

# RECUPERAÇÃO DA PARTE METÁLICA CONTIDA EM RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS <sup>1</sup>

Eduardo Junca<sup>2</sup>  
Felipe Fardin Grillo<sup>3</sup>  
Roberto Graciano Steinkopf Junior<sup>3</sup>  
Ramiro Conceição Nascimento<sup>4</sup>  
José Roberto de Oliveira<sup>4</sup>  
Jorge Alberto Soares Tenório<sup>5</sup>

## Resumo

Este trabalho tem por objetivo, fazer um estudo comparativo da viabilidade técnica da utilização de diferentes equipamentos para realizar a separação da parte metálica, contida no resíduo proveniente do desdobramento de rochas ornamentais. Para isto foi usado um separador magnético a seco, separador magnético a úmido e mesa concentradora na separação. Em cada caso foi medida a eficiência da separação através da pesagem do resíduo antes da separação e dos produtos obtidos. Foi feita também a caracterização química e granulométrica do resíduo. Pelos resultados da análise química, comprovou-se que o metal obtido é aço, e que no caso do presente trabalho possui a seguinte composição: %C = 0,81; % Si = 0,70; %Mn = 0,69; % P 0,03; %S= 0,02. A caracterização granulométrica indicou que 100% do metal obtido estão abaixo de um mm. Foi também constatado que o método mais eficiente é a separação magnético a úmido, onde que a pureza do metal obtido neste caso é superior a 96%.

**Palavras-chave:** Resíduo de granito; Separação magnética; Mesa concentradora.

## RECOVERY OF METTALIC PART CONTAINED IN RESIDUE OF ORNAMENTAL ROCKS

### Abstract

This work aims to make a comparative study of the technical viability of using of different equipment to perform a separation of the metallic part, contained in the residue from the ornamental rocks cut. For this it was used a dry magnetic separator, wet magnetic separator and concentrate table to separation. In each case the efficiency separation was measured by weighing the separation of residue before separation and of the products obtained. It was also made the chemical and size characterization of obtained residue. The results of chemical analysis, showed that the metal obtained is steel, and that in the case of this work has the following composition : %C = 0,81; % Si = 0,70; %Mn = 0,69; % P 0,03; %S = 0,02. The size characterization shows that 100% of the metal obtained is below 1 mm. It was found that the most efficient method is wet magnetic separation, where the purity of the metal obtained in this case is more than 96%.

**Key-words:** Granite residue; Magnetic separation; Concentration table.

<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 de São Paulo (USP).*

<sup>3</sup> *Graduando, Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo (CEFET-ES).*

<sup>4</sup> *Professor, Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo (CEFET-ES).*

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

## 1 INTRODUÇÃO

O setor de rochas ornamentais gera vários resíduos sendo o que mais preocupa os órgãos ambientais é a lama abrasiva, pois provoca contaminação dos corpos hídricos, do solo e poluição visual.

Neste trabalho foi feito um estudo comparativo da separação da parte metálica contida no resíduo de rochas ornamentais entre a separação magnética e mesa concentradora visando o seu reaproveitamento.

Em 2007, a produção de rochas ornamentais no Brasil chegou a 7,9 milhões de toneladas.<sup>(1)</sup> Durante a etapa de beneficiamento, 20% a 25% da rocha acaba se tornando rejeito. O rejeito é constituído por pó de rocha, cal e gralha.<sup>(2,3)</sup> Normalmente as empresas descartam estes rejeitos em locais em céu aberto ou até mesmo jogado em rios sem nenhum tipo de tratamento, assim, causando problemas de assoreamento e contaminação da água.<sup>(4-6)</sup> A Figura 1 apresenta um poço de estocagem de resíduo de rochas ornamentais.



**Figura 1:** Poço de estocagem de resíduo de rochas ornamentais.

A parte metálica presente no resíduo de rochas ornamentais é decorrente da gralha de aço que é adicionada no processo de corte dos blocos em chapas. O ferro decorrente da gralha impede a utilização do resíduo proveniente do desdobramento de rochas ornamentais na construção civil, pois podem oxidar e comprometer a resistência mecânica destes materiais. Por outro lado, o aproveitamento da parte metálica (que é aço), também é impedido pela presença dos óxidos. Então é necessária uma separação destas duas fases, possibilitando assim o aproveitamento de ambas como um produto nas áreas citadas.

