



CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL PRODUZIDO A PARTIR DOS RESÍDUOS DO CORTE DE MÁRMORES E REAGENTES VISANDO A PRODUÇÃO DE LÃ DE ROCHA¹

Girley Ferreira Rodrigues²

Joner Oliveira Alves³

Denise Crocche Romano Espinosa⁴

Jorge Alberto Soares Tenório⁵

Resumo

O trabalho teve como objetivo a caracterização dos materiais produzidos a partir da mistura de resíduos do corte de mármore e reagentes químicos. Os materiais foram homogeneizados, fundidos e resfriados visando à obtenção de materiais com características semelhantes às lãs de rocha. A mistura foi vertida em um recipiente com água e também em um viscosímetro Herty em três temperaturas. Amostras dos materiais produzidos foram caracterizadas por técnicas de difração de raios X, Microscopia Eletrônica de Varredura e Análise Térmica Diferencial. Os resultados encontrados neste trabalho apontam que é possível a incorporação do resíduo do corte de mármore no processo produtivo da lã de rocha, através da substituição de aproximadamente 15% da matéria-prima utilizada na fabricação deste material. Este processo representa uma inovação tecnológica, pois permite o reaproveitamento do resíduo de mármore, além de representar uma possível diminuição no valor de produção para a lã de rocha, material que possui amplo mercado consumidor como isolante termo-acústico.

Palavras-chave: Mármore; Lã de rocha; Reciclagem; Isolante.

CHARACTERIZATION OF THE MATERIAL PRODUCED USING MARBLE WASTE AND REAGENTS AIMING PRODUCTION OF ROCK WOOL

Abstract

The aim of this work was to characterize materials produced from the mixture of marble waste and chemical reagents. The materials were homogenized, melted and cooled in order to obtain materials with similar characteristics of rock wools. The batch was poured in a water-filled recipient and also in a Herty viscometer at three temperatures. Samples of produced materials were characterized by X-ray diffraction, scanning electron microscopy and differential thermal analysis. Results of this study indicate that it is possible the incorporation of marble waste in the production process of rock wool, replacing approximately 15% of the raw material used to fabricate this material. This process represents a technological breakthrough since it allows the reuse of marble waste, and also represents a possible decrease in rock wool production cost, which is a material with a growing market as thermo-acoustic insulator.

Keywords: Marbles; Rock wool; Recycling; Insulator.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Doutorando, Universidade de São Paulo, Mestre em Eng. de Materiais.

³ Doutorando/Visiting Researcher, USP/Northeastern University (EUA), Mestre em Eng. de Materiais.

⁴ Professora Associada, Universidade de São Paulo, Doutora em Eng. Metalúrgica.

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



1 INTRODUÇÃO

A possibilidade da produção de produtos utilizando-se resíduos pode se apresentar como uma maneira de diminuir a quantidade de resíduos descartados no ambiente e também prolongar o uso das reservas de matérias-primas naturais. Pois o descarte de resíduos no meio ambiente pode causar danos e comprometer o meio ambiente. A reutilização e a reciclagem de resíduos é considerada uma viabilidade econômica para a destinação de resíduos.⁽¹⁾

Este trabalho visou obter bases sobre conhecimento e a possibilidade da utilização de resíduo industrial para ser utilizado como matéria-prima e ser reintroduzida no meio produtivo, dessa forma este trabalho se insere no contexto de reciclagem e reutilização de resíduos industriais. O aproveitamento total ou parcial, de rejeitos é uma forma de diminuir a quantidade de resíduo descartado no meio ambiente e também diminuir a extração de matéria-prima natural e além de tudo isso 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.^(2,3)

O presente trabalho teve como objetivo a caracterização dos materiais produzidos a partir da mistura de resíduos do corte de mármore e reagentes químicos que foram homogeneizados, fundidos e resfriados visando obter materiais com características semelhantes às lãs de rocha.

