- Lama de retífica de cilindros
- Finos de ferro da laminação a frio

As características físicas das matérias primas estão descritas na Tabela 1.

**Tabela 1 – Características da matérias primas**

Matéria Prima utilizado na produção da pelota	Ferro Total	Umidade	Granulometria
	%	%	Mesh
Óxido de Ferro Sintético (URA)	74,5	1 a 5	100% < #325
Concentrado de Ferro da Lama de Alto-Forno	55	1 a 5	40 % < # 200
Concentrado de Carbono da Lama de Alto-Forno	7	1 a 5	40% < # 200
Cal recuperado em despoeiramento	-	1 a 5	80% < # 150
Matéria Prima utilizado na produção da pelota	Ferro Total	Teor de óleo	Granulometria
	%	%	Mesh
Carepa contaminada da laminação	50	5	-
Lama de retifica dos cilindros	15	10	80% < # 150
Finos de ferro da laminação a frio	65	10	100% < #325

A seguir podemos verificar as condições da armazenagem intermediária , enquanto se aguardava a retirada do materiais oleosos .



**Figura 2 – Local de armazenagem temporária de resíduos contendo óleo**



**Figura 3 – Pilha de lama de retifica**



**Figura 4 – Detalhe da lama de retifica**

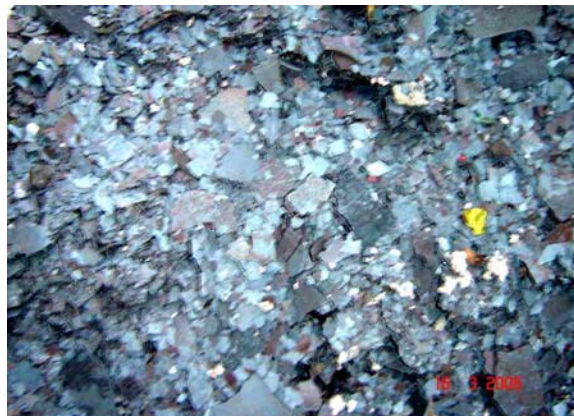
A partir das características dos materiais encontrados foi feita a análise na fonte geradora dos resíduos.



Dentre eles temos o efluente gerado do processo de retifica de cilindro de laminação da CSN . Essa solução é tratada visando o reaproveitamento do óleo solúvel , e no processo é gerada a lama de retifica.



**Figura 5 – Carepa contaminada do LQT2**



**Figura 6 – Detalhe da carepa do LQT2**



**Figura 7 – Separador magnético**



**Figura 8 – Caçamba com lama após o separador magnético**

Deve ser levado em consideração também a natureza específica dos tipo cilindro que são retificados, pois a composição poderia influenciar na aplicação final do resíduo metálico gerado.

