

# PRÉ-TRATAMENTO DA POEIRA DE ACIARIA PROVENIENTE DO FORNO ELÉTRICO A ARCO VISANDO A RECICLAGEM <sup>1</sup>

*Victor Bridi Telles<sup>2</sup>  
José Roberto de Oliveira<sup>3</sup>  
Denise Crocce Romano Espinosa<sup>4</sup>  
Jorge Alberto Soares Tenório<sup>5</sup>*

## **Resumo**

O presente trabalho tem como objetivo a caracterização da poeira de aciaria, proveniente do processo de produção de aço no forno elétrico a arco (FEA), visando a sua reciclagem. O resíduo, fornecido na forma de pó, foi coletado em uma unidade de despoeiramento de uma indústria situada no estado do Espírito Santo. Para a verificação das características físicas e químicas da poeira de aciaria, o material foi submetido a análises químicas, granulométricas, difratométricas e microestruturais. Os resultados foram comparados com possíveis produtos finais, encontrados na literatura. O conteúdo deste trabalho pode vir a contribuir para uma inovação tecnológica, uma vez que o reaproveitamento da poeira de aciaria permite uma diminuição dos custos da disposição deste resíduo, além da possibilidade da obtenção de um novo produto.

**Palavras-chave:** Poeira de aciaria; Reciclagem; Forno elétrico a arco (FEA); Caracterização.

## **ELECTRIC ARC FURNACE STEELMAKING DUST PRE-TREATMENT AIMING RECYCLING**

### **Abstract**

This work aims to characterize the steelmaking dust, derived from steel production process in the electric arc furnace (EAF), in order to recycle it. The residue, supplied as powder, was collected in a dedusting unit of an industry located in the state of Espírito Santo. To verify of physical and chemical characteristics of steelmaking dust, the material was submitted to chemical and size analysis, X-ray diffraction and Scanning Electronic Microscopy. The results were compared with possible end products, brought it out by the literature. The content of this work would contribute to a technological innovation, since the reuse of steelmaking dust allows reduced costs from the disposal of this waste, in addition to the possibility of obtaining a new product.

**Key words:** Steelmaking dust; Recycling; Electric arc furnace (EAF);; Characterization.

*1 Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

*2 Mestrando, Universidade de São Paulo (USP).*

*3 Professor, Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo, Doutor em Eng. Metalúrgica.*

*4 Professora livre docente, Universidade de São Paulo (USP), Doutora em Eng. Metalúrgica.*

*5 Professor titular, Universidade de São Paulo (USP), Doutor em Eng. Metalúrgica.*

# 1 INTRODUÇÃO

A indústria siderúrgica gera resíduos tais como lamas, pós, escória, borras e carepa. Para minimizar os impactos ambientais e econômicos causados pelo acúmulo desses rejeitos, as empresas buscam alternativas viáveis para a reutilização desses materiais.

Este trabalho tem por objetivo caracterizar o pó de aciaria elétrica (PAE), gerado na fabricação de aço em forno elétrico a arco, com a intenção de verificar suas propriedades físicas e químicas e relacioná-las com possíveis destinações do resíduo.

Estima-se que pós e finos representam cerca de 13% do total de resíduos gerados pela siderurgia,<sup>(1)</sup> dentre estes se encontra a poeira de aciaria elétrica (PAE).

O PAE é um resíduo obtido nas indústrias siderúrgicas que utilizam forno elétrico a arco. Este pó é composto por diferentes óxidos metálicos, tais como ZnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e PbO. Em muitos países, a recuperação desses óxidos é adotada como forma de reutilização do resíduo em processos hidro e pirometalúrgicos, dentre estes o Waelz e o Primus. Porém, no Brasil essa prática ainda não é aplicada, pois os teores dos óxidos de alto valor comercial não são suficientes para tornar a recuperação do rejeito viável.

A siderurgia produz cada vez mais aço através de forno elétrico a arco (FEA). Nos anos 70 a produção era de 14% via FEA. Já em 2003, de uma produção mundial de 964 milhões de toneladas de aço, a produção neste processo atingiu 34%.<sup>(2)</sup> Dessa maneira, a tendência é que a geração do PAE aumente.