A separação magnética é um método consagrado na área de processamento de minérios para concentração e/ ou purificação de muitas substâncias minerais que pode ser utilizado para a separação destas duas fases.<sup>(7)</sup> Outro fator que se deve destacar é que o meio utilizado para separar foi a úmido, tendo em vista a sua eficiência em relação ao a seco uma vez que a granulometria do resíduo é fina tornando a separação a seco ineficaz.

Já a separação com o uso de mesa concentradora é mais eficiente quando os minerais leves pesados possuem um critério de concentração maior que 2,0. A forma das partículas também interfere na separação. Partículas com forma de placas, por exemplo, tem dificuldade em deslizar. Partículas esféricas e densas podem se mover na lamina de água em direção á área onde são coletados minerais mais leves.<sup>(8)</sup>

## 2 MATÉRIAS E MÉTODOS

As etapas para a realização deste trabalho foram:

- Amostragem;
- Separação magnética a úmido e por mesa concentradora;
- Separação magnética a seco;
- Caracterização química e física das separações realizadas;

### 2.1 Amostragem

Para a realização deste trabalho foi coletado uma quantia de 500 kg de resíduo de granito procedente da etapa de beneficiamento dos blocos de rochas ornamentais. O resíduo contém ferro devido à utilização de granalha de aço que é adicionada na etapa de corte dos blocos em chapas. O resíduo coletado foi estocado em tonéis para que não ocorressem perdas e contaminação. A Figura 2 mostra o resíduo coletado para a realização deste trabalho.



Figura 2: Amostra do resíduo de granito utilizado no trabalho.

### 2.2 Separação Magnética a Úmido e por Mesa Concentradora

Inicialmente, foi feito o quarteamento do material coletado com o objetivo de se obter amostras homogêneas. Após o quarteamento, foi feita a determinação da umidade das amostras. A determinação da umidade do resíduo tem por objetivo acrescentar água para a obtenção de uma polpa com 70% em massa de água e 30% em massa de resíduo. Para a determinação da umidade foi utilizado um analisador de umidade por infravermelho que pode ser visto na Figura 3.



**Figura 3:** Analisador de umidade por infravermelho.

Após a determinação da umidade e acréscimo de água para a obtenção da polpa requerida, a polpa foi transferida para o alimentador do equipamento dando início ao processo de homogeneização. A homogeneização foi realizada através de um equipamento acoplado nos equipamentos e consiste em um motor onde foi acoplada uma hélice na extremidade do eixo.

Para a realização dos testes de separação magnética, foram feitas variações do campo magnético, podendo assim, ser determinado o melhor valor deste para a separação da granalha presente no resíduo de granito. Para isso, foram utilizados campos de 850 Gauss e 1.000 Gauss. Já na mesa concentradora, foram feitas variações em sua pulsação, inclinação e vazão. Na Tabela 1 são apresentados os valores dos parâmetros utilizados na separação em mesa concentradora. As Figuras 4 e 5 apresentam respectivamente o separador magnético e a mesa concentradora utilizados para a realização deste trabalho.

**Tabela 1:** Parâmetros utilizados na separação em mesa concentradora.

<b>Ensaio</b>	<b>Inclinação da mesa</b>	<b>Frequência de oscilação</b>	<b>Vazão de água (L/min)</b>
1	7,79°	30	4,28
2	7,79°	50	4,28
3	5,34°	30	4,28
4	7,79°	30	10
5	7,79°	20	10



**Figura 4:** Separador magnético a úmido.



**Figura 5:** Mesa concentradora utilizada.

Ao término de cada separação, os materiais separados foram encaminhados para a secagem. Para a etapa de secagem, foi utilizada uma chapa de aquecimento. Após a secagem, os materiais obtidos foram pesados e encaminhados para as caracterizações químicas e físicas.

### **2.3 Separação Magnética a Seco**

Antes de encaminhar o resíduo ao separador magnético a úmido foi feita à secagem do resíduo. Para isso foi utilizada uma estufa a uma temperatura de 60°. Após a secagem, foi feita a desagregação do resíduo utilizando para isso uma peneira de 4 mm. Após a desagregação, o resíduo foi encaminhado para o separador magnético a seco.

## 2.4 Caracterização Química e Física

Ao término da etapa de secagem dos materiais procedentes das separações magnéticas e mesa concentradora, foram levadas para as etapas de caracterização que envolveu: análises químicas, granulométricas e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Para isso, os materiais foram quarteados em alíquotas de 20 gramas e encaminhadas aos laboratórios responsáveis pela realização dos testes .