**Tabela 2 – Composição química dos cilindros**

Laminador	Prefixo	Tipo	Material	Qtde.	Composição Química							
					% C	% Mn	% Si	% P	% S	% Cr	% Ni	% Mo
LA-2	26	Trabalho	Ferro Fundido	Min.	3,0000	0,7000	0,5500	0,0000	0,0000	1,5000	4,2000	0,3000
				Max.	3,6000	1,3000	1,1500	0,1000	0,0300	2,1000	4,8000	0,7000
LA-5	27	Trabalho	Ferro Fundido	Min.	3,0000	0,7000	0,5500	0,0000	0,0000	1,5000	4,2000	0,3000
				Max.	3,6000	1,3000	1,1500	0,1000	0,0300	2,1000	4,8000	0,7000
LA-3 LA-4	28	Trabalho	Ferro Fundido	Min.	3,0000	0,9000	0,7500	0,0000	0,0000	1,4500	4,5000	0,2500
				Max.	3,5000	1,4000	1,2000	0,1200	0,0700	2,0500	5,0000	0,7500
LTF-3	42	Trabalho	Aço Forjado	Min.	0,8600	0,5000	0,2000	0,0000	0,0000	4,3000	0,0000	0,1100
				Max.	0,9000	0,8000	0,3300	0,0300	0,0300	4,7000	0,3500	0,3900
LTF-3	44	Encosto	Aço Forjado	Min.	0,4000	0,5300	0,1000	0,0000	0,0000	4,5000	0,1000	1,0000
				Max.	0,5000	0,8800	0,4000	0,0150	0,0150	5,2000	0,4000	1,5000
LE-5	54	Trabalho	Aço Forjado	Min.	0,7600	0,5000	0,1000	0,0000	0,0000	4,3000	0,0000	0,1100
				Max.	1,0500	0,8000	0,4500	0,0250	0,0250	4,7000	0,3500	0,3900
LE-5	55	Encosto	Ferro Fundido	Min.	3,0000	0,4500	0,6500	0,0000	0,0000	1,4000	4,1000	0,2500
				Max.	3,6000	1,0500	1,2500	0,1000	0,0300	2,0000	4,7000	0,6500
LE-6	56	Trabalho	Aço Forjado	Min.	0,7600	0,5000	0,1000	0,0000	0,0000	4,3000	0,0000	0,1100
				Max.	1,0500	0,8000	0,4500	0,0250	0,0250	4,7000	0,3500	0,3900
LE-6	57	Encosto	Ferro Fundido	Min.	3,2700	0,9100	0,8500	0,0560	0,0080	1,6400	4,3200	0,4600
				Max.								
LE-7	63	Trabalho	Aço Forjado	Min.	0,8600	0,5000	0,2000	0,0000	0,0000	4,3000	0,0000	0,1100
				Max.	0,9000	0,8000	0,3300	0,0300	0,0300	4,7000	0,3500	0,3900
LE-7	64	Encosto	Aço Forjado	Min.	0,7100	0,1000	0,1000	0,0000	0,0000	3,3000	0,0000	0,2300
				Max.	0,9400	0,4000	0,4500	0,0200	0,0150	3,7000	0,2500	0,5300
LA-3 LA-4	89	Trabalho	Ferro Fundido Alto Cromo	Min.	2,5000	0,8000	0,5500			14,5000	0,8000	1,2000
				Max.	3,0000	1,2000	0,8000			16,5000	1,2000	1,8000
LA-2	97	Trabalho	Ferro Fundido Alto Cromo	Min.	2,4000	0,5000	0,5500			15,0000	0,5000	1,2000
				Max.	2,9000	0,7500	0,8000			18,0000	0,7500	1,8000
LA-5	98	Trabalho	Ferro Fundido Alto Cromo	Min.	2,8000	0,1000	0,4000			17,0000	1,2000	1,2000
				Max.	3,2000	1,3000	0,7000			20,0000	1,6000	1,8000

## 2.2 Desenvolvimento dos Equipamentos

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 até 600 kg e balança eletrônica, para até 50 kg.
- Misturador simples de pás (equipamento reaproveitado)
- Silo dosador (equipamento reaproveitado da antiga Fundação 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 Desenvolvimento do Processo de Produção

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.

### 2.3.1 Processo de produção de pelota calcinada

A produção ocorre conforme descrito no fluxo de produção descrito.

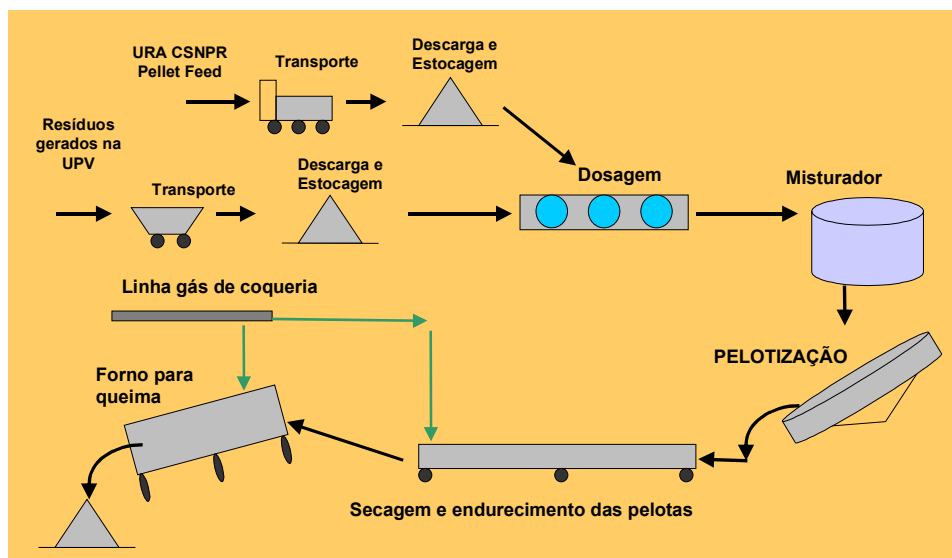


Figura 9 – Fluxo de produção

Utilizando a composição da pelota já desenvolvida na CSN, foi adicionado 5% de resíduo oleoso. Esse teste preliminar também foi feito utilizando-se 10% de adição. Em função da emissão significativa de fumos, adotou-se a quantidade adicionada de 5% para a continuidade do estudo.

