

## **ADIÇÃO DE POEIRA DE ACIARIA ELÉTRICA EM FERRO GUSA DIVERSIFICANDO O TIPO DE CADINHO**

Vicente de Paulo Ferreira Marques Sobrinho  
Professor do IFES – Espírito Santo  
Av. Vitória, 1729 – Vitória – ES – 29040 780  
vicente@ifes.edu.br

José Roberto de Oliveira  
Professor do IFES – Espírito Santo

Estéfano Aparecido Vieira  
Professor do IFES – Espírito Santo

Victor Bridi Telles  
Doutorando da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Felipe Fardin Grillo  
Doutorando da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Jorge Alberto Soares Tenório  
Professor Titular da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Denise Croce Romano Espinosa  
Professora da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

### **RESUMO**

Esta pesquisa tem como objetivo estudar a incorporação da massa da poeira de aciaria elétrica (PAE), mediante adição em ferro gusa (1,78% Si) à temperatura de 1400 graus Celsius diversificando o tipo de cadinho. A PAE é proveniente de uma usina siderúrgica produtora de aços longos. Previamente, a PAE será caracterizada utilizando-se as seguintes técnicas: análise química, análise granulométrica, área de superfície específica, difração de raios-X, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise de micro-regiões por EDS. Após a caracterização, a PAE a ser adicionada ao ferro gusa será aglomerada sob a forma de briquetes. A realização dos experimentos de fusão, em escala de laboratório, ocorrerá em um forno vertical tubular com controlador de temperatura. Os experimentos de fusão para avaliar a incorporação da massa de PAE utilizarão três tipos de cadinhos. Após o resfriamento, ferro gusa e escória remanescentes nos cadinhos serão pesados objetivando efetuar um balanço de massa. Um fluxo de gás inerte (argônio) será mantido no interior do forno durante a realização dos experimentos.

Palavras-chave: Resíduos siderúrgicos; Poeiras; Reciclagem

## INTRODUÇÃO

No mundo, a quantidade de aço produzida via forno elétrico de aciaria vem aumentando a cada ano, conseqüentemente, a quantidade de PAE também está aumentando<sup>[1]</sup>.

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<sup>[2]</sup>. Vários autores<sup>[3,4,5,6,7,8]</sup> têm relatado os índices da quantidade gerada de poeira de aciaria com relação à produção de aço. Tais valores mostram que entre 15 a 20kg de PAE são gerados para cada tonelada de aço que é produzida.

A PAE é classificada, de acordo com norma NBR 10.004, como resíduo sólido perigoso, Classe 11<sup>[9]</sup>, bem como em outros países produtores de aço, como Estados Unidos<sup>[10,11]</sup>, Japão<sup>[12]</sup> e países da União Européia<sup>[13]</sup>. Devido a esta classificação, o manuseio e deposição da PAE no Brasil exigem cuidados especiais.

Diante do exposto, é válido afirmar que com a crescente quantidade de geração de PAE, tornar-se oportuno e necessário um estudo para reciclar a PAE, tal que esta reciclagem possa reduzir custos quando do uso da PAE acontecer dentro da usina siderúrgica geradora ou gerar receitas quando o uso for externo<sup>[14]</sup>.

## MATERIAIS E MÉTODO

Serão coletados 100 kg de PAE, 100 kg de ferro gusa em indústrias da grande Vitória, no estado do Espírito Santo a saber:

- poeira de aciaria elétrica: ArcelorMittal/Cariacica; e
- ferro gusa: Fundação Ucrânia localizada no município da Serra.

De posse das matérias-primas, será realizada a caracterização química e física da matéria-prima principal, mediante várias técnicas de caracterização:

- análise química;
- análise granulométrica;
- área de superfície específica;
- caracterização da forma das partículas da poeira mediante o uso de microscopia ótica e eletrônica de varredura;
- análise por dispersão de energia; e
- difração de raios-x.

Para os experimentos de estudo da adição de PAE, o ferro gusa com a composição conhecida (1,78%Si) na quantidade de 805,40 a 1086,30g, será carregado em cadinho de grafite-argila ou em cadinho de grafite puro ou em cadinho de alumina . Este cadinho será então levado até um forno vertical tubular.

Em seguida será injetado argônio na câmara de aquecimento, para evitar a oxidação do ferro gusa.

