



## Reciclagem dos Resíduos Sólidos de Rochas Ornamentais

Recycling: the Case of Waste of the Dimension Stones

Heitor Fernandes Mothé Filho.<sup>1</sup>, Helena Polivanov<sup>2</sup> &  
Cheila Gonçalves Mothé<sup>3</sup>

<sup>1</sup> UFRRJ, Departamento de Geociências, Instituto de Agronomia, 23550-000,  
Seropédica, Rio de Janeiro, RJ, Brasil e-mail: hmothe@openlink.com.br.

<sup>2</sup> UFRJ, Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, 21949-900, Ilha do  
Fundão, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, e-mail: polivanov@acd.ufrj.br.

<sup>3</sup> UFRJ, Escola de Química, Departamento de Processos Orgânicos, 21949-900,  
Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, e-mail: cheila@eq.ufrj.br.

Recebido em: 02/10/2005 Aprovado em: 19/10/2005

### Resumo

A indústria das rochas ornamentais gera uma enorme quantidade de efluentes, perfazendo cerca de 200.000 toneladas de resíduo sólido por ano. No Estado do Espírito Santo, que tem cerca de 600 empresas, o consumo médio por empresa é da ordem de 10.000 l/dia. Os rejeitos em sua grande maioria são descartados em lagoas de decantação e aterros. Neste trabalho coletou-se material do efluente sólido da indústria do mármore e do granito oriundo de uma serraria da cidade de Cachoeiro do Itapemirim, Estado do Espírito Santo e caracterizou-se este resíduo quanto à composição química, mineralógica, propriedades físicas, ensaio de sinterização e teste de compressão pontual. Os resultados dos índices físicos e da resistência do material sinterizados foram comparados com o granito comercial denominado na indústria como “granito rosa bavena”, da região do Município de Castelo, Espírito Santo. As análises permitiram concluir que o rejeito pode ser fonte para material cerâmico, com possibilidade de se optar por uma maior ou menor resistência.

**Palavras-chave:** Efluentes, poluição, reciclagem.

### Abstract

Dimension stone industry produces a great amount of effluents, about 200,000 ton/year per solid residue. Espírito Santo State has about 600 companies,

and their average consume per industry is around are 10,000 l/ day of water. Those rejects are displaced in decant lagoons, and landfill. In this work was used material provided by marble & granite industry from Cachoeiro de Itapemirim, ES. Those residues were characterized by chemical and mineral composition, physical properties, sintering process, and point load test. The results provided from physical indices and sintering material were compared with the results of commercial granite named in Industry as “granito rosa bavena”. Analysis allowed us to get a conclusion about the reject. These analyses showed that reject could be used as a source for ceramic material, with the possibility of choosing for a greater or lower resistance.

**Keywords:** Effluent, pollution, recycling.

## 1 Introdução

Os rejeitos industriais, um dos tipos de resíduos sólidos (Philippi Jr, 1999), são atualmente motivos de preocupação de ambientalistas, políticos e da sociedade. Assim novas leis são elaboradas e aperfeiçoadas, como o Projeto de Lei 121/2003 que “Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, seus princípios, objetivos e instrumentos, e estabelece diretrizes e normas de ordem pública e interesse social para o gerenciamento dos diferentes tipos de resíduos sólidos”. A utilização destes materiais para a obtenção de um produto apresenta, dentre outras, a vantagem de diminuir a quantidade de rejeito a ser descartada na natureza, além de agregar valor a um resíduo indesejável, e possibilita também gerar novos empregos. O setor das rochas ornamentais é uma das atividades industriais que mais tem crescido nas três últimas décadas no Brasil e conseqüentemente têm aumentado à quantidade de rejeitos, que são produzidos às toneladas. Na figura 1 pode-se visualizar uma área de disposição de rejeito. Estes materiais não devem ser descartados em rios ou lagoas devido ao impacto ambiental que podem acarretar. Na figura 2, observa-se um rio com a sua margem assoreada por rejeito. Dessa forma, constata-se a importância de que o descarte desses materiais deva ocorrer em sítios previamente avaliados ou devam ser reciclados. Este trabalho tem como objetivo obter um material cerâmico a partir desse rejeito, e compará-lo com o granito comercial denominado na indústria como “granito rosa bavena”, da região do Município de Castelo, Espírito Santo, o qual é considerado um material nobre da construção civil. Para tanto foi caracterizado o rejeito e preparados corpos de prova apenas com a fração granulométrica menor que 270 Mesh (0,053 mm), que foram prensados a aproximadamente 4 MPa, em molde de 30 mm de diâmetro e 15 mm de altura. Amostras sinterizadas nas temperaturas de 950 e 1125°C foram