No Brasil, a produção de aço também está aumentando, e a cada tonelada de aço produzido é gerado cerca de 15kg a 20kg de PAE (1,5% a 2,0%). Este valor é próximo aos atingidos em países como EUA (1,7%), Canadá (1,5%), Japão (1,8%) e Itália (1,0% a 1,4%).<sup>(2,3)</sup>

Contudo, o PAE é um resíduo classificado como perigoso (Classe I) de acordo com os critérios estabelecidos pela norma ABNT NBR 10004/2004,<sup>(4)</sup> o que implica em um aumento nos custos para o gerenciamento adequado deste resíduo, a fim de atender as exigências das leis ambientais a que estão sujeitas as siderúrgicas. Devido a isto, as empresas vêm investindo em parcerias com instituições tecnológicas e universidades, buscando formas de aproveitamento do PAE. Segundo o Instituto Brasileiro de Siderurgia (IBS), 94% dos rejeitos gerados pelo setor foram reaproveitados no ano de 2007, seja através da reciclagem, reuso, co-processamento ou compostagem.<sup>(1)</sup>

A reciclagem é uma forma alternativa de destinação dos resíduos, porém antes do estudo das novas tecnologias de processamento do material a ser reciclado, é de fundamental importância que os rejeitos sejam submetidos à etapa de caracterização. Através desta, é possível avaliar a composição química do resíduo, fases constituintes, aspecto microestrutural, granulometria, e outros fatores que podem influenciar em uma futura aplicação do material.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Coleta e Homogeneização da Amostra

O PAE estudado neste trabalho foi coletado no sistema de despoeiramento do forno elétrico a arco de uma indústria siderúrgica semi-integrada, situada na região

da Grande Vitória - ES. A amostra (observada na Figura 1 foi armazenada em um tambor de plástico para evitar contaminação e umidade.



**Figura 1:** Amostra de poeira de aciaria elétrica (PAE).

Em seguida, o pó foi homogeneizado em um misturador do tipo Eirich localizado no Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (PMT) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). O material foi misturado durante 10 minutos, e depois armazenado em sacos plásticos. A Figura 2 indica o misturador utilizado.



**Figura 2:** Misturador Eirich utilizado para homogeneização do material.

## 2.2 Análise Química

Dois procedimentos foram adotados para a análise química do material:

- semiquantitativa, por espectrometria de fluorescência de raios X; E
- qualitativa, por difração de raios X.

Ambos os ensaios foram realizados no Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT) do Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo (PMI) da Epusp.

### **2.3 Distribuição do Tamanho das Partículas - Malvern**

Para a verificação da distribuição granulométrica das partículas do PAE, foi utilizado o Malvern localizado no LCT do PMI que utiliza difração a laser para medição do diâmetro das partículas. A amostra foi exposta a ultra-som durante cinco minutos, e o meio de dispersão utilizado foi álcool isopropílico. Com este equipamento, obteve-se a faixa granulométrica do resíduo através de gráfico e tabela.

### **2.4 Análise Morfológica**

Para este tipo de análise foi utilizado o Microscópio Eletrônico de Varredura modelo XL-30 Philips, do laboratório de microscopia eletrônica do PMT. Neste equipamento é possível observar a morfologia das partículas e o aspecto topográfico do resíduo, além disso a microssonda EDS fornece a composição química em um determinado ponto da amostra. Nesta etapa o resíduo foi caracterizado exatamente na forma em que foi fornecido, o único pré-tratamento feito foi a já citada homogeneização e um recobrimento com ouro (para condução de corrente), exigido para análise em MEV.

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **3.1 Análise Química**

O Quadro 1 mostra o resultado da análise química por fluorescência. Os elementos majoritários são Fe, Zn, Pb, Ca, Cl, Mn e Mg.

A composição química da poeira de aciaria depende principalmente do tipo de aço fabricado, além do tipo e quantidade de aditivos que fazem parte do processo siderúrgico.

A análise química via fluorescência mostra o teor das substâncias na forma de óxidos (Quadro 1), com exceção do Cl, e Br. Porém, nem todos os componentes se encontram nessa forma. O ferro presente no PAE pode ser encontrado como wustita (FeO), hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) e também ferro metálico. Alguns metais voláteis estão presentes (Zn, Pb, Na, K, Cl, Cd), assim como elementos residuais (Co, Ni) e também componentes de fusão de escória (Al, Mg, Ti).<sup>(3,5)</sup> A perda ao fogo da amostra foi de 7,75.