Quando a temperatura do banho atingir a temperatura de trabalho, que é de 1.400 graus Celsius, a PAE sob a forma de briquetes será adicionada. Será retirada amostra do ferro gusa e da escória quinze minutos após a adição de PAE através de um amostrador á vácuo; em seguida o forno será desligado. Após resfriamento, metal e escória remanescentes no cadinho serão pesados objetivando efetuar um balanço de massa. De posse dos resultados, os mesmos serão comparados, para avaliar a eficiência de cada cadinho utilizado.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da análise química da PAE é apresentado na tabela 1:

Tabela 1 – Composição química da PAE

Elemento químico	Composição (%)	Elemento químico	Composição (%)
Fe <sub>total</sub>	38,9	S	0,88
Zn <sub>total</sub>	11,7	Al	0,32
Ca	3,06	P	0,14
Si	1,66	Cu	0,28
Mn	2,27	Cr	0,21
Mg	1,33	Ti	0,08
Cl	4,64	Br	0,13
K	1,87	Sn	0,07
Pb	1,48	Cd	0,03

*Fe<sub>total</sub> corresponde ao metal na forma de Fe, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e FeO; Zn<sub>total</sub> corresponde ao metal na forma de Zn, ZnO e de zinco associado com o Fe (ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)*

Pode-se observar que o teor de Fe e o teor de Zn são compatíveis com os valores apresentados pelas siderúrgicas americanas (Fe: 24,9 a 46,9% e Zn: 11,1 a 26,9%).

O resultado da análise do tamanho das partículas está representado na figura a seguir:

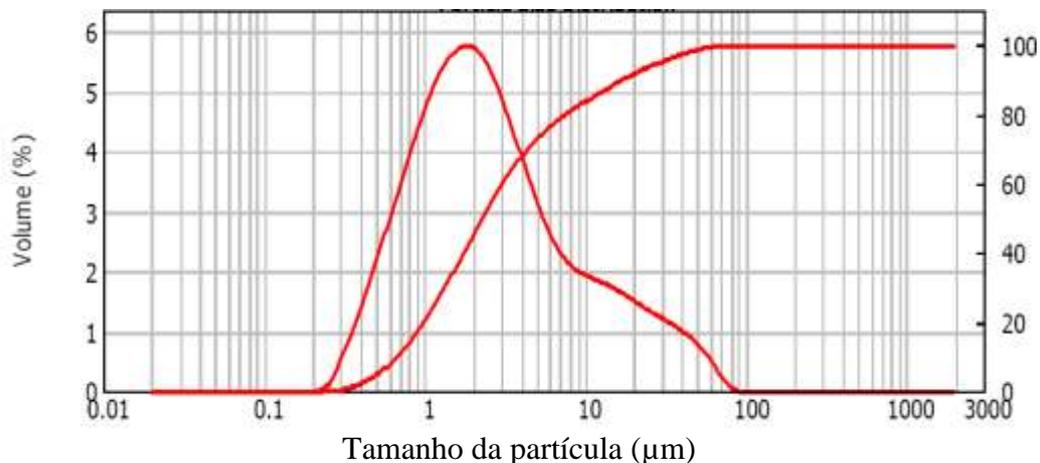


Figura 1 – Distribuição do tamanho das partículas.

O relatório do ensaio apresenta que 10% da amostra possui diâmetro da partícula menor que 0,672 µm e 90% do material apresenta granulometria inferior a 17,070 µm. O relatório do ensaio apresenta ainda como resultado da área superficial específica das partículas o valor de 3,81 m<sup>2</sup>/g e o valor do diâmetro médio da partícula de 2,281 µm.

A Figura 2 apresenta o espectro de difração de raios-X da PAE.

