

## Incorporação de resíduo lama do processo de beneficiamento de granito na argamassa expansiva de demolição

W. B. C. Lima<sup>1</sup>, H. L. Lira<sup>1\*</sup>, G. A. Neves<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Campina Grande, CEP 58109-970, Campina Grande, PB, Brasil

(Recebido em 14/11/2014; revisado em 01/06/2015; aceito em 15/03/2017)  
(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

### Resumo:

A utilização da massa expansiva de demolição na indústria de rochas ornamentais principalmente na lavra é bastante crescente nos últimos anos. Desta forma este trabalho teve como objetivo é estudar o comportamento das massas expansivas de demolição com adição de resíduos do processo industrial, neste caso a lama do processo de beneficiamento de rochas ornamentais. Para tanto, foram realizados ensaios de caracterização e pressão de expansão em uma argamassa expansiva comercial e da lama do processo industrial de beneficiamento de granito. Concluiu-se após resultado das análises de caracterização e das medidas de pressão de expansão, que é possível a utilização dos resíduos de lama do beneficiamento de granitos como carga na massa expansiva sem que haja perda da finalidade das massas que é o corte das rochas e principalmente a redução dos custos de extração e impacto ambiental.

**Palavras-chave:** Resíduos, argamassa expansiva, rochas ornamentais, lavra.

### Abstract:

The use of expansive mortar in ornamental rock industry mainly in mining is growing enough in recent years. The aim of this work is to study the behavior of expansive mortar added with waste from industrial process, in this case the mud of the ornamental rock improvement process. For this, characterization tests were carried out and expansion pressure was measured in a commercial expansive mortar imported from Italy and incorporated with waste from industrial improvement process of granite. With the results of the analyses and of the expansion tests, it was possible to conclude that it is possible to use the waste from the granites processing of as load in the expansive mortar without loss of purpose that is the cutting of rocks and mainly to reduce costs of extraction and environmental impact.

**Keywords:** Wastes, expansive mortar, ornamental rocks, minig.

### 1. Introdução

Um dos grandes desafios para o século XXI é o aproveitamento dos resíduos industriais provenientes das empresas mineradoras. Assim, nesse contexto pesquisas sobre reciclagem de resíduos vêm sendo desenvolvidas em todo o mundo e as razões principais são [1]: esgotamento das matérias-primas não renováveis, redução do consumo de energia, menores emissões de poluentes, redução de custos, melhoria na saúde e segurança da população.

A indústria de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais vem sendo citadas pelos ambientalistas como uma grande fonte de contaminação e poluição do meio ambiente, devido à enorme quantidade de resíduos gerados e que frequentemente são lançados diretamente nos ecossistemas, sem um processo de tratamento para eliminar ou reduzir os constituintes poluentes [2].

Os impactos ambientais causados pelas empresas mineradoras do setor de rochas ornamentais são inicialmente

gerados na fase da pesquisa mineral com o desmatamento e a retirada de amostras, causando fortes impactos a fauna e a flora [3]. Em uma segunda fase, o impacto ambiental gerado na fase de exploração com a abertura e funcionamento das frentes de lavra, gerando um elevado volume de rejeitos que frequentemente, são depositados em locais inadequados. E por fim o impacto gerado sob a forma de uma polpa abrasiva “lama” durante o processo de desdobramentos dos blocos em chapas ou ladrilhos.

Existem vários métodos de lavra de rochas ornamentais, os principais são: por bancadas, por painéis verticais, por desmoronamento, seletiva, de matacões e lavra subterrânea. Nesses métodos tem sido empregada a tecnologia de argamassa expansiva, com exceção da lavra de matacões que podem usar métodos mais rústicos [4]. A escolha da técnica de corte para o desmonte de rochas ornamentais está diretamente ligada às características morfológicas, litológicas, estruturais e geográficas da jazida. Também são levados em consideração parâmetros econômicos inerentes ao tipo e valor

\*Email: helio.lira@ufcg.edu.br (H. L. Lira)

comercial do material, escala de produção e dimensão dos blocos.

