



UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SIDERÚRGICOS ATRAVÉS DE PELOTIZAÇÃO¹

Felipe Fardin Grillo²
Jorge Alberto Soares Tenório³
Ramiro Conceição do Nascimento Junior⁴
Felipe Costa Broseghini⁵
José Roberto de Oliveira⁶

Resumo

Este estudo aborda a viabilidade técnica do reaproveitamento da lama fina de aciaria e do pó de forno elétrico no processo de incorporação do ferro contido nesses resíduos ao ferro-gusa, mediante a adição destes na forma de pelotas auto-redutoras no banho líquido. Para isso, foi usado um disco pelletizador, um homogenizador e um forno de fusão. Com o propósito de avaliar a viabilidade da produção das pelotas, os resíduos foram caracterizados física e quimicamente e logo após foram definidas misturas em diferentes proporções com os resíduos. Depois de realizada a pelletização, foi avaliada a quantidade de ferro metálico incorporado ao gusa líquido pela adição das pelotas ao banho. Os resultados indicam que a adição de pelotas auto-redutoras no carro-torpedo é um processo viável para o reaproveitamento dos resíduos.

Palavras-chave: Lama fina de aciaria LD; Pó de FEA; Resíduos; Pelotização.

UTILIZATION OF STEELMEKING WASTE BY PELLETIZING

Abstract

This paper reports the technical feasibility of the reuse of fine sludge from BOF converter and electric arc furnace dust in the process of iron incorporation contained in these wastes by the pig-iron through the addition of these wastes in the form of self-reducing pellets in liquid bath. For this purpose, we used a disk of pelletizing, a homogenizer and a furnace. In order to evaluate the feasibility of pellets production, the wastes were characterized physically and chemically and were defined different proportions of the wastes. After the pellets were prepared, it was measured the amount of metallic iron incorporated by the pig-iron after addition to the bath. The results indicate that the addition of self-reducing pellets in the torpedo car is a viable process for recycling the above mentioned wastes.

Keywords: Residuals steelmaking; Electric arc furnace dust; Pelletizing.

¹ Contribuição técnica ao 41º Seminário de Aciaria – Internacional, 23 a 26 de maio de 2010, Resende, RJ, Brasil.

² Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais do IFES, Vitória, ES

³ Professor Doutor e titular do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais – USP.

⁴ Professor Doutor e titular do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais – IFES.

⁵ Graduando em de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - IFES.

⁶ Professor Doutor e Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais –PROPEMM – IFES.



1 INTRODUÇÃO

Independente do tipo de forno ou do processo utilizado, fabricar aço é uma operação que impacta o meio ambiente em função de emissão de uma grande quantidade de poeira.⁽¹⁾

O aumento da produção industrial traz consigo um grave problema, que está na disposição final dos resíduos gerados. No entanto, muitos dos resíduos gerados atualmente na produção siderúrgica ainda são de difícil, às vezes impossível, reutilização pelos processos existentes. A limitação de reciclagem de tais materiais pelos processos convencionais se dá principalmente por razões econômicas ou de ordem técnica. Este cenário abre enormes oportunidades para as tecnologias de auto-redução.

Como resultado da lavagem dos gases, a partir da implantação dos sistemas de despoeiramento nas aciarias, é obtido pós, oriundos de sistemas de despoeiramento a seco, ou lamas, provenientes de sistemas de despoeiramento a úmido, que possuem elevado teor de ferro. Empresas que não desenvolveram formas de reciclar estes resíduos acabam destinando-os à deposição, criando um sério problema ambiental, visto que sua geração é considerável, chegando a valores da ordem de 36 kg por tonelada de aço produzido.⁽²⁾

Estes resíduos contêm em sua composição elementos que podem ser utilizados na fabricação de ferro-gusa e aço (principalmente ferro na forma de óxidos ou metálico e carbono, pois fazem parte da carga normal destes processos. Porém, estes resíduos possuem o inconveniente de possuírem uma granulometria muito pequena (mais que 80% abaixo de 0,150 mm)^(3,4) o que dificulta o seu manuseio e carregamento no processo. Por outro lado, uma solução atrativa para o aproveitamento de resíduos na forma de pó e lamas, na própria indústria siderúrgica, é a aglomeração, através da pelletização, o que pode otimizar sua utilização.