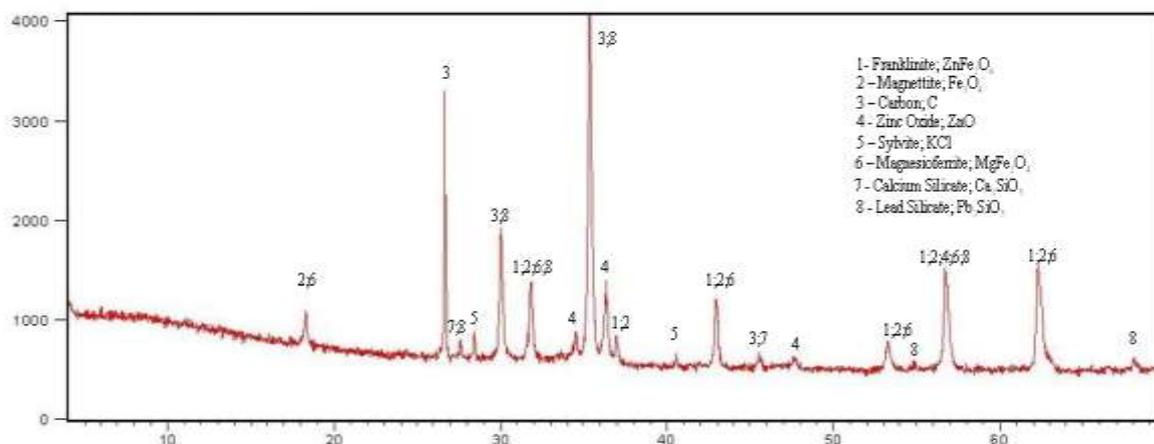


Figura 2: Espectro de difração de raios-X da PAE.

Observa-se na figura acima a predominância da Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), Magnesioferrita ( $\text{MgFe}_2\text{O}_4$ ) e Franklinita ( $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$ ).

A Figura 3 apresenta uma micrografia da morfologia da PAE.

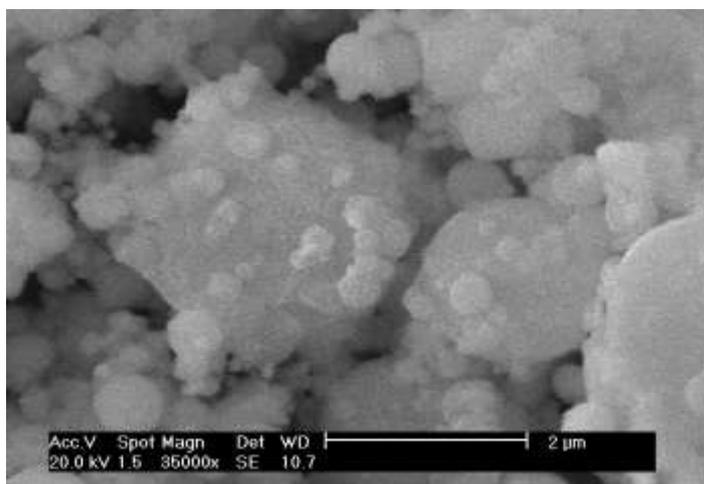


Figura 3 – Microscopia Eletrônica da PAE.

Verifica-se que a PAE é constituída predominantemente de partículas de formato esférico, formato este que está diretamente relacionado com o mecanismo de formação das poeiras.

A tabela 2 apresenta os resultados dos experimentos efetuados com a adição de PAE:

Tabela 2 – Adição de PAE na forma de briquete em ferro gusa (1,78% Si)

	Cadinho de grafite-argila	Cadinho de grafite puro	Cadinho de alumina
Massa inicial do ferro gusa	1086,30	815,20	805,40
Massa inicial da PAE	128,30	96,30	95,10
Massa final do ferro gusa	1107,26	811,00	797,60
Massa da escória	37,43	34,10	63,37
% de escória	3,38	4,20	7,94
Massa da PAE volatilizada	69,91	66,40	39,53
% de PAE volatilizada	54,49	68,95	41,57
Massa de gusa incorporado	20,96	(4,20)	(7,80)
% de gusa incorporado	1,89	(0,51)	(0,98)
Utiliza-se o cadinho apenas para um experimento?	Não	Sim	Sim
Preço do cadinho (R\$)	89,00	249,00	153,00

Observa-se que há incorporação de massa de PAE ao ferro gusa final quando a adição de PAE é realizada em cadinho de grafite-argila devido saturação do teor de carbono do banho de ferro gusa e pela contribuição da sílica da argila do cadinho. O cadinho de grafite-argila oferece o menor preço de compra e pode ser utilizado em mais de um ensaio comparado com o cadinho de grafite puro ou com o cadinho de alumina.

## CONCLUSÃO

A PAE estudada é constituída predominantemente de partículas de formato esférico.

Há incorporação de massa de PAE ao ferro gusa final quando a adição de PAE é realizada em cadinho de grafite-argila.

O cadinho de grafite-argila oferece o menor preço de compra e pode ser utilizado em mais de um ensaio comparado com o cadinho de grafite puro ou com o cadinho de alumina.

