



CARACTERIZAÇÃO DE FIBRAS DE VIDRO OBTIDAS A PARTIR DA ESCÓRIA DE ACIARIA ¹

Joner Oliveira Alves²
Girley Ferreira Rodrigues³
Denise Croce Romano Espinosa⁴
Jorge Alberto Soares Tenório⁵

Resumo

O trabalho teve como objetivo a caracterização das fibras de vidro obtidas a partir da escória de aciaria produzida em um forno a arco elétrico (FEA) e, portanto, fornecer uma aplicação para este resíduo que possui uma considerável geração na indústria siderúrgica. Lotes com a escória e aditivos químicos foram fundidos em um forno elétrico laboratorial com temperaturas de trabalho de 1.400°C, 1.450°C e 1.500 °C. Os materiais fundidos foram vertidos diretamente em um recipiente com água, visando um resfriamento rápido. Amostras dos materiais produzidos com espessuras inferiores a 500 µm foram utilizadas na caracterização, sendo obtidos dados de análises químicas, DRX, MEV e DTA. Os resultados indicam que as fibras produzidas utilizando a escória de aciaria elétrica apresentam propriedades importantes, especialmente o ponto de fusão. Tais características indicam que o produto possui uma boa relação custo/benefício, podendo ser utilizado como matéria-prima parcial pela indústria de isolamento termo-acústico.

Palavras-chave: Reciclagem; Escória de aciaria; Fibra de vidro; Isolante.

CHARACTERIZATION OF FIBER GLASS OBTAINED FROM STEELMAKING SLAG

Abstract

The aim of this work was to characterize fiber glass obtained from Steelmaking Slag produced in an Electric Arc Furnace (EAF), and therefore provide an application to this waste that has a considerable generation in the steelmaking industry. Batches using the steelmaking slag and chemical additives were melted in a laboratory-scale electric furnace working at temperatures of 1400, 1450 and 1500 °C. The melted materials were directly poured in a water-filled recipient aiming the rapidly cooling. Samples of the produced materials with thickness smaller than 500µm were used for the materials characterizations. Data of chemical analysis, XRD, SEM, and DTA were obtained. The results indicate that the fiber glass produced using the steelmaking slag from EAF have considerable properties, specially the melting point. These characteristics indicate that the product is cost-effective and can be used as a raw material in the thermo-acoustic insulation industry.

Key-words: Recycling; Steelmaking slag; Fiber glass; Insulator.

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

² *Doutorando, Universidade de São Paulo / Northeastern University, Mestre em Eng. de Materiais.*

³ *Doutorando, Universidade de São Paulo, Mestre em Eng. de Materiais.*

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

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



1 INTRODUÇÃO

O investimento no reaproveitamento de rejeitos industriais constitui uma vantagem que coloca o fabricante em uma posição fortemente competitiva no mercado, devido não apenas à questão econômica, como também a oportunidade de veiculação deste princípio como marketing ecológico.⁽¹⁾

A realização do presente trabalho visou à obtenção das bases do conhecimento para a transformação da escória de aciaria elétrica em matéria-prima, e assim, diminuir o impacto causado pela exposição deste material ao meio ambiente. Além disto, o novo produto formado (fibra de vidro) possui amplo mercado consumidor, sendo que a utilização do resíduo implica em uma diminuição da extração de recursos naturais necessários para a produção deste material.

