

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DA ESCÓRIA GRANULADA DE ALTOS FORNOS DA ARCELORMITTAL TUBARÃO*

Marllon Fraga Silva¹
Marcos Tadeu DAzeredo Orlando²
Rogério Ramos³
Elson Silva Galvão⁴
Ana Carolina Dieguez⁵
Diego Correa Magalhães⁶
João Batista Ribeiro Martins⁷

Resumo

Este estudo foi focado na caracterização físico-química das frações granulométricas da escória granulada de alto forno com o objetivo de verificar-se as possíveis aplicações tecnológicas, aumentando a taxa de utilização de escória em diversos setores da indústria. Para tanto, foram analisadas seis amostras de três altos fornos, sendo duas de cada alto forno. Inicialmente, foi realizado um peneiramento composto por oito peneiras, e cada fração granulométrica retida foi separada e maceradas no moinho de argolas. Posteriormente, foram passadas por uma peneira de 75 micrômetros, obtendo, assim, um pó com a mesma granulometria para todas as frações. Este pó foi submetido a uma análise elementar via fluorescências de raios X, identificando a variação de composição química. Verificou-se que as escórias apresentam uma região de composição homogênea quando o diâmetro dos grãos se encontra na faixa de 4800 a 75 micrômetros, que correspondente a 98,5% da massa da escória. Além disso, observa-se que a região heterogênea pode ser aplicada na indústria de vidros e refratários devido a uma composição mais rica de silício e alumínio. Esse estudo aponta de uma forma inovadora que a separação granulométrica qualifica a escória granulada de alto forno para outras demandas das indústrias, agregando valor ao produto.

Palavras-chave: Alto Forno; Escória Granulada; Fluorescência; Granulometria.

PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERIZATION OF THE GRANULOMETRIC FRACTIONS OF THE GRANULATED BLAST FURNACES SLAG OF ARCELORMITTAL TUBARÃO

Abstract

This study focus on the physical-chemical characterization of the granulometric fractions of granulated blast furnaces slag (GBFS), aiming to verify the possible technological applications, thus increasing the use rate of slag in several industry sectors. To this extent, six samples from three blast furnaces were analyzed, two of each blast furnace. Initially, the samples passed through a sifting, totalizing eight sieves in sequence, each retained granulometric fraction were macerated in the ring mill and afterwards passed through a 75 micrometers sieve, hence obtaining a powder with the same granulometry for all fractions. This powder was subjected to elemental analyses by X-ray fluorescence, identifying the variation of its chemical composition. Moreover, they present a homogeneous region of composition when the grain diameter ranges from 4800 to 75 micrometers, which corresponds to approximately 98.5% of the GBFS mass. In addition, it is observed that the heterogeneous region can be applied in the glass and refractory industry due to a richer composition of silicon and aluminum This study points out in an innovative way

that the granulometric separation qualifies granulated blast furnace slag for other industry demands, adding product value.

Keywords: Blast Furnace; Fluorescence; GBFS; Granulometry; Slag.

- ¹ *Engenheiro Mecânico, Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória, ES, Brasil.*
- ² *Físico, Doutor, Professor Titular do Departamento de Física, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória, Espírito Santo, Brasil.*
- ³ *Engenheiro de Mecânico, Doutor, Professor Associado do Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória, Espírito Santo, Brasil.*
- ⁴ *Engenheiro Ambiental, Mestre, Estudante de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Vitória, Espírito Santo, Brasil.*
- ⁵ *Engenheira Química, Especialista de Desenvolvimento de Coprodutos, Área de Coprodutos, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo – Brasil.*
- ⁶ *Engenheiro Ambiental, Especialista em Pesquisas e Desenvolvimento, Global R&D Brazil – ArcelorMittal, Serra, Espírito Santo, Brasil.*
- ⁷ *Engenheiro Industrial Metalúrgico, Doutor, Especialista em Pesquisas e Desenvolvimento, Global R&D Brazil – ArcelorMittal, Serra, Espírito Santo, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Escórias básicas são utilizadas nas indústrias de aglomerantes há décadas, sendo que em 1862 (em Troisdord – França) Eugene Langen realizou os primeiros ensaios que se tem notícia sobre a granulação das escórias (vitrificadas), comprovando que a partir destas escórias básicas, moídas e misturadas com cal hidráulica advinha um material que não possuía a qualidade do cimento Portland, porém já superava os sistemas que utilizavam apenas cal como ligante [1].