A Tabela 1 apresenta uma relação dos principais resíduos siderúrgicos, com suas respectivas utilizações e porcentagem de ferro.⁽⁵⁾

Tabela 1. Relação dos principais resíduos siderúrgicos⁽⁵⁾

Resíduo	Destino	Observação	%massa
Pó Coletor de Alto Forno	Sinterização	Presença de zinco	41% Fe e 26% C
Pó de sinterização	Sinterização	Piora na Permeabilidade da mistura a sinterizar	45% Fe
Fino de coque (moinha)	Sinterização	Presença de álcalis	70% C
Lama Grossa de Aciaria LD	Aciaria – concentrado de ferro em substituição a sucata	Aumento na geração de finos	87% Fe onde 85% metal
Lama Fina de Aciaria LD	Disponibilizado em aterro para venda	Presença de zinco	60% Fe onde 10% metal
Carepa	Sinterização	Perda na redutibilidade	70% Fe
Pó de Forno Elétrico	Disponibilizado em aterro	Presença de Zinco	58% Fe ₂ O ₃ e 15% ZnO

Ainda que a utilização dos resíduos siderúrgicos contendo ferro, via sinterização, seja um caminho natural na siderurgia, estes resíduos possuem uma granulometria muito reduzida o que diminui a permeabilidade do leito de da carga, e com isso alterando a produtividade da máquina.⁽⁵⁾ Então, uma outra alternativa da utilização



desses resíduos seria a aglomeração na forma de pelotas, como proposto neste trabalho.

Reis et al.⁽⁵⁾ estudaram a pelletização de resíduos siderúrgicos e adicionaram no carro torpedo antes do vazamento do ferro-gusa. Para a produção das pelotas foi utilizada a planta piloto de pelletização que é composta por equipamentos desenvolvidos e construídos na CSN. As etapas para fabricação das pelotas foram: preparação da mistura, pelletização e secagem.

Como as pelotas são auto-redutoras, para facilitar a redução dos óxidos em contato com o ferro-gusa líquido, não houve a etapa de queima ou calcinação. Neste caso a ausência desta etapa não compromete a utilização das pelotas, pois a resistência mecânica que estas precisam ter é somente para suportar o manuseio e o carregamento no carro-torpedo.

No pó de forno elétrico utilizado neste trabalho, gerado durante o a etapa de refino primário do aço em forno elétrico a sucata de aço é usada como matéria-prima. Como esta sucata contém zinco, este é transferido para o pó coletado pelo sistema de despoeiramento na forma de óxido, principalmente ZnO, formando o chamado pó de aciaria elétrica, PAE.

É importante ressaltar que a forma como os elementos presentes no PAE tem sido estudada por muitos autores através da técnica de difração de raio-x. Nos estudos de Menad et al.,⁽⁶⁾ através da difração de raio-x, verificou-se que as principais fases presentes é a zincita (ZnO), magnetita (Fe₃O₄) e a franklinita (ZnFe₂O₄).

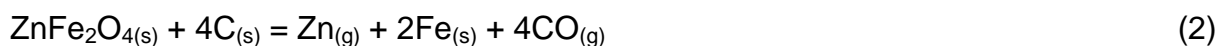
Outro estudo realizado sobre a caracterização mineralógica do PAE utilizando técnica de DRX, observou que a zincita (ZnO), e a franklinita (ZnFe₂O₄) são as fases mais predominantes.⁽⁷⁾

Donald e Pickles^(8,9) realizaram um estudo termogravimétrico de uma mistura de pó de ferro e PAE, e ZnO mais pó de ferro, para entender como o ferro metálico atua como agente redutor. Os autores encontraram que a reação do óxido de zinco com o ferro metálico é favorecida com o aumento da temperatura, aumento da relação Fe/ZnO, diminuição da granulometria e para briquetes com razão comprimento/diâmetro menor que 1.

