

RESÍDUO DO CORTE DE GRANITO: NOVAS ROTAS PARA A DESTINAÇÃO FINAL¹

Eduardo Junca²
 Girley Ferreira Rodrigues³
 Joner Oliveira Alves⁴
 Denise Croce Romano Espinosa⁵
 Jorge Alberto Soares Tenório⁶

Resumo

O mercado de beneficiamento do granito é uma das mais promissoras áreas de negócio do setor mineral, apresentando um crescimento médio da produção mundial em torno de 6% ao ano. A extração do granito gera rejeitos na forma de pó de rocha na faixa de 20% a 25% em massa do total beneficiado. O pó de granito deve ser manipulado com atenção, pois pode causar assoreamento de rios e riscos à saúde humana. Este trabalho apresenta duas rotas para a destinação final deste resíduo: o processo de vitrificação visando a produção de fibras para isolamento termo-acústico e a separação magnética para a recuperação da gralha de aço. Os resultados demonstraram que as formas de tratamento apresentadas são economicamente e ecologicamente viáveis, uma vez que representam uma redução de custos na disposição do resíduo, além de proporcionar a produção de novos materiais com valor comercial.

Palavras-chave: Granito; Reciclagem; Lã de vidro; Gralha de aço.

WASTE FROM GRANITE CUTTING: NEW ROUTES FOR THE FINAL DESTINATION

Abstract

The granite processing market is one of the most promising business areas of the mineral sector, with an average growth of the world production of about 6% per year. The granite extraction generates residues in the form of powder rock of 20-25 wt.% of the total benefited. The granite dust must be carefully managed since it can cause siltation of rivers and human health risks. This paper presents two routes for the final destination of this waste: the vitrification process aiming the production of fibers for thermo-acoustic insulation, and the magnetic separation in order to recover the steel grit. Results showed that the forms of treatments presented are economically and ecologically viable since they represent a cost reduction in the waste disposal, and also provide the production of new materials with commercial value.

Key-words: Granite; Recycling; Glass wool; Steel grit.

¹ Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.

² Doutorando, Universidade de São Paulo (USP), Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais.

³ Doutorando, Universidade de São Paulo (USP), Mestre em Engenharia de Materiais.

⁴ Pesquisador pleno, ArcelorMittal Inox Brasil, Doutor em Engenharia Metalúrgica e de Materiais.

⁵ Professora associada, Universidade de São Paulo (USP), Doutora em Engenharia Metalúrgica.

⁶ Professor titular, Universidade de São Paulo (USP), Doutor em Engenharia Metalúrgica.

1 INTRODUÇÃO

Durante a etapa de corte, aproximadamente 20 a 25% dos blocos se tornam rejeitos que é constituído de água, cal, granalha de aço ou ferro fundido e rocha moída. Os resíduos são geralmente estocados em locais a céu aberto ou em alguns casos, são jogados em rios sem nenhum tipo de tratamento ocasionando problemas de assoreamento, contaminando as águas de rios e córregos e podendo até mesmo contaminar reservatórios naturais de água.^(1,2)

A etapa de corte pode ser efetuada de três maneiras básicas: tear de lâminas, o talha-bloco de disco diamantado e o fio diamantado.⁽³⁾ No primeiro método, é empregado granalha de aço para efetuar o corte dos blocos. Nos dois últimos, este abrasivo não é necessário, uma vez que o elemento abrasivo é o diamante. A Figura 1 apresenta uma área de corte da indústria de granito.



Figura 1. Processo de extração do granito.⁽⁴⁾

O granito é constituído principalmente por SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO e MgO , porém, estes valores são diferentes dependendo do tipo de granito. A Tabela 1 apresenta algumas composições típicas de granito.