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Ensaios de Separação Magnética a Úmido

Foram realizados vários ensaios de separação magnética com o resíduo de granito utilizando diferentes valores de campo magnético. Para o campo magnético de 1.000 Gauss foi utilizada uma quantidade de 3,35 kg de resíduo onde foi possível a separação de 435 gramas de ferro o que representou 13% da massa. No ensaio com campo magnético de 850 Gauss foi utilizado 3,04 kg de resíduo, onde foi possível a remoção de 376 gramas de ferro, o que representou 12,4% da massa. Para a realização dos testes de caracterização química e física foi utilizado o material procedente da primeira separação, devido ao melhor resultado obtido.

#### 3.1.1 Análise química da parte metálica

A Tabela 2 apresenta o resultado da análise química da parte metálica obtida na separação magnética.

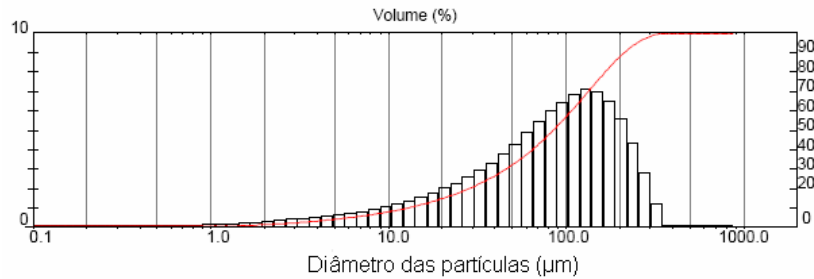
**Tabela 2:** Análise química da parte metálica da separação magnética.

Elementos	(%) em massa
C	0,81
Si	1,00
Mn	0,69
P	<0,05
S	<0,05

Pode-se observar na Tabela 2 que o metal obtido trata-se de um aço que contém 0,81% de carbono e que os valores de fósforo e enxofre se encontram numa faixa de composição apropriada. Além dos elementos apresentados na Tabela 2, também foi constatada a presença de 3,63% de SiO<sub>2</sub>. A presença deste componente é decorrente do resíduo de granito, uma vez que o SiO<sub>2</sub> é o principal constituinte do granito.

#### 3.1.2 Análise granulométrica da parte metálica

A Figura 6 apresenta a faixa de distribuição granulométrica da parte metálica da separação magnética.