A escória granulada é um coproduto do processo siderúrgico, onde tem-se a transformação do minério e do coque em ferro gusa e posteriormente em aço. Essa escória possui diversas aplicações como na composição de cimento, pavimentação, massa de concreto, cerâmicas vítreas, indústria de tintas e agricultura. Porém para algumas aplicações existem restrições de determinados elementos químicos.

A fabricação do ferro gusa, produto que origina a escória granulada, é realizada em unidades industriais chamadas Altos-Fornos, nas quais se reduz os óxidos contidos nos minerais de ferro e separam-se as impurezas que os acompanha. A fusão das impurezas do minério de ferro, juntamente com a adição de fundentes (calcário e dolomita) e as cinzas do coque (carvão mineral), dão origem à produção da escória. Quando fundida, a escória apresenta insolubilidade e menor densidade que o ferro gusa. Como consequência ela irá sobrenadar no ferro gusa, facilitando a sua retirada do alto forno através dos canais, sendo então encaminhada para um local de resfriamento [2].

A composição química das escórias de alto forno obtidas sob a forma granular tem como principal constituinte o óxido de silício (SiO_2), óxido de alumínio (Al_2O_3), óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO), que correspondem a aproximadamente 97,3% do total da escória. Pode-se dizer que as escórias de alto forno são rochas metamórficas tipo silicíticas, levemente ácidas, com significativo teor de óxidos de cálcio e magnésio [2,3].

Na tabela 1, observa-se a composição química da escória da ArcelorMittal Tubarão. Já na tabela 2 tem-se um exemplo de composição química da escória, que foi caracterizada pelo Centro de Nanotecnologia da Universidade Técnica de Ostrava, na República Tcheca. Comparando as tabelas, pode-se afirmar que a quantidade dos óxidos de ambas as escórias, apresentam proporções semelhantes em massa.

Tabela 1. Composições químicas típicas das escórias de alto forno ArcelorMittal Tubarão

Materiais	Unidade de Medida	Resultado da determinação
CaO	%	41,6
MgO	%	7,95
SiO_2	%	33,65
Al_2O_3	%	12,42

Fonte: Moreira (2006).

Nota: Dados adaptados pelo autor.

Tabela 2. Composições químicas típicas das escórias de alto forno da Universidade Técnica de Ostrava

Materiais	Unidade de Medida	Resultado da determinação
CaO	%	36,3
MgO	%	11,7
SiO ₂	%	42,5
Al ₂ O ₃	%	6,8
Fe ₂ O ₃	%	0,18
SO ₃	%	1,56
K ₂ O	%	0,36
Cl	µg · g ⁻¹	156,6
Sr	µg · g ⁻¹	377,3
Ba	µg · g ⁻¹	834,7

Fonte: Václavík (2012).

Nota: Dados adaptados pelo autor.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Análise de granulometria

A análise granulométrica é o processo onde determina-se as dimensões das partículas que constituem as amostras, e logo após, é feito o tratamento estatístico destas informações. Basicamente, determina-se as dimensões das partículas individuais e avalia sua distribuição de acordo com o peso de cada classe dimensional considerada pelo seu volume ou também pelo número de partículas integradas em cada classe. A análise granulométrica das amostras faz-se necessária pois, obtém-se informações preciosas sobre a procedência, transporte e os ambientes deposicionais.