Segundo os mesmos autores a reação geral que descreve a redução da ferrita de zinco com o ferro é:



Outro estudo realizado foi de Lee et al.⁽¹⁰⁾ sobre a redução da ferrita de zinco (ZnFe₂O₄). De acordo com os autores a reação global para a redução é :



Verificou-se que a taxa da reação de redução da ferrita de zinco aumenta quanto maior o fluxo de argônio e a temperatura da reação.

Neste mesmo trabalho os autores propuseram um modelo para a redução da ferrita de zinco. No primeiro estágio do processo ocorre a decomposição da ferrita de zinco em ZnO e Fe₂O₃. No segundo estágio ocorrem as reações entre sólido e gás, ou seja, entre o monóxido de carbono e os óxidos metálicos (ZnO, Fe₂O₃, Fe₃O₄, FeO), ao mesmo tempo em que a reação de Boudouard procede (C_(s) + CO_{2(g)} = 2CO). Com a redução completa da ZnO, tem início o último estágio, a redução dos óxidos de ferro. As reações acabam quando FeO ou C são totalmente consumidos.⁽¹⁰⁾



Não existe nenhum impedimento técnico nem econômico, com relação à utilização destes resíduos em banhos de ferro líquido contendo carbono, seja no próprio forno elétrico, na panela de liga ferro-carbono ou no carro torpedo para recuperar o ferro presente.

Outra vantagem desta utilização, é que ela faria com que o zinco contido na de zincita (ZnO), e a franklinita ($ZnFe_2O_4$) seja reduzido, volatilizado e sendo coletado pelo sistema de despoejamento, enriquecendo o pó gerado em zinco, para teores que sejam apropriados para a sua utilização nos processos de recuperação de zinco desenvolvidos.

Este projeto verificou a viabilidade técnica da utilização de lama fina de aciaria e pó de FEA na forma de pelotas como fornecedor de ferro metálico nos processos de fabricação de ferro-gusa e aço. Estes são gerados em grande quantidade no Brasil, e em particular no Espírito Santo, uma vez que o estado é um grande produtor de aço e também de ferro-gusa. Em função destas características, o estado além de produzir estes resíduos tem a capacidade de consumi-los também como, por exemplo, pelo tratamento proposto neste projeto. Além disto, o desenvolvimento proposto pode ser realizado em qualquer região que disponha das mesmas características industriais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Na realização deste trabalho, levaram-se em consideração as seguintes etapas:

- aquisição de material;
- caracterização dos resíduos coletados;
- preparação das misturas e fabricação de pelotas; e
- realização dos Testes de Adição das Pelotas no ferro gusa líquido.

2.1 Aquisição de Material

Foi coletado para realização deste trabalho aproximadamente 50 kg do Pó de forno elétrico (PAE) e Cal, ambos fornecidos pela ArcelorMittal Cariacica.

A lama fina de Aciaria LD, Finos de Coque e o ferro-gusa foram adquiridos junto a ArcelorMittal Tubarão, em quantidades suficientes a sua utilização. A caracterização do ferro-gusa foi feita na própria empresa e os dados foram fornecidos.

2.2 Caracterização dos Resíduos Coletados

A análise Química da lama de aciaria e do PAE foi realizada pelo Laboratório de Caracterização Tecnológica - LCT da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). A análise química da cal foi realizada pelo laboratório de análise química do IFES.

A análise do teor de umidade foi realizada no laboratório de beneficiamento de minério do IFES pelo analisador de umidade infravermelho. Foram realizados testes granulométricos para cada resíduo coletado. Inicialmente os materiais foram colocados em uma estufa, a fim de promover a secagem. Depois de secos foram separados 1 kg de cada material, e levados a um peneirador vertical para a realização dos ensaios. O tempo de análise foi de aproximadamente 20 minutos, e as sequências de peneiras utilizadas no teste foram as seguintes: 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm e 0,075 mm.