Tabela 1. Composições típicas de granitos^(5,6)

Composição	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	K_2O	MgO	CaO	Na_2O	P.F.
Peso (%)	35,5	8,22	6,63	0,96	3,44	6,59	12,62	3,15	14,5
Peso (%)	68,01	14,99	3,67	0,54	4,82	0,73	2,28	1,65	2,86

O resíduo de granito possui alto teor de sílica, portanto uma nova rota para o seu aproveitamento pode ser a sua utilização como subproduto para a produção de lâ de vidro, material que necessita de uma alta quantidade de sílica em sua composição.^(7,8) Devido às suas características termo-acústicas, a lâ de vidro atende aos mercados de construção civil, industrial, automotivo, entre outros. Outras importantes qualidades deste material são a não propagação de chamas, a não emissão de fumaças tóxicas e elevada resistência ao fogo.^(9,10)

Outras aplicações típicas do resíduo de granito proveniente do corte é em argamassas,⁽¹¹⁾ concretos asfálticos,⁽¹²⁾ blocos e revestimentos cerâmicos,⁽¹³⁾ cerâmicas vermelhas⁽¹⁴⁾ e telhas.⁽¹⁵⁾ Porém, nestas aplicações, o ferro presente na lama é prejudicial, uma vez que quando o ferro que se encontra na forma metálica oxida, ocasiona uma expansão dentro do material provocando o aparecimento de fissuras nas peças acabadas.⁽¹⁶⁾ Assim, uma saída para este problema é a remoção do ferro metálico.

Este trabalho apresenta duas rotas para a destinação final destes resíduos: o processo de vitrificação visando à produção de fibras para isolamento termo-

acústico no qual se utilizou a lama procedente do corte com fio diamantado e a separação magnética para a recuperação da granalha de aço no resíduo proveniente do corte com tear de laminas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir são apresentadas separadamente as metodologias utilizadas para cada meio de reaproveitamento do resíduo de granito.

2.1. Confecção da Lã de Vidro

Para a elaboração das lãs de vidro as matérias-primas utilizadas foram: 700g de resíduo de corte do granito (proveniente de uma indústria situada em Cachoeiro do Itapemirim - ES), 300g de bórax (16,25% de Na_2O , 36,51% de B_2O_3 e 47,24% de H_2O), 110g de sílica (SiO_2), 45g de carbonato de cálcio (53,0% de CaO e 44,0% de CO_2) e 20g de óxido de magnésio (MgO).

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 mistura do resíduo do corte do granito com reagentes foi elaborada visando ter a composição química semelhante as lãs de vidro.

A fusão da mistura foi realizada no forno a arco elétrico do tipo Detroit, que se encontra no Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais 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), visando uma aproximação do procedimento realizado nas indústrias produtoras da lã de vidro.

A lã de vidro é um material predominantemente amorfo, portanto um resfriamento rápido é necessário. Neste trabalho o material fundido, foi vertido diretamente do forno em um recipiente contendo água à temperatura ambiente. Neste procedimento procurou-se depositar o mínimo de material possível no recipiente, fazendo com isso uma tentativa de aproximação da técnica *Melt Spinning*, utilizada na produção da lã.

2.2. Separação Magnética

A separação magnética foi efetuada em três etapas. Na primeira etapa (separação magnética de alta intensidade) foi utilizada uma matriz ferromagnética do tipo Jones utilizado apenas o campo magnético remanescente do equipamento.

A segunda etapa (separação magnética com imã de terras raras) foi feita manualmente.

Por fim, a terceira etapa (separação magnética com um imã ferrítico) também foi efetuada manualmente. O material magnético obtido nesta etapa foi denominado concentrado ferroso. Este material foi quarteado em quatro amostras de aproximadamente 20 g e encaminhado para a realização da caracterização através de: análise química, difração de raios-X, microscopia eletrônica de varredura e análise granulométrica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com as técnicas propostas para o reaproveitamento do resíduo de granito estão dispostos a seguir.

3.1 Produção da Lã de Vidro

3.1.1 Aspectos físicos do material formado

O material adquiriu propriedades semelhantes aos vidros: translúcidos, frágeis e quebradiços à temperatura ambiente. Quanto a coloração, o material apresentou uma cor verde (Figura 2). Pode-se concluir que esta coloração possui origem no teor de Fe_2O_3 (2,29%) encontrado no resíduo empregado de granito.



Figura 2. Amostra do material formado.

3.1.2. Análise química do material formado

A Tabela 2 mostra as composições químicas do produto formado e da faixa estabelecida pela *Thermal Insulation Manufacturers' Association* – TIMA⁽¹⁷⁾ para a lã de vidro. Pode-se observar que as proporções dos elementos majoritários se encontram dentro da faixa de composição da lã de vidro.