**Quadro 1:** Composição química do PAE obtida através da técnica de fluorescência.

Substâncias	Composição (%)	Substâncias	Composição (%)
Fe <sub>total</sub> *	58,3	SO <sub>3</sub>	0,9
Zn <sub>total</sub> **	14,2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,68
CaO	4,7	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,5
SiO <sub>2</sub>	4,18	CuO	0,23
MnO	2,05	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2
MgO	1,52	TiO <sub>2</sub>	0,09
Cl	1,43	Br	0,07
K <sub>2</sub> O	1,34	SnO <sub>2</sub>	0,06
PbO	1,18	Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , NiO, SrO <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub>	< 0,05

\* 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 ferro (ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>).

A Figura 3 apresenta os resultados obtidos pela técnica de difração de raios X.

Existem muitas pesquisas sobre a estrutura mineralógica do PAE, com o intuito de investigar as associações de zinco no resíduo.

De acordo com outras pesquisas<sup>(3,6-9)</sup> a magnetita é um dos minerais mais abundantes encontrados na poeira de aciaria elétrica.

Através da Figura 3 observa-se a existência de picos indicando que a estrutura do PAE é cristalina. Nota-se a presença de magnetita, (FeFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), magnesioferrita (MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), franklinita (ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) que pertencem ao grupo do espinélio. Também foram encontrados silvina, grafite, quartzo, silicato de chumbo e zincita.

Além das fases que pertencem ao grupo do espinélio, também era esperado encontrar a zincita (ZnO). Estudos indicam que a quantidade desta fase no PAE é proporcional a quantidade de zinco.<sup>(10)</sup>

As demais fases são prováveis de serem encontradas no resíduo. No caso do grafite, este apresenta estrutura de planos preferenciais, dessa maneira os picos que indicam a presença de grafite no resíduo podem aparecer com maior intensidade no difratograma.

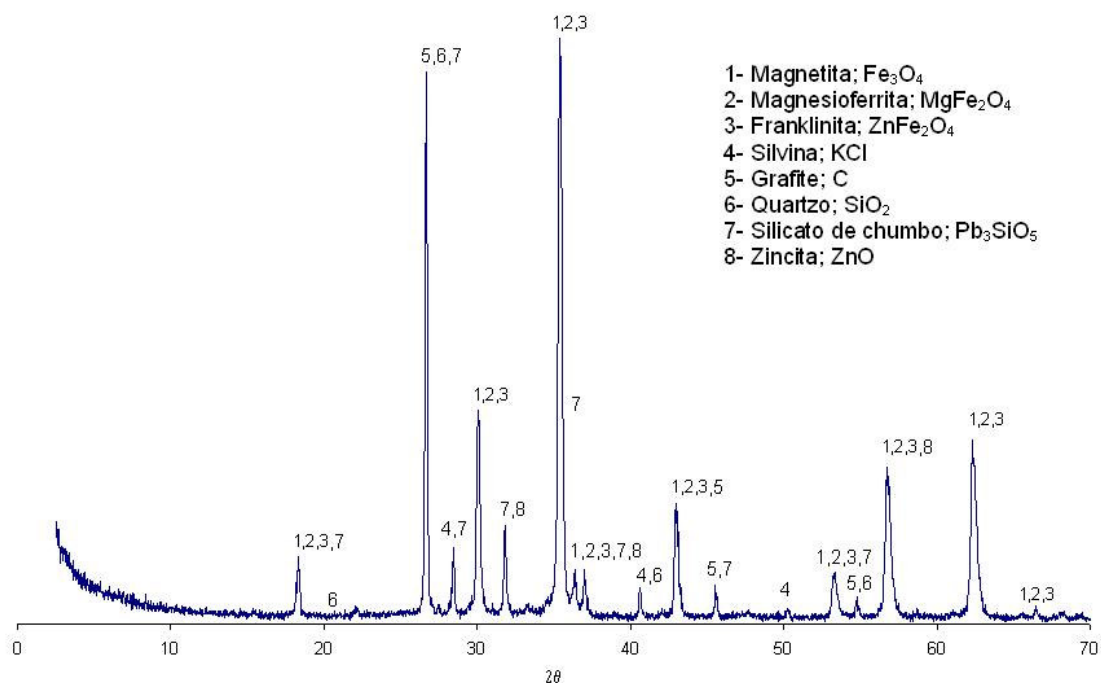


Figura 3: Difratoograma de raios X do PAE.