Porém, para estudar a distribuição granulométrica das partículas que constituem um sedimento é preciso utilizar uma escala. As primeiras escalas a serem utilizadas foram as mais evidentes, lineares e aritméticas. Porém constatou-se que, no entanto, estas escalas não são as mais apropriadas para obter bons resultados no estudo dos sedimentos [4]. Quando se estuda a distribuição das dimensões das partículas dos sedimentos utilizando escalas aritméticas, verifica-se que essa distribuição é assimétrica, isto é, a maior parte das partículas concentra-se nas dimensões menores (figura 1). Com isso, sedimentos com diferentes composições ficam com aspectos semelhantes, desta forma, este não é o método mais apropriado para o estudo e determinação das suas características.

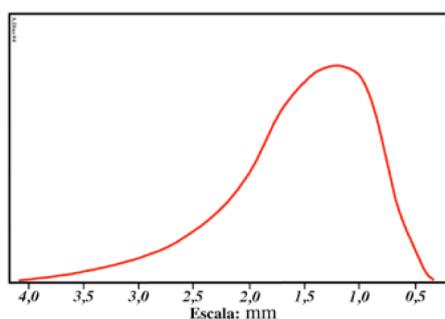


Figura 1. Distribuição granulométrica de um sedimento hipotético, representada numa escala milimétrica.

Fonte: Dias (2004).

Assim, os sedimentólogos constataram que a escala aritmética não é a mais apropriada para estudar os sedimentos e por esta razão, foi descrito os sedimentos com base em escalas geométricas ou logarítmicas [4]. Observa-se então que, na natureza a maior parte das populações obedece a distribuição do tipo gaussiano, também conhecidas como distribuições normais.

Com o objetivo de obter a caracterização físico-química da escória granulada de alto forno, foram coletadas amostras dos três altos fornos da ArcelorMittal Tubarão, obtendo-se para cada alto forno duas amostras de 20 Kg cada, coletadas de acordo norma ABNT 10.007 [5], de forma a aumentar a aleatoriedade do material coletado e garantir uma representação da escória como um todo.

Para realizar a análise de granulometria foi estipulado um plano de amostragem tendo como referência a norma NBR7181/84 [6], usando os seguintes equipamentos:

- ✓ Estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C - 110°C;
- ✓ Balança com resolução 0,01g, 0,1g, 0,5g e 1g;
- ✓ Cápsulas para determinação de umidade
- ✓ Jogo de peneiras
- ✓ Agitador de peneiras e dispersor elétrico
- ✓ Termômetro
- ✓ Cronômetro
- ✓ Escova com cerdas metálicas

As amostras que passaram pela análise granulométrica foram separadas por frações e as mesmas pesadas com objetivo de traçar a distribuição granulométrica do material.

2.2 Análise de fluorescência

A fluorescência de raios X é uma técnica não destrutiva baseada na medida da intensidade dos raios X característicos emitidos pelos elementos químicos constituintes de uma amostra. Através desta técnica pode ser feita uma análise qualitativa e também quantitativa sobre a constituição do material definindo a fração relativa de cada elemento que compõe a amostra. Essa técnica analítica permite obter informações sobre a composição elementar da amostra, exceto aqueles elementos com massa relativamente pequena, sendo normalmente detectados elementos com número atômico maior que o Oxigênio > 8 [7].

A análise de fluorescência de raios X consiste na detecção dos raios X característicos emitidos pelos elementos químicos da amostra, que ocorre com a excitação por uma fonte de raios X que incide na matéria, ocorrendo uma interação por efeito fotoelétrico, no qual um fóton incidente é completamente absorvido pelo átomo do material e um elétron é ejetado, deixando um buraco como pode ser observado na figura 2 [7].

