

# CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DO CORTE DE GRANITO E MÁRMORE VISANDO A PRODUÇÃO DE MATERIAIS VÍTREOS <sup>1</sup>

*Girley Ferreira Rodrigues* <sup>2</sup>

*Joner Oliveira Alves* <sup>3</sup>

*Denise Crocce Romano Espinosa* <sup>4</sup>

*Jorge Alberto Soares Tenório* <sup>5</sup>

## **Resumo**

O presente trabalho teve como objetivo a caracterização dos resíduos provenientes do beneficiamento de mármore e granito, visando o seu reaproveitamento como matérias-primas parciais na produção de materiais vítreos. Amostras recolhidas na forma de lama, foram secadas e posteriormente caracterizadas através de técnicas microestruturais e de análise química por fluorescência de raios X. Através dos resultados obtidos foi realizada uma comparação entre os resíduos e buscou-se avaliar a melhor composição para a obtenção de materiais vítreos. Os resultados indicam que os resíduos do corte de mármore e de granito podem vir a ser empregados na produção da lã mineral, um material vítreo com grande mercado consumidor.

**Palavras-chave:** Resíduo; Granito; Mármore; Vidros.

## **CHARACTERIZATION OF WASTE FROM MARBLE AND GRANITE CUTTING AIMING THE PRODUCTION OF VITREOUS MATERIAL**

## **Abstract**

This study aimed to characterize the wastes from processing of marble and granite, aiming its reuse as partial raw-materials in the production of vitreous materials. Samples collected in the mud appearance were dried and characterized using microstructural techniques and chemical analysis by X-ray fluorescence. Through the results was made a comparison among the wastes and tried to evaluate the best composition to obtain vitreous materials. The results indicate that the wastes from processing of marble and granite can be used in the production of mineral wool, a vitreous material with large consumer market.

**Key words:** Waste; Granite; Marble; Glass.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Mestrando, Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Bacharel em Física.*

<sup>3</sup> *Doutorando, Universidade de São Paulo (USP), Mestre em Eng. de Materiais.*

<sup>4</sup> *Professora livre docente, Universidade de São Paulo (USP), Doutora em Eng. Metalúrgica.*

<sup>5</sup> *Professor titular, Universidade de São Paulo (USP), Doutor em Eng. Metalúrgica.*

## 1 INTRODUÇÃO

A introdução de resíduos no ciclo produtivo para a produção de um novo produto se apresenta como uma maneira de diminuir o impacto causado pelos resíduos, quando jogados no ambiente e, também, prolongar o uso das reservas de matérias-primas naturais, pois ao longo de sua existência, o homem sempre utilizou os recursos naturais do planeta e ao transformar matérias-primas, de modo a torná-las úteis para a sociedade, produz quantidades apreciáveis de resíduos que acabam por comprometer o meio ambiente.<sup>(1)</sup>

Neste contexto este trabalho visou obter bases sobre o conhecimento para reutilização de dois rejeitos industriais como matérias-primas para serem reintroduzidas no meio produtivo, desta forma diminuindo o impacto causado quando estes resíduos são lançados no meio ambiente, e também diminuindo a extração de matéria-prima natural. 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.<sup>(2)</sup>

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 movimentava 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).<sup>(3)</sup>

Neste trabalho foram estudados os resíduos de mármore e granito, pois estes englobam a maior parte do consumo interno aparente de rochas ornamentais no Brasil (mármore - 22% e granitos - 50%).<sup>(4)</sup>

Lã mineral é um nome geral para muitos materiais inorgânicos de isolamento feito de fibras. O material é normalmente dividido em diferentes subgrupos dependendo das matérias-primas que são feitas, como: a lã de rocha, lã de vidro, lã de escória e etc. 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.<sup>(2)</sup>

Por possuírem estrutura vítrea e a vitrificação ser uma tecnologia bem estabelecida e segura para a imobilização de resíduos tóxicos e como é conhecido através da literatura que estruturas deste tipo podem suportar vários elementos em solução, podendo assim absorver resíduos complexos em sua composição.