As rochas ornamentais têm ilimitadas aplicações, tal fato decorre do tipo de exploração e de uma combinação de suas qualidades estruturais e estéticas. O principal setor consumidor de rochas ornamentais é a construção civil (revestimento interno e externo de paredes, pisos e pilares, colunas, soleiras etc), que movimenta elevados volumes no mercado internacional. Outro setor com expressivo consumo é o de revestimento de elementos urbanos (pavimentação de vias, praças, parques, jardins, fontes, bancos ou assentos, calçadas e meios-fios etc). Independentemente da aplicação existe uma similaridade quanto ao ciclo produtivo, este engloba três principais etapas: a mineração (pedreira), o beneficiamento primário (serraria) e o acabamento final (polimento e lustre).⁽³⁾

O mármore é uma rocha carbonática, e os resíduos do corte de mármore gerados na etapa de desdobramento realizado com fio diamantado apresentam a mesma composição química da rocha que lhe deu origem. Geralmente estes resíduos são descartados em lagoas para decantação e em aterros.

Estudos que investigam os possíveis usos deste resíduo foram realizados por exemplo: Estudos sobre o uso como insumo agrícola para a correção do pH do solo;⁽⁴⁾ incorporação de resíduos de mármore na massa para produção de cerâmica vermelha.⁽⁵⁾

Lã mineral é um nome geral para muitos materiais inorgânicos de isolamento constituídos por um elevado número de fibras muito finas em conjunto, sob a forma de um cobertor, ou em outras formas que são aleatoriamente distribuídas dentro do produto. A fibra é o elemento básico de lã mineral. As fibras são impregnadas com um agente aglutinante, como o fenol betume.⁽⁶⁾ O material é normalmente dividido em diferentes subgrupos dependendo das matérias-primas que são feitos, como: a lã de rocha, lã de vidro, lã de escória. Sendo a sua fabricação feita a partir de vidro, rocha ou outro mineral. Devido às suas características termo-acústicas, este material atende aos mercados de construção civil, industrial, automotivo, eletro-eletrônico, entre outros.⁽⁷⁾

Lã de rocha: a principal matéria-prima utilizada na produção deste material são as rochas basálticas e a escória. Sua composição química é formada principalmente por SiO_2 , CaO , Al_2O_3 e MgO . Pode ser necessário adicionar calcário ou outros elementos, de modo a corrigir eventuais desvios na composição química do basalto.⁽⁶⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados resíduos do corte de mármore oriundos de empresas no Espírito Santo. A amostra após ter sido caracterizada⁽⁸⁾, foi elaborado um mistura contendo resíduos do corte de mármore e reagentes químicos, essa mistura visava ter a composição química semelhante a composição química das lãs de rocha. A Tabela 1 mostra a distribuição dos materiais utilizados.

Tabela 1: Distribuição das matérias-primas empregadas no trabalho

Resíduo	Sílica	Alumina	MgO	Fe_2O_3
15%	57%	16%	6%	6%

A mistura que tinha em sua composição 15% de resíduo do corte de mármore, utilizado como fonte de CaO e outros elementos em quantidades minoritárias. Para a elaboração da mistura foi utilizado para pesagem dos componentes uma balança da empresa Marte modelo AS 5500C, com menor divisão de 0,01g. Após a pesagem dos componentes da mistura foi realizada a homogeneização da mistura em um agitador do tipo Erich. Os materiais foram misturados durante dez minutos na velocidade de rotação 1 do equipamento.

Para a obtenção do produto desejado foi necessário realizar a fusão das misturas em temperaturas por volta de 1.400°C e 1.500°C . Conforme varia a composição química da matéria-prima. Devido às características das amostras de resíduos, foi feita a escolha de usar um forno elétrico a arco voltaico. Este forno atinge temperaturas acima de 1.700°C , além de possuir uma facilidade de vazamento do material (o que é bastante interessante, pois facilita o resfriamento brusco).

Neste trabalho foi utilizado um par de eletrodos de grafite que possuíam diâmetro de 1" por 1000 mm de comprimento (os eletrodos são desgastados com a utilização). O revestimento utilizado nos experimentos com o forno Detroit é composto por: MgO (82 - 88%), SiO_2 (3 - 5%) e Fe_2O_3 (3 - 6%), elementos que não atacam o material a ser produzido. Tal refratário suporta uma temperatura máxima de trabalho de cerca de 1800°C .