Tabela 2. Composição química do produto formado (em % de peso)

	TIMA	Lã Produzida
SiO_2	55,0-70,0	63,1
CaO	5,0-13,0	10,3
Al_2O_3	0,0-7,0	6,2
MgO	0,0-5,0	3,5
Fe_2O_3	0,1-0,5	0,9
Na_2O	13,0-18,0	14,1
B_2O_3	3,0-12,0	0,9
Outros	---	1,9

3.1.3. 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 do material. Foram observados pequenos picos cristalinos, entretanto, devido a baixa intensidade destes, o material pode ser considerado predominantemente amorfo. Os picos apresentados representam o espinélio ($\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), primeira fase a precipitar durante o resfriamento da lã de vidro.

Uma justificativa para os picos apresentados encontra-se no fato do resíduo empregado possuir uma alta concentração de alumina (19,27%), o que fez com que o produto apresentasse baixa fluidez, gerando certa dificuldade no processo de resfriamento e fazendo com que amostras com dimensões maiores fossem

coletadas. Sendo assim, foi fornecido um maior tempo para a cristalização do material, possibilitando o aparecimento da primeira fase cristalina, o espinélio.

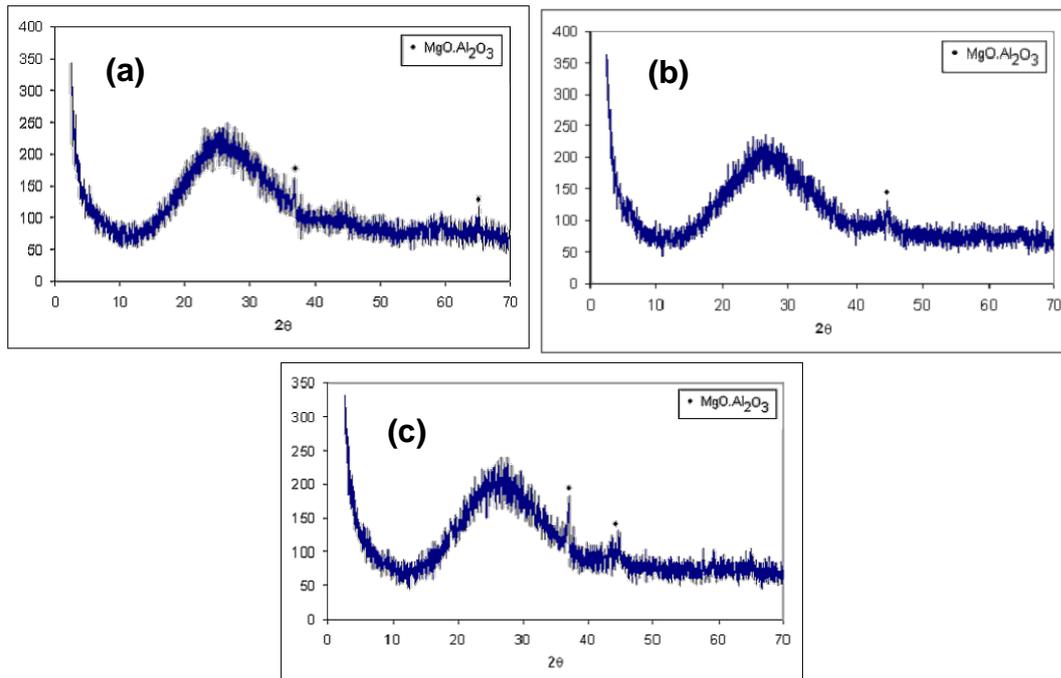


Figura 3. Espectros de difração de raios-X do produto obtido para as diferentes temperaturas de resfriamento: (A) 1.400°C, (B) 1.450°C e (C) 1.450°C.

3.1.4. Análise microestrutural do material formado

A imagem obtida por microscopia eletrônica de varredura do material formado está disposta na Figura 4. Comprovando os resultados apresentados na difração de raios-X foram encontrados traços do espinélio como fase secundária. A identificação desta fase foi possível através do mapeamento da composição química por EDS mostrada na Figura 5.

