

RECICLAGEM DA ESCÓRIA DE ACIARIA E DO RESÍDUO DE CORTE DO GRANITO VISANDO A PRODUÇÃO DE LÃ DE VIDRO ¹

*Joner Oliveira Alves²
Denise Croce Romano Espinosa³
Jorge Alberto Soares Tenório⁴*

Resumo

O trabalho teve como objetivo o estudo do reaproveitamento da escória de aciaria elétrica e do resíduo de corte do granito visando a produção de lã de vidro. Foram analisadas as composições químicas dos resíduos e realizada uma verificação dos ajustes necessários visando uma aproximação da lã de vidro. Posteriormente, foi utilizado um forno a arco elétrico para fundir uma mistura com os resíduos. Foram adotadas três temperaturas de vazamento: 1400°C, 1450°C e 1500°C. Primeiro sobre um recipiente com água, visando um resfriamento brusco, e em seguida, sobre o Viscosímetro Herty. Amostras do material produzido foram caracterizadas por técnicas de análises químicas, difratométricas e microestruturais. Os resultados encontrados neste trabalho podem dar início a uma inovação tecnológica, pois permitem o reaproveitamento da escória de aciaria e do resíduo de granito, transformando-os em subprodutos e, além disto, encontrou-se uma alternativa econômica para a produção da lã de vidro, que possui amplo mercado como isolante termo-acústico.

Palavras-chave: Reciclagem; Escória de aciaria; Resíduo de Granito; Lã de vidro.

RECYCLING OF STEELMAKING SLAG ASSOCIATE WITH THE WASTE FROM GRANITE CUTTING AIMING AT THE PRODUCTION OF GLASS WOOL

Abstract

The aim of this work was to study the use of steelmaking slag and waste from granite cutting as raw material to the production of glass wool. Aiming a rapprochement of glass wool, the chemical compositions of the residues were analyzed and the necessary adjustments were performed. Posteriorly, an electric arc furnace was used to melt the material. Different temperatures were studied: 1400°C, 1450°C and 1500°C. Firstly, small amounts of melt material were leaked into a container with water, in order to impose a rapid cooling. Then, the Herty viscosity test was performed. Samples of produced materials were characterized by chemical analysis, X-ray diffraction and Scanning Electronic Microscopy. The results found in this work may lead to a technological innovation, because they permitting the reuse of steelmaking slag and granite waste, and was created an economic alternative for the production of glass wool, that has a broad market as thermo-acoustic insulation.

Key-words: Recycling; Steelmaking slag; Granite waste; Glass wool.

¹ *Contribuição técnica ao 40º Seminário de Aciaria – Internacional, 24 a 27 de maio de 2009, São Paulo, SP, Brasil.*

² *Doutorando, Universidade de São Paulo (USP), Mestre em Eng. de Materiais.*

³ *Professora livre docente, Universidade de São Paulo (USP), Doutora em Eng. Metalúrgica.*

⁴ *Professor titular, Universidade de São Paulo (USP), Doutor em Eng. Metalúrgica.*

1 INTRODUÇÃO

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

Neste projeto utilizou-se o resíduo do corte de granito e a escória de aciaria elétrica, dois rejeitos industriais, com o intuito de produzir a lã de vidro, um material que possui grande aplicação como isolamento termo-acústico.

O setor siderúrgico se encontra em franca expansão e com ele a produção de escória de aciaria.⁽²⁾ 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.⁽³⁾ A produção mundial de aço bruto em 2007, alcançou a cifra de 1,3 bilhões de toneladas registrando um novo recorde de produção.⁽¹⁾ Considerando que para cada tonelada de aço produzido são geradas cerca de 150 kg de escória de aciaria, ou seja, 15% do total produzido, somente no ano de 2007 foram produzidos aproximadamente 200 milhões de toneladas deste resíduo.⁽²⁾

Outro setor industrial com grande produção de resíduo é o da indústria de corte do granito. Durante o processo de extração do granito, mais especificamente durante o corte da rocha, são gerados resíduos grossos e finos. Estimativas apontam que uma empresa pode produzir aproximadamente 35 toneladas de pó de granito em apenas um mês. O resíduo de granito deve ser tratado com cuidado, pois quando em contato com rios, lagoas ou reservatórios de água ele pode causar assoreamento, além de apresentar riscos à saúde humana, podendo causar graves problemas, como a silicose.⁽⁴⁾

A lã de vidro possui estrutura vítrea e como tal, suporta quantidades de diferentes elementos em solução, sendo ideal para assimilar resíduos complexos em sua composição. A matéria-prima principal deste material é o vidro fundido de carbonato de sódio e cal. Devido às suas características termo-acústicas, a lã de vidro atende aos mercados de construção civil, industrial, automotivo, entre outros.^(5,6) A Tabela 1 mostra composições químicas, encontradas na literatura, para esta lã.

