



## DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS PARA A RACIONALIZAÇÃO DO PROCESSAMENTO DE ROCHAS GRANÍTICAS POR ABRASÃO

**Venceslau Xavier de Lima Filho**  
**Alexandre Campos Bezerra**  
**Francisco Claudioberto dos Santos**  
**Ricardo Emílio F. Quevedo Nogueira**

Departamento de Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, UFC, Bloco 714 - Campus do Pici, Alagadiço, CEP60455-760, Fortaleza, CE - Brasil.

**Antônio Hélio Muniz Fernandes**

Secretaria de Ciências e Tecnologia do Estado do Ceará, Divisão de Tecnologia Mineral - NUTEC, Rua Prof. Rómulo Proença, Campus do Pici, CEP60451-970, Fortaleza, CE - Brasil.

***Resumo.** A complexidade estrutural das rochas graníticas e dos processos abrasivos envolvidos nas diversas etapas do seu processamento têm impedido uma abordagem mais racional para a determinação dos parâmetros de operação das máquinas de corte e polimento. Neste caso, deseja-se maximizar a remoção de material (desgaste) empregando-se o mínimo de energia e sem causar danos à peça, isto é, evitando a formação de trincas ou fissuras, e atingindo o brilho desejado. Para tanto, são imprescindíveis a caracterização petrográfica dos tipos de granito, bem como a determinação das propriedades que mais influenciam o desgaste abrasivo de materiais frágeis. Este trabalho tenta correlacionar as características petrográficas e a tenacidade à fratura de quatro granitos comerciais, com o objetivo de entender melhor o diferente comportamento desses materiais durante o beneficiamento. Os dados obtidos corroboram com resultados de trabalhos anteriores que indicam que nem a dureza nem a tenacidade à fratura quer isoladamente, ou em conjunto, podem explicar as diferenças observadas na prática. O número de variáveis envolvidas sugere que outros parâmetros como a granulometria dos materiais e a distribuição das fases devem ser incorporados à análise do problema.*

***Palavras-chave:** Granito, Abrasão, Fratura, Tenacidade*

### 1. INTRODUÇÃO

A superfície terrestre apresenta uma grande variedade de rochas com diferentes aspectos e propriedades físicas, dentre elas, os chamados mármores e granitos. A nomenclatura consagrada na indústria e que abrange um grande número de rochas utilizadas na construção civil, não corresponde, em termos geológicos, a uma definição exata das rochas. Não obstante, ao longo deste trabalho, o termo granito será empregado em sentido comercial, englobando qualquer rocha não calcária capaz de receber polimento e ser usada como material

de revestimento (NITES, 1991). Essa definição abrange os granitos propriamente ditos, e outras rochas como os dioritos, os gabros e os meta-conglomerados.

O granito é constituído basicamente de sílica, em torno de 75%, já que ela aparece em forma de quartzo, que é sílica pura e como constituinte dos feldspatos, que são silicatos. A coloração dos granitos é determinada pela cor do feldspato, que varia em função da presença de potássio, sódio, cálcio, etc. nos silicatos de alumínio. Espalhadas nessas rochas encontram-se ainda pequenos grãos de minerais acessórios, entre os quais podem ocorrer: magnetita, ilmenita, apatita, zircão, esfênio, topázio, fluorita, andaluzita, cordierita e granada. Do ponto de vista técnico, a utilização de granitos e mármore requer a observação de duas características principais: propriedades físicas e mecânicas adequadas à utilização e aspecto decorativo agradável. Conhecendo as propriedades físicas e mecânicas, define-se o campo de aplicação de cada tipo de rocha, porém, o mais comum é definir a utilização a partir da cor do material e de sua uniformidade (Castelo Branco, 1998)

O crescimento das atividades relacionadas com a indústria de rochas ornamentais no Nordeste, a partir de meados da década de 80, possibilitou o desenvolvimento de alguns núcleos produtivos bem delineados, onde se destacam os estados do Ceará e da Bahia e subsidiariamente Alagoas. O surgimento destes núcleos teve como causa primordial as ações de fomento desenvolvidas pelos organismos regionais ligados à atividade mineral, que de uma forma geral centraram suas ações na pesquisa de áreas com potencial produtivo, na promoção dos materiais e no incentivo à implantação de indústrias de beneficiamento e na interiorização desses investimentos (Castelo Branco, 1998).

A fase crucial do processamento das rochas ornamentais é o acabamento, que consiste no corte ou usinagem do material em lajotas ou peças com as dimensões finais, incluindo também as operações de polimento. O preço médio da tonelada de produto beneficiado ou acabado é cerca de três vezes o do material bruto (Bedine et al, 1993).

As rochas em questão apresentam uma combinação de características estruturais e propriedades mecânicas que tornam seu estudo bastante complexo: estrutura heterogênea, com a presença de muitas fases, impurezas e inclusões, elevada dureza e fragilidade. A escassez de parâmetros operacionais determinamos para as rochas existentes no Brasil, além disso, impõe em muitos casos a operação predominantemente empírica dos equipamentos, quando muito, utilizando-se parâmetros de corte para materiais de outros países.

Consequentemente ocorrem o desperdício de matéria-prima, a diminuição da vida útil das ferramentas, geralmente diamantadas, e o consumo excessivo tanto do material utilizado no polimento (abrasivos), quanto de energia. (Bonamