



ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DO CORTE DE MÁRMORES E GRANITOS EM MATÉRIA-PRIMA PARA A FABRICAÇÃO DE LÃ DE VIDRO¹

Girley Ferreira Rodrigues²

Joner Oliveira Alves³

Eduardo Junca⁴

Victor Bridi Telles⁵

Denise Crocce Romano Espinosa⁶

Jorge Alberto Soares Tenório⁷

Resumo

O trabalho teve como objetivo a caracterização dos materiais obtidos através da fusão da mistura contendo resíduos do corte de mármore e granitos, além de reagentes químicos. Através dos resultados das caracterizações foi definida a viabilidade do reaproveitamento dos resíduos do corte de mármore e granitos, por meio da incorporação junto à matéria-prima para a produção de lã de vidro (material com grande mercado consumidor como isolante termo-acústico). A mistura foi vertida em um recipiente com água e também em um viscosímetro Herty em temperaturas de 1.400°C, 1.450°C e 1.500°C. Amostras dos materiais produzidos foram caracterizadas quanto a sua morfologia por Microscopia Eletrônica de Varredura, em relação à estrutura atômica por Difração de Raios X e quanto ao comportamento térmico por Análise Térmica Diferencial. O somatório da quantidade de resíduos do corte de mármore e granitos pode atingir cerca de 79% de substituição em relação à massa total da matéria-prima utilizada na fabricação da lã de vidro.

Palavras-chave: Mármore; Granito; Lã de vidro; Reciclagem.

STUDY OF THE INCORPORATION OF MARBLE AND GRANITE WASTES IN THE RAW MATERIAL TO PRODUCE GLASS WOOL

Abstract

The study aimed to characterize materials obtained from the melted mixture containing marble and granite wastes, and also chemical reagents. Using the characterization results was defined the feasibility of reuse of the marble and granite wastes, through the incorporation in the raw material to produce glass wool (a material with great consumer market as thermo-acoustic insulator). The batch was poured in a water-filled recipient and also in a Herty viscometer at temperatures of 1400, 1450 and 1500 °C. Samples of produced materials were characterized by morphology using Scanning Electron Microscopy, by atomic structure using X-ray Diffraction, and by thermal behavior using Differential Thermal Analysis. The total amount of marble and granite wastes can reach about 79% replacement in relation to the total weight of the raw material used in the glass wool production.

Keywords: Marble; Granite; Glass wool; Recycling.

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 Doutorando, Universidade de São Paulo, Mestre em Eng. Metalúrgica.

⁵ Mestrando, Universidade de São Paulo, Tecnólogo em Metalurgia e Materiais.

⁶ Professora Associada, Universidade de São Paulo, Doutora em Eng. Metalúrgica.

⁷ Professor titular, Universidade de São Paulo, Doutor em Eng. Metalúrgica.

1 INTRODUÇÃO

A introdução de resíduos para a produção de um produto pode ser uma maneira de diminuir a quantidade de resíduos jogados no ambiente e também prolongar o uso das reservas de matérias-primas naturais.⁽¹⁾

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).⁽²⁾

Após a extração dos blocos de rochas nas pedreiras, seguem outras etapas para o beneficiamento do granito e do mármore, conforme está representado no fluxograma da Figura 1.

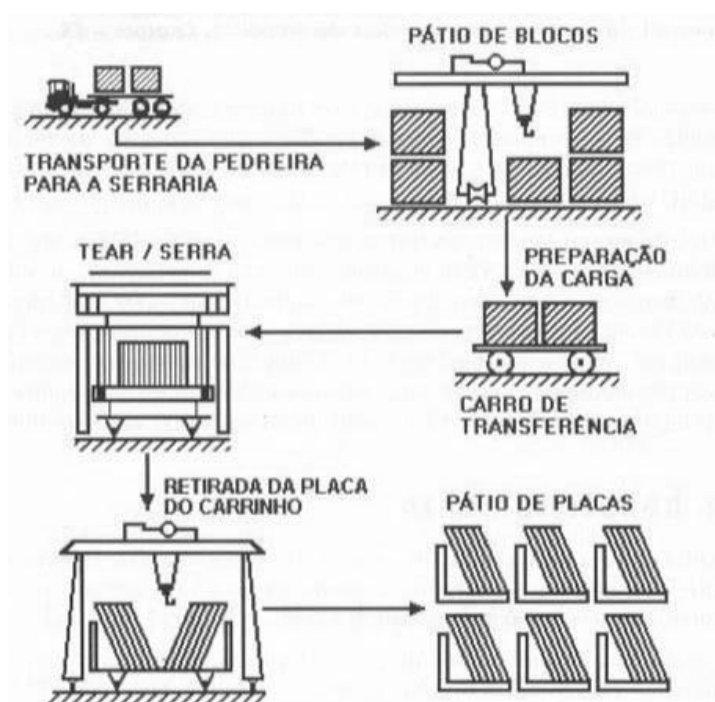


Figura 1: Seqüência de operações para a serragem dos blocos.⁽¹⁾

O beneficiamento das rochas ornamentais após estarem nas serrarias segue para a etapa de desdobramento em chapas, neste processo é possível a obtenção de chapas com espessuras variadas, esta etapa é realizada principalmente por dois métodos: corte com fio diamantado e corte em teares.⁽²⁾