Muitas são as vantagens do uso de argamassas expansivas no método de lavra, pois é necessário o mínimo de perfurações na rocha, além de não provocar impacto ambiental e ser de simples aplicação não necessitando assim de mão-de-obra qualificada. Outra vantagem importante é a resposta no corte, resultando em cortes lineares contribuindo para o melhor aproveitamento e acabamento dos blocos de rochas ornamentais. O uso de explosivos muitas vezes não se obtém tal definição e irregularidades nos blocos são comuns. A desvantagem, hoje, consiste no seu elevado custo, por se tratar de um produto ainda importado [5].

Diante desta perspectiva, o estudo foi fundamentado no comportamento de argamassas expansivas de demolição mediante adição de resíduos do processo industrial, mais especificamente a lama do processo de beneficiamento de rochas ornamentais, e assim, minimizar os impactos ambientais relacionados a lama, bem como reduzir os custos de aplicação da argamassa sem interferir em seu desempenho.

## 2. Argamassa Expansiva

A utilização de argamassa expansiva para corte de rocha é uma das tecnologias modernas para lavra, em maciço rochoso, principalmente em pedreiras de granito e mármore. É amplamente empregada no rompimento de concreto de obras civis, corte de pilares, pontes, valas, vigas, etc. Seu campo de ação é praticamente ilimitado na atividade de desmonte, pois serve para romper, cortar e demolir rochas e concreto armado, inclusive nas situações onde, por razões de segurança, o uso de explosivos não é possível [6].

A argamassa expansiva se apresenta como um pó cinza ou branco, com densidade de 3,2 kg/l, inodoro e com área específica em torno de 3000 cm<sup>2</sup>/g. É praticamente insolúvel em água e tem ponto de fusão acima de 1000°C. Por ser altamente alcalino, (pH em torno de 13 em uma solução de 10g/l de H<sub>2</sub>O) é considerado um material corrosivo [6, 7]. Estes valores variam levemente de acordo com o fabricante da argamassa e da faixa de temperatura para a qual foi projetada. Trata-se de uma mistura de cal, normalmente em torno de 60%, com outros agentes minerais como óxido de alumínio, óxido de ferro, sílica e orgânicos, tanto como cargas inertes, como ativas no retardo da reação de hidratação da cal [8]. Estas argamassas são preparadas pela pulverização de um clínquer obtido principalmente pela mistura de óxidos de cálcio, óxidos de silício (SiO<sub>2</sub>) e sulfato de cálcio (CaSO<sub>4</sub>) [9]. Existem casos em que se substitui o SiO<sub>2</sub> pelo Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [10]. Também estão presentes outros tipos de óxidos, como o de ferro e magnésio em menores quantidades. O clínquer pode ser obtido na temperatura de 1000 a 1550°C. Diversos autores abordam composições distintas: Óxido de cálcio (80 – 95%), cimento portland, hidróxido de cálcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) e carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) [11]; ou apenas CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e CaSO<sub>4</sub>, que depois de pulverizado é acrescido de cimento portland e gesso [12]; e ainda CaO (60%), CaF<sub>2</sub> (30%) e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> que depois de pulverizado é acrescido de óxido de alumínio e sulfato de cálcio (CaSO<sub>4</sub>) (1,0 - 3,5%) [13].

Em contato com a água, o óxido de cálcio reage, originando o hidróxido de cálcio, ocasionando um aumento de volume de 96% e geração de calor. Esta alteração volumétrica é a responsável pela carga originada na expansão da argamassa [8]. Seu princípio de funcionamento é similar ao da abertura por cunhas, distinguindo-se deste método pela substituição das cunhas por uma massa expansiva.

Pode-se utilizar a argamassa expansiva sobre qualquer formação rochosa, obra de concreto, de concreto armado, tijolos, e para os trabalhos que seguem [14,15]:

- Escavação de fundações;
- Nivelamento de rochas para os trabalhos rodoviários;
- Escavação de valas para instalação de canalizações;
- Escavações subterrâneas;
- Escavações marítimas, mesmo submarinas;
- Eliminações de blocos de pedra;
- Demolição de pilares, de vigas, de paredes e outros de cimento ou de concreto armado;
- Demolição de obras de tijolos ou de tijolos refratários.