### 3.2 Distribuição do Tamanho das Partículas – Malvern

Através dos resultados fornecidos pelo Malvern, foi possível observar que o PAE é um material muito fino, no qual cerca de 10,06% da amostra possui diâmetro da partícula menor que  $0,67 \mu\text{m}$ , e 90,76% do material apresenta granulometria inferior a  $9,00 \mu\text{m}$ .

Esta granulometria do resíduo favorece sua aplicação como matéria prima secundária na produção de alguns materiais, pois isso implica na vantagem da eliminação do estágio de moagem.<sup>(3)</sup>

A Figura 4 apresenta o gráfico com a distribuição granulométrica do PAE.

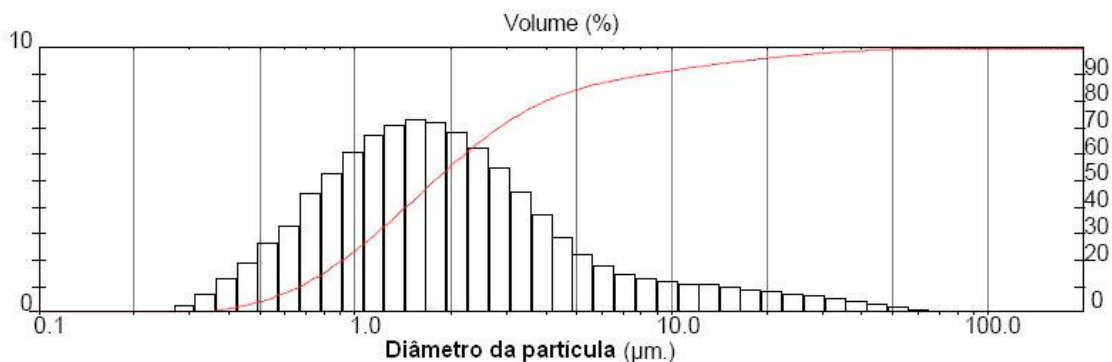
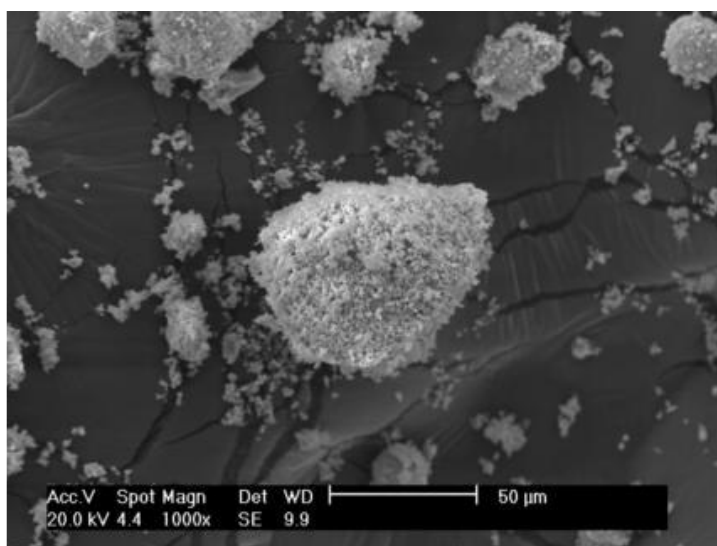


Figura 4: Distribuição granulométrica do PAE.

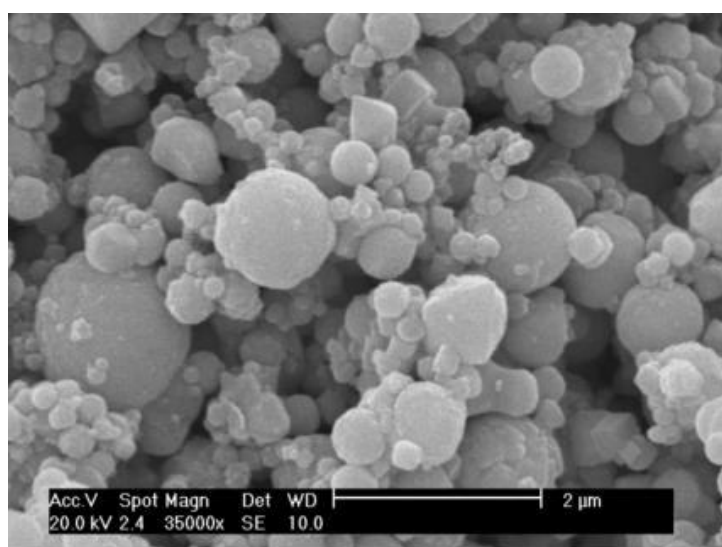
### 3.3 Microscopia Eletrônica

O aspecto morfológico das partículas da poeira de aciaria elétrica pode ser observado nas Figuras 5 e 6.