Para a fusão das misturas iniciava-se com a preparação do forno e do sistema de resfriamento dos eletrodos, ligava-se o forno Detroit vazio por 15 minutos, para aquecimento e estabilização do arco; em seguida, o forno era desligado e carregado com 1 kg de carga (mistura) e novamente ligado para fusão do material, que durava em torno de 50 minutos, após o material estar fundido, com o uso do pirômetro óptico conferia a temperatura do material fundido para iniciar o vazamento no viscosímetro Herty e em água. Os procedimentos de vazamento foram realizados por três pessoas, sendo uma medindo e falando a temperatura e duas realizavam o basculamento do forno, o basculamento iniciava-se na temperatura mais alta (1.500°C) e assim sucessivamente até atingir a temperatura mais baixa (1.400°C).

Sendo que as amostras vazadas em água em três temperaturas foram caracterizadas por técnica de difração de Raios X. O material que foi vazado na temperatura de 1.450°C foi analisado por Microscopia Eletrônica de Varredura e Análise Térmica Diferencial.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Fluidéz Herty

A medida da viscosidade dos materiais fundidos em função da temperatura constitui operação delicada, sendo a medida da fluidez Herty é uma maneira prática de se medir a fluidez. A Tabela 2 apresenta os resultados da fluidez Herty da escória a três temperaturas diferentes (1.400°C, 1.450°C e 1.500°C).

Tabela 2: Resultados dos ensaios de Fluidéz Herty

Temperatura de Vazamento	Fluidéz Herty (mm)
1.400°C	80
1.450°C	130
1.500°C	170

A fluidez do material obtido aumenta de acordo com o aumento da temperatura, uma faixa de fluidez de 80 mm a 170 mm foi registrada.

3.2 Difractometria de Raios X do Material Produzido

As lãs de rocha são materiais que não apresentam organização cristalina de longo alcance, ou seja, é um material vítreo.

A Figura 1 apresenta os difratogramas da mistura composta por resíduo do corte de mármore e reagentes visando produzir um material com característica semelhantes as lãs de rocha.

Observou-se através dos difratogramas que o material apresentou características estruturais derivadas de um processo de resfriamento suficientemente rápido a fim de garantir a máxima ausência de ordenação, que é uma característica estrutural dos materiais amorfos. Isto é, os difratogramas são formados por linhas sem picos marcantes associados à presença de fases cristalinas.