A aplicação mais extensiva da argamassa expansiva no Brasil além da construção civil, por se tratar de um agente demolidor de alta segurança e não explosivo está diretamente relacionada com a extração de rochas ornamentais. A principal vantagem do uso da argamassa expansiva para este fim é o controle do corte no maciço rochoso, além deste controle preciso, têm-se poucas fissuras fora da zona de corte, o que aumenta a quantidade e melhoram qualidade da matéria-prima produzida, parâmetros cruciais na exploração de rochas ornamentais [16].

## 3. Resíduos do beneficiamento do granito

O beneficiamento de rochas ornamentais caracteriza-se pelo desdobramento de materiais brutos extraídos nas pedreiras na forma de blocos, podendo ser subdividido em processo de beneficiamento primário e secundário. Entende-se por beneficiamento primário, o processo inicial de desdobramento de blocos em chapas com espessuras variadas realizado em teares e talha de blocos. Já o beneficiamento secundário entende-se pelo processo de polimento, corte e acabamento das chapas em peças. O primeiro realizado em unidades industriais chamadas de serrarias, enquanto o beneficiamento secundário é realizado nas marmorarias. Existem empresas integradas verticalmente nas quais a serraria e a marmoraria estão presentes na mesma unidade industrial, porém existem empresas que só possuem serraria, outras só marmoraria [17].

No processo de beneficiamento de rochas ornamentais, é gerado grande volume de resíduos. O resíduo gerado pode ser oriundo da extração do bloco, da serragem para enquadrá-los nas dimensões padronizadas, do processo de corte e de polimento, além dos finos da lavra e do beneficiamento [18]. No Brasil, apenas em 2005, a quantidade estimada da geração desse resíduo fino é de 800.000t/ano. Espírito Santo, Bahia, Ceará e Paraíba são os Estados que mais geram esse resíduo [18,19].

Atualmente esse resíduo vem sendo depositado no pátio das empresas, o que implica custo para as mesmas. De modo geral, a geração de resíduos sólidos tem sido um dos grandes problemas enfrentados pelas indústrias nacionais e internacionais, sobretudo no que se refere ao descarte e manuseio adequados destes resíduos, por ser, geralmente, custoso e de difícil implementação [18].

Um das diretrizes adotadas para possíveis desenvolvimentos e oportunidades do setor de rochas no Brasil tem sido a adequação ambiental, mais precisamente o tratamento e aproveitamento de resíduos. Nesse sentido, torna-se urgente a necessidade de tornar realidade os importantes resultados oriundos do esforço científico, que encontram-se disponíveis nas bibliotecas acadêmicas das universidades e institutos de pesquisa, e que indicam várias possibilidades de uso e reciclagem desses resíduos. Sendo assim, a indústria de rochas ornamentais poderá almejar a continuidade de seu crescimento baseado nos conceitos de sustentabilidade e inserido num ciclo ecológico econômico coerente com a atualidade [20].

#### 4. Materiais e Métodos

Os materiais usados foram a argamassa expansiva Fracta (importada da Itália e fornecida pela Amaral Mineração - Queimadas/PB) e o resíduo do processo beneficiamento de granitos (fornecido pela GranFuji - Campina Grande/PB).

As matérias-primas foram submetidas aos ensaios de caracterizações físicas e mineralógicas através análise granulométrica a laser e por peneiramento via seca, análise química (em espectrômetro de fluorescência de raios X Rigaku modelo RIX 3000 equipado com tubo de Rh), análise térmica diferencial em sistema de Análise Térmica modelo RB-3000-20 e análise termogravimétrica em equipamento DTG-60H da Shimadzu, com taxa de aquecimento 10°C/min entre 27°C e 1000°C, atmosfera dinâmica de CO<sub>2</sub>, com fluxo de 283 mL/min, e difração de raios-X em equipamento XRD-6000 da Shimadzu, usando tubo de Cu ( $\lambda = 1,54056\text{Å}$ ), tensão de 40kV e corrente de 30mA, com varredura de 2° a 60° para 2 $\theta$ , com velocidade de 2°/min e passo de 0,02°/passo.