O setor siderúrgico se encontra em franca expansão, aumentando a geração de escórias. A escória de aciaria é um subproduto gerado durante a produção do aço, podendo ser oriunda de diferentes processos, tais como as geradas nos fornos conversores Linz-Donawitz (LD), ou de arco elétrico (FEA).^(1,2) A produção mundial de aço bruto em 2008 alcançou a cifra de 1,3 bilhões de toneladas registrando um novo recorde de produção.⁽³⁾ Considerando que para cada tonelada de aço produzido são gerados cerca de 150 kg de escória de aciaria, ou seja, 15% do total produzido, somente no ano de 2008 foram produzidos aproximadamente 200 milhões de toneladas deste resíduo.^(2,3) Os projetos de aplicação da escória de aciaria se desenvolveram no sentido de usar este resíduo em materiais de construção, como por exemplo, concreto, argamassa e base asfáltica. Porém, estudos mostraram que esta utilização tem restrições no que se refere à capacidade de hidratação da escória de aciaria após sua utilização, fazendo com que os materiais fabricados tenham sua integridade física comprometida.^(2,4) Cerca de 30% da produção brasileira e 20% da produção mundial da escória de aciaria não são reaproveitadas, tendo como destino extensas áreas dos parques industriais e ocasionando custos de disposição.^(1,2) Portanto, o reaproveitamento da escória de aciaria representa uma solução técnica, econômica e ecológica para as siderúrgicas. As fibras de vidro são compostas por filamentos de vidro envoltos em um polímero aglutinante, estas fibras possuem características como alta resistência química e mecânica, durabilidade e leveza.⁽⁵⁾ A composição da fibra de vidro varia de acordo com a aplicação do produto final, neste trabalho foi adotado como base as fibras destinadas ao isolamento termo-acústico, que são denominadas lãs minerais. No grupo das lãs minerais sintéticas destacam-se a lã de vidro (fabricada usando vidro fundido de carbonato de sódio e cal) e a lã de rocha (fabricada usando rochas basálticas), sendo que ambas possuem matérias-primas provenientes de recursos naturais não-renováveis.^(5,6) Estas lãs possuem estrutura vítrea e como tal suportam quantidades de diferentes elementos em solução sendo, portanto, ideais para assimilar resíduos complexos em sua composição.⁽⁶⁾ Devido as suas características termo-acústicas, as lãs de vidro e de rocha atendem aos mercados de construção civil, industrial, automotivo, entre outros.⁽⁶⁻⁸⁾



2 MATERIAIS E MÉTODOS

As matérias-primas empregadas neste trabalho foram:

- escória de aciaria elétrica proveniente de um forno elétrico a arco (FEA) de uma siderúrgica brasileira; e
- reagentes químicos: sílica (SiO_2) alumina (Al_2O_3), óxido de magnésio (MgO) e bórax (16,25% de Na_2O , 36,51% de B_2O_3 e 47,24% de H_2O).

A escória de aciaria foi fragmentada em um almofariz de alumina e submetida a uma peneira do tipo ABNT - 4 (abertura de 4,76 mm), sendo utilizado o material passante. A homogeneização dos componentes da mistura foi realizada em um agitador, tendo sido aplicado 10 min de funcionamento.

A fusão das matérias-primas foi realizada em um forno a arco elétrico do tipo Detroit em escala laboratorial. Os lotes foram aquecidos durante 50 min e vazados em um recipiente contendo água (à temperatura ambiente) visando um resfriamento brusco. Foram realizados ensaios com diferentes temperaturas: 1.400°C, 1.450°C e 1.500°C, tais temperaturas foram adotadas por terem sido citados na literatura como as empregadas na indústria de produção da lã mineral.^(5,6) Um pirômetro ótico (emissividade de 0,45) foi utilizado para registrar a temperatura do material durante o vazamento.

Após o processo de resfriamento, os materiais foram coletados e armazenados em uma estufa durante 24 h a uma temperatura de 90°C. Em seguida, amostras dos materiais produzidos (Figura 1) com espessuras inferiores a 500 μm foram coletadas e caracterizadas empregando as técnicas:

- análise química;
- difração de raios X (DRX);
- microscopia eletrônica de varredura (MEV); e
- análise térmica diferencial (DTA).

Neste artigo, são exibidos os resultados das análises químicas, MEV e DTA realizadas apenas nas amostras vertidas a 1.450°C, uma vez que a variação nominal da temperatura não afetou significativamente o resultado destas técnicas.



Figura 1. Amostra do material formado.