trituradas e realizou-se a difratometria de raios-X que evidenciou as mudanças nas fases minerais prevista na análise térmica. Para verificar a resistência do cerâmico obtido, foi realizado o ensaio de Compressão Pontual nos corpos sinterizados nas temperaturas de 950, 1000, 1050, 1075, 1090, 1100, 1115 e 1125°C, e posteriormente esses dados foram comparados com os resultados da absorção d'água, densidade aparente e porosidade aparente, determinados no cerâmico obtido e no “granito rosa bavena”.

## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 Resíduo Sólido

Para a realização deste trabalho foi estudado o rejeito da indústria do mármore e do granito oriundo de uma serraria da cidade de Cachoeiro de Itapemirim, Estado do Espírito Santo. Foram coletados cerca de trinta quilos de rejeitos da lagoa de decantação da serraria e acondicionados em grandes recipientes de plásticos e transportados para o laboratório. O rejeito foi seco ao ar, destorroado e quarteado, de modo que as frações utilizadas fossem representativas do todo.



Figura 1 Acúmulo de rejeitos de forma aleatória em primeiro plano e plano de fundo, de uma serraria no bairro Aeroporto, Cachoeiro de Itapemirim.



Figura 2 Rio dos Monos com as suas margens assoreadas pelo descarte de rejeito, bairro Aeroporto, Cachoeiro de Itapemirim.

## 2.2 Difração de Raios X

As análises por Difração de raios X foram realizadas no rejeito no Difratorômetro Rigaku-Termoflex – Modelo 2013, com contador proporcional, com voltagem de 40 KV, amperagem de 30 mA, tubo de cobre de 1,5 KW, filtro de níquel e velocidade de 1°C/min. Neste trabalho foi utilizada a técnica do pó, onde a amostra é depositado em lâmina de vidro de uma forma desorientada. Foram realizadas três análises correspondentes à amostra a 30°C, 950°C, e 1125°C.

## 2.3 Preparação dos Corpos de Prova

Os corpos de provas foram moldados com o rejeito, com cerca de 16g obtido do material da fração menor que 0,053 mm e com 3 cm de diâmetro e 1,5 cm de altura, em uma prensa Carver sob pressão média de 4 MPa. A sinterização foi feita em forno EDGA 1200, na razão de aquecimento de 12°C/min em temperaturas de 1050, 1075, 1090, 1100, 1110, 1115 e 1125°C, Figura 3. O tempo de permanência foi de uma hora. Foram sinterizados 10 corpos para

cada temperatura, mas apresentados em gráficos somente os seis valores centrais de cada, com o objetivo de se evitar erros de análise e/ou procedimento.

Os corpos de prova do “granito rosa bavena” foram obtidos com serra circular na serraria onde o produto é vendido comercialmente.