O resíduo do beneficiamento dos granitos foi incorporado as massas expansivas nas proporções de 10%, 20%, 30% 40% e 50%, conforme Tabela 1. Foi também observada, segundo as instruções de preparo fornecidas pelos fabricantes, a fluidez da mistura que é um fator de importante quando do derramamento da massa nos furos executados na rocha.

Tabela 1. Teste de fluidez da massa expansiva italiana “Fracta” com adição de rejeito “lama” do beneficiamento de granito.

Rejeito (%)	Fluidez	
	Boa	Ruim
10	X	
20	X	
30		X
40		X
50		X

Para o ensaio de medida da pressão de expansão das argamassas expansivas com e sem adição de rejeitos, fez-se a mistura da argamassa com água na proporção de 30% em peso de massa, conforme orientação dos fabricantes.

## 5. Resultados e Discussão

### 5.1 Caracterização da Argamassa Expansiva

A Tabela 2 mostra a composição química semi-quantitativa obtida por fluorescência de raios-X da argamassa expansiva Italiana (Fracta). Analisando os resultados verifica-se que a argamassa apresenta alto teor de óxido de cálcio, CaO (aproximadamente 90,2%), seguido de sílica, SiO<sub>2</sub>, com valor de 2,8%, além de outros óxidos. O alto teor de óxido de cálcio é uma característica das argamassas expansivas, sendo o responsável pela pressão de expansão, uma vez que reagindo com a água produz um inchamento.

Tabela 2. Composição química semi-quantitativas por fluorescência de raios-X da amostra de massa expansiva italiana.

Componente	Percentual
CaO	90,2
SiO <sub>2</sub>	2,8
MgO	0,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,6
SO <sub>3</sub>	0,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,4
PF*	4,6

\*Perda ao fogo determinada por análise química convencional

A Figura 1, mostra o difratograma da argamassa expansiva italiana, mostrando picos de difração das fases cristalinas dos óxidos de cálcio (CaO), de silício (SiO<sub>2</sub>) e alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), confirmando as informações obtidas pela análise química, bem como a presença de carbonato de cálcio magnésiano (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) e hidróxido de cálcio (Ca(OH)<sub>2</sub>).

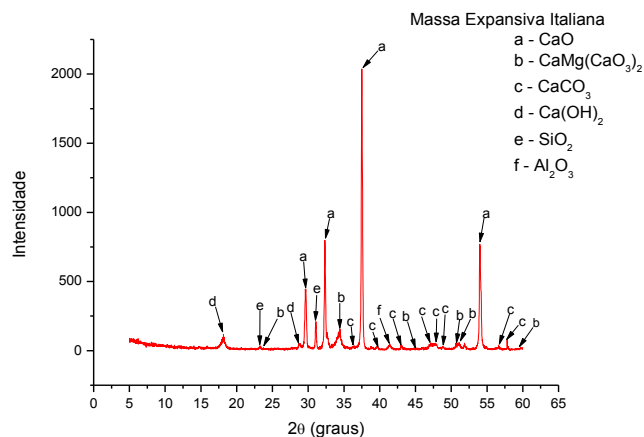


Figura 2. Difratograma de Raios X da argamassa expansiva.

A Figura 2 apresenta as curvas de análise térmica diferencial (DTA) e termogravimetria (TG) da argamassa expansiva, onde se observa um pico endotérmico de grande intensidade em torno dos 441,15°C com perda de massa ( $\Delta m \approx 3,20\%$ ) justificado pela decomposição térmica do  $\text{Ca(OH)}_2$  e um pico menor endotérmico em torno de 705,10 °C com perda de massa ( $\Delta m \approx 5,53\%$ ) justificado pela decomposição térmica do  $\text{CaCO}_3$ .

