

Análise da Lama de Alto-Forno como Insumo em Siderúrgicas e Cerâmicas

F. R. Oliveira^{1*}, C. S. Silveira², P. S. Assis³

¹Universidade Federal Fluminense – Programa de Doutorado em Sistemas de Gestão Sustentáveis

²Universidade Federal do Paraná – Programa de Pós-Graduação em Geologia

³Universidade Federal de Ouro Preto – Rede Temática em Engenharia de Materiais

*UFF, LATEC, Campus Praia Vermelha, Bloco E, Niterói/RJ, Brasil

(Recebido em 04/12/2015; revisado em 27/01/2016; aceito em 04/07/2017)
(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo:

Dentre os resíduos da fabricação de ferro gusa, a lama de alto-forno apresenta uma complexidade de gerenciamento devido à heterogeneidade de sua composição e a falta de estudos quanto às propriedades físicas e químicas. Assim, este trabalho objetiva, por meio da caracterização da lama residual gerada em uma guseira, analisar as propriedades para o reaproveitamento da mesma em siderúrgicas e cerâmicas. Os procedimentos metodológicos incluíram análises químicas imediata e espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado, além da determinação da massa específica e granulométrica da lama de alto-forno. Como principais resultados, foram apontadas propriedades relacionadas à possibilidade de reaproveitamento industrial do subproduto, como as altas taxas de ferro e carbono fixo.

Palavras-chave: Lama de alto-forno; Caracterização; Gestão de resíduos; Siderurgia; Indústria cerâmica

Abstract:

Among pig iron waste, blast furnace sludge presents management complexity due to the heterogeneity of its composition and the lack of studies on the physical and chemical properties. Thus, this work aims, through the characterization of this residual, to analyze the properties for its reuse in steel and ceramics. The methodological procedures included immediate chemical analyzes and inductively coupled plasma optical emission spectrometry, besides the determination of the specific mass and granulometry of blast furnace sludge. As main results, properties related to the possibility of industrial reutilization of the by-product were pointed out, such as the high iron and fixed carbon rates.

Keywords: Blast furnace sludge; Characterization; Waste management; Steel Industry; Ceramic Industry

1. Introdução

As indústrias siderúrgicas não integradas produzem ferro gusa a partir da redução do minério de ferro em alto-forno, produto de interesse para fundições e aciarias [1]. No Brasil, em 2013, os produtores independentes representaram aproximadamente 17% do mercado, com produção de 5,35 milhões de toneladas [2].

Como parte dos impactos ambientais negativos deste setor, são gerados resíduos em altas quantidades e diferentes composições. A indústria de fundição, apresenta uma série de resíduos potencialmente contaminantes, que podem resultar em um impacto ambiental negativo [3,4].

Um dos resíduos com maior dificuldade de gerenciamento é a lama de alto-forno, que representa uma composição de cerca de 4% dos resíduos sólidos totais destas siderúrgicas não integradas. A lama é um material heterogêneo gerado pelo processo de lavagem da poeira do

gás do alto-forno [5] e a composição pode variar significativamente de acordo com a matéria-prima empregada no processo de produção [6].

A dificuldade em se aplicar o material se dá pela sua complexidade, possuindo uma fina granulometria em meio à alta umidade resultante do processo de lavagem. Além disso, é comum conter metais pesados em sua composição [7].

Visando processos de reaproveitamento e reciclagem, fazem-se necessárias informações sobre o conteúdo total e a distribuição dos elementos presentes na lama do alto-forno [5], sendo que uma parte significativa das guseiras não dispõe de tais dados [8], o que dificulta processos voltados a uma destinação ambiental adequada. O aprofundamento quanto às características dos materiais faz-se necessário para buscar medidas de reciclagem frente aos ideais de sustentabilidade ambiental [8].