3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análise Química da Escória

A Tabela 1 traz o resultado da análise química da amostra de escória de aciaria elétrica, este material possui aproximadamente 17% de SiO_2 e 47% de CaO em sua composição. O reaproveitamento da escória de aciaria tem aplicações restritas devido principalmente à sua instabilidade volumétrica, sendo que a principal causa desse fenômeno é a hidratação da cal livre (a hidratação da magnésia livre também pode contribuir). A instabilidade volumétrica pode ser controlada submetendo a escória de aciaria ao processo de vitrificação.⁽⁹⁾

Tabela 1. Composição química da escória de aciaria elétrica (em % de peso)

Elementos	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	MnO	Fe_2O_3	Cr_2O_3	Outros
Composição	16,9	46,9	2,6	5,4	5,5	16,2	2,1	4,4

3.2 Análise Química dos Materiais Formados

A Tabela 2 traz um quadro comparativo entre as composições químicas das lâs de vidro e de rocha estabelecidas pela Associação de Fabricantes de Isolamento Térmico (*Thermal Insulation Manufacturers' Association - TIMA*)⁽⁶⁾ e as análises dos materiais produzidos.

Tabela 2. Comparação entre as composições químicas das lâs de vidro e de rocha estabelecidas pela TIMA e dos materiais produzidos no trabalho (em % de peso)

Elementos	Lã de vidro		Lã de rocha	
	TIMA ⁽⁶⁾	Produzido	TIMA ⁽⁶⁾	Produzido
SiO_2	55,0 - 70,0	55,2	41,0 - 53,0	43,2
CaO	5,0 - 13,0	17,2	10,0 - 25,0	22,6
Al_2O_3	0,0 - 7,0	2,2	6,0 - 14,0	10,6
MgO	0,0 - 5,0	1,4	6,0 - 16,0	7,8
Fe_2O_3	0,1 - 0,5	4,9	3,0 - 8,0	11,1
Na_2O	13,0 - 18,0	11,3	1,1 - 3,5	2,2
B_2O_3	3,0 - 12,0	4,8	0,0 - 0,0	0,6
Outros	---	3,0	---	1,9

Através de uma análise da Tabela 2 pode-se observar que a maioria dos componentes dos materiais produzidos se enquadra dentro das faixas de composições recomendadas pela TIMA. A quantidade de Fe_2O_3 apresenta valores discrepantes para ambas as lâs, tal fato se deve ao elevado teor deste óxido presente na escória de aciaria, entretanto esta diferença não afeta diretamente as lâs, pois este é um óxido intermediário usado apenas para fornecer características específicas como resistência térmica e estabilidade química. A lâ de vidro produzida apresentou um valor de CaO acima do recomendado pela TIMA, este é um óxido modificador de vidros empregado na composição para aumentar a fluidez e reduzir a temperatura de fusão, portanto este excesso pode alterar as temperaturas de trabalho deste material.

3.3 Difração de Raios X dos Materiais Formados

Os espectros de difração de raios X dos produtos obtidos para as diferentes temperaturas de vazamento são mostrados na Figura 2 (lã de vidro) e na Figura 3 (lã de rocha). Através da análise destas figuras pode-se notar que as curvas exibidas apresentaram picos largos, o que caracteriza a condição amorfa dos materiais. Portanto, os materiais apresentaram características estruturais derivadas de um processo de resfriamento suficientemente rápido a fim de garantir a máxima ausência de ordenação estrutural dos vidros, ou seja, não ocorreu o processo de devitrificação indesejado na obtenção dos materiais.