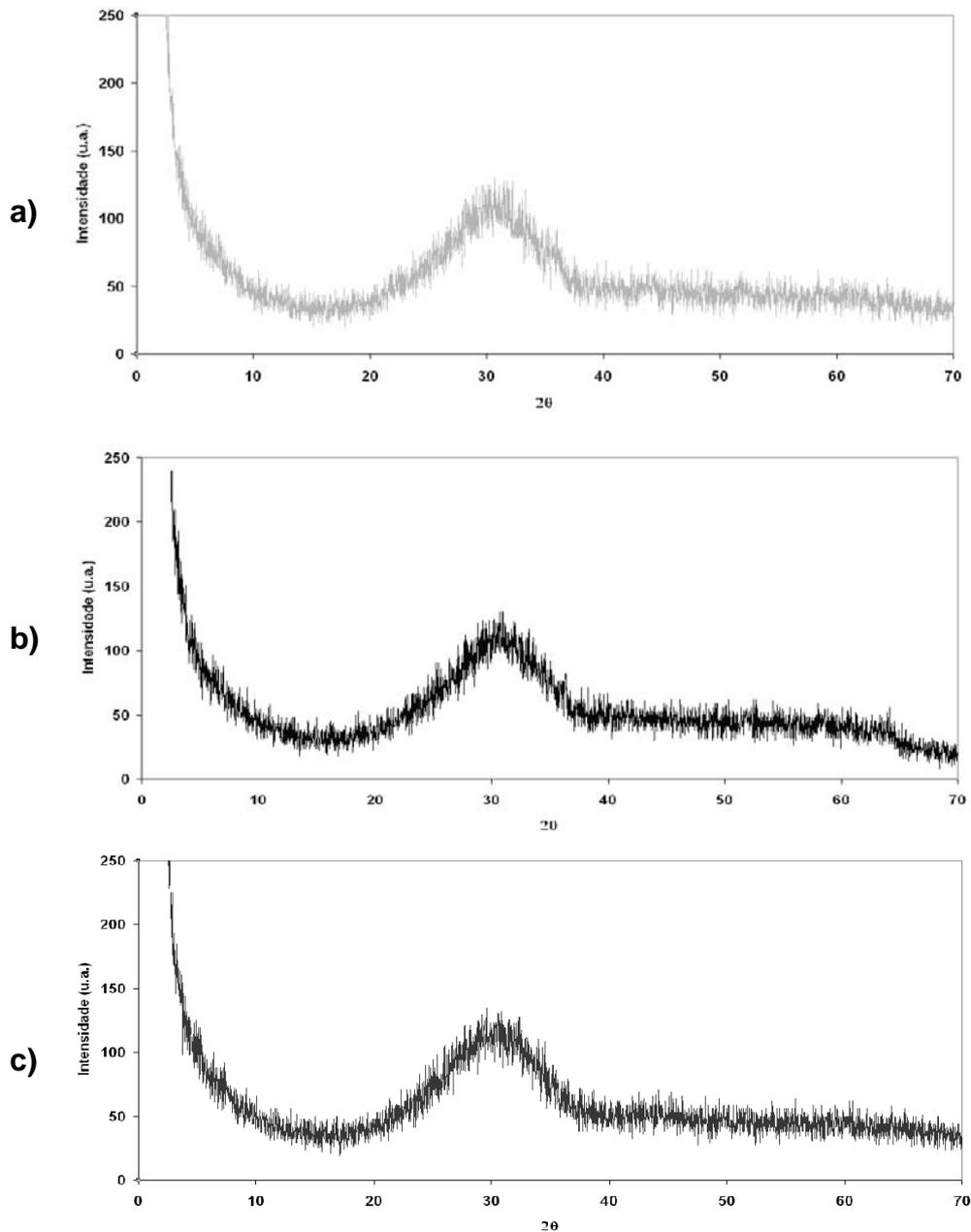


Figura 1: Difratogramas da mistura do resíduo do corte de mármore e outros reagentes para a produção de lã de rocha vazados em água a três temperaturas: a) 1.400°C, b) 1.450°C e c) 1.500°C.

3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A Figura 2 mostra as imagens no modo elétrons retroespalhados do material produzido.

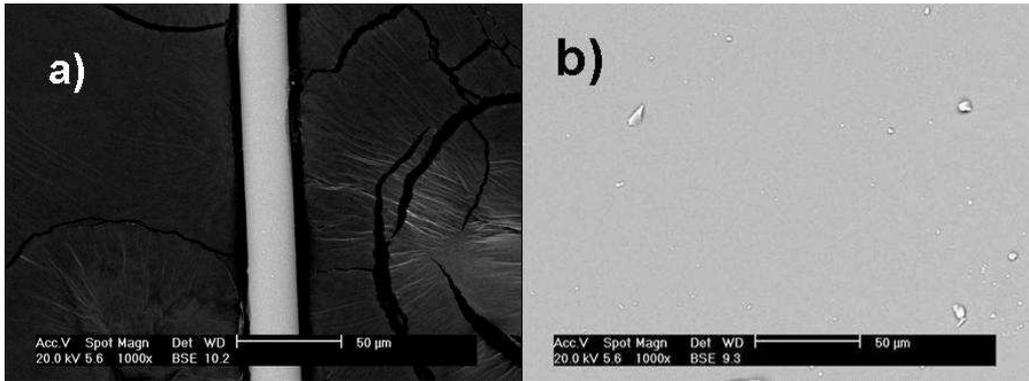


Figura 2: Imagem de elétrons retro-espalhados obtidas: a) fibra; b) parte com dimensões maiores que a fibra da imagem a.

Pela análise das imagens da Figura 2 nota-se em a) uma fibra com diâmetro em torno de 25 μm e em b) o aspecto homogêneo do material observa-se também a presença de partículas com dimensões micrométricas.

3.4 Análise Térmica Diferencial (DTA)

A curva representada na Figura 3 refere-se à Análise Térmica Diferencial e mostra o comportamento térmico do material vítreo obtido a partir da mistura de resíduos do corte de mármore e reagentes que foi fundida e vazada em água a temperatura de 1.450°C.