Após a obtenção das chapas estas seguem para o beneficiamento secundário (corte e acabamento de peças) esta etapa é geralmente realizada em unidades chamadas marmorarias.

Durante a serragem, gera-se uma lama constituída por: fragmentos dos blocos, água e uma polpa abrasiva conforme o processo de corte utilizado. Esta

lama após a secagem e eliminação da água permanece na forma de um pó com granulometria fina.⁽³⁾

A indústria de beneficiamento de mármore e granito vem despertando cada vez mais o interesse dos ambientalistas devido ao impacto ambiental causado pelo descarte dos resíduos no meio ambiente e em parte dos casos, não existe por parte das empresas nenhuma preocupação com o meio ambiente, sendo o rejeito jogado diretamente em lagoas e rios, sem nenhum tratamento prévio.

A reciclagem destes materiais é de interesse para as indústrias, principalmente devido às exigências dos órgãos ambientais. Neste trabalho é verificada a prática de incorporar os resíduos para a produção de material com características semelhantes às lãs de vidro.

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.⁽⁴⁾ O material é normalmente dividido em diferentes subgrupos dependendo das matérias-primas que são feitos e da composição química das fibras, 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.^(5,6)

Lãs de vidro: são tradicionalmente feitas a partir de vidro fundido, carbonato de sódio, sílica e cal. Sua matéria-prima principal é o vidro borossilicato (fabricado através da adição de boro aos componentes tradicionais do vidro), além de outros componentes (sílica, cal e carbonato de sódio) utilizados para dar características específicas.^(7,8)

Com isso esse trabalho visou obter bases do conhecimento sobre o uso dos resíduos do corte de mármore e granitos, oriundos do Espírito Santo na incorporação na matéria-prima para a produção de lã de vidro que é um produto que devido as suas característica pode atender a vários mercados.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Na execução deste trabalho foram utilizados resíduos do corte de mármore e de granitos oriundos de empresas no Espírito Santo. Após a caracterização⁽³⁾ das amostras e estudo da composição química das lãs de vidro, foi elaborada mistura contendo resíduos do corte de mármore e de granitos e reagentes químicos essa mistura visava obter um produto após a fusão e resfriamento com as características semelhantes às características das lãs de vidro. A Tabela 1 mostra a distribuição dos materiais utilizados.

Tabela 1: Distribuição das matérias-primas empregadas no trabalho

Resíduo de granito	Resíduo de mármore	Bórax
59%	20%	21%

A soma da quantidade de resíduos do corte de mármore e granitos na mistura em relação à massa total chegou a 79%. 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 1 do equipamento, a velocidade não é indicada em RPM no equipamento e sim em uma escala variando de 1 a 3.

Para a obtenção do produto desejado é necessário realizar a fusão das misturas, sendo para isso necessário temperaturas em torno de 1.400°C a 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.

Neste trabalho foi utilizado um par de eletrodos de grafite que possuíam diâmetro de 1" por 1.000 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%), SiO₂ (3% - 5%) e Fe₂O₃ (3% - 6%), elementos que não atacam o material a ser produzido. Tal refratário suporta uma temperatura máxima de trabalho de cerca de 1.800°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 3 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 1450°C foi analisado por Microscopia Eletrônica de Varredura e Análise Térmica Diferencial.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Fluides Herty

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

Tabela 2: Resultados dos ensaios de Fluides Herty

Temperatura de Vazamento	Fluides Herty (mm)
1.400°C	90
1.450°C	130
1.500°C	150

A fluides do material obtido aumenta de acordo com o aumento da temperatura, uma faixa de fluides de 90 mm a 150 mm foi registrada.



3.2. Difratomia de Raios X do Material Produzido

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

A Figura 2 apresenta os difratogramas da mistura composta por resíduo do corte de mármore e granitos e reagentes químicos visando produzir um material com características semelhantes às lãs de vidro.