2.3 Preparação das Misturas e Fabricação das Pelotas

Para homogeneização das misturas foi usado Homogeneizador situado no laboratório de Beneficiamento de Minérios. As pelotas verdes foram fabricadas em um disco pelletizador com diâmetro de 40 cm da marca ENGENDRAR (Figura 1) localizado no laboratório de tratamento de minério do IFES. As condições operacionais tais como: umidade, inclinação do disco, velocidade de rotação e taxa de alimentação foram definidas durante a realização das experiências iniciais de pelletização das misturas.



Figura1. Disco Pelotizador

Após a etapa de caracterização física e química das matérias primas iniciou-se a etapa de pelletização. Antes de realizar as quatro misturas, calculou-se o conteúdo estequiométrico de redutor. Obtido o valor da quantidade estequiométrica de redutor, somava-se a este mais 10%. As misturas estão sendo apresentadas na Tabela 2. As pelotas fabricadas foram secas à 150°C durante o período de 2 horas antes dos ensaios de adição ao ferro-gusa.

Tabela 2. Misturas Produzidas (% em massa)

Resíduos	Mistura 1	Mistura 2	Mistura 3	Mistura 4
Lama Fina de Aciaria	80	50	35	15
Pó de Aciaria Elétrica	-	30	45	65
Finos de Coque	15	15	15	15
Cal	5	5	5	5

As pelotas foram fabricadas a partir de misturas citadas na Tabela 2 de forma que a porcentagem de carbono fosse estequiométrica e 10% em excesso. Os resultados podem ser vistos nas Figuras 2 e 3.



Figura 2. Fabricação das Pelotas no disco pelletizador.



Figura 3. Amostras de pelotas logo após o processo de pelletização.

2.4 Realização dos Testes de Adição das Pelotas no ferro gusa líquido

O equipamento utilizado para realização dos experimentos de adição das pelotas no banho líquido, foi o Forno Elétrico modelo FE50RP apresentado nas Figuras 4 e 5. O mesmo está situado no laboratório de Tratamento Térmico do IFES.



Figura 4. Forno elétrico usado nos experimentos

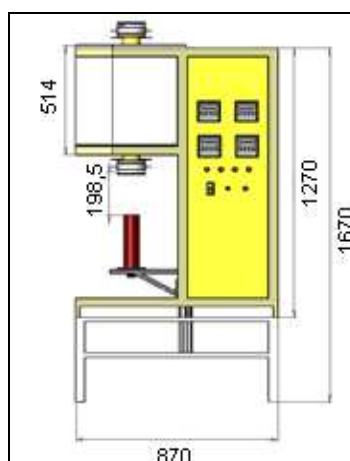


Figura 5. Dimensões do forno usado nos experimentos de adição das pelotas no gusa.

O forno é dotado de uma plataforma que se movimenta verticalmente. A plataforma possui um tubo de material refratário que envolve o Termopar e onde é apoiado o cadinho de trabalho. Na parte superior do forno há uma tampa que deve ser mantida durante o aquecimento para evitar perdas de calor para o meio externo, mas poderá ser removida caso seja necessário fazer um carregamento com o forno já aquecido. Para estes experimentos, o ferro gusa com composição química conhecida e nas proporções entre 355,0 g e 456,0 g foi carregado em um cadinho de grafite. Este cadinho foi levado até o forno vertical tubular, apresentado nas Figuras 4 e 5. Em seguida foi injetado argônio na câmara de aquecimento, para evitar a oxidação do ferro-gusa. Deste modo, pode realizar os cálculos corretos da quantidade de ferro proveniente do resíduo que foi incorporado ao banho. Quando o forno atingiu a temperatura de 1.450°C, a tampa superior do forno foi removida e as misturas na forma de pelotas foram adicionadas na quantidade de 20 gramas em todos os experimentos.