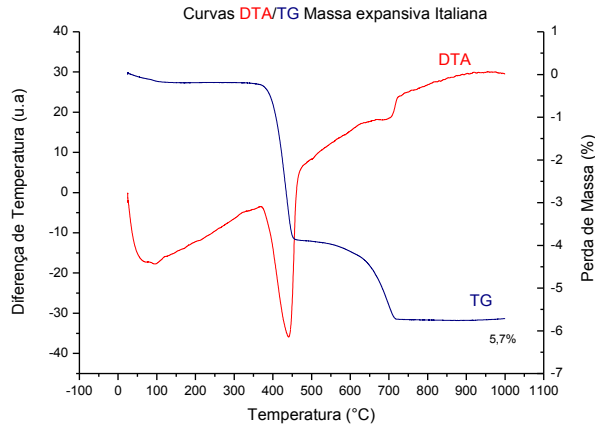


Figura 3. Curvas de análise térmica diferencial (DTA) e termogravimétrica (TG) da argamassa expansiva.

Quanto a distribuição do tamanho de partículas da argamassa italiana, realizou-se análises por granulometria a laser e peneiramento.

Na primeira análise pode-se observar que a amostra apresenta a seguinte distribuição granulométrica: um percentual de 10% das partículas com diâmetro inferior a 75  $\mu\text{m}$ , 50% com diâmetro inferior a 106  $\mu\text{m}$  e 90% com diâmetro inferior a 250  $\mu\text{m}$ , obtendo-se assim um diâmetro médio de partículas de 143,67  $\mu\text{m}$ . No segundo método (peneiramento a seco), o diâmetro médio não foi muito diferente: 115,5  $\mu\text{m}$ , conforme distribuição detalhada na Tabela 3 e ilustrada na Figura 4.

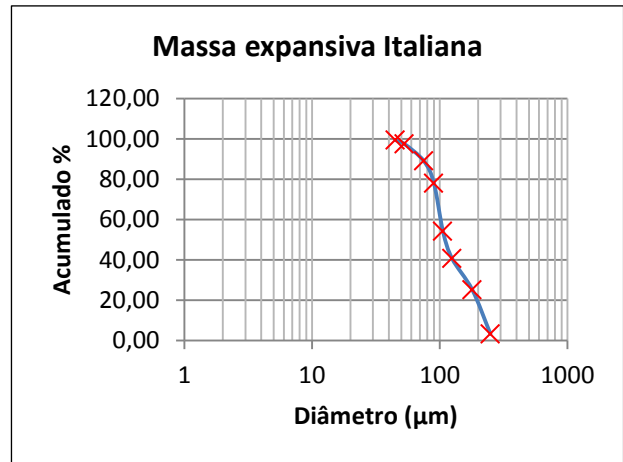


Figura 4. Distribuição granulométrica acumulada por peneiramento via seco da amostra de massa expansiva italiana.

Tabela 3. Análise granulométrica via peneiramento a seco da amostra de massa expansiva Italiana

Malha Tyler/Mesh	Abertura ( $\mu\text{m}$ )	Peso (g)	Porcentagem		
			Retida	Acumulada	Passante
60	250	5,00	3,23	3,23	96,77
80	180	34,00	21,94	25,16	74,84
120	125	24,00	15,48	40,65	59,35
140	106	21,00	13,55	54,19	45,81
170	90	37,00	23,87	78,06	21,94
200	75	17,00	10,97	89,03	10,97
270	53	13,00	8,39	97,42	2,58
325	45	3,00	1,94	99,35	0,65
Acima de 325		1,00	0,65	100,00	0,00
		115,5	155,00	100,00	-
<b>Diâmetro médio</b>	115,5				

### 5.2 Caracterização do rejeito do processo de beneficiamento de granitos (RBG)

A Tabela 4 mostra a composição química semi-quantitativa por fluorescência de raios-X do rejeito do processo de beneficiamento do granito. Analisando os resultados verifica-se que o rejeito apresenta teor majoritário

de sílica,  $\text{SiO}_2$  (46,2%), e teores intermediários de óxido de alumínio (17,6%) e de ferro (14,6%).