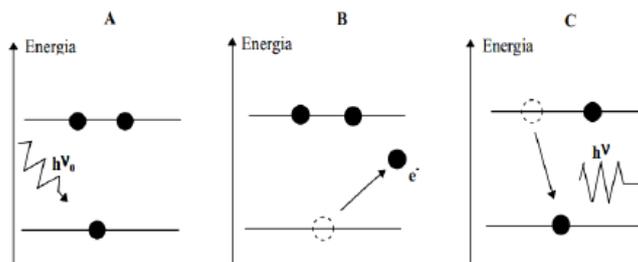


Figura 2. (A) Fóton incidente chega ao átomo, (B) Elétron de camada interna é ejetado deixando vacância, (C) Elétron de camada mais energética decai e ocupa a vacância emitindo fluorescência.
Fonte: Neto (2017).

Para que ocorra a produção de raios X característicos, que são os raios que indicam qual o elemento está na amostra, é necessário retirar elétrons localizados nos níveis mais internos dos átomos. Para que isso ocorra, a energia mínima para retirar esse elétron deve ser superior à energia de ligação do elétron nesse nível. Essa energia é conhecida como energia de ligação eletrônica [7].

Como resultado desta transição, pode ocorrer uma liberação de energia na forma de um fóton, que são detectados e assim torna-se possível a leitura dos elementos constituintes da amostra. Na figura 4 tem-se as etapas do processo de análise de fluorescência de raios X.

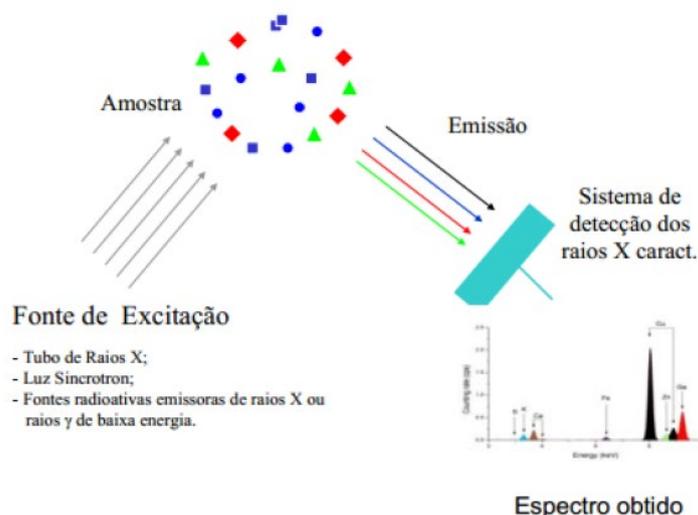


Figura 2. Etapas básicas da análise por fluorescência de raios X
Fonte: Neto (2017).

Para que fosse realizada a análise de fluorescência de raios X, a escória granulada separada em frações granulométricas, foram maceradas no moinho de argolas (figura 3) e, posteriormente, passadas por uma peneira de 75 micrômetros, obtendo, assim, um pó com a mesma granulometria para todas as frações. Este processo de moagem da escória granulada fez-se necessário para analisar de uma forma mais precisa os elementos componentes da amostra.



Figura 3. Moinho de argolas utilizado para preparação das amostras

Este pó foi submetido a uma análise elementar via fluorescências de raios X. Cada fração foi analisada, identificando assim, a variação de composição química.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos dados da análise de granulometria da escória granulada de alto forno, pode-se verificar (Figura 4) que a distribuição granulométrica para os três altos fornos é semelhante, sendo relativamente pequena a variação entre os altos fornos.