Para analisar a quantidade de ferro proveniente do resíduo que foi incorporado ao banho, foi realizado a pesagem da massa do gusa antes e depois da adição dos resíduos sob a forma de pelotas. Toda escória gerada era raspada e descartada da pesagem.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análises Químicas e Física

A Tabela 3 apresenta os valores obtidos na análise química do ferro-gusa, realizado pela empresa ArcelorMittal Tubarão.

Tabela 3. Análise Química do ferro-gusa

Elementos	(%) em peso
C	4,20
Si	0,35
Mn	0,45
P	<0,08
S	<0,05

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos da análise química da lama de aciaria LD, do FEA, da cal e dos finos de coque utilizados neste trabalho.

Tabela 4. Análises químicas das matérias primas

Matérias primas	Elementos químicos (%)							Voláteis
	Fe ₂ O ₃	C	SiO ₂	ZnO	CaO	MgO	MnO	
Finos de Coque	-	86,3	-	-	-	-	-	2,15
Lama Fina de Aciaria	86,80	-	1,98	0,58	6,84	1,62	1,20	-
Pó de Aciaria Elétrica	58,9	-	4,18	14,2	4,70	1,52	2,05	-
Cal	-	-	1,33	-	84,64	11,33	-	-

A Tabela 4 mostra a composição química dos resíduos estudados. Observam-se valores relativamente altos de Fe₂O₃ presentes no pó de forno elétrico e na lama de aciaria. O CaO presente na lama de aciaria é proveniente da calcita introduzida nas panelas de conversão do ferro gusa em aço. O pequeno teor de MgO está associado ao agente dessulfurante também utilizado no processo siderúrgico, o qual também contribui com CaO. Já o teor de SiO₂ pode ser proveniente da oxidação do silício presente no ferro gusa ou da escória composta basicamente de silicatos de cálcio e por sua vez, o teor de ZnO está associado à utilização de sucata galvanizada.⁽¹¹⁾

Como citado anteriormente em estudos realizados, através da técnica de difração de raio-x, verificou-se que as principais fases presentes no pó de forno elétrico é a zincita (ZnO), magnetita (Fe₃O₄) e a franklinita (ZnFe₂O₄)^(6,7)

A Tabela 5 apresenta as características físicas da lama de aciaria, pó de aciaria elétrica, finos de coque e da cal.

Tabela 5. Características físicas dos resíduos estudados no trabalho

Matérias primas	Umidade (%)	Granulometria (mm)
Finos de Coque	0,9	77,7 % < 0,15
Lama Fina de aciaria	6,0	77,2 % < 0,30
Pó de Aciaria Elétrica	1,7	88,2 % < 0,075
Cal	0,9	77,3 % < 0,075



Verificou-se que a lama de aciaria gerada possui um grande número de aglomerados com granulometria não ideal para a pelletização. Assim decidiu-se por uma etapa de desagregação do material supracitado.

Um fator de grande importância e que afeta a resistência das pelotas cruas (resistência à compressão) é a distribuição granulométrica das partículas. Os particulados que apresentam granulometria menor que 0,15 mm (100 mesh) são considerados ótimos para a pelletização uma vez que nessa faixa o processo atinge aproveitamento máximo.

Segundo Nunes et al.⁽¹²⁾ quanto ao tamanho das partículas do material, se a distribuição granulométrica é ampla, a resistência dos aglomerados é alta devido ao melhor empacotamento e ao grande número de pontos de contato, alterando a porosidade dos aglomerados e modificando seu comportamento durante crescimento. Se a distribuição granulométrica é estreita, a resistência é menor devido ao menor número de pontos de contato. O aglomerado suscetível ao rearranjo de partículas e devido a colisões e abrasão da superfície poderá se quebrar, formando finos. Quanto mais fino o minério maior é a resistência a abrasão e maior é a resistência a compressão de pelotas.⁽¹³⁾

Outro fator importante apresentado na Tabela 5 é a umidade do material, a percentagem de água é a variável mais importante desta operação, que será fator dominante na produção de uma pelota de boa qualidade.