## AGRADECIMENTOS

Instituto Federal do Espírito Santo – IFES  
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP  
FAPESP  
ArcelorMittal Cariacica  
Fundição Ucrânia  
Harsco Metals

## REFERÊNCIAS

- 1 Mantovani, M. C.: Caracterização de Poeiras Geradas em Fornos Elétricos a Arco e seu Estudo quando Aglomeradas na Forma de Pelotas Auto-Redutoras. São Paulo: Escola Politécnica – USP. 1998. 165 p. Tese de Doutorado
- 2 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.
- 3 Nolasco Sobrinho, P. J.; Espinosa, D. C. R.; Tenório, J. A. S.: Caracterização da Poeira Gerada na Fabricação de Aço Inoxidável Visando a sua Reciclagem. *Metalurgia e Materiais*, 53 (4): 257-263, 2000
- 4 Hagni, A. M.; Hagni, R. De; Demars, C.: Mineralogical Characteristics of Electric Arc Furnace Dusts. *JOM*, April, p. 28-30, 1991
- 5 Nolasco Sobrinho, P. J.; Espinosa, D. C. R.; Tenório, J. A. S.: Characterization of Dusts and Sludges Generated During Stainless Steel Production in Brazilian Industries. *Iromaking and Steelmaking*. V. 3, n. 1, p. 11-17, 2003.
- 6 Takano, C.; Capocchi, J. D. T.; Nascimento, R. C.; Mourão, M. B.; Lenz, G.; Santos, D. M.: A Reciclagem de Resíduos Siderúrgicos Sólidos. Seminário Nacional sobre Reuso/Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. São Paulo, 2000.
- 7 Huber, J. C.; Patisson, F.; Rocabois, P.; Birat, J. P.; Ablitzer: Some Means to Reduce Emissions and Improve the Recovery of Electric Arc Furnace Dust by Controlling the Formation Mechanisms. In: *REWAS*, p. 1483-1492, 1999.
- 8 Dominguez, E. A.; Ullmann, R.; "Ecological Bricks" Made with Clays and Steel Dust pollutants. *Applied Clay Science* 11 (1996) 237-249.
- 9 Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 10.004. Resíduos Sólidos – Classificação. Segunda Edição 2004.
- 10 Li, C. L.; Tsai, M. S. Mechanism of spinel ferrite dust formation in electric arc furnace steelmaking. *ISIJ International*, v. 33, n. 2, p. 284-290, 1993
- 11 Ruiz, O. et al: Recycling of an electric arc furnace flue dust to obtain high grade ZnO. *Journal of Hazardous Material*. n. 141, p. 33-36, 2007.
- 12 Zhang, Yanling; Kasai, Eiki; Nakamura, Takashi. Vaporization behavior of zinc from the FeO-CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *ISIJ International*, v. 45, n. 12, 2005, p. 1813-1819
- 13 Pelino, M. et al: Vittrification of electric arc furnace dusts. *Waste Management*. n. 22, p.945-949, 2002.
- 14 Marques Sobrinho, V. P. F., Oliveira, J. R., Tenório, J. A. S., Espinosa, D. C. R., Reciclagem de Poeira de Aciaria a Arco Elétrico. 42º Seminário de Aciaria da ABM, Salvador, 2011. p. 609-618

### ADDITION OF ELECTRIC ARC FURNACE DUST IN HOT METAL CHANGIND THE TYPE OF THE CRUCIBLE

#### ABSTRACT

This research aims to assess the incorporation of mass of the electric arc furnace dust (EAFD) by addition in hot metal (1.78% Si) at a temperature of 1,400°C changind the type of the crucible. The EAFD is from a steel mill producer of long

steel. The EAFD will be added in the form of briquette. Previously, the EAFD is going to be characterized using the following techniques: chemical analysis, size analysis, X-ray diffraction, scanning electron microscopy (SEM) and Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) microanalysis. The achievement of fusion experiments in laboratory scale, is going to take place in a vertical tubular furnace with temperature control. The fusion experiments to assess the incorporation of the EAFD mass are going to use three kind of crucibles. After cooling the furnace to room temperature, it will be done the hot metal and the slag weighing to do a mass balance. A flow of inert gas (argon) is going to be maintained inside the furnace during the experiments.

Key-words: Siderurgical residue; Dust; Recycling.