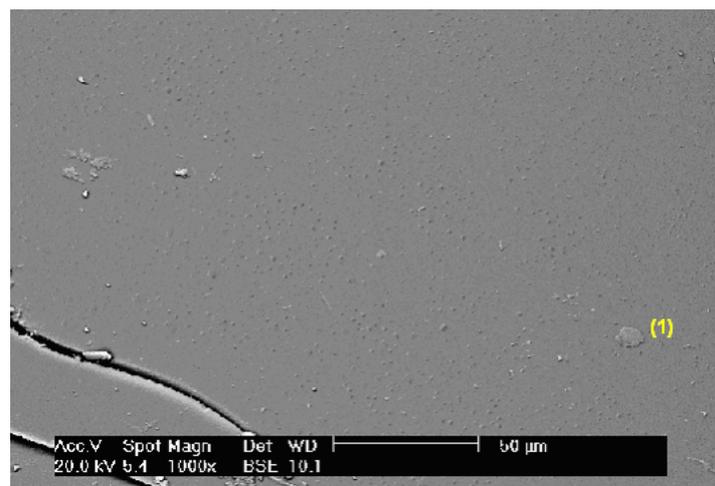


Figura 4. Imagem obtida por microscopia eletrônica de varredura do produto obtido: (1) - fase secundária encontrada (espinélio).

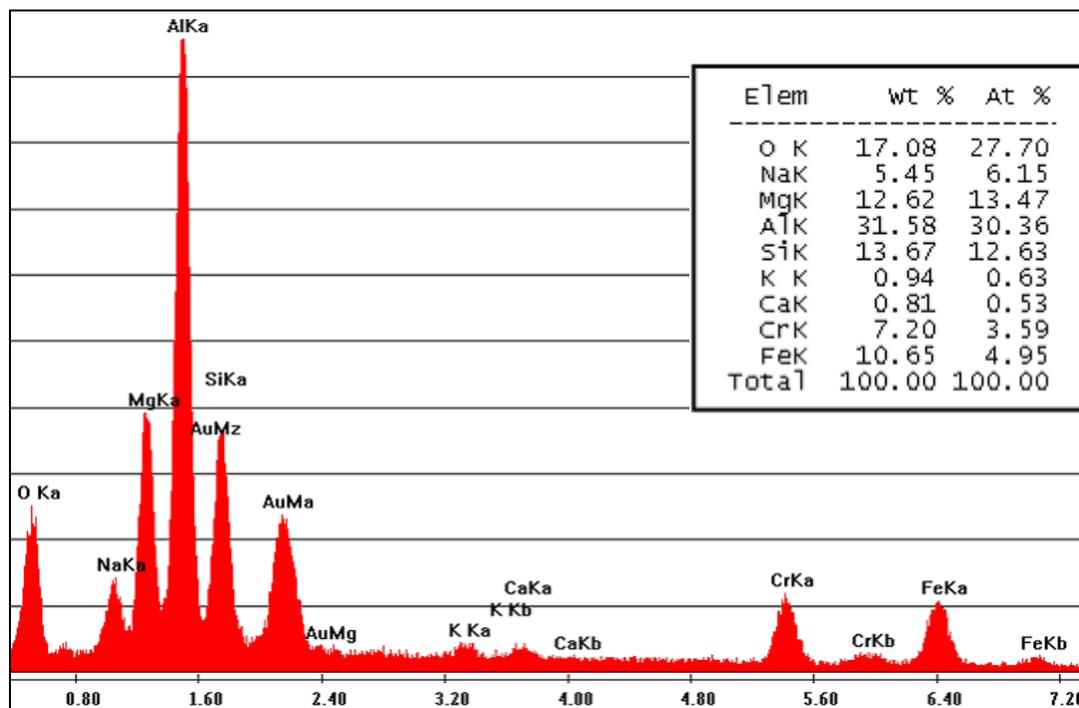


Figura 5. Mapeamento da composição química por EDS de uma fase secundária encontrada no material produzido.

Na Figura 5, pode-se observar que os picos de maiores intensidades são o alumínio (31,58%) e magnésio (12,62%), o que caracteriza a fase formada pelo espinélio. Trata-se de um pequeno grupo de partículas com dimensões de aproximadamente 2 μm . O espinélio foi encontrado na região marcada com “(1)” na Figura 4.