3.2 Resultados dos Testes de Adição das Pelotas no Ferro Gusa Líquido

Os resultados da adição ao ferro-gusa são listados abaixo:

A Tabela 6 apresenta as características das pelotas verdes utilizadas nos ensaios de redução.

Tabela 6 . Características das pelotas produzidas

Amostras	Resistência Mecânica (kgf)	Granulometria (9 a 12,5 mm)	Fe ₂ O ₃ (% em massa)
Mistura 1	4 a 7	95 %	69,44%
Mistura 2	4 a 7	95%	61,07%
Mistura 3	4 a 7	95%	56,88%
Mistura 4	4 a 7	95%	51,30%

Em estudos realizados por Reis et al.⁽¹⁴⁾ sobre a produção de pelotas a partir da lama fina de aciaria LD e óxido de ferro sintético, gerado na decapagem ácida da CSN, os autores encontraram que a resistência das pelotas verdes, ficaram em valores de 6 kgf a 8 kgf.

Como as pelotas são auto-redutoras, para facilitar a redução dos óxidos em contato com o ferro-gusa líquido, não houve a etapa de queima ou calcinação. Neste caso a ausência desta etapa não compromete a utilização das pelotas, pois a resistência mecânica necessária é somente para suportar o manuseio e o carregamento no carro - torpedo. Além disso, as pelotas podem ser embaladas em caixas para serem adicionadas.

Tratando dos experimentos, as misturas de número, 1, 2, 3 e 4 apresentaram um aumento da incorporação no metal ferro ao gusa, a medida que aumenta o teor de carbono, como pode ser verificado no quadro 1 e na figura 6. Segundo Ramiro et al.,⁽¹⁵⁾ o aumento do redutor é benéfico à cinética global de redução dos óxidos.



O Quadro 1 apresenta todos os resultados encontrados no presente estudo, referentes as misturas estudadas.

Quadro 1. Resultados dos ensaios de incorporação do ferro no gusa.

	MISTURA 1		MISTURA 2		MISTURA 3		MISTURA 4	
	Estequiométrico	10% excesso	Estequiométrico	10% excesso	Estequiométrico	10% excesso	Estequiométrico	10% excesso
Massa de Gusa Inicial (em gramas)	457,10	355,70	406,00	416,20	443,70	414,50	382,30	456,80
Massa Gusa após Ensaio (em gramas)	468,80	369,00	415,10	427,80	452,70	424,20	387,50	464,70
% em massa de Ferro incorporada no gusa	84,07	96,37	75,00	95,00	79,11	85,26	50,68	77,06
Massa de ferro contida nas pelotas (em gramas)	13,89	13,89	12,21	12,21	11,37	11,37	10,26	10,26
Massa de ferro incorporada no gusa (em gramas)	11,70	13,30	9,10	11,60	9,0	9,7	5,20	7,9

A Figura 6 apresenta graficamente o que esta exposta no Quadro 1, referente a porcentagem de ferro incorporado em cada mistura.