Desse modo, visando contribuir com as discussões e pesquisas voltadas à abordagem das propriedades relacionadas

*Email: fabioribeiro@id.uff.br (F. R. Oliveira)

a caracterização e reaproveitamento do resíduo, este trabalho busca, através de um estudo das características físicas e químicas do material, fornecer subsídios para a sua utilização como subproduto na indústria.

A incorporação de resíduos sólidos em matrizes cerâmicas ou siderúrgicas pode trazer vantagens econômicas e ambientais na cadeia produtiva. Os fornecedores de resíduos ganham uma opção para destinação dos mesmos e as indústrias reduzem custos voltados ao consumo de energia e atividades extrativas de recursos naturais [9].

2. Metodologia

2.1. Seleção de amostras

Coletou-se cinco lotes de amostras de 5,0kg, em uma indústria independente de ferro gusa no Estado do Espírito Santo. Utilizou-se como referência o plano de coleta e armazenamento proposto pela NBR 10007:2004, sendo realizado em horários variados para garantir representatividade na produção diária da indústria [10].

2.2. Preparação de amostras

Com base na norma da ABNT - NBR 6923/1981: Carvão vegetal – Amostragem e preparação de amostras [11], os lotes foram reduzidos a um peso de 0,5kg, e secos a uma temperatura de 105°C, durante 2 horas, com um intervalo na metade do tempo para destorroamento manual das amostras. Ao fim dessa etapa, 0,4kg de cada lote foram destinados às análises imediatas.

O restante do material passou por processos de pulverização e quarteamento, resultando em lotes de 25,0g para análises futuras, via ICP-OES. Utilizou-se o processo de digestão total [12]. O tempo total gasto é de aproximadamente 18 horas por lote analisado.

2.3 Análises

2.3.1 Análise química imediata

Realizada no intuito de determinar o teor de umidade, teor de cinzas, teor de matérias voláteis e o teor de carbono fixo nas amostras, de acordo com a NBR 8112/1983 [13].

O teor de umidade baseia-se na diferença entre a massa antes e após aquecimento da lama em uma mufla, a 105°.

O teor de cinzas é determinado após a secagem da lama, pela diferença de massa gerada pelo aquecimento a 700°, o que garante a queima completa de carvão.

O teor de volátil é determinado pela diferença de massa da amostra antes e após o aquecimento a 900°, sendo gastos 3 minutos para aquecimento prévio da amostra, na porta do equipamento, e 7 minutos de aquecimento no interior do mesmo.

De posse do teor de cinzas e voláteis, é possível a obtenção do teor de carbono fixo.

2.3.2 Análise via ICP-OES

Para análise via espectroscopia de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) utilizou-se um aparelho da marca SPECTRO, modelo CIRUS, a fim de determinar elementos presentes nas amostras.

2.3.3. Determinação da massa específica

Essa análise baseia-se na ABNT – NBR 6508:1984: Determinação da massa específica de grãos de solo [14]. Pesou-se 50,0g de cada amostra e posteriormente realizou-se a imersão em água destilada por um período de 12 horas, seguido pela adição de uma quantidade de água correspondente à metade do volume do frasco. O material foi transferido para um picnômetro, onde também se adicionou água até completar metade do volume do frasco, para então ser acoplado a uma bomba de vácuo a uma pressão de 88 kPa durante 15 minutos.

Em seguida, o material ficou em repouso por alguns minutos, adicionou-se mais água e repetiu-se o processo por mais 10 minutos. Por fim, monitorou-se a temperatura da amostra até se igualar à ambiente, pesando-se o conjunto logo a seguir. Repetiu-se o procedimento duas vezes para cada amostra.

2.3.4 Análise granulométrica

A análise granulométrica é voltada à determinação da distribuição de tamanho de partículas de matérias-primas cerâmicas [15]. Tal método, com algumas adaptações, foi adotado devido à alta presença de torrões na lama ocasionados pela aglomeração do material fino ainda com certa umidade.