Os teores identificados na análise química estão condizentes com os constituintes mineralógicos identificados no difratograma de raios X da Figura 5, apresentados como Quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), Ilita ( $\text{K,H}_3\text{OAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$ ) e Anortita ( $\text{Ca}_{0,715}\text{Mn}_{0,196}\text{Na}_{0,045}\text{Al}_{1,911}\text{Si}_{2,089}\text{O}_8$ ).

Tabela 2. Composição química semi-quantitativa por fluorescência de raios-X do rejeito do processo de beneficiamento do granito

Rejeito beneficiamento granito	
Componente	Percentual
SiO <sub>2</sub>	46,21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,68
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,67
CaO	7,88
MgO	3,91
K <sub>2</sub> O	3,26
Na <sub>2</sub> O	2,42
TiO <sub>2</sub>	2,08

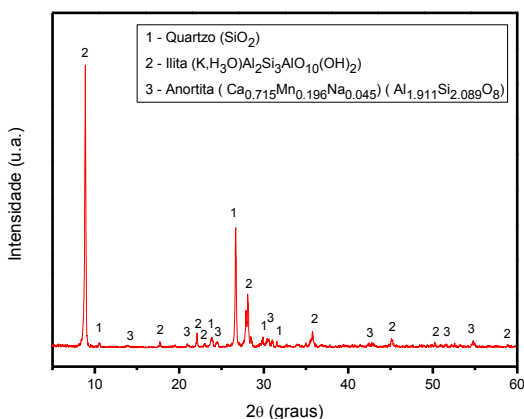


Figura 5. Difratograma de Raios X (DRX) da amostra do resíduo do beneficiamento de granito.

A distribuição granulométrica do rejeito também foi analisada por difração a laser. Através desta análise, cuja distribuição unimodal encontra-se na Figura 6, pode-se observar que a amostra apresenta a seguinte distribuição: um percentual de 10% das partículas com diâmetro inferior a 2,5µm, 50% com diâmetro inferior a 22,38 µm e 90% com diâmetro inferior a 60,43 µm, obtendo-se assim um diâmetro médio de partículas de 27,38 µm, indicando que a granulometria do rejeito é bem inferior a da argamassa expansiva favorecendo sua inserção na mesma.

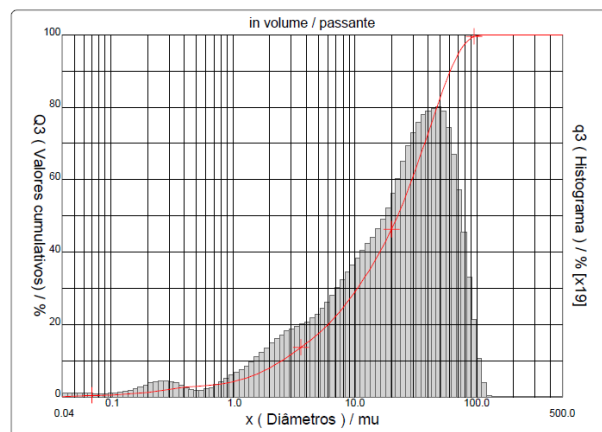


Figura 6. Distribuição granulométrica por difração a laser amostra do rejeito do processo de beneficiamento de granitos.

### 5.3 Análises de Pressão de Expansão das Argamassas

Na Figura 7, pode-se observar uma curva de medida da força (em Kgf) versus tempo que a massa expansiva Italiana. Neste ensaio usou-se uma máquina desenvolvida especificamente para determinação da pressão de expansão de argamassas expansivas [21]. Neste caso a carga máxima obtida foi de 132 Kgf, sobre 0,785 cm<sup>2</sup> de área do molde e após 23 horas de ensaio. A argamassa Italiana apresentou valor médio (de um total de cinco ensaios) da pressão de expansão de 141,72 ± 17,81 kgf/cm<sup>2</sup>.