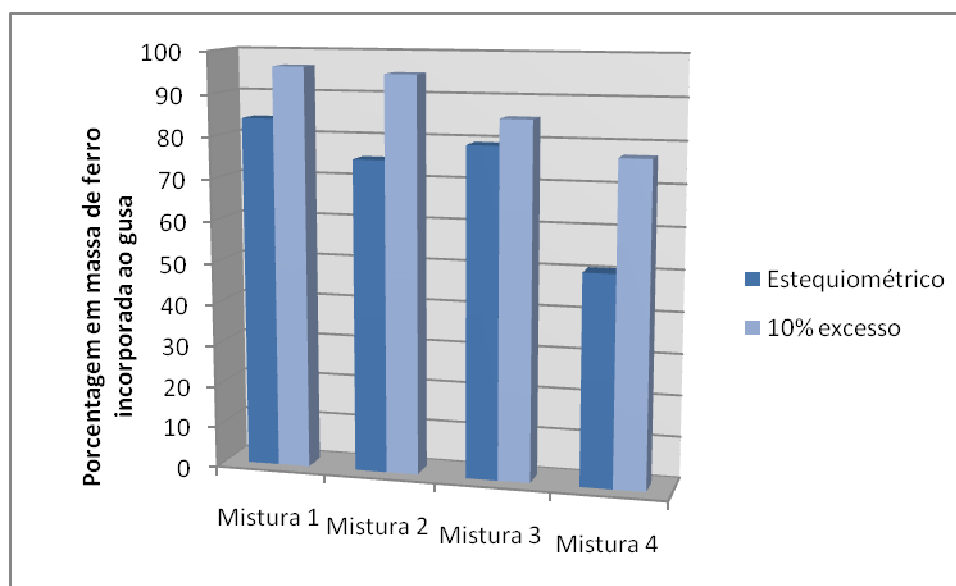
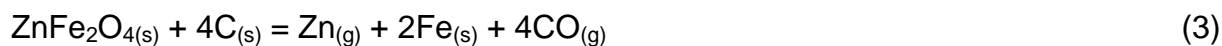


Figura 6. Porcentagem em massa de ferro incorporado em cada mistura.

Pela análise do gráfico verifica-se que em todas as misturas com carbono em excesso apresentaram um aumento da massa de gusa acima de 70% do valor esperado.

Observar-se na Figura 6 que ocorre um decréscimo da incorporação do ferro ao gusa, isto por que ocorre uma diminuição gradual do teor de ferro nas pelotas da mistura 1 até a mistura 4.

É possível que parte do carbono presente na pelota, tenha reduzido a ferrita de zinco através da reação geral, apresentada por Lee et al.⁽¹⁰⁾



E a redução do ZnO pode ter ocorrido de acordo com a seguinte reação:⁽¹⁶⁾



O que pode ter contribuído, para a diminuição da incorporação do ferro ao banho de ferro gusa.

O processo proposto neste trabalho mostrou-se eficiente para aproveitamento da parte metálica presente nesses resíduos sobre a forma de pelotas auto-redutoras.

5 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos pelos ensaios de auto-redução e adição ao ferro-gusa, pode-se concluir que:

- através dos resultados de fusão das pelotas no gusa verificou-se que o aumento de carbono favorece a incorporação do metal ferro proveniente dos resíduos no gusa líquido;
- verificou-se ainda através da caracterização que os resíduos estudados são materiais que possuem uma granulometria muito pequena, tendo como principais elementos Fe, Zn e Mn;
- para a mistura 1, observou-se que a incorporação do ferro foi de 84,07% em peso com carbono estequiométrico e 96,37% em peso com 10% em excesso de carbono;
- já na mistura 2, a incorporação do ferro foi de 79,11% em peso com carbono estequiométrico e 86,26% em peso com 10% em excesso de carbono;
- por outro lado a mistura 3, a porcentagem de ferro incorporado foi de 75,05% em peso com carbono estequiométrico e 95,00% em peso com 10% em excesso de carbono;
- a mistura 4 com carbono estequiométrico, verificou-se uma incorporação de apenas 50,00% em peso e com 10% em excesso incorporou 77,06% em peso do valor esperado;
- a resistência das pelotas produzidas apresentou resultados satisfatórios para tal finalidade; e
- a produção de pelotas auto-redutoras com os resíduos estudados mostrou-se eficiente, indicando a sua viabilidade técnica e o prosseguimento dos estudos para a sua utilização como complemento da carga de sucata nos conversores ou nos fornos elétricos a arco para um possível enriquecimento em Zn da poeira de aciaria gerada durante a fabricação do aço.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem ao CNPQ, pela bolsa de iniciação científica – A FACITEC – Fundo de Apoio a Ciência e Tecnologia do Município de Vitória, pela bolsa de mestrado - USP – Universidade de São Paulo pelas análises químicas da Lama de aciaria, Pó de Forno elétrico e ArcelorMittal Tubarão, pela amostra dos materiais fornecidos e pela análise química do gusa e do finos de coque.