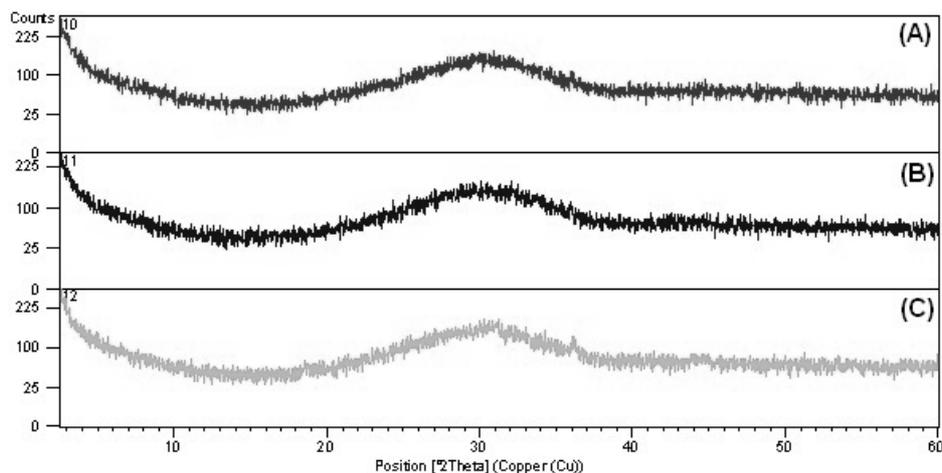


Figura 2. Espectros de difração de raios X da lã de vidro obtida, empregando diferentes temperaturas de vazamento do material: (A) 1.400°C, (B) 1.450°C e (C) 1.500°C.

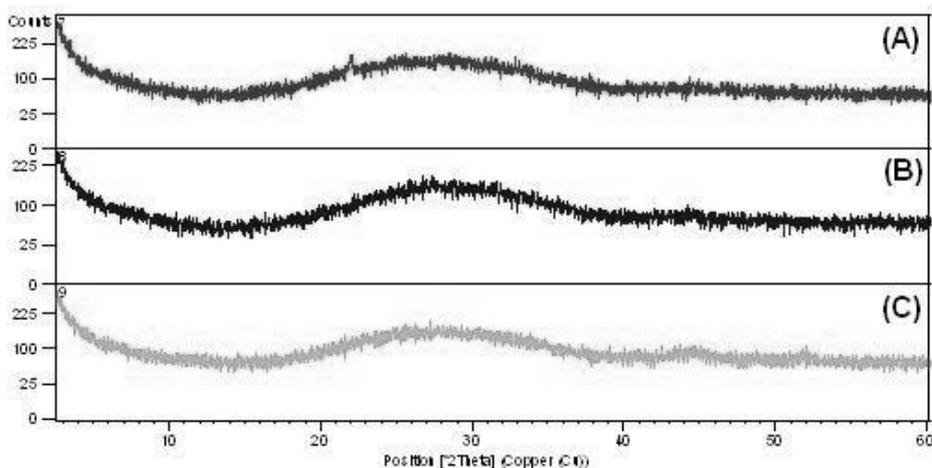


Figura 3. Espectros de difração de raios X da lã de rocha obtida, empregando diferentes temperaturas de vazamento do material: (A) 1.400°C, (B) 1.450°C e (C) 1.500°C.

3.4 Análise Microestrutural dos Materiais Formados

As imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos materiais formados estão dispostas nas Figuras 4-A (lã de vidro) e 4-B (lã de rocha). Os produtos formados não apresentaram fases secundárias, o que pode ser comprovado pelo aspecto homogêneo das imagens.