## 2.4 Ensaio de Compressão Pontual

Este ensaio foi realizado no cerâmico preparado em laboratório e no “granito rosa bavena” utilizando um equipamento portátil Alphageos, do laboratório de Experimentos em Mecânica e Tecnologia de Rochas do Setor de Geologia de Engenharia e Ambiental do Depto. de Geologia/UFRJ e consiste em submeter às amostras a esforço uniaxial até o rompimento do corpo de prova (ISRM, 1985). Os corpos de prova foram preparados na forma cilíndrica com razão altura/diâmetro de 0,5. Os resultados foram calculados e correlacionados ao diâmetro de 50 mm para obter um valor de resistência utilizado na classificação de materiais, como sugerido pela comissão de testes da International Society for Rock Mechanics. Este ensaio objetiva quantificar, comparar e classificar a resistência de materiais, sendo muito utilizado em mecânica de rochas (Bieniawski, 1975). Desta forma todos os corpos foram

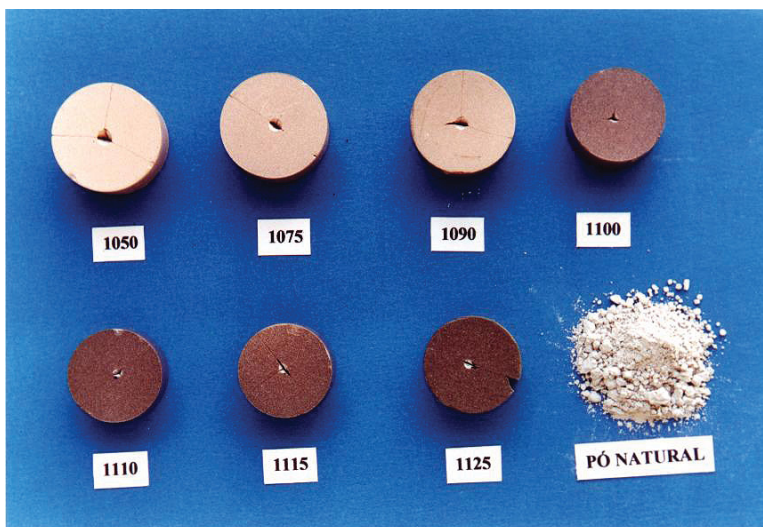


Figura 3 Corpos de prova sinterizados e ensaiados pelo método de compressão pontual.



ensaiados, Figura 3, e os resultados permitiram avaliar a resistência à compressão do cerâmico obtido, Mothé Filho et al (2002) e comparar com os resultados do ensaio no “granito rosa bavena” (Figura 4), o qual é em realidade um gnaiss, constituído por quartzo, plagioclásio, ortoclásio e biotita, como minerais essenciais, determinados em microscópio petrográfico do Depto. de Geociências-UFRRJ.

## 2.5 Absorção d’água Aparente

Realizados no material cerâmico e no “granito rosa bavena”, segundo a NBR12766 (ABNT,1992), que consiste em secar o material à massa constante, esfriá-lo e pesá-lo. Após imersão em água deve-se enxugar o excesso de água e pesá-lo. A absorção será igual a:  $\text{áa} = [(M_{\text{molhada}} - M_{\text{seca}}) / M_{\text{seca}}] \cdot 100$ , onde áa é Absorção d’água aparente e M é = massa.

## 2.6 Contração Volumétrica

Calculada no material cerâmico, a partir das determinações das medidas do volume inicial do corpo a verde ( $V_i$ ), logo após a prensagem e o volume final ( $V_f$ ) refere-se ao volume da amostra após a sua sinterização e ao seu resfriamento natural. Determinação da contração volumétrica ( $C_v$ ) =  $[(V_i - V_f) / V_i] \cdot 100$ .



Figura 4 Corpos de prova do granito comercial ensaiado pelo método de compressão pontual.

## 2.7 Massa Específica Aparente

Realizados no material cerâmico e no “granito rosa bavena”, conforme norma NBR12766 (ABNT,1992). Para esta determinação foi medido além da Massa seca e Massa molhada a massa imersa, que consiste em medir a massa da amostra, dentro de um recipiente com água, via balança hidrostática. A massa específica aparente será igual a:  $\rho_a = M_{seca}/(M_{molhada}-M_{imersa})$ , onde:  $\rho_a$  é a massa específica aparente e  $M$  = massa.