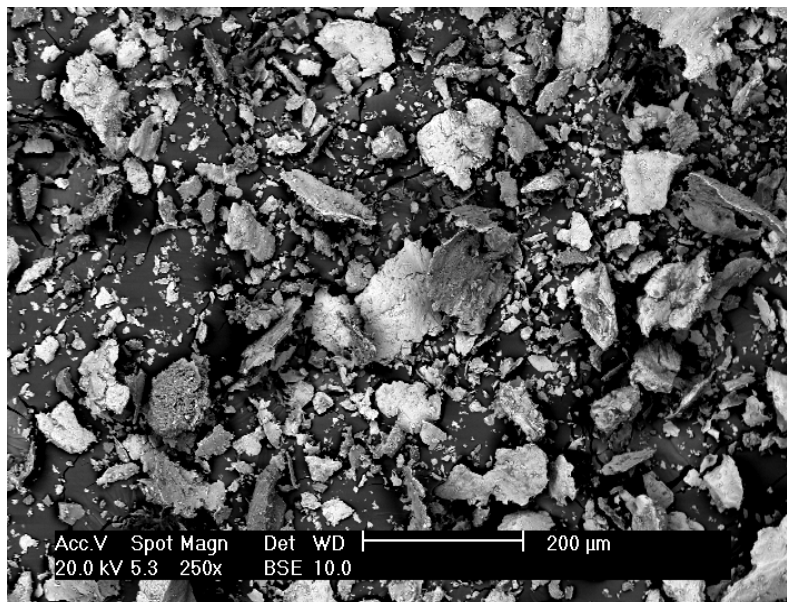


**Figura 6:** Faixa de distribuição granulométrica da parte metálica do resíduo de granito.

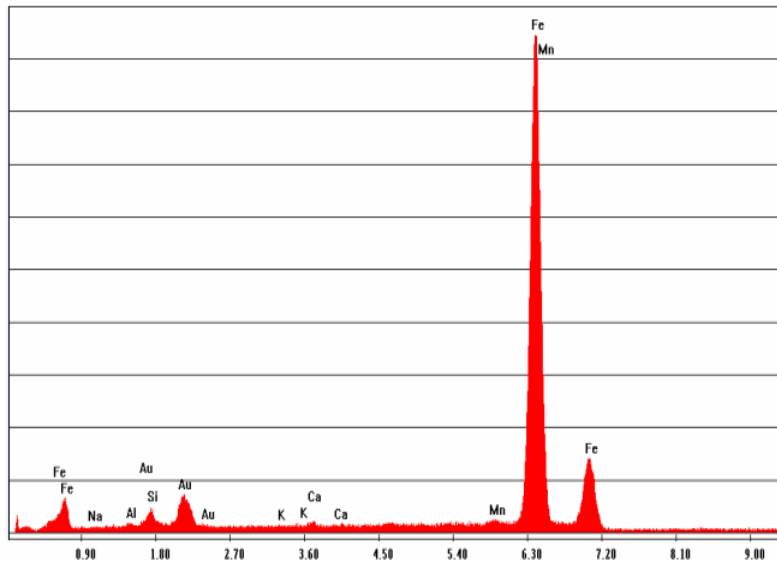
Pode-se observar que toda a parte metálica obtida na separação magnética presente no resíduo de granito se encontra abaixo de 1 mm. Assim, para que se possa reaproveitar a parte metálica em indústrias siderúrgicas é necessária a sua aglomeração.

### 3.1.3 Análise por microscopia eletrônica de varredura

As Figuras 7 e 8 apresentam respectivamente a imagem obtida por Microscopia eletrônica de varredura e o espectro de EDS feitas no concentrado de ferro obtido na separação com separador magnético a úmido.



**Figura 7:** A) Imagem obtida por microscopia eletrônica de varredura do concentrado de ferro do ensaio de separação magnética.

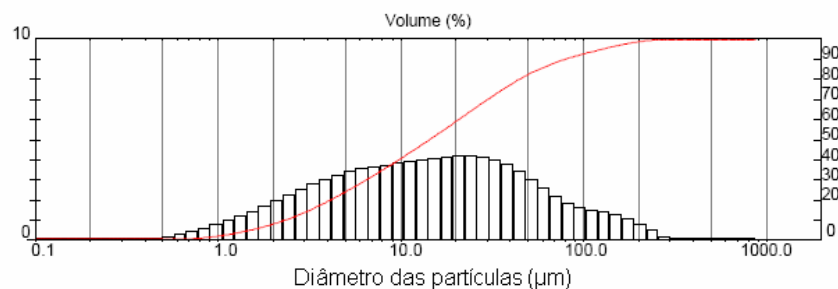


**Figura 8:** EDS do concentrado de ferro obtido na separação magnética.

Pode-se observar a predominância do pico de ferro no espectro, vindo a comprovar a baixa quantidade de impureza obtida no concentrado de ferro na separação magnética.

### 3.2 Ensaios de Separação Magnéticos a Seco

Foi realizada também a separação em separador magnético a seco, porém este processo demonstrou não ser viável, pois o teor de metálico no produto da separação, foi determinado abaixo de 15%, o que foi pouco, comparado com o separador magnético úmido, onde o teor de metálico encontrado foi acima de 96%. O baixo rendimento no caso do separador a seco se deve ao fato de que as partículas de óxidos são arrastadas pelas partículas de metal, devido à baixa granulometria destes materiais, conforme mostrado nas Figuras 6 e 9.



**Figura 9:** Análise granulométrica dos óxidos presente no resíduo de granito.

### 3.3 Ensaios de Separação em Mesa Concentradora

Vários ensaios em mesa concentradora foram realizados. Foram feitas variações dos parâmetros como por exemplo: ângulo de inclinação e oscilação da mesa. A Tabela 3 apresenta os valores obtidos na separação em mesa concentradora.