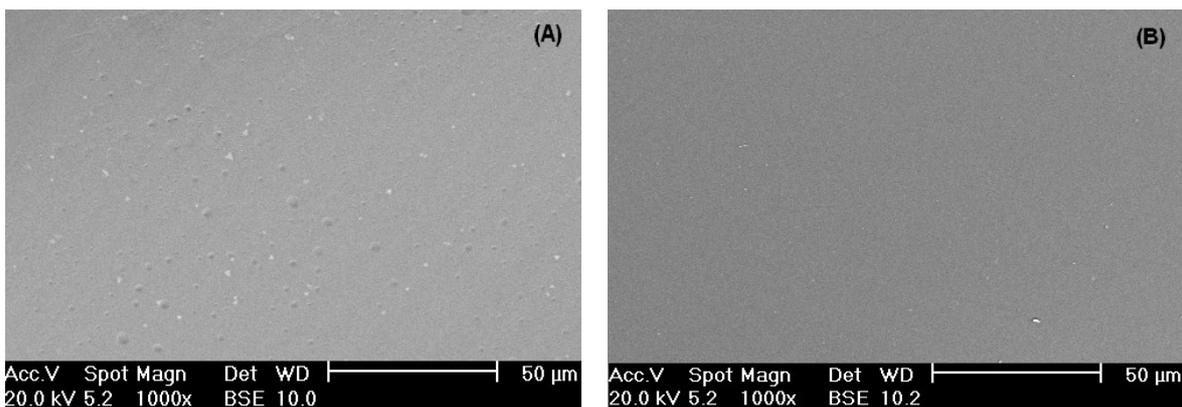


Figura 4. Imagens MEV dos materiais produzidos: (A) lã de vidro e (B) lã de rocha.

3.5 Análise Térmica Diferencial

A Figura 5 mostra os resultados da análise térmica diferencial (DTA) dos materiais produzidos. Os gráficos expressam o comportamento térmico dos materiais: picos exotérmicos correspondem às temperaturas de cristalização e picos endotérmicos representam as temperaturas de fusão dos materiais.

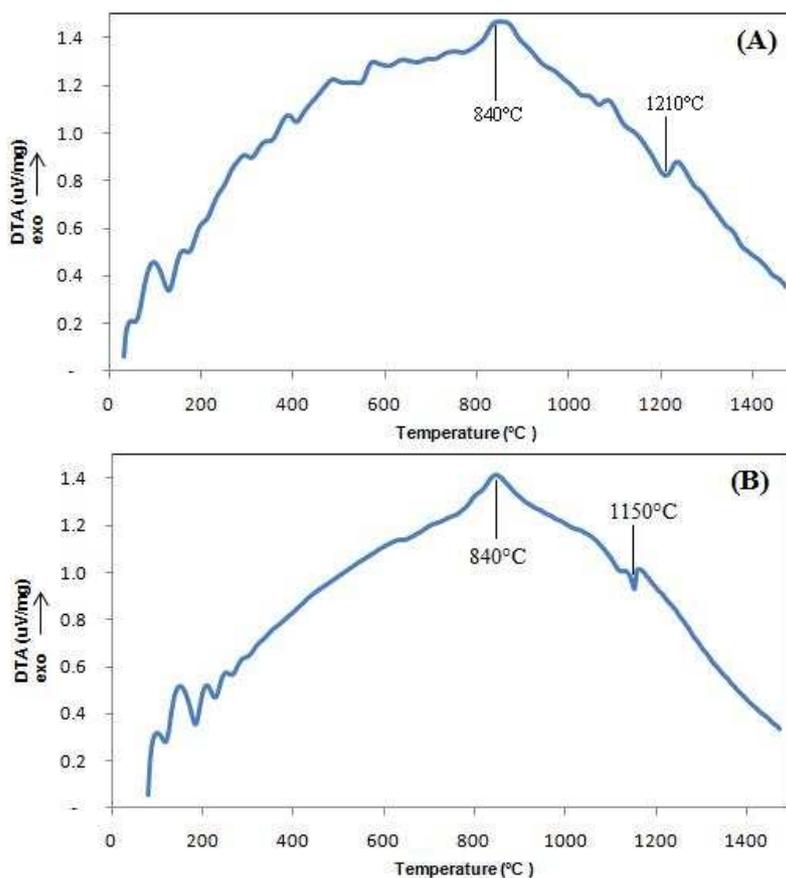


Figura 5. Análise térmica diferencial dos materiais produzidos: (A) lã de vidro; (B) lã de rocha.

A análise térmica diferencial do material produzido visando à fabricação de lã de vidro é exibida na Figura 5-A, a temperatura de cristalização registrada foi de 840°C, sendo a temperatura de fusão aproximadamente 1.210°C. A Figura 5-B



mostra que o material produzido visando à fabricação de lã de rocha teve temperatura de cristalização de 840°C e temperatura de fusão de 1.150°C.