## 2.8 Porosidade Aparente

Realizados no material cerâmico e no “granito rosa bavena”, conforme norma NBR12766 (ABNT,1992). A porosidade aparente será igual a:  $\rho_a = [(massa\ molhada - massa\ seca)/(massa\ molhada - massa\ imersa)] \cdot 100$ , onde  $\rho_a$  é a porosidade aparente e  $M$  = massa

## 2.9 Análise Química

As análises químicas do rejeito foram realizadas no laboratório da CNEN em Poços de Caldas, utilizando espectrometria de emissão atômica por plasma, marca Jarrel-Ash, modelo AtomComp 975. As análises de espectrometria de fluorescência de raios X foram realizadas no Laboratório de Fluorescência do Setor de Geologia Regional e Econômica do Departamento de Geologia/UFRJ, em um aparelho da marca Phillips, modelo 1480.

## 2.10 Análise Granulométrica

Realizado no rejeito no laboratório de Solos do Setor de Geologia de Engenharia e Ambiental do Depto. de Geologia/UFRJ, com respectivo jogo de peneiras, com as aberturas de 2; 1; 0,5; 0,25; 0,125 e 0,053mm, para a análise convencional, com tempo de movimentação de 20 minutos e na intensidade de 6, adaptado de Suguio (1973). As frações finas foram analisadas no laboratório de Tecnologia de Pós do INT/RJ, por via úmida, em um aparelho da marca Cilas, modelo 1064, analisador de tamanho de partículas a laser. Foram usados 5g de amostra do rejeito, passante na peneira 0,5mm.

## 2.11 Análise Térmica

Realizadas no rejeito onde foram aplicadas as técnicas de Análise Térmica Diferencial (DTA) e Termogravimetria (TG). As amostras utilizadas foram secas em estufa a 50°C e destorroadas em gral de ágata. Os ensaios foram realizados nos aparelhos Thermoflex-Rigaku do Laboratório de Difração de raios-X e DTA do Setor de Geologia de Engenharia e Ambiental do Departamento de Geologia/UFRJ, e no equipamento TA SDT 2960, no Laboratório do Departamento de Processos Orgânicos (DPO) da Escola de Química/UFRJ. As análises foram realizadas em atmosfera de Ar ou N<sub>2</sub>, em razões de aquecimento de 4 a 20°C/min., da temperatura ambiente até 1400°C, em fluxo máximo de 120ml/min., em cadinho de platina e com uma massa próxima a 13mg.

## 3 Resultados e Discussão

### 3.1 Análise Granulométrica:

A análise granulométrica do rejeito mostrou que a fração areia corresponde a 77,2%, a fração silte 20,06 % e a fração argila a 2,74%.

### 3.2 Difração de raios-x e Análise Macroscópica.

A análise macroscópica e a difração de raios-X do rejeito estudado indicaram que quartzo, feldspatos (plagioclásio e ortoclásio), mica (biotita e muscovita), calcita e dolomita são os minerais mais frequentes. O quartzo foi evidenciado através do seu espaçamento interplanar caracterizado a 3,34 Å e a 4,26 Å, a mica a 10 Å os feldspatos (ortoclásios e plagioclásios) a 3,24 Å e 3,18 Å e calcita a 3,03 Å. Não foram identificados minerais magnéticos, entretanto o imã consegue atrair pequenos fragmentos, ao quais foi correlacionada a serra que corta as rochas. Na figura 5 verifica-se que a 30°C observam-se os minerais acima mencionados. Na amostra aquecida a 950°C, a calcita foi degradada, as micas e os feldspatos são parcialmente decompostos, verificando-se pela diminuição e abaulamento das reflexões representadas por estes minerais, e a 1125°C os plagioclásios são destruídos, permanecendo provavelmente parte dos ortoclásios que são fundidos em temperaturas um pouco superiores, aproximadamente a 1170°C, como indicado na figura 6 pela



análise térmica. Através do microscópio petrográfico identificou-se no “granito rosa bavena” a presença dos minerais quartzo, plagioclásio, ortoclásio e biotita, como minerais essenciais