Retirou-se parte de todos os lotes resultando em uma amostra única e homogênea, da qual utilizou-se 400g para o procedimento, que consiste no peneiramento mecânico vibratório sequencial, realizado via úmida. As malhas que compõem a montagem são: 0,830; 0,500; 0,295; 0,208; 0,149; 0,125; 0,105; 0,074 e abaixo de 0,077mm.

3. Resultados e Discussão

3.1. Análise química imediata

Os resultados da análise química imediata para as cinco amostras consideradas encontram-se na Tabela 1. Percebe-se, que as amostras de 01 a 05, apresentam, na média, altas taxas de umidade, aproximadamente 49%, cinzas, em torno de 54%, e carbono fixo, próximo de 44%. Apenas os teores de voláteis se encontraram baixos, mantendo-se na média de 2,5 %.

Tomando por base que o valor ideal de carbono fixo no carvão vegetal é em torno de 75% [16], tal propriedade encontrada na lama apresenta-se como favorável à termorredução em fornos, sendo de interesse para o reaproveitamento em siderúrgicas e cerâmicas.

Outro ponto positivo está relacionado à baixa taxa de matéria volátil, tendo em vista que altas taxas poderiam ocasionar a redução da eficiência do processo fornos.

Tabela 1. Resultado da análise química imediata

Amostras	Umidade (%)	Cinzas (%)	Voláteis (%)	Carbono Fixo (%)
01	49,6	54,55	1,9	43,55
02	48,65	53,35	2,8	43,85
03	49,15	51,3	3,05	45,65
04	49,8	52,8	2,4	44,8
05	47,25	57,3	2,25	40,45
Média	48,89	53,86	2,48	43,66

Por outro lado, a alta umidade encontrada, característica já esperada devido ao fato de ser proveniente de um processo de lavagem, exigiria uma secagem primária para o efetivo aproveitamento em fornos industriais. Um elevado teor da mesma aumentaria consideravelmente a quantidade combustível a ser utilizada.

O alto teor de cinza, quando analisado a ação nos fornos, pode ocasionar danos à estrutura do mesmo, além de também aumentar o consumo de combustíveis e a taxa residual. As cinzas consomem calor e ocupam elevado volume em alto-forno [17], assim o tratamento é um problema considerável, visto a alta quantidade.

3.2. Análise Granulométrica

De acordo com a Figura 1, temos que cerca de 83% da lama apresenta granulometria inferior a 0,074mm, passando facilmente pela peneira de 200 mesh. Os resultados obtidos na análise granulométrica realizado em amostra única remetem ao esperado através da revisão bibliográfica, sendo que, por

ser o resíduo sólido com menor granulometria no processo do alto-forno, há necessidade de ser retirado através de lavagem.

Tais resultados se mostram favoráveis na ideia de incorporação da lama em cerâmicas, visto que o tamanho requerido pela mesma para utilização no processo é abaixo de 3mm [7]. Os resultados demonstram que o material analisado se enquadra nesta condição.

No que tange a reutilização em alto-forno, os resultados evidenciam a necessidade de aglomeração do material através de um ligante.

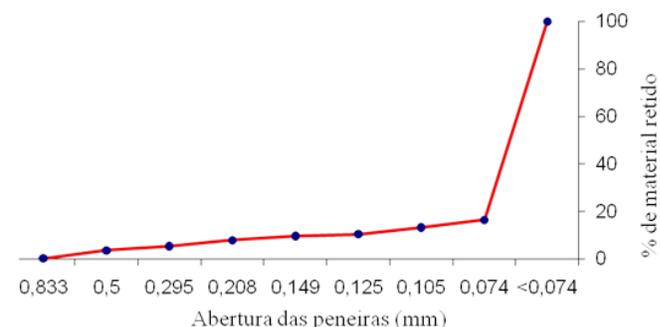


Figura 1. Material retido de acordo com a abertura das peneiras

3.3. Análise química via ICP

Os elementos encontrados por meio da análise química via ICP estão descritos na Tabela 2, com os respectivos teores médios (mg/Kg). Foi possível identificar um alto teor de ferro (Fe) nas amostras, com a média de 317326mg/kg, de grande interesse para um possível reaproveitamento no próprio alto-forno.