As lãs de vidro e de rocha são utilizadas principalmente como revestimentos de paredes para propiciar isolamento térmico e proteção contra a propagação do fogo em caso de incêndio. Segundo a *Thermal Insulation Manufacturers' Association* (TIMA) a temperatura de incêndio em um edifício típico é de aproximadamente 925 e 1.030°C, após uma e duas horas respectivamente. Ao serem submetidas a temperaturas elevadas as lãs minerais sofrem o processo de desvitrificação quando, então, é formado um material policristalino termicamente e dimensionalmente estável, sendo capaz de conter um incêndio estrutural por várias horas.⁽⁶⁾ Os materiais produzidos fundiram a 1.210°C (lã de vidro) e 1.150°C (lã de rocha), portanto estes materiais possuem pontos de fusão superiores às temperaturas de um edifício em incêndio (925°C – 1.030°C).

4 CONCLUSÕES

Os resultados encontrados neste trabalho permitem concluir que a utilização da escória de aciaria elétrica como matéria-prima é aplicável na produção das lãs de vidro e de rocha, proporcionando uma diminuição na extração de recursos minerais, um destino rentável para a escória e uma economia para as empresas produtoras de isolamento termo-acústico. O emprego da escória como matéria-prima na produção destas lãs deve ser restrita a valores não superiores a 10% do total da mistura para a lã de vidro e 53% para a lã de rocha, sendo os altos teores de CaO e o Fe₂O₃ presentes na escória os principais responsáveis por estas restrições. A adição da escória não afeta a principal qualidade das lãs: o isolamento térmico e a capacidade de prevenção da propagação do fogo em caso de incêndio.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação Gorceix, Universidade Federal de Ouro Preto e Universidade de São Paulo.

REFERÊNCIAS

- 1 ALVES, J.O., ESPINOSA, D.C.R., TENORIO, J.A.S. Recycling of steelmaking slag aiming at the production of thermo-acoustic insulation. TMS 2009 - 138th Annual Meeting & Exhibition, 2009, San Francisco - USA, p. 921-925.
- 2 DELLA, V. P., JUNKES, J. A., KUHN, I., HIELLA, H. G., HOTZA, D. By-product Utilization of Metallic Recovering of Stainless Steel Slags in The Ceramic Pigments Synthesis: Raw Material Characterization. *Cerâmica*, 2005, v. 51, n. 318.
- 3 FENTON, M.D. Iron and Steel. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries. American Iron and Steel Institute. Jan. 2009, pp. 82-83.
- 4 PIORO, L.S., PIORO, I.L., 2004. Reprocessing of Metallurgical Slag into Materials for the Building Industry. *International Journal of Waste Management*, v. 24, issue 4, pp. 365-373.
- 5 BUCK, R. L. Man-Made Vitreous Fibers. Technical Manual NEHC-TM6290.91-1, Rev. A, Navy Environmental Health Center, USA, 1997.
- 6 TIMA - Nomenclature Committee, 1991. Man-made Vitreous Fibers: Nomenclature, Chemical and Physical Properties, 27, Stamford, CT, Owens-Corning Fiberglass, IPCS-WHO.
- 7 LUOTO, K.; HOLOPAINEN, M.; KANGAS, J.; KALLIOKOSKI, P.; SAVOLAINEN, K.. Dissolution of short and long rockwool and glasswool fibers by macrophages in flowthrough cell culture. *Environ. Res. Sect. A* 78, pp. 25-37, 1998.



- 8 LIDDELL, D., MILLER K., 1991. Mineral fibers and health, 1st edition. CRC Publishers Inc., Boca Raton, Florida, USA.
- 9 JUCKES, L.M., 2003. The volume stability of modern steelmaking slags. Mineral Processing & Extractive Metallurgy Review, v.112, issue 3, pp. 177-197.