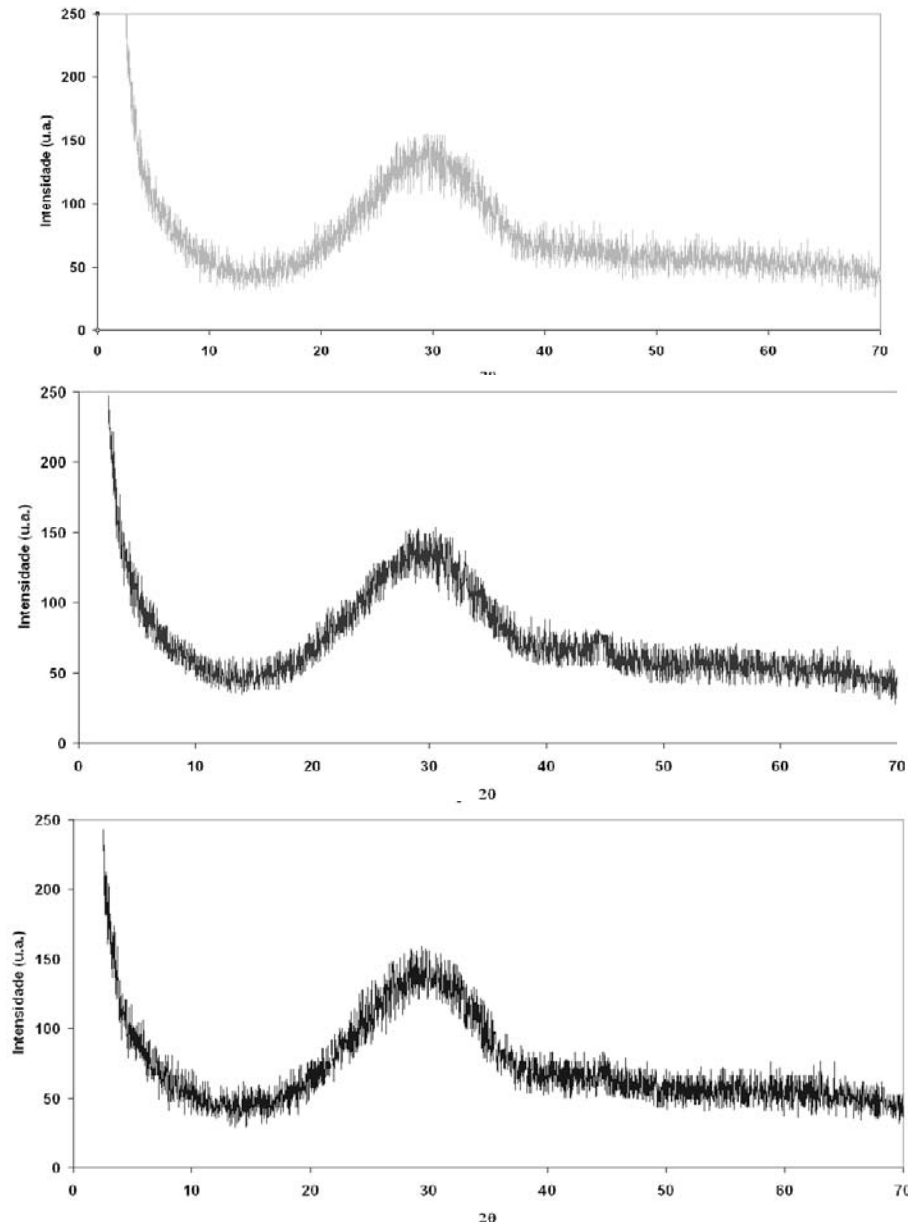


Figura 2: Difratogramas da mistura do resíduo do corte de mármore, granitos e outros reagentes para a produção de lâ de vidro vazada em água a três temperaturas: a) 1400 °C, b) 1450 °C e c) 1.500°C.

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.

3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A Figura 3 mostra as imagens no modo elétrons secundários e elétrons retroespalhados do material produzido.