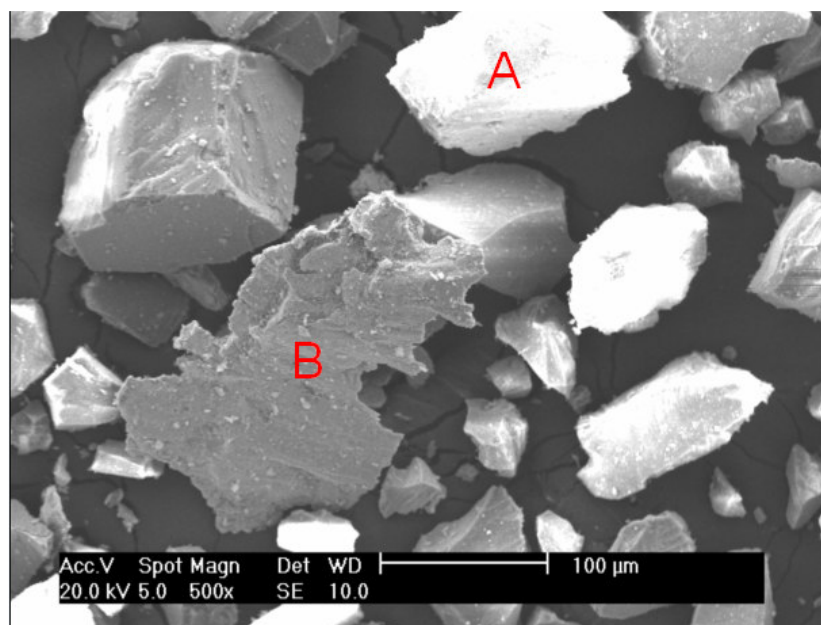
**Tabela 3:** Valores obtidos na separação em mesa concentradora.

ensaio	Massa das amostras	Massa de concentrado de Fe	Fe Total no concentrado (%)
1	2526,67	255,27	13,7
2	1052,61	107,71	12,4
3	920,53	247,43	6,8
4	1291,13	265,39	7,4
5	1074,5	89,93	6,93

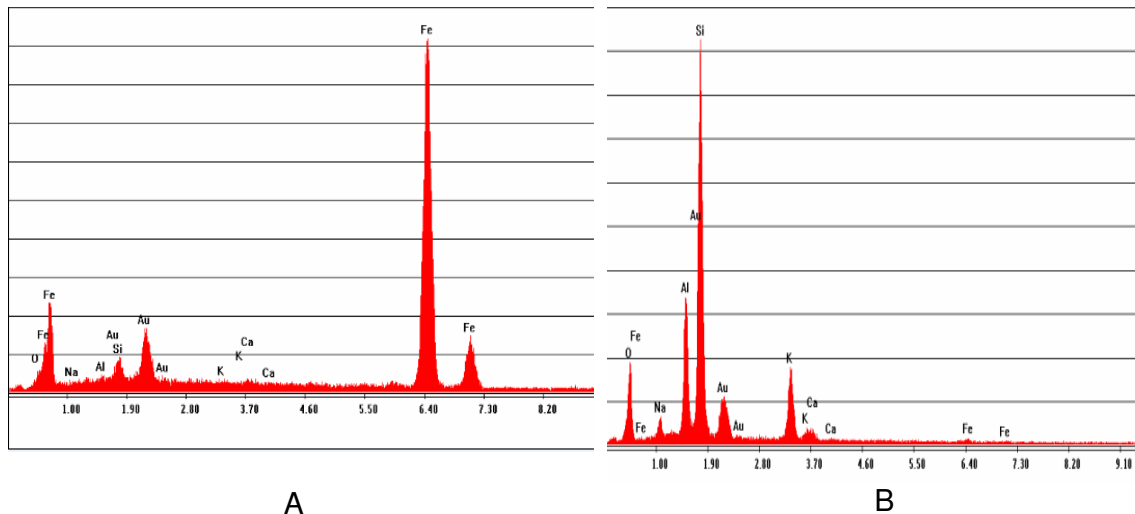
O ferro total presente na Tabela 3 é devido a gralha de aço e finos de lamina assim como do  $Fe_2O_3$  presente nas próprias rochas. Estes resultados comparados com os obtidos na separação magnética comprovam a ineficiência da utilização da mesa concentradora na remoção de ferro do resíduo de rochas ornamentais, uma vez que na separação magnética foi possível a obtenção de um concentrado com 96% de ferro, enquanto na mesa concentradora foi possível no máximo a obtenção de um valor de ferro total de 13,7%.