REFERÊNCIAS

- 1 Silva, M. C.: **Reciclagem de Pó de Aciaria Elétrica como Matéria-Prima na Fabricação de Materiais Cerâmicos Argilosos: Controle das Emissões Atmosféricas de Zinco**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. 2006. 157 p. Tese de Doutorado
- 2 DAS, B., PRAKASH, S., REDDY, P.S.R., MISRA, V.N., "An Overview of utilization of Slag and Sludge from Steel Industries", *Resources, Conservation & Recycling*, 2006, In Press
- 3 SAMPAIO, J. A.; WELLANKAMP, F. T.; COSTA, I. L. S.; Mármore Salviano. **Comunicações Técnicas/CETEM**, Rio de Janeiro, Dezembro.2002.
- 4 SAMPAIO, J. A; WELLANKAMP, F.T; COSTA, I. L. Mármore Salviano. **Comunicações Técnicas/CETEM**, Rio de Janeiro, Dezembro. 2002.
- 5 REIS, W. L.C., et al. **Reciclagem da lama fina de aciaria em pelotas metalizadas**. XXXVIII Seminário de Aciaria – Internacional, 20 a 23 de maio de 2007, Belo Horizonte, MG, Brasil.
- 6 MENAD, N., AYALA, J. N. CARCEDO F. G. E., HERNÁNDEZ, R. A., **Study of the presence of fluorine in the recycled fractions during carbothermal treatment of EAF dust**. *Waste Management*, 2003, p. 483 a 491.
- 7 XIA, D.K.; PICKLES, C.A. **Microwave caustic leaching of electric arc furnace dust**. *Minerals engineering*, v.13, n.1, p.79-94, 2000.
- 8 DONALD, J. R. e PICKLES, C. A. **Reduction of Electric Arc Furnace Dust with solid Iron Powder**. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 1996, vol. 35, p. 255-267.
- 9 DONALD, J. R.; PICKLES C. A. **Kinetics of the Reduction of the Zinc Oxide in Zinc Ferrite with Iron**, TMS 3th International Symposium on Recycling of Metals and Engineered Materials, 1996, p. 603-619.
- 10 LEE, J.; LIN, C.; CHEN, H.. **Carbothermal reduction of zinc ferrite**. *Metalurgical and Materials Transactions B*, volume 32B, December 2001, p 1033-1040.
- 11 G.S. MACIEL, P.M. ANDRADE, S.C. INTORNE, F. VERNILLI JR., S.N. MONTEIRO, C.M.F. VIEIRA.; **Alterações microestruturais e inertização de lama fina de aciaria em cerâmicos argilosa** 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.
- 12 NUNES, S.F.; **Influência da Carga Circulante do Pelotamento na Qualidade Física das Pelotas Cruas e Queimadas da Samarco Mineração**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da REDEMAT da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto – MG. 2007.
- 13 MEYER, K.; **Pelletizing of Iron Ores** - Springer - Verlag Berlin, Heidelberg, and Verlag Stahleissen mbH, Düsseldorf, Germany, 21-205, 1980.
- 14 REIS, W.L.C. et al.; **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 – Internacional, 21 a 24 de maio de 2006, Porto Alegre, RS, Brasil;
- 15 NASCIMENTO, R.C.; **Uma Análise Microestrutural Sobre Pelotas Auto-Redutoras**. Tese de Doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo- SP. 1994.
- 16 Ruihua SHEN; Guangqing ZHANG; Mark DELL'AMICO; Peter BROWN; Oleg OSTROVSKI. **Reduction of Zinc Oxide in Manganese Furnace Dust with Tar**. *ISIJ International*, Vol. 46 (2006), No. 1, pp. 8–13.