### 3.3 Análise Térmica

O estudo térmico do rejeito, foi realizado por Análise Térmica Diferencial (DTA) e evidenciou três eventos endotérmicos, que correspondem à transformação polimórfica de quartzo a para quartzo b (567°C), decomposição dos carbonatos (650°C) e temperatura de fusão (1170°C). As curvas TG e DTA da figura 6 evidenciam uma grande perda de massa entre 580 e 650°C, relacionada à decomposição dos carbonatos (Todor, 1976). As curvas DTA, nas razões de aquecimento 4, 6, 8, 10 e 12°C/min apresentadas na figura 7, evidenciam os três eventos endotérmicos descrito anteriormente. Esses dados sugerem que as razões de aquecimento não devem influenciar significativamente nos resultados dos corpos a serem sinterizados (Mothé Filho *et al*, 2000). Desta forma optou-se por ser usada a razão de aquecimento de 12°C/min, por diminuir o tempo para preparação das amostras a serem sinterizadas e ensaiadas no teste de compressão pontual.

### 3.4 Índices Físicos

Os resultados de absorção d’água, contração volumétrica, densidade aparente e porosidade aparente são apresentados na Tabela 1. A absorção d’água e a porosidade aparente diminuem com o aumento da temperatura de sinterização, chegando a ser nula a 1125°C, correspondendo ao início da fusão dos plagioclásios. A contração volumétrica e a densidade aparente aumentam até 1115°C, e a 1125°C diminuem devido ao aparecimento da fase líquida correspondente ao início da fusão do plagioclásio. Na figura 8 é observado um gráfico que relaciona a resistência do corpo de prova obtido versus à contração volumétrica, nas temperaturas de 1050, 1075, 1090, 1100, 1110 e 1115°C. Pode ser visto que a resistência à contração volumétrica aumenta de forma polinomial e não linearmente. Na Tabela 2 são apresentados os resultados dos ensaios de compressão pontual dos corpos de prova sinterizados entre 1075 e 1125°C e no granito comercial. A análise desses dados permite apontar que o cerâmico sinterizado apresenta valores de resistência superior ao do produto comercial, sendo classificado de resistência extrema segundo a classificação de Bieniawski (1975).

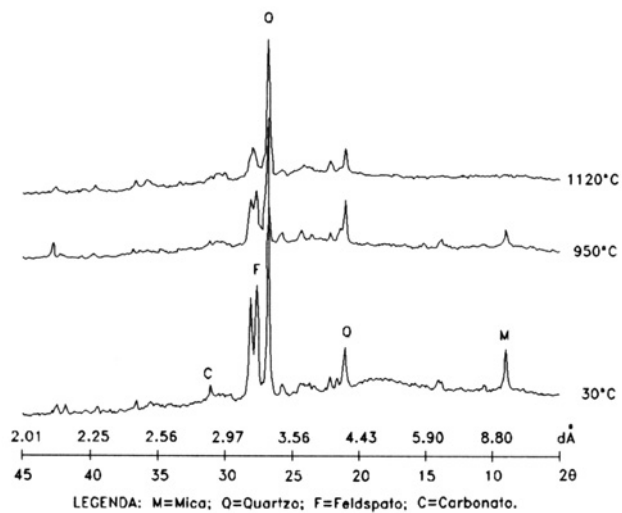


Figura 5 Difratomogramas do rejeito a 30, 850 e 1120°C.