### 3.3.1 Análise por microscopia eletrônica de varredura

Foi feita a análise por microscopia eletrônica de varredura na amostra obtida no primeiro ensaio devido à obtenção do maior valor de ferro total. A Figura 10 apresenta uma imagem obtida pelo microscópio eletrônico de varredura. Análises de EDS foram realizadas em varias regiões dos espectros. Os espectros de EDS são apresentados nas Figuras 11 A e B.



**Figura 10:** Imagem obtida pelo microscópio eletrônico de varredura do concentrado obtido em mesa concentradora.



**Figura 11:** A) Espectro de EDS do ponto A da figura 10. B) Espectro de EDS do ponto B da figura 10.

Pela Figura 11 A pode-se comprovar a presença de picos de ferro. Este ferro é decorrente das granalhas de aço adicionadas no processo de corte de blocos em de rochas em chapas. Na Figura 11 B pode-se observar a presença de picos de silício, alumínio, potássio, sódio e oxigênio. Assim, comprovando a presença de contaminantes no concentrado de ferro obtido na separação em mesa concentradora.

#### 4 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- o método de separação de ferro do resíduo de granito com mesa concentradora apresentou baixa eficiência, sendo possível apenas a obtenção de um concentrado com 13,7% de ferro total;
- a separação magnética a seco apresentou baixa capacidade de separação da parte metálica, ficando abaixo de 15%;
- o método de separação que obteve melhor eficiência na separação da parte metálica do resíduo de granito foi à separação magnética, onde foi possível a obtenção de um concentrado de ferro com mais de 96% de ferro com a utilização de um campo magnético de 1.000 Gauss.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPES- Fundação de Apoio à Ciência e Tecnologia do Espírito Santo; FAPESP - Fundo de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo apoio financeiro recebido e a USP - Universidade de São Paulo.

#### REFERÊNCIAS

- 1 Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. **Balanço Das Exportações e Importações Brasileiras De Rochas Ornamentais Em 2007**. São Paulo: ABIROCHAS, 2008. 20p. Disponível em < [http://www.ivolution.com.br/news/upload\\_pdf/5978/Retrospectiva\\_2007.pdf](http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/5978/Retrospectiva_2007.pdf)>. Acesso em 05/03/2008.

- 2 FORMIGONI, G.E. et al. **Aproveitamento de resíduos: reciclagem de rochas naturais**. Unisul. Artigo. Disponível em: <http://junic.unisul.br/2007/JUNIC/pdf/0120.pdf> Acesso em 03/03/2008.
- 3 MOURA, Washington A. ; GONÇALVES, Jardel P. ; LEITE, Rôneison da Silva. Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecções de lajotas para piso. **Sitientibus**, Feira de Santana, Jan. – Jun., 2002, n. 26, p.49-61. Disponível em: <http://www.uefs.br/sitientibus/pdf/26/utlizacaodoresiduodecortedemarmore.pdf> acesso em 03/03/2008.
- 4 PONTES, Ivan Falcão; VIDAL, Francisco W. Hollanda. 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. Disponível em <http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2005-101-00.pdf>. acesso em 03/03/2008.
- 5 SOUZA, Joselito Novaes de; RODRIGUES, John Kennedy Guedes; NETO, Pedro Nogueira de Souza. Utilização do Resíduo Proveniente da Serragem de Rochas Graníticas como Material de Enchimento em Concretos Asfálticos Usinados a Quente. Disponível em: [http://www.sfiec.org.br/iel/bolsaderesiduos/Artigos/Artigo\\_Residuos\\_de\\_Serragem\\_de\\_rochas.pdf](http://www.sfiec.org.br/iel/bolsaderesiduos/Artigos/Artigo_Residuos_de_Serragem_de_rochas.pdf). acesso em 03/03/2008.
- 6 PONTES, I. F.; JÚNIOR, A. Stellin. Utilização De Resíduos De Rochas Ornamentais Nas Indústrias De Construção Civil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, 21., 2005, Natal. **Anais**, v.2. Rio de Janeiro: CETEM, 2005. Disponível em <http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2005-102-00.pdf>. acesso em 05/03/2008.
- 7 LUZ, Adão Benvindo da. **Tratamento de minérios**. 4. ed. Rio de Janeiro: Cetem/mct, 2004.
- 8 CETEM. Tratamento de minérios : práticas laboratoriais . In: SAMPAIO, João Alves; BALTAR, Carlos Adolpho Magalhães. **Mesa osciladora**. Rio de Janeiro: CETEM, 2007. p. 255-265.