A Figura 5 apresenta uma imagem obtida pelo Microscópio Eletrônico de Varredura, indicando partículas de poeira de aciaria elétrica dispersas com um aumento de 1.000 vezes. A partícula de maior tamanho localizada no centro da Figura 5 está detalhada na Figura 6 com aumento de 35.000 vezes. Através desta é possível observar que a partícula é formada por grãos ainda menores com predominância esférica e aparentemente lisa. Essa morfologia esférica das partículas já foi observada em outros trabalhos<sup>(3,11)</sup> que envolvem a caracterização da poeira de aciaria elétrica.



**Figura 5:** Imagem da poeira de aciaria elétrica obtida pelo MEV; magnitude: 1.000 vezes.



**Figura 6:** Imagem da poeira de aciaria elétrica obtida pelo MEV; magnitude 35.000 vezes.

## 4 CONCLUSÕES

Com base nas informações literárias e com os resultados obtidos neste trabalho pode-se concluir que a reutilização da poeira de aciaria elétrica (PAE) é aplicável, porém isto depende da quantidade dos óxidos desejáveis serem suficientes para tornar o processo viável. Além disso, foi confirmado que o PAE possui granulometria muito fina, conseqüentemente a utilização deste resíduo na fabricação de alguns materiais pode ser vantajosa pois elimina a necessidade de moagem no processo. Outro fato relevante é a morfologia esférica das partículas, que é uma propriedade importante em processos de aglomeração. Portanto, o reaproveitamento do PAE pode ser uma alternativa interessante não somente no setor siderúrgico, mas também em áreas como a construção civil.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES e a USP.

## REFERÊNCIAS

- 1 Instituto Brasileiro de Siderurgia. **Relatório de sustentabilidade 2008**. Disponível em: <http://www.ibs.org.br/publicacoes.asp>, Acesso em: 20/01/2009.
- 2 MACHADO, J, G, M, S. **Estudo da caracterização e avaliação da influência do tempo na redução carbotérmica do pó de aciaria elétrica**. 2004. 94p. Dissertação (Mestrado). PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.
- 3 SILVA, M, C da; BERNARDES, A, M; BERGMANN, C, P; TENÓRIO, J, A, S; ESPINOSA, D, C, R. Characterisation of electric arc furnace dust generated during plain carbon steel production. **Ironmaking and Steelmaking**, 2008, v. 35.
- 4 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- 5 HUBER, J, C; PATISSON, F; ROCABOIS, P; BIRAT, J, P; ABLITZER, D: **Rewas**, 1999, vol. 2, 1483–1492.
- 6 HAGNI, A; HAGNI, R; DEMARS, C: **Jom**, Abril. 1991, 43, 28–30.
- 7 VARGAS, A, S; MASUERO, A, B; VILELA, A, C, F: **Ambient. Constr.**, 2004, 4, (2), 7 - 18.
- 8 DOMINGUEZ, E; ULLMANN, R: **Appl. Clay Sci.**, 1996, 11, 237 - 24.
- 9 HECK, N, C; COSTA, M, I, Jr: **Proc. 53rd Cong. Anual ABM**, Belo Horizonte, Brasil, Setembro 1998, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 1344 -1353.
- 10 MANTOVANI, M, C; TAKANO, C; BÜCHLER, P, M. EAF and secondary dust characterization. **Ironmaking and Steelmaking**. 2004, vol. 31, 325 – 332.
- 11 SOBRINHO, P, J, N; ESPINOSA, D, C, R; TENÓRIO, J, A, S. Characterisation of dusts and sludges generated during stainless steel production in Brazilian industries. **Ironmaking and Steelmaking**. 2003, vol. 30, 11 - 17.