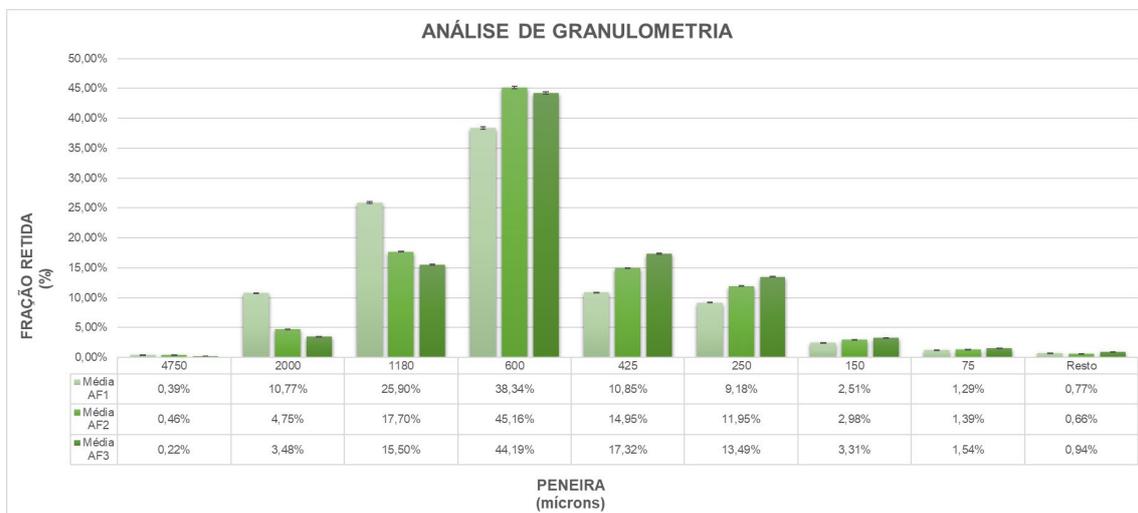


Figura 4. Distribuição granulométrica da escória granulada dos três altos fornos

Observa-se também que para todas as análises de granulometria realizadas, existe uma distribuição das frações que aproxima-se da distribuição gaussiana, indicando que o resultado obtido neste estudo está de acordo com as referências utilizadas neste estudo.

Outra informação importante, é o fato de na faixa de 1180 até 600 micrômetros tem-se a fração que apresenta a maior quantidade de massa retida, contendo aproximadamente 42,6% da massa analisada, tornando uma das faixas mais representativas do material.

Em uma segunda análise foi feita, dessa vez uma análise química de fluorescência de raios X apresentando a composição elementar da escória granulada. Uma observação importante para interpretação dos dados obtidos neste estudo é que as frações dos elementos hidrogênio, carbono e oxigênio não foram obtidos nesta análise, fazendo com que assim, o percentual da concentração dos outros elementos aumentasse. Dito isso, pode-se observar uma característica fundamental para aplicabilidade da escória, que é a característica homogênea da escória granulada quando retira-se as frações acumuladas da primeira e da última peneira, que juntas representam em média 1,15% da massa retida da escória. Sendo assim como 98,85% apresenta características homogêneas, pode-se concluir que de forma geral esta escória granulada é homogênea.

A figura 5 mostra as concentrações dos elementos mais representativos da escória granulada em função da distribuição granulométrica. Como já abordado neste trabalho, observa-se que a maior variação de concentração encontra-se nos extremos e estes são poucos representativos em relação a massa total da amostra.