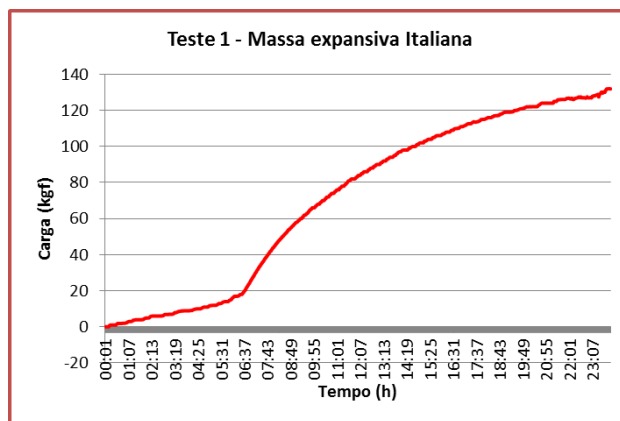


Figura 7. Medida da carga de expansão versus tempo com argamassa italiana Fracta.

Na Figura 8, pode-se observar os testes realizados e o comportamento da pressão máxima de expansão da massa expansiva Italiana com adição da lama do processo de beneficiamento de granito nas proporções de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% em peso em relação a argamassa expansiva comercial, se comparadas com a massa Italiana pura (valor zero no gráfico) que apresenta uma pressão de expansão de 168,15 kgf/cm<sup>2</sup>.

O teste realizado apresentou dentro da faixa uma boa fluidez da mistura final que facilitava o preenchimento da massa pronta no interior do molde de teste.

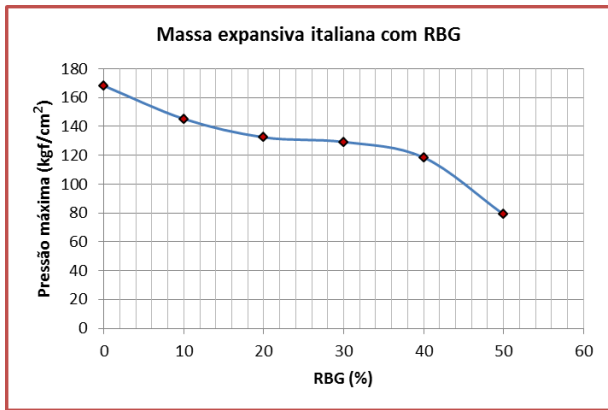


Figura 8. Pressão máxima dos testes realizados com argamassa Italiana com adição de resíduo do processo do beneficiamento do granito (RBG).

Na Tabela 3, apresenta se a pressão máxima para cada proporção de resíduo da lama do processo de beneficiamento do granito a massa expansiva italiana.

Para uma incorporação de até 30% de resíduo, verifica-se uma queda de pressão de expansão para valores em torno de 129 kgf/cm<sup>2</sup>, sendo este teor considerado o máximo de adição desejável para um bom desempenho da massa.

Tabela 3. Pressão de expansão da massa expansiva Italiana adicionada com resíduo do processo de beneficiamento de granito.

Percentual de resíduo na massa (%)	Pressão máxima (kgf/cm <sup>2</sup> )
0	168,15*
10	145,20
20	132,42
30	129,18
40	118,47
50	79,04

\* Valor de referência da massa expansiva italiana pura.

### Conclusões

De acordo com os resultados obtidos pode-se afirmar que a adição do resíduo do processo de beneficiamento de granitos na massa expansiva de demolição Italiana (Fracta) apresenta níveis de pressão de expansão satisfatórios com uma pressão

máxima de 129 kgf/cm<sup>2</sup> para a massa com adição de 30% resíduo, contra uma pressão média máxima de 141,72 kgf/cm<sup>2</sup> da argamassa pura, o que representa uma perda de pressão de aproximadamente 17,25%. Portanto, concluiu-se que é possível a utilização dos resíduos de lama do beneficiamento de granitos como carga na massa expansiva sem que haja perda da finalidade das massas, que é o corte das rochas e principalmente a redução dos custos de extração e impacto ambiental.