Tabela 1. Composição química, em % de peso, da lã de vidro segundo diferentes autores⁽⁵⁻⁷⁾

Componentes	Porcentagem de peso		
	LUOTO et al. (1998)	BUCK (1997)	BRAGA (1991)
SiO ₂	64,4	34,0 - 73,0	60,0 - 70,0
CaO	7,4	0,0 - 22,0	6,0 - 9,0
MgO	3,2	0,0 - 5,5	3,0 - 4,0
Al ₂ O ₃	2,9	3,0 - 14,5	1,0 - 3,0
Fe ₂ O ₃	0,3	0,0 - 2,0	0,2 - 0,4
Na ₂ O	15,4	0,5 - 16,0	12,0 - 15,0
K ₂ O	1,4	0,0 - 3,5	0,0
TiO ₂	0,1	0,0 - 0,8	0,0
B ₂ O ₃	4,9	0,0 - 8,5	5,0 - 3,0

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 situada em São Paulo - SP);
- resíduo de corte do granito (proveniente de uma indústria situada em Cachoeiro do Itapemirim - ES); e
- reagente químico: 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 4,76mm), sendo utilizado o material passante.

Para a pesagem dos materiais foi utilizada uma balança da empresa Marte modelo AS 5500C, com menor divisão de 0,001g. A homogeneização dos componentes da mistura foi realizada em um agitador do tipo Eirich (com 10min de funcionamento).

A fusão das matérias-primas foi realizada no forno a arco elétrico do tipo Detroit, que se encontra no Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da USP. O material foi aquecido durante 50min, posteriormente, foram adotadas três temperaturas de vazamento do material (1.400°C, 1.450°C e 1.500°C).

Após o processo de fusão o material foi vazado, diretamente do forno, em um recipiente contendo água na temperatura ambiente. Neste procedimento, uma pequena quantidade do material foi depositada no recipiente, visando uma aproximação da técnica Melt Spinning, utilizada na produção da lã. Após o processo de resfriamento, o material foi coletado e levado a uma estufa do tipo FANEM a uma temperatura de 90°C durante 24h.

A Figura 1 exibe o processo de resfriamento adotado, pode-se observar o vazamento do material sobre um recipiente contendo água (a temperatura ambiente). A temperatura do material foi registrada através da utilização de um pirômetro ótico do tipo Minolta/Land (emissividade ajustada para 0,45).



Figura 1. Processo de resfriamento, em água, do material.⁽¹⁾

Amostras dos materiais produzidos foram caracterizadas através de técnicas de análises químicas, difratométricas e microestruturais. Sendo que, para as análises químicas e microestruturais foi caracterizada apenas a amostra que teve

vazamento à temperatura de 1.450°C, uma vez que a ligeira variação da temperatura não influi significativamente na composição química do material produzido.

O ensaio de viscosidade Herty foi empregado neste trabalho para uma avaliação da fluidez dos materiais. Este procedimento consiste no vazamento do material fundido em um aparelho constituído de uma entrada no formato de um cone e um canal horizontal. Foram realizados ensaios de viscosidade Herty para as três temperaturas de vazamento do material (1.400°C, 1.450°C e 1.500°C).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análise Química dos Resíduos

A Tabela 2 traz o resultado da análise química da amostra de escória de aciaria elétrica. Este material possui aproximadamente 17% de SiO₂ em sua composição, portanto, para a sua utilização como matéria-prima para a produção de materiais vítreos, é necessária a adição de outros componentes para compensar este valor.

Tabela 2. Composição química da escória de aciaria elétrica (em % de peso).

Elementos	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Outros
Composição (%)	16,85	46,93	2,56	5,44	5,47	16,21	2,12	4,42

A composição química do resíduo de corte do granito é mostrada pela Tabela 3. O material possui aproximadamente 66% de sílica (SiO₂), portanto, este resíduo possui proximidade com a matéria-prima utilizada para a produção de materiais vítreos.

Tabela 3. Composição química do resíduo de corte do granito (em % de peso).