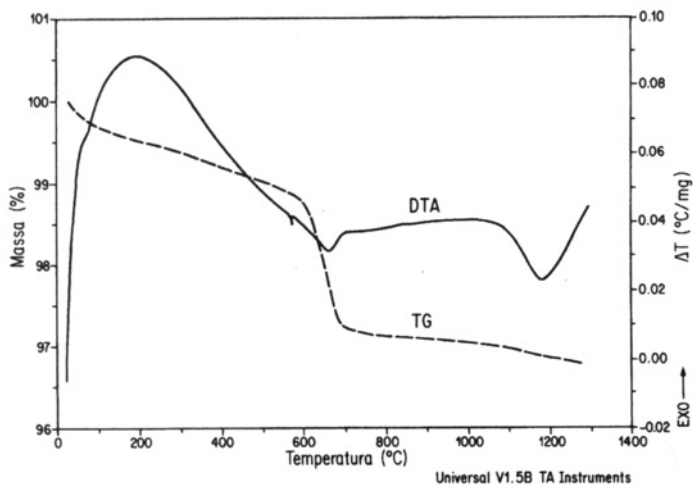


Figura 6 Curvas TG/DTA do rejeito, evidenciando grande perda de massa e três eventos endotérmicos.

## 4 Conclusões

A disposição final dos rejeitos, em função da grande quantidade gerada, deve ser precedida de uma avaliação que permita evitar ou minimizar de forma acentuada a possibilidade de impactar ou poluir o meio ambiente. Os testes realizados neste trabalho indicam que o rejeito estudado pode ser fonte para material cerâmico, com possibilidade de se optar por uma maior ou menor resistência, sendo que os de mais alta temperatura apresentam resistências assemelhadas a rochas usadas para piso e revestimento, conforme o “granito rosa bavena”. Da mesma forma a porosidade, densidade aparente, absorção d’água podem ser seletivamente escolhidas pelo processo de sinterização. Portanto, para se optar por um processo tecnológico a ser empregado na obtenção de cerâmicos, este deverá estar condicionado à sua aplicação. A qualidade do material produzido, atestada nesta investigação preliminar, torna promissor o aproveitamento do rejeito para fins cerâmicos. Embora haja coerência entre os dados analisados neste trabalho, ressalta-se que ensaios de resistência à abrasão é um outro parâmetro fundamental de caracterização tecnológica visando aplicação em pisos cerâmicos. A pesquisa deve prosseguir e uma vez confirmada, pelos estudos em desenvolvimento, a viabilidade tecnológica de aproveitamento do rejeito da indústria de granito e mármore para produção de material cerâmico, haverá novas perspectivas para essa indústria tanto do ponto de vista econômico, quanto para a mitigação dos problemas ambientais.

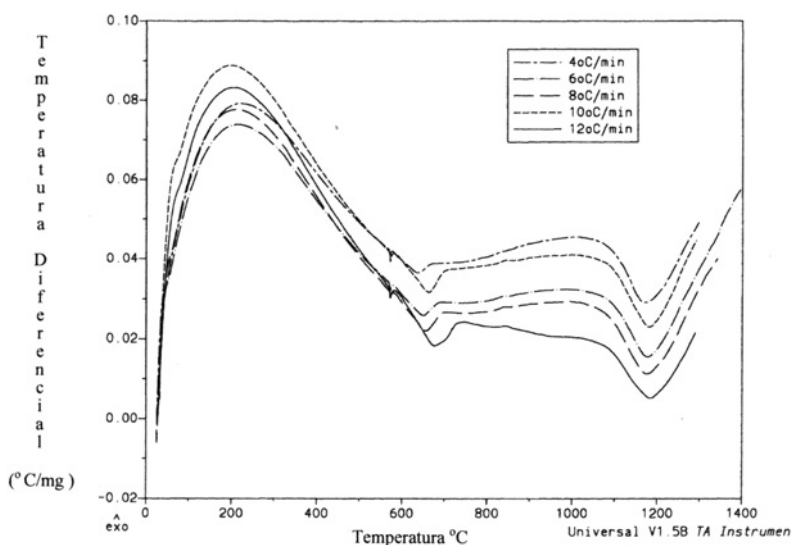


Figura 7 Sobreposição de curvas DTA em diferentes razões de aquecimento.