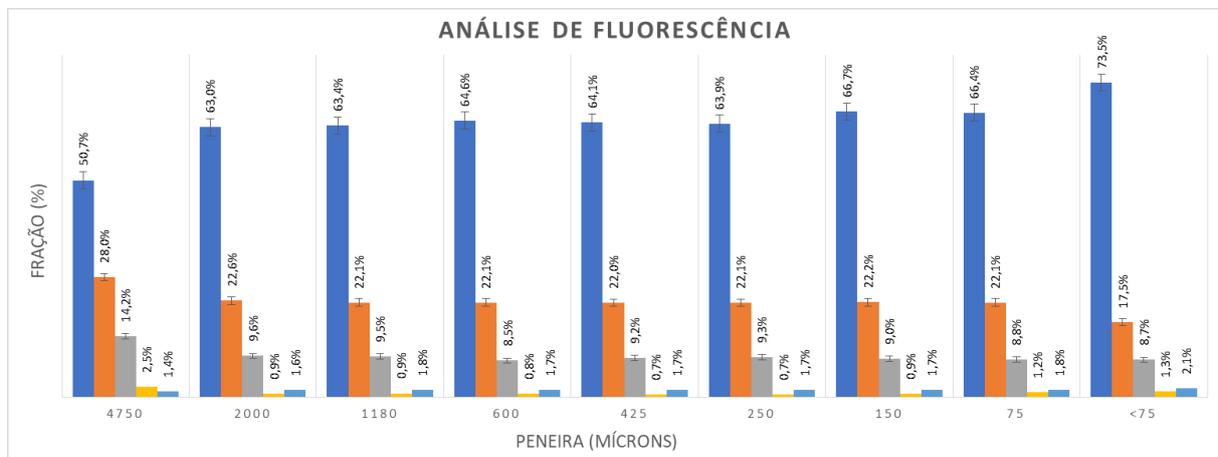


Figura 5. Percentual mássico dos principais elementos da análise de fluorescência em função da distribuição granulométrica da escória granulada dos três altos fornos

Sendo assim duas discussões devem ser feitas através dos resultados obtidos nesta análise de fluorescência, a primeira acerca da importância da distribuição granulométrica da escória granulada, pois através da separação do material em frações e da análise elementar, observa-se que pode considerar que a escória granulada é homogênea. Uma segunda discussão importante baseia-se na possibilidade do uso das frações das extremidades para outras aplicações de engenharia. De acordo com os resultados obtidos neste estudo, pode-se afirmar que, com a diminuição da granulometria tem-se um aumento de concentração de cálcio e enxofre, indicando uma qualificação adequada a indústria do cimento. Da mesma forma, tem-se que com granulometria acima de 4800 micrômetros, encontra-se uma composição mais rica de silício, alumínio e ferro, que logo após uma separação magnética, seria indicado para a indústria de vidros e refratários.

4 CONCLUSÃO

Com os dados obtidos na análise granulométrica, verificou-se a existência de um padrão de distribuição granulométricos similar para os três alto fornos. Sendo assim, existe uma grande probabilidade de outras amostras desses altos fornos, se comportarem da mesma forma.

Este estudo aponta, de forma inovadora, que a separação granulométrica qualifica a escória granulada de alto forno para outras demandas das indústrias, agregando valor ao produto. Além disso, mostra que a escória granulada estudada possui região expressiva com características homogêneas, permitindo o uso dessa fração para diversas aplicações que permitem as concentrações encontradas, como por exemplo a indústria de refratários.

Novos estudos estão sendo realizados com nova coleta de amostras, com o objetivo de aumentar os dados estatísticos e confirmar a veracidade dos resultados obtidos neste trabalho e as possíveis variações.

Agradecimentos

Os autores são gratos a CAPES pelo suporte financeiro, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), ArcelorMittal Tubarão e a Global R&D Brazil, pelas oportunidades oferecidas que favoreceram a elaboração desse projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- 1 MOREIRA, C. C.. Características e Desempenho da Escória de Alto Forno como Agregado para Utilização em Camadas Granulares de Pavimento. 2006. 37ª Reunião Anual de Pavimentação, 11º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, 37ª RAPV/11º ENACOR, N°103, Goiânia-GO, 2006.
- 2 THOMAZ, E. C. S.. Escória de Alto Forno – Parte 1 – Fabricação. Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro-RJ.
- 3 VÁCLAVÍK, V.; DIRNER, V.; DVORSKÝ, T.; DAXNER, J.. The Use of Blast Furnace Slag. 2012. Metalurgia 51 (2012) 4, p. 461-462.
- 4 DIAS, J.. A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos (uma introdução à oceanografia geológica). Abril, 2004. Universidade do Algarve.
- 5 Amostragem de resíduos sólidos. NORMA BRASILEIRA, ABNT NBR 10007. 2004.
- 6 Solo: análise granulométrica. Método de Ensaio, ABNT NBR 7181. Dezembro, 1984.
- 7 NETO, C. A. R.. Uma Introdução a Fluorêscência de Raios X: Análise das curvas de calibração utilizando a técnica EDXRF. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso para obtenção de grau de Licenciatura em Física) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória -ES, 2017.