A Tabela 1 mostra a composição química (em porcentagem de peso) dos componentes presentes nas lãs de rocha e de vidro, apresentados por Luoto et al.<sup>(5)</sup>

**Tabela 1.** Composição química, em porcentagem de peso, da lã de rocha e da lã de vidro<sup>(5)</sup>

<b>Elementos</b>	<b>Lã de Rocha</b>	<b>Lã de Vidro</b>
SiO <sub>2</sub>	45.9	64.4
TiO <sub>2</sub>	0.9	0.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.9	2.91
FeO	8.2	0.31
MgO	11.6	3.18
CaO	18.5	7.41
Na <sub>2</sub> O	1.8	15.5
K <sub>2</sub> O	0.6	1.42
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0	4.9

Nos estudos de Buck,<sup>(6)</sup> foram apresentadas várias propriedades e características sobre as fibras vítreas entre elas esta a composição química para vários tipos de fibras (cerâmicas refratárias, de vidro, lã de escória e lã de rocha). A Tabela 2 apresenta a faixa de composição química em porcentagem em peso das lãs de vidro e das lãs de rocha.

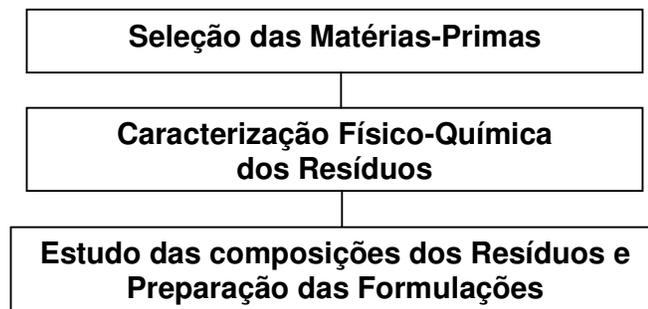
**Tabela 2.** Apresenta o resultado da composição química da fibra de vidro e da lã de rocha<sup>(6)</sup>

<b>Elementos</b>	<b>Lã de Rocha</b>	<b>Lã de Vidro</b>
SiO <sub>2</sub>	45,0 - 52,0	34,0 - 73,0
CaO	10,0 - 12,0	0,0 - 22,0
MgO	8,0 - 15,0	0,0 - 5,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,0 - 13,5	3,0 - 14,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,5 - 6,5	0,0 - 2,0
Na <sub>2</sub> O	0,8 - 3,3	0,5 - 16,0
K <sub>2</sub> O	0,8 - 2,0	0,0 - 3,5
TiO <sub>2</sub>	1,5 - 2,7	0,0 - 0,8
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	---	0,0 - 8,5
MnO	0,1 - 0,3	---

Conforme podemos verificar nas Tabelas 1 e 2, a lã de vidro é constituída principalmente por SiO<sub>2</sub> (sílica) e outros elementos como CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub> e B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Também pode ser visto que a lã de rocha é composta principalmente por SiO<sub>2</sub> (sílica), seguida por CaO (cal) e apresentando ainda outros constituintes como MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O e TiO<sub>2</sub>.

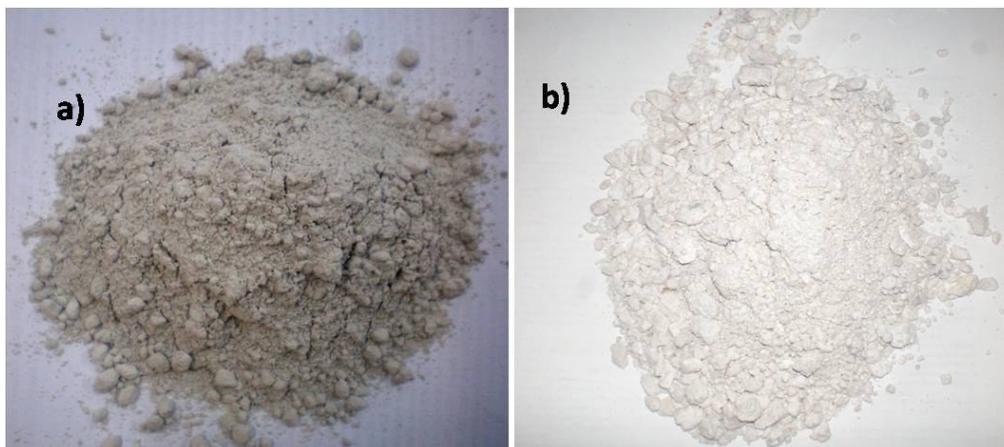
## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