Tabela 2. Resultados da análise geoquímica via ICP

Elementos	Teor médio (mg/Kg)	Elementos	Teor médio (mg/Kg)	Elementos	Teor médio (mg/Kg)
Al	17153	Li	3	Sc	1
Ba	226	Mg	1948	Sr	100
Bi	35	Mn	1196	Th	3
Ca	14755	Na	266	Ti	1009
Co	6	Ni	14	V	56
Cr	112	P	671	Y	6
Cu	67	Pb	463	Zn	1201
Fe	317326	S	626	Zr	25
K	2167				

O acentuado teor de ferro determinado é de grande interesse para as próprias siderúrgicas, a ser reutilizado como contribuição de matéria-prima [5], por meio de técnicas como a aglomeração do material.

3.4. Massa específica

A massa específica de uma substância é o quociente da massa desse mesmo material pelo volume que ele ocupa. Nos resultados para a lama de alto-forno analisada, contidos na

Tabela 3, temos uma massa específica média de 1,77 g/cm³ para a lama de alto-forno.

Tabela 3. Massa específica média das lammas de alto-forno

Amostra Lama AF	Massa (g/cm ³)
01	1,682
02	1,761
03	1,798
04	1,863
05	1,754
<i>Média</i>	1,77

A identificação da massa específica possibilita estudos de incorporação do material à massa de argila em cerâmicas ou mesmo no aproveitamento da lama em alto-forno. Tal processo pode ser viabilizado por meio de um tratamento físico, como o emprego de técnicas de aglomeração, a exemplo da pelotização, sinterização e a fabricação de briquetes [6,18]. A incorporação da lama em cerâmicas auxilia na coloração dos tijolos, devido à quantidade existente de óxidos de ferro nos resíduos, e pode contribuir com um ganho energético de até 50% no processo [8].

Considerações finais

O resíduo estudado se mostrou muito complexo devido a características como: os elevados teores de cinzas e umidade encontrados via análise química imediata; a fina granulometria, sob a forma de pó, registrada na análise granulométrica; e a composição química contendo elementos indesejados em altas concentrações, como metais pesados, conforme evidenciado por meio da espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado.

Tais características demonstram a necessidade de um gerenciamento adequado, desde o armazenamento e disposição do material às pesquisas de alternativas de reaproveitamento ou reciclagem da lama de alto-forno.

Reportando à literatura, as caracterizações físicas e químicas realizadas neste trabalho permitiram a obtenção de propriedades relacionadas à estudos anteriores que indicam a possibilidade de reaproveitamento do subproduto na própria siderurgia [5,6,18] ou mesmo em indústrias cerâmicas [7,8,19].

Entre tais propriedades estão as altas taxas de ferro e carbono fixo. O reaproveitamento desse resíduo como insumo no alto-forno poderia ser viável através da aglomeração da lama (seca) com algum tipo de ligante a ser estudado, na tentativa de confeccionar briquetes.

Cabe ressaltar que outras formas de destinação vêm sendo estudadas para a lama de alto-forno, a exemplo da utilização em meios agrícolas [3]. Assim, de acordo com o tipo de aplicação a ser planejada para ao resíduo, tornam-se necessários outros estudos de maior especificidade relacionados ao tipo de reaproveitamento, demonstrando cada

vez mais a necessidade de pesquisas relacionadas à caracterização deste material.