3.2 Recuperação da Granalha de Aço

3.2.1 Análise química

Foi realizada análise química para quantificação do teor de Fe metálico através da técnica de titulometria. Foi encontrado um teor de Fe metálico de aproximadamente 93%, sendo o restante, em sua maior parte, sílica (decorrente do quartzo).

3.2.2 Microscopia eletrônica de varredura

A Figura 5A apresenta a imagem obtida pelo microscópio eletrônico de varredura na amostra de concentrado ferroso. Análises de EDS foram realizadas de várias regiões do espectro. A Figura 5B apresenta o espectro de EDS do concentrado ferroso.

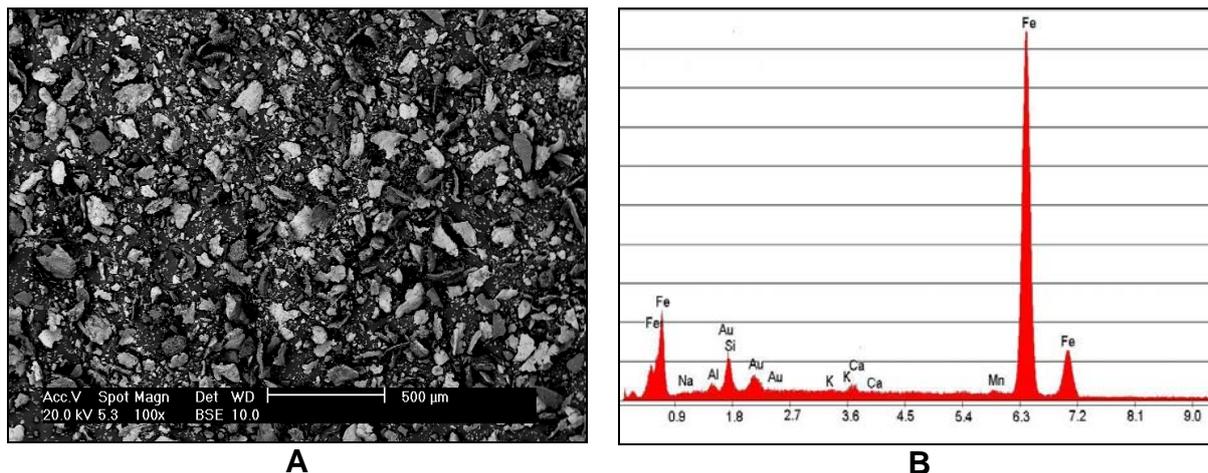


Figura 5. A) imagem obtida pelo microscópio eletrônico de varredura. B) espectro de EDS do concentrado ferroso.

A análise do espectro comprova a presença predominante do Fe metálico no concentrado ferroso, uma vez que o principal componente do concentrado ferroso é o Fe procedente da granalha de aço.

Pode-se notar também a existência de picos de baixa intensidade de manganês, alumínio, cálcio, potássio e silício o que comprova a eficiência da separação magnética.

3.2.3 Difração de raios-X

A Figura 6 apresenta o difratograma do concentrado ferroso obtido na separação magnética.

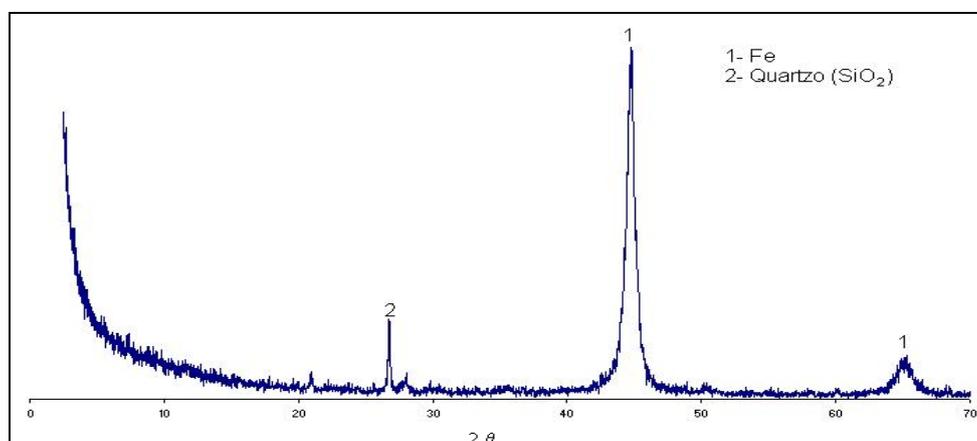


Figura 6. Difratograma do concentrado ferroso.