Os procedimentos experimentais relacionados a este trabalho foram realizados no departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). A Figura 1 mostra o fluxograma das atividades desenvolvidas.



**Figura 1.** Fluxograma das atividades realizadas.

Foram utilizados resíduos do corte de granito e de mármore de uma empresa situada no estado do Espírito Santo. A Figura 2 mostra a imagem dos resíduos industriais empregados neste trabalho.



**Figura 2.** Resíduos industriais empregados neste trabalho: a) granito e b) mármore.

Os resíduos foram secados em uma estufa do tipo FANEM a 90°C por 48 horas. Após esta etapa foram selecionadas diferentes amostras dos resíduos para serem realizadas as análises químicas.

A caracterização química do material foi realizada em um espectrômetro de fluorescência de raios X por dispersão de comprimento de onda, Philips PW2404, e por uma microsonda EDAX para análise espectrométrica de raios X com detector de elementos leves acoplada ao Microscópio Eletrônico de Varredura do tipo Philips XL - 30.

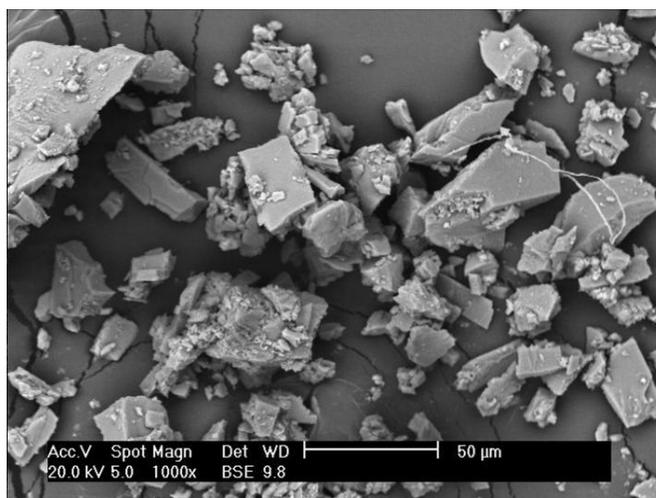
Para a análise microestrutural foi utilizado um Microscópio Eletrônico de Varredura Philips XL - 30, sendo que as amostras foram recobertas com filme de ouro.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

#### **3.1 Morfologia dos Resíduos**

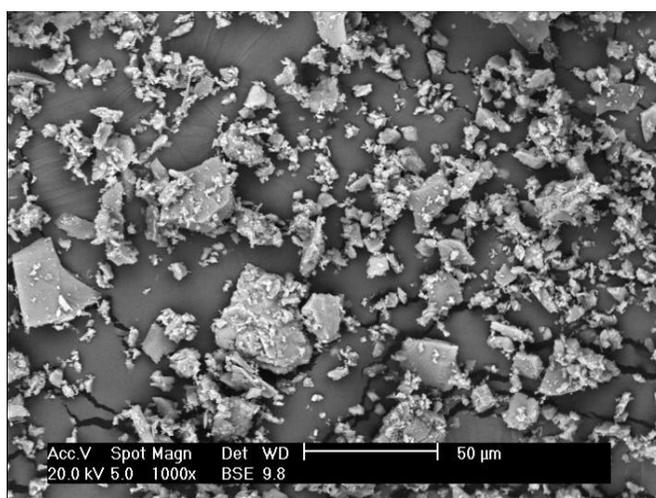
Os resíduos do corte de mármore e granito, quando na forma de pó, apresentam partículas com morfologia irregular de formato angular. Esta morfologia deve-se ao processo de corte/serragem dos blocos de rochas ornamentais.