Elementos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	B ₂ O ₃	Outros
Composição (%)	66,32	19,27	4,48	2,29	1,58	1,28	0,80	3,98

3.2 Aspectos Físicos do Material Formado

Como era esperado, o material adquiriu propriedades semelhantes aos vidros: translúcidos, frágeis e quebradiços à temperatura ambiente. Quanto a coloração, o material apresentou uma cor verde (como pode ser observado na Figura 2).

O óxido de cromo III (Cr₂O₃) é o principal agente corante dos vidros verdes. Quando o cromo se encontra no estado reduzido, ele fornece uma tonalidade fortemente esverdeada ao vidro. Pode-se concluir que a cor verde obtida no material produzido neste trabalho possui origem no teor de Cr₂O₃ encontrado na escória de aciaria possui (2,12%). O aparecimento deste óxido na composição do produto não é uma restrição ao emprego deste como lã de vidro, pois, como foi mencionado, o Cr₂O₃ é utilizado pelas indústrias vidreiras para a coloração do vidro.



Figura 2. Amostra do material formado.

3.3 Análise Química do Material Formado

A Tabela 4 mostra a composição química do produto formado. Pode-se observar que as proporções dos elementos estão dentro da faixa de composição da lâ de vidro (mostrada na Tabela 1). Traços de Cr_2O_3 (0,20%) foram encontrados, entretanto, devido a baixa concentração deste óxido, não existe perda de propriedades por parte da lâ. Os valores dos elementos majoritários encontrados neste produto satisfazem as porcentagens da composição da lâ de vidro, sendo que, apenas o Fe_2O_3 apresentou uma ligeira discrepância.

Tabela 4. Composição química do produto formado (em % de peso).

SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	MnO	Fe_2O_3	Na_2O	K_2O	TiO_2	B_2O_3	Cr_2O_3
54,20	11,60	3,30	9,10	0,34	3,86	9,80	1,65	0,35	5,62	0,20

3.4 Difração de Raios X do Material Formado

Os espectros de difração de raios X do produto obtido para as diferentes temperaturas de vazamento são mostrados na Figura 3. Através da análise desta figura pode-se notar que as curvas exibidas apresentaram picos largos, o que caracteriza a condição amorfa dos materiais. Portanto, o material apresentou características estruturais derivadas de um processo de resfriamento suficientemente rápido a fim de garantir a máxima ausência de ordenação estrutural dos vidros. Isto quer dizer que não houve o processo de devitrificação indesejado na obtenção deste material.

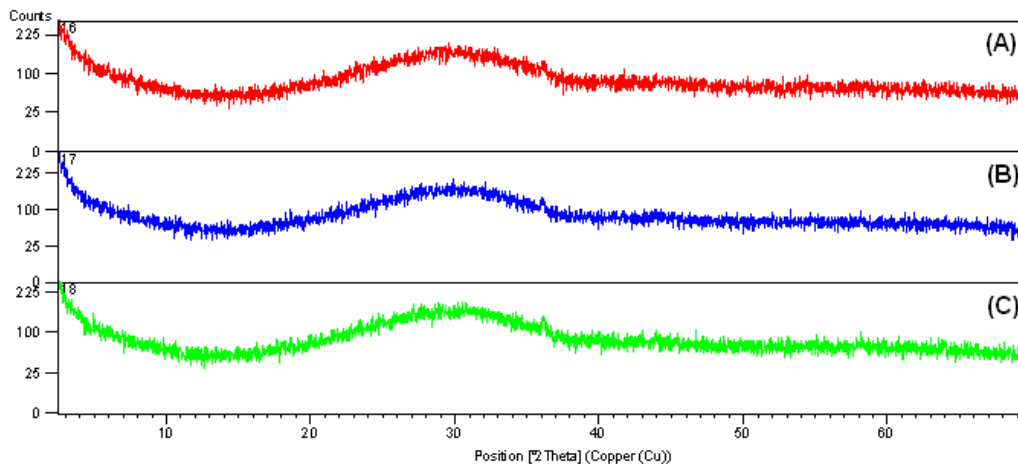


Figura 3. Espectros de difração de raios X do produto obtido para as diferentes temperaturas de resfriamento: (A) 1.400°C, (B) 1.450°C e (C) 1.450°C.

3.5 Análise Microestrutural do Material Formado

A imagem obtida por microscopia eletrônica de varredura do material formado está disposta na Figura 4. O produto formado com a mistura da escória de aciaria e do resíduo de corte do granito como matéria-prima principal não apresentou fases secundárias, o que pode ser comprovado pelo aspecto homogêneo da figura.