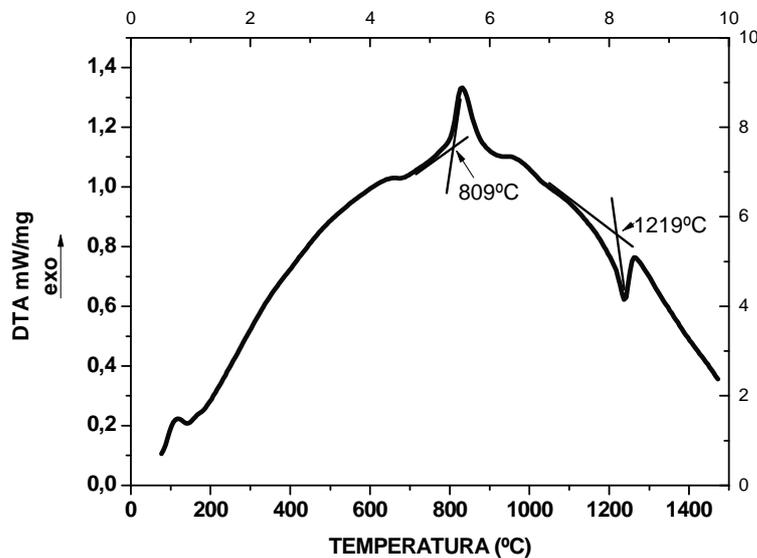


Figura 3: Análise Térmica Diferencial do material

Conforme se pode observar a curva da Figura 3, apresenta um evento exotérmico que se inicia em 800°C correspondendo essa temperatura a temperatura de cristalização do material, ou seja, acima desta temperatura o material inicia a cristalização de alguma fase, observa-se também que a temperatura de fusão do material é 1.219°C, nessa temperatura o material inicia sua fusão e esse evento de fusão é caracterizado pelo pico endotérmico.



5 CONCLUSÕES

Os resultados encontrados neste trabalho mostram que o material fundido apresenta valores de fluidez Herty crescente com a temperatura. O material que foi vazado em água foi resfriado suficientemente rápido garantindo a formação de um material com estrutura atômica predominantemente amorfa que foi confirmada pelos difratogramas. O aspecto do material é característico de um material vítreo e se apresentava homogêneo conforme as imagens de MEV. O material também apresentou temperatura de cristalização, ou seja, possui fase amorfa e temperatura de fusão característica das lãs de rocha. Os resultados encontrados neste trabalho sugerem que é possível a incorporação de resíduos do corte de mármore na matéria-prima para a fabricação de lã de rocha dando início a uma inovação tecnológica, que é permitir o reaproveitamento dos resíduos do corte de mármore, transformando-o em subproduto e fornecendo um destino adequado para tais. E conseqüentemente o uso do resíduo na fabricação de lã de rocha pode proporcionar uma diminuição do consumo de matéria-prima natural utilizado na produção deste produto podendo proporcionar uma economia para este setor.

Agradecimentos

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

REFERÊNCIAS

- 1 TERRY LAY, G.F.; ROCKWELL, M. C.; WILTSHIRE, J. C.; KETATA, C.; Characteristics of silicate glasses derived from vitrification of manganese crust tailings. *Ceramics International* (2009).
- 2 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.
- 3 ALVES, J.O., ESPINOSA, D.C.R., TENORIO, J.A.S. Reciclagem da escória de aciaria e do resíduo de corte do granito visando a produção de lã de vidro. *40º Seminário Internacional de Aciaria - ABM, 2009, São Paulo-SP*, p. 36-42.
- 4 BALDOTTO, M. A.; ASPIAZÚ, I.; SILVA, A. P.; CORRÊA, M. L. T.; VENEGAS, V. H. A. Potencialidade Agronômica do Resíduo de Rochas Ornamentais *Revista Capixaba de Ciência e Tecnologia, Vitória*, v. 3, p.1-8, 2007.
- 5 MELLO, R. M. de; Utilização do Resíduo Proveniente do Acabamento e manufatura de Mármore e Granitos como Matéria-Prima em Cerâmica Vermelha. *Dissertação de Mestrado, 67 p., Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, Brasil, 2006.*
- 6 TRDIC, F. ; SIROK, B. ; BULLEN, P. R. ; PHILPOTT, D. R. Monitoring Mineral Wool Production Using Real-Time Machine Vision. *Real-Time Imaging* 5, 125-140, Academic Press, USA, 1999.
- 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 *1 Environmental Research, Section A*, v. 78, p. 25-37, 1998.
- 8 RODRIGUES, G.F., ALVES, J.O., ESPINOSA, D.C.R., TENORIO, J.A.S. Caracterização de Resíduos do Corte de Granito e Mármore Visando a Produção de Materiais Vítreos. *64º Congresso anual da ABM, julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*