A Figura 3 mostra a imagem de microscopia eletrônica de varredura do resíduo do corte de mármore.



**Figura 3.** Imagem de Microscopia Eletrônica de Varredura do resíduo do corte de mármore (aumento de 1.000x).

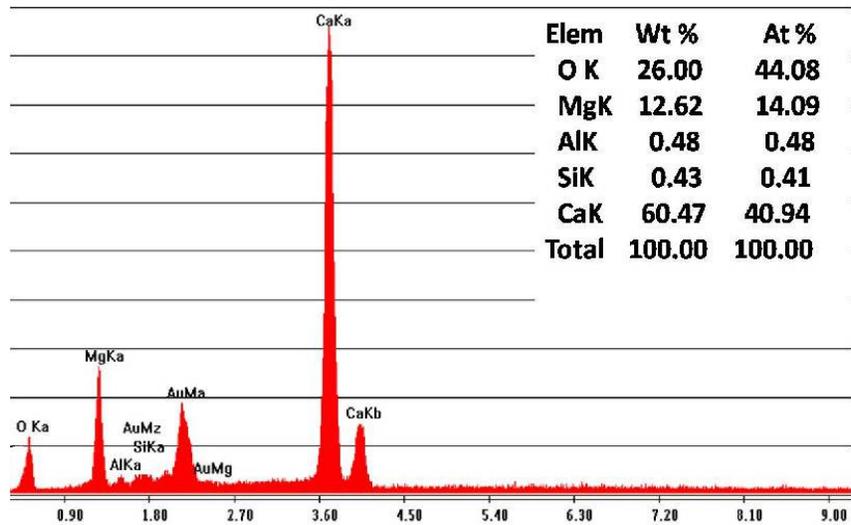
A microscopia eletrônica de varredura do resíduo do corte de granito é exibida na Figura 4.



**Figura 4.** Imagem de Microscopia Eletrônica de Varredura dos resíduos do corte de granito (aumento de 1.000x).

### 3.2 Análise Química

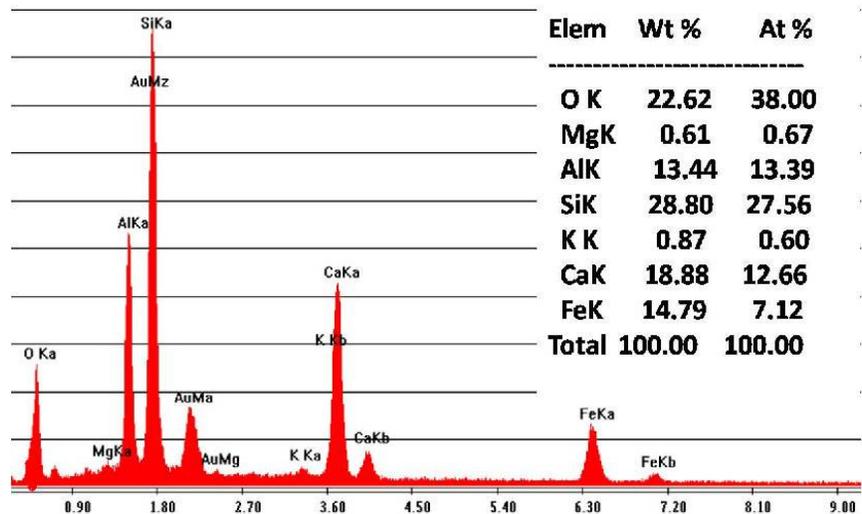
A Figura 5 apresenta os resultados da análise química do resíduo do corte de mármore realizada por microsonda eletrônica de energia dispersiva.