**Tabela 3 – Composição da Pelota**

Composição da pelota	Quantidade	
	%	Kg
Óxido de Ferro Sintético (URA)	55	110
Cal recuperado em despoejamento	8	16
Concentrado de Ferro da Lama de Alto-Forno	27	10
Concentrado de Carbono da Lama de Alto-Forno	5	54
Resíduo oleoso contaminado	5	10

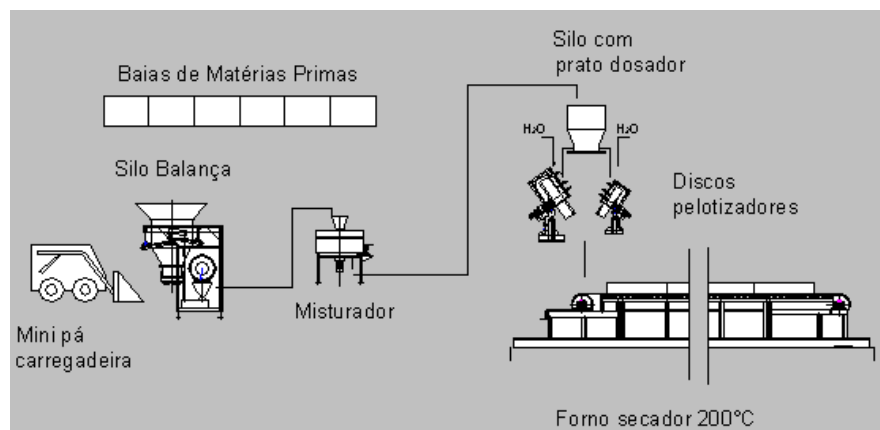
As pelotas obtidas são submetidas aos ensaios de caracterização descritos abaixo.

- Determinação de umidade.
- Distribuição granulométrica.
- Resistência à compressão da pelota calcinada (ISO 4700)

A diferença entre a composição da pelota auto-redutora e da pelota desidratada é a variação da quantidade de concentrado de carbono

### 2.3.2 Processo de produção de pelota desidratada

A produção ocorre conforme descrito no diagrama de produção.



**Figura 10 – Diagrama de produção**

As pelotas obtidas são submetidas aos seguintes ensaios de caracterização:

- Determinação de umidade.
- Resistência à compressão da pelota (ISO 4700)

## 3 Resultados

### 3.1 Pelotas Calcinadas

A seguir, a tabela com as características das pelotas após a calcinação.

**Tabela 4 – Características das Pelotas Calcinadas**

Produto	Resistência Mecânica	Umidade %	Granulometria (5 a 12,5 mm)	Ferro Total
Pelota Verde	6 a 8 kgf	8,60	95 %	56,06%
Pelota Queimada	60 a 130 kgf	0	85 %	65,1%

Considerando os dados da tabela verifica-se que o processo é altamente promissor na utilização de resíduos gerados nos processos siderúrgicos dando subsídios para a concepção básica de uma planta industrial. Os teores crescentes de carbono contido na pelota nos testes industriais indicaram um grau de metalização da carga. As características do produto permite a utilização na aciaria, como complemento da carga de sucata dos conversores ou como carga ferrífera para os altos-fornos, conforme testes já realizados.



**Figura 11 –** A foto da esquerda indica pelotas verdes e a foto da direita indica pelotas queimadas.



**Figura 12 -** Pelotas calcinadas

A planta tem uma capacidade de produzir 400 t/mês de pelotas calcinadas com as características descritas na tabela 4.

### **3.2 Pelotas Auto-redutoras (Desidratadas)**

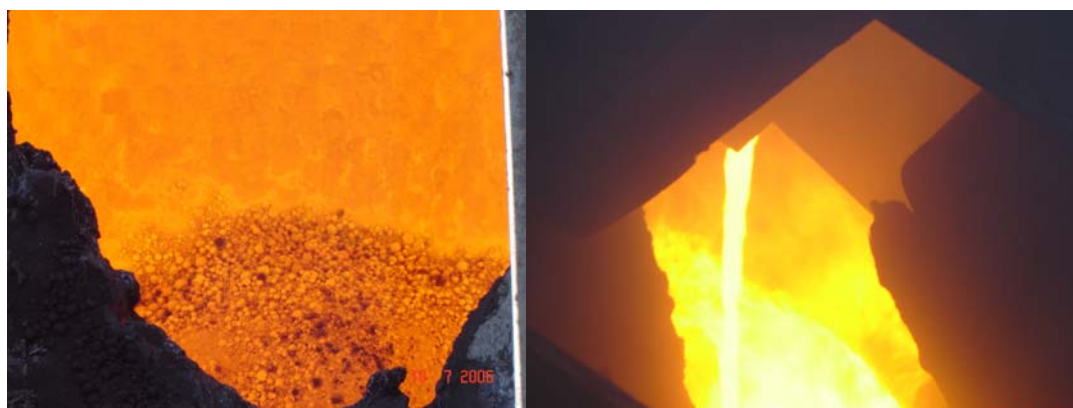
A seguir, a tabela com as características das pelotas desidratadas.