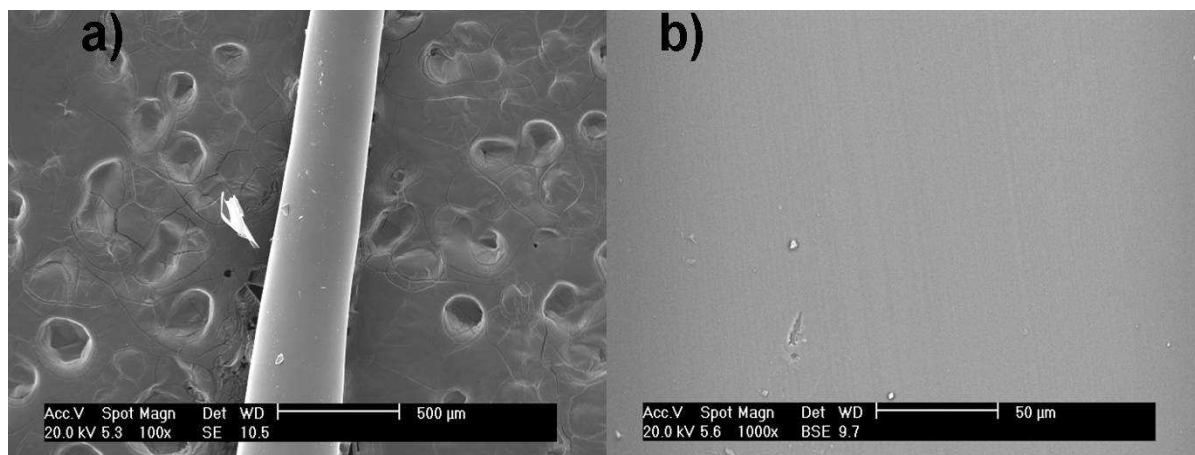


Figura 3: Imagem de MEV: a) aumento 100X modo de elétrons secundários mostrando uma fibra; b) aumento 1.000X modo de elétrons restrosespalhados.

Pela análise das imagens da Figura 3 nota-se em a) uma fibra com diâmetro em torno de 300 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 4 refere-se à Análise Térmica Diferencial e mostra o comportamento térmico do material vítreo obtido a partir da mistura de resíduo do corte de mármore e reagentes que foi fundida e vazada em água a temperatura de 1.450°C.

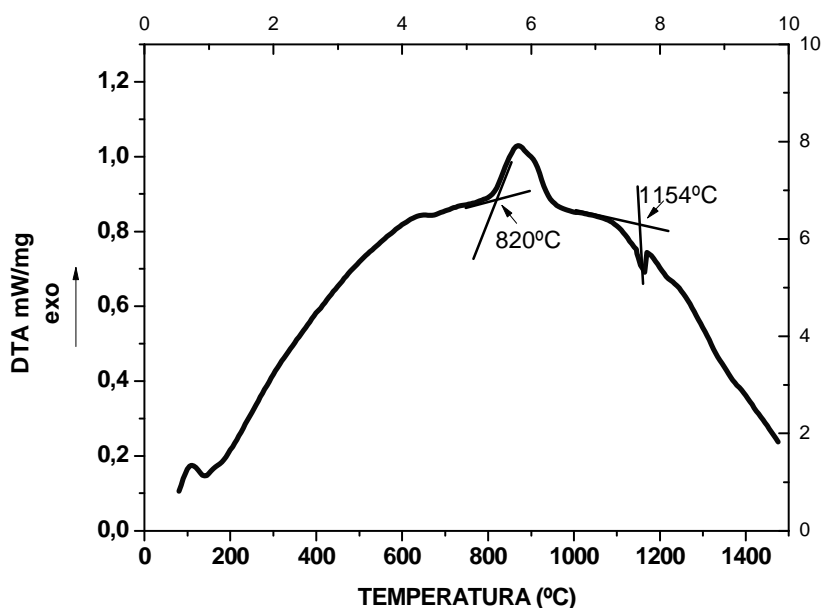


Figura 4: Análise Térmica Diferencial do material

Conforme se pode observar a curva da Figura 4 apresenta um evento exotérmico referente à cristalização do material sendo que a temperatura de cristalização é 820°C, a curva apresenta também um evento endotérmico sendo que este evento é referente à fusão do material e a temperatura de fusão do material é 1.154°C.

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 microscopia eletrônica de varredura.

O material também apresentou temperatura de cristalização, ou seja, possui fase amorfa e temperatura de fusão característica das lãs de vidro.

A partir destes resultados evidencia-se a possibilidade de uso dos resíduos do corte de mármore e granitos como matéria-prima parcial para a produção de lã de vidro. E conseqüentemente o uso do resíduo na fabricação de lã de vidro pode proporcionar uma diminuição 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 PONTES, I. F; VIDAL, F.W. H. Valorização de Resíduos de Serrarias de Mármore e Granito e Sua Aplicação na Construção Civil V Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2005.
- 2 FILHO, H. F. M.; POLIVANOV, H.; MOTHÉ, C. G. Reciclagem dos Resíduos Sólidos de Rochas Ornamentais Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, v. 28, p. 139-151, 2005.
- 3 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.
- 4 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.
- 5 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.
- 6 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.
- 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 Culture¹ Environmental Research, Section A, v. 78, p. 25-37, 1998.
- 8 BUCK, R. L. Man-Made Vitreous Fibers. Technical Manual, Navy Environmental Health Center NEHC-TM6290.91-1 Rev. A. 1997.