### Referências

- [1] John, V. M. Reciclagem de resíduos na construção civil - contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento, Tese Livre Doc., Escola Politécnica, USP, S. Paulo, SP (2000) 180p.
- [2] Nunes, R. L. S.; Ferreira, H. S.; Neves, G. A.; Ferreira, H.C. Reciclagem de resíduos de granito para uso na indústria de revestimentos cerâmicos. In: 46º Congresso Brasileiro de Cerâmica. São Paulo. 2002.
- [3] Souza, J. G. Análise Ambiental do Processo de Extração e Beneficiamento de Rochas Ornamentais com Vistas a uma Produção mais Limpa: Aplicação em Cachoeiro de Itapemirim-ES. Juiz de Fora: UFJF, 2007. 42 p. TCC (trabalho conclusão de curso).
- [4] Vidal, F.W.H. Estudo dos Elementos Abrasivos de Fios Diamantados para a Lavra de Granitos do Ceará. São Paulo. 1999. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo/SP, 173p. 1999.
- [5] Cunha, C. T. C., Lira, H. L., Neves, G. A., Sousa, A. A. P. Estudo de Matéria prima Cerâmica para Obtenção de Argamassa Expansiva para Lavra de Rochas Ornamentais. In: 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Associação Brasileira de Cerâmica. São Pedro/SP. 2005.
- [6] Sousa, A. A. P. Desenvolvimento de argamassa expansiva para lavra de rochas ornamentais utilizando minerais não-metálicos da Região Nordeste do Brasil. 114p. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB.
- [7] ROGERTEC. Cimento expansivo. 2011. Disponível em <http://www.rogertec.com.br>.
- [8] Silva, R. A. V. Desenvolvimento de um equipamento para ensaio de pressão de expansão em argamassa expansiva. 112f. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB.
- [9] Kawano, T., Ishii, S. Demolition agent for brittle materials. 1982. Patent US 4316583 A.
- [10] Miki. M. Expansive cement and the method of producing such cement. 1970. Patent US 3510326 A.
- [11] Moyer Jr., W. W., Smith-Johannsen, R. Expansive cement and agent therefor. 1980. Patent US 4205994 A

- [12] Rice, E. K. Expansive cement. 1983. Patent US 4419136 A
- [13] Suzukawa, Y., Kobayashi, W., Okabayashi, S., Ichinose, H. Expansive cement additive and cementitious material added therewith. 1984. Patent US 4452637 A
- [14] CHIMICAEDILE. Cimento expansivo. 2011. Disponível em <<http://www.chimicaedile.com.br>>.
- [15] EXPLONORTE. Cimento expansivo. 2011. Disponível em <<http://www.explonorte.com>>.
- [16] CAIMEX. Produtos Kayati SL-CRAS. 2011. Disponível em <<http://www.caimex.com.br>>.
- [17] Moraes, I. V. M., Dossiê técnico mármore e granito: lavra, beneficiamento e tratamento de resíduos. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – Ibict. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, 2006.
- [18] Moura, W. A.; Leite, M. B. Estudo da viabilidade da produção de blocos com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais para alvenaria de vedação. *Revista Escola de Minas*, v. 64, n.2, p.147-154, 2011.
- [19] Chiodi Filho, C. Situação do setor de rochas ornamentais e de revestimento no Brasil – mercados interno e externo. IN: Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 5. Anais... Recife: Deminas, DAU, PPGEMinas, SBG, SINDIPEDRAS, 2005. 28p.
- [20] Reis, A. S.; Alvarez, C. E.. A sustentabilidade e o resíduo gerado no beneficiamento das rochas ornamentais. In: Encontro Nacional e II Encontro Latino-Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis – ELECS. Anais, p.1-10, Mato Grosso do Sul, 2007.
- [21] Silva, R.; Lira, H.. Máquina de ensaios para argamassa expansiva. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v 6.2, p 118-121, 2011.