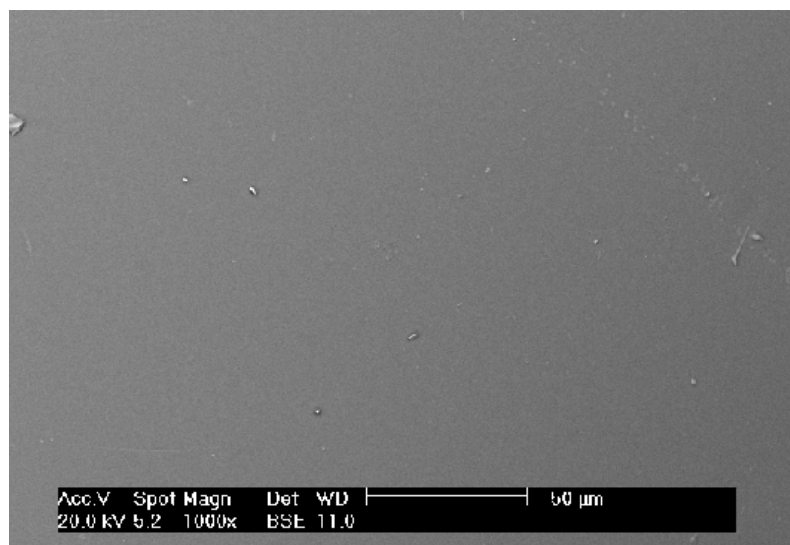


Figura 4. Imagem obtida por microscopia eletrônica de varredura do produto obtido.

3.6 Viscosidade Herty (Fluidez)

O ensaio de viscosidade Herty fornece a fluidez do material, ou seja, o quanto o material flui pelo viscosímetro antes da solidificação. Os resultados dos ensaios são expressos em centímetros, sendo demonstrados a seguir:

- para a temperatura de vazamento a 1400°C = 10 cm;
- para a temperatura de vazamento a 1450°C = 11 cm; e
- para a temperatura de vazamento a 1500°C = 13 cm.

Os valores da fluidez aumentaram proporcionalmente com o aumento da temperatura de vazamento. Uma variação de 3 cm foi registrada com o aumento da temperatura de vazamento de 1.400°C para 1.500°C.

Para as indústrias produtoras da lã de vidro, a fluidez é uma propriedade essencial para o material, uma vez que um baixo valor desta propriedade pode causar um entupimento no canal de vazamento, ocasionando a necessidade de troca do equipamento e portanto, uma parada da produção. Os valores de fluidez encontrados neste trabalho mostram que o emprego da escória de aciaria elétrica e do resíduo de corte do granito para a produção da lã de vidro é viável, não apresentando o problema citado.

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados encontrados neste trabalho pode-se concluir que a utilização da escória de aciaria elétrica e do resíduo de corte do granito é aplicável à produção da lã de vidro, entretanto estes resíduos não devem ser utilizados em quantidades superiores a 30% do total da mistura. Portanto, é recomendável a utilização destes resíduos, proporcionando uma diminuição na extração de recursos minerais, um destino rentável para os resíduos e uma economia na produção da lã de vidro.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES, USP e REDEMAT.

REFERÊNCIAS

- 1 ALVES, J.O. *Processo de reciclagem da escória de aciaria e do resíduo de corte do granito visando a produção de lã mineral*. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Rede Temática em Engenharia de Materiais, Ouro Preto, 2008.
- 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*, v. 51, n. 318, p.111-6, Apr./June 2005.
- 3 MANCIO, M. *Contribuição ao estudo do fenômeno da instabilidade volumétrica das escórias de aciaria elétrica*. 2001. 160 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- 4 MOREIRA, J.M.S.; FREIRE, M.N.; HOLANDA, J.N.F. Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha. *Cerâmica*, v. 49, n. 312, p. 262-7, 2004.
- 5 BUCK, R. L. Man-made vitreous fibers. Portsmouth, VA: Navy Environmental Health Center; 1997. (Technical manual, NEHC-TM6290.91-1).
- 6 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. *Environmental Research*, v. 78, n. 1, p. 25-37, July 1998.
- 7 BRAGA, O.J. *O aproveitamento de lã de vidro residual em matriz de gesso*. 1991. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, aulo, 1991.