Pelo difratograma apresentado na Figura 6, pode-se observar a presença de picos de Fe e um pico de baixa intensidade de quartzo. O difratograma comprova que o principal constituinte do concentrado ferroso obtido é o Fe metálico e comprova também a principal impureza presente é o SiO_2 decorrente do quartzo.

3.2.4 Análise granulométrica

A Figura 7 apresenta a análise granulométrica do concentrado ferroso.

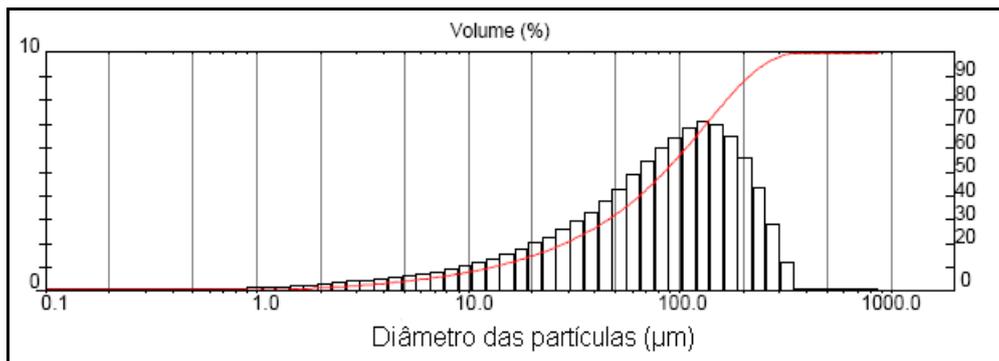


Figura 7. Distribuição granulométrica do concentrado ferroso.

O histograma mostra que a granulometria do concentrado ferroso está situada entre 0,36 a 477,0 μm , sendo 50% das partículas menores do que 84 μm . Assim, para o reaproveitamento deste material é necessária a sua aglomeração, principalmente pelas indústrias siderúrgicas.

4 CONCLUSÕES

A utilização do resíduo de corte do granito como matéria-prima principal para a produção da lã de vidro é viável, porém é necessário a adição de outros elementos que possam aumentar a fluidez do produto final. A separação magnética mostrou-se viável para a obtenção um novo subproduto, o concentrado ferroso, que apresentou um teor de ferro metálico de 93% e granulometria inferior 477,0 μm , sendo necessária a aglomeração deste material para sua reutilização. Portanto, as rotas de reaproveitamento do resíduo de granito estudadas possuem condições de serem empregadas em ambiente industrial, proporcionando uma economia no processo de deposição deste resíduo e a geração de renda através dos materiais produzidos.

Agradecimentos

Projetos desenvolvidos com o suporte da FAPESP, Fundação Gorceix e CAPES. Autores agradecem o apoio da Universidade Federal de Ouro Preto e Universidade de São Paulo.

REFERENCIAS

- 1 MOTHÉ FILHO, H. F.; POLIVANOV, H.; C. MOTHÉ, G. Reciclagem dos Resíduos Sólidos de Rochas Ornamentais. **Anuário do Instituto de Geociências**, Janeiro, v.28, n.2, p.139-151, 2005.
- 2 SILVA, S. A. C.. **Caracterização do resíduo da serragem de blocos de granito. Estudo do Potencial de Aplicação na Fabricação de Argamassas de Assentamento e de Tijolos de Solo-Cimento**. 1998. 159-179 p. Dissertação (Mestrado) - Núcleo de Desenvolvimento em Construção Civil – NDCC. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1998.
- 3 JUNCA, E. **Estudo da Utilização de Resíduo de Mármore como Desfosforante e Dessulfurante de Gusa Através de Termodinâmica Computacional**. 2007. 72 p, Monografia (Graduação) – Centro Federal de Educação Tecnologia do Espírito Santo, Vitória, 2007. p. 17.
- 4 ALVES JO, RODRIGUES GF, ESPINOSA DCR, TENORIO JAS. Production of glass wool from ornamental rock wastes. **Proceedings** of the 22nd International Congress on Glass; Salvador, Brazil; 2010.