Referências

- [1] Malard, A. A. M. Avaliação ambiental do setor de siderurgia não integrada a carvão vegetal do Estado de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental). UFOP. Ouro Preto/MG, 2009.
- [2] Brasil. MME - Ministério das Minas e Energia. Anuário estatístico: setor metalúrgico. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Brasília, 2014.
- [3] Silva, C. S. W. Avaliação ambiental decorrente do uso agrícola de resíduos do sistema de limpeza de gases de uma indústria siderúrgica a carvão vegetal, 2007, 98p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - UFV, Viçosa/MG, 2007.
- [4] Moraes, C. A. M.; Kieling, A. G.; Calheiro, D.; Pires, D. C.; Silveira, C. F. B.; Garcia, A. C. A.; Brehm, F. A. Elaboração de plano de gerenciamento de resíduos sólidos de empresas de fundição de ferro fundido de pequeno porte. Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração (Impresso), v. 10, p. 296-302, 2013.
- [5] Trinkel, V.; Mallow, O.; Aschenbrenner, P.; Rechberger, H.; Fellner, J. Characterization of blast furnace sludge with respect to heavy metal distribution. Industrial and Engineering Chemistry Research, v. 55, p. 5590-5597, 2016.
- [6] Lobato, N.C.C.; Villegas, E.A.; Mansur, M.B. Avaliação de alternativas tecnológicas para o gerenciamento dos resíduos sólidos siderúrgicos: escória e lammas de alto-forno. In: XXV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa & VIII Meeting of the Southern Hemisphere on Mineral Technology. Goiânia/GO, p. 267-274, 2013.
- [7] Vieira, C. M. F.; Dias, C. A. C. M.; Vasconcelos, A. M.; Sánchez, R. J.; Monteiro, S. N. Incorporação de lama de alto-forno em cerâmica vermelha. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2007, Salvador. Anais do 51 Congresso Brasileiro de Cerâmica. São Paulo: Tecart, v. 1. p. 1-12, 2007.
- [8] Almeida, M. L. B.; Melo, G. C. B. Alternativas de usos e aplicações dos resíduos sólidos das indústrias independentes de produção de ferro-gusa do estado de Minas Gerais. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21, 2001, João Pessoa/ Pb. Saneamento ambiental: desafio para o século 21. Rio de Janeiro: Abes, 2001.
- [9] Aquino R. C.; Medeiros, F. K.; Campos L. F. A.; Macedo, D. A.; Ferreira, H. S.; Dutra, R. P. S. Adição de resíduo de lodo da indústria têxtil na produção de blocos cerâmicos de vedação. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 10, n. 1, p. 29 – 35, 2015.

- [10] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Resíduos sólidos – Coletânea de Normas. ABNT NBR 10004. ABNT NBR 10005. ABNT NBR 10006. ABNT NBR 10007. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- [11] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Carvão vegetal – Amostragem e preparação de amostras. ABNT NBR 6923. Rio de Janeiro: ABNT, 1981.
- [12] Moutte J. Procedure for multiacid digestion of rocks and minerals géochimie. École des Mines de Saint Etienne. France, 1990.
- [13] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8112: Carvão vegetal: análise imediata. Rio de Janeiro/RJ, 1983.
- [14] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6508:1984: Grão de solos que passam na peneira de 4,8mm - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.
- [15] SIC GOIÁS. Secretaria de Indústria e Comércio de Goiás. Superintendência de Geologia e Mineração. Determinação de Granulometria de Argila. Goiás, 2009.
- [16] Gomes, M. T. M.; Potencialidades de inserção do carvão vegetal em bolsas de mercadoria. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), 71p, 2006. UFV, Viçosa/ MG, 2006.
- [17] Assis, C. F. C. Caracterização de carvão vegetal para a sua injeção em alto-fornos a carvão vegetal de pequeno porte. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). UFOP, Ouro Preto/MG, 2008.
- [18] Takano, C.; Capocchi, 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/SP, 2000.
- [19] Mothé, A. V. Utilização da lama de alto-forno em cerâmica vermelha. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais), 109p, 2008. UENG, Campo dos Goytacazes/ RJ, 2008.