**Figura 5.** Análise química do resíduo do corte mármore obtida por microsonda eletrônica.

Através de uma análise do gráfico da Figura 5 pode-se notar que o resíduo do corte do mármore apresenta em maior quantidade o elemento Ca (60,47%), o elemento O (26,00%) e também o elemento Mg (12,62%), aparecendo em menor quantidade outros elementos como o Al (0,48%) e o Si (0,43%).

A análise química do resíduo do corte de granito realizada por microsonda eletrônica por energia dispersiva está apresentada na Figura 6.



**Figura 6.** Análise química do resíduo do corte granito obtida por microsonda eletrônica.

O gráfico da Figura 6 mostra que o resíduo do corte de granito apresenta em maior quantidade os elementos: Si (28,80%), O (22,62%) e Ca (18,88%), e em menor quantidade os elementos: Fe (14,79%), Al (13,44%), K (0,87%) e Mg (0,61 %).

A composição química obtida por fluorescência de raios X do resíduo de corte do granito é mostrada na Tabela 3. O material possui aproximadamente 66% de sílica ( $\text{SiO}_2$ ), 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

<b>Elementos</b>	<b>% em Peso</b>
$\text{SiO}_2$	66,32
$\text{Al}_2\text{O}_3$	19,27
$\text{CaO}$	4,48
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	2,29
$\text{MgO}$	1,58
$\text{Na}_2\text{O}$	1,28
$\text{B}_2\text{O}_3$	0,80
Outros	3,98

A Tabela 4 mostra a composição química obtida por Fluorescência de raios X em porcentagem de peso do resíduo do corte de mármore.

**Tabela 4.** Composição química do resíduo de corte do mármore

<b>Elementos</b>	<b>% em Peso</b>
$\text{SiO}_2$	3,43
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,28
$\text{CaO}$	58,30
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,22
$\text{MgO}$	31,10
$\text{Na}_2\text{O}$	0,42
Outros	6,42

Observando a Tabela 4, nota-se que o resíduo do corte de mármore é composto principalmente por  $\text{CaO}$  (58,3 %) e  $\text{MgO}$  (31,1 %).

A partir da comparação dos resultados apresentados nas Tabelas 3 e 4, pode-se afirmar que o resíduo de granito possui alta sílica, podendo ser uma fonte deste componente para a produção de materiais vítreos. Para o resíduo de mármore pode-se afirmar que este é rico em  $\text{CaO}$  podendo substituir este componente nas matérias-prima aplicáveis na produção de vidros.

Ambas composições dos resíduos possuem paridade com as composições das lãs minerais, portanto, estes resíduos podem ser utilizados como matérias-primas parciais na fabricação deste material.

## **5 CONCLUSÕES**

Os resultados encontrados neste trabalho mostram que os resíduos apresentam partículas pequenas não sendo necessário realizar a cominuição dos resíduos para servirem como matéria-prima para a fabricação de materiais vítreos. A composição química indica que os resíduos do corte de mármore e de granito podem ser usados para a fabricação de lãs minerais, substituindo as matérias-

primas convencionais utilizadas no processo de fabricação deste produto. Sendo assim, pode-se afirmar que existe a viabilidade do reaproveitamento dos resíduos do corte de mármore e granito, transformando-os em subprodutos, gerando uma economia para o setor vidreiro e fornecendo um destino adequado para os resíduos.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a CAPES, USP e REDEMAT.

### **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 ALVES, J. O.. Processo de reciclagem da escória de aciaria e do resíduo de corte do granito visando a produção de lã mineral. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Rede Temática em Engenharia de Materiais, Ouro Preto, Brasil, 2008.
- 3 PONTES, I. F. Aproveitamento de finos gerados nas serragens de mármore e granitos. São Paulo, 2001. 150p., Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- 4 FILHO, C. C. Seminário Nacional Prevenção e Controle da Exposição aos Agentes Ambientais em Marmorarias: da Pesquisa à Prática São Paulo, SP ,julho de 2008.
- 5 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.
- 6 BUCK, R. L. Man-Made Vitreous Fibers. Technical Manual NEHC-TM6290.91-1, Rev. A, Navy Environmental Health Center, USA, 1997.