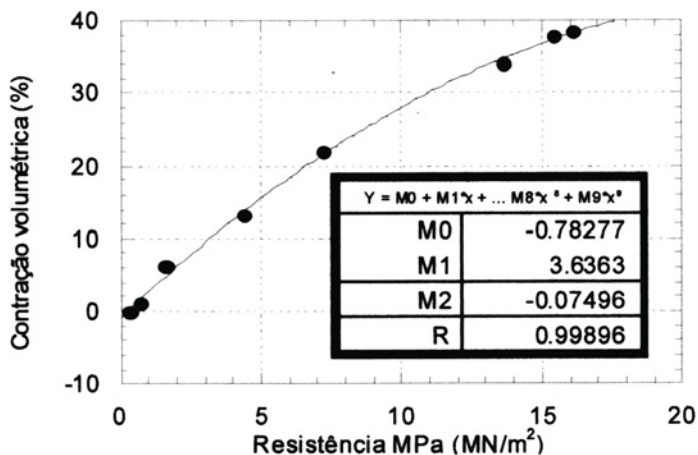


Figura 8 Contração volumétrica versus a resistência da amostra sinterizada.

Corpos de Prova/Ensaio	1075oC	1090oC	1100oC	1110oC	1115oC	1125oC	Granito
Absorção d'água aparente	17,9%	13,0%	4,8%	2,2%	1,3%	Zero	0,36%
Contração volumétrica	13,1%	21,9%	34,1%	37,7%	38,4%	35,4	-
Massa específica aparente	1,73	1,87	2,15	2,23	2,3	2,18	2,64
Porosidade aparente	31,2%	24,4%	8,2%	5,0%	2,4%	Zero	0,98

Tabela 1 Resultados dos ensaios físicos do material sinterizado a diferentes temperaturas versus o granito comercial.

	Rejeito						Granito
Temperatura	1075	1090	1110	1110	1115	1125	
Resistência	5,02	7,30	11,74	15,41	16,08	10,39	8,77

Obs: Temperatura °C, resistência MPa, granito = rocha comercial.  
 Tabela 2 Resistência dos corpos sinterizados e do granito comercial.

## 5 Referências

- ABNT. 1992. NBR 12766. Rochas para revestimento – Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente. 1p.
- Bieniawski, Z. T. 1975. The point load test in geotechnical practice. *Engineering Geology*, 1- 11. BRASIL. Congresso. Câmara dos Deputados. Projeto de Lei nº 121 de 2003, autoria do deputado Leonardo Mattos.
- ISRM. 1985. Suggest method for determining point load strenght. *Int. J. Rock. Mech. Min.Sci. & Geomech. Abstr*, 22, p. 51-60.
- Philippi Junior, A. 1999. Agenda 21 e resíduo sólido. Resid'99: Seminário Sobre resíduos Sólidos. São Paulo, ABGE, p. 15-2.
- Mothé Filho, H. F. & Mothé, C. G. 1999. Thermal decomposition granite and marble industry reject by TG/DTG/DTA. *Proceedings of the Twenty-Seventh Conference of the Natas*. Savannah, Georgia, p. 182-186.
- Mothé Filho, H. F., Polivanov, H., Barroso, E. V., Almeida, V. C. & Mothé, C. G. 2000. Thermal characterization of granite and marble industry residue to ceramic material. *Proceedings of the 28 Natas Annual Conference on Thermal Analysis Applications*, Orlando, Fla. USA, p. 406-411.
- Mothé Filho, H.F.; Polivanov, H.; Barroso, E.V. & Mothé, C.G. 2002. Thermal and mechanical study from granite and marble industry reject. *Thermochimica Acta*, 392, p.47-50.
- Todor, D. N. 1976. Thermal analysis of minerals. Abacus Press. Romania, 256 p.
- Suguio, K. 1973. *Introdução à Sedimentologia*. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 317 p.