- 5 PONTES, I. F.; VIDAL, F. W. H. Valorização de resíduos de serrarias de mármore e granito e sua aplicação na construção civil. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 5., 2005, Pernambuco. **Anais**. Rio de Janeiro: CETEM, 2005. p.117-125.
- 6 MELO, R. M. de. Utilização do resíduo proveniente do acabamento e manufatura de granitos como matéria-prima em cerâmica vermelha. (em cd-rom). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 17., 2006, Foz do Iguaçu. **Anais**. S.L.:S.M., 2006. p.2229-2240.
- 7 ALVES JO, ESPINOSA DCR, TENORIO JAS. Recycling of steelmaking slag aiming at the production of thermo-acoustic insulation. **Proceedings** of the 138th TMS Annual Meeting & Exhibition; 2009; San Francisco, USA. Warrendale: EPD Congress; 2009. p. 921-925.
- 8 ALVES JO, RODRIGUES GF, ESPINOSA DCR, TENORIO JAS. Characterization of fiber glass obtained from steelmaking slag. **Proceedings** of the 41st International Steelmaking Seminar; Resende, Brazil; 2010. p. 332-339.
- 9 MARABINI, A. M.; PLESCIA, P.; MACCARI, D.; BURRAGATO, F.; PELINO, M.. New materials from industrial and mining wastes: glass-ceramics and glass- and rock-wool fibre. **International Journal of Mineral Processing**, v. 53, Issues 1-2, p. 121-134, 1998.
- 10 UEDA, M; MURASE, F.; TAKAHASHI, F.; MATSUMOTO, T.. An Optical System for Measuring the Eccentricity of Glass Wool Pipe - for Industrial Use. **Optics and Lasers in Engineering**, issue 6, v. 31, p. 493-50, 1999.
- 11 SILVA, S. A. C. **Caracterização do resíduo da serragem de blocos de granito:. Estudo do Potencial de Aplicação na Fabricação de Argamassas de Assentamento e de Tijolos de Solo-Cimento**. 1998. 159-179 p. Dissertação (Mestrado) - Núcleo de Desenvolvimento em Construção Civil – NDCC. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1998.
- 12 SOUZA, J. N.; RODRIGUES, J. G.; NETO, P. N. de S.. **Utilização do Resíduo Proveniente da Serragem de Rochas Graníticas como Material de Enchimento em Concretos Asfálticos Usinados a Quente**. Disponível em: <http://www.sfiac.org.br/iel/bolsaderesiduos/Artigos/Artigo_Residuos_de_Serragem_de_rochas.pdf> acesso em 03/03/2008.
- 13 MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. S.; NEVES, G. de A.; FERREIRA, H. C.. Uso de rejeitos granitos como matérias-primas cerâmicas. **Revista Cerâmicas**, v.48, p.92-101, 2002.
- 14 VIEIRA, C.M.F.; SOARES, T.M.; SÁNCHEZ, R.; MONTEIRO, S.N. Incorporation of granite waste in red ceramics. **Materials Science and Engineering A**, n. 373, p. 115–121, 2004.
- 15 MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. S.; NEVES, G. A.; LIRA, H. L.; FERREIRA H. C. Use of granite sawing wastes in the production of ceramic bricks and tiles. **Journal of the European Ceramic Society**, n. 25, p. 1149–1158, 2005.
- 16 JUNCA, E. **Estudo da separação e aproveitamento da parte metálica e dos óxidos presentes no resíduo gerado no corte de rochas ornamentais**. 2009. 88 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- 17 TIMA - Thermal Insulation Manufacturers' Association. Man-made vitreous fibers: nomenclature, chemical and physical properties. Stamford (CT): Owens-Corning Fiberglass, IPCS-WHO; 1991.