**Tabela 5** – Características das Pelotas desidratadas

Produto	Resistência Mecânica	Umidade %	Ferro Total	Carbono Fixo
Pelota Verde	6 a 8 kgf	9,80	48,82%	26%
Pelota Queimada	20 a 30 kgf	1	52,05%	30%

O dados da tabela acima demonstram que a pelota auto-redutora já possui os componentes para promover a redução do óxido de ferro em ferro metálico, podendo ser aplicada diretamente na aciaria ou no alto forno. Testes de adição das pelotas auto-redutoras no banho do gusa mostraram que a fusão/redução é imediata devido a alta velocidade de recuperação de ferro das pelotas quando submetidas a altas temperaturas.



**Figura 13** – Produção de gusa a partir da pelota auto-redutora.

A planta tem uma capacidade de produzir 1000 t/mês de pelotas auto-redutoras com as características descritas na Tabela 5.

Foram realizados testes com aplicação das pelotas auto-redutoras diretamente em banho de gusa, outro processo patenteado pela CSN, que indicaram excelentes rendimentos em termos de reciclagem de resíduos oleosos, sem emissão significativa de fumos.

## 4 CONCLUSÕES

### 4.1 Análise de Viabilidade Econômica

Considerando o cenário :

- Com o uso de 5 % de lama de retifica contaminada com óleo na mistura a pelletizar e com o planta de pelletização funcionando no ritmo produção de 1000 t /mes .
- Geração de 55 ton de resíduos sendo processado mensalmente
- Custo de processamento externo de R\$290,00 a tonelada

Cria-se condições para uma economia de R\$ 191.400,00 /ano .Isto sem se considerar a o valor atribuído a pelota gerada) e a possibilidade de se incrementar ainda mais a quantidade de materiais com óleo na mistura para a fabricação de pelota

Além da perspectiva econômica, a implantação do projeto trouxe relevantes **ganhos ambientais**:

- O processo mostrou-se capaz na utilização de resíduos que anteriormente eram comercializados, devido a restrição técnicas na siderurgia.
- O projeto permite minimizar a exploração das reservas naturais de minérios e combustíveis fósseis no processo siderúrgico, através da utilização mais eficiente do conteúdo de ferro e carbono presentes nas matérias primas.
- O reaproveitamento de componentes e peças, para o desenvolvimento da planta piloto, além de um desafio vencido pela engenharia, possibilitou uma redução expressiva nos custos da instalação.
- Com a incorporação dos resíduos na pelota, além de se extinguir os custos com a destinação do resíduo, o processo de reciclagem também contribui com a imagem ambiental da empresa.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 Costa Reis, Walter Luiz; Vieira, André Tarcizo de O.; Echternacht, João Henrique; Oliveira, José Ricardo; Longo, Elson – **Estudo da influência das Diferenças de temperatura na variação da resistência mecânica de pelotas de resíduos queimadas e forno rotativo aberto** – XXXVI Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas, ABM. Ouro Preto, Setembro de 2006.
- 2 Costa Reis, Walter Luiz; Vieira, André Tarcizo de O.; Echternacht, João Henrique; Oliveira, José Ricardo; Longo, Elson – **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.
- 3 Assad, Marta M. Nogueira – **Sustentabilidade: um estudo sobre a responsabilidade social do gerenciamento de resíduos sólidos industriais no Médio Vale do Paraíba** – Tese de mestrado, Taubaté, 2003
- 4 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.
- 5 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.
- 6 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.
- 7 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.
- 8 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
- 9 Landow, M.P., et al – **An Overview of Steel Mill Waste Oxide Recycling by Cold Bonded Roll Briquetting**, Ironmaking Conference, ISS, 1998.
- 10 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
- 11 Norma ISO 4700 – Iron ore pellets – Determination of crushing strength.
- 12 Norma ABNT 10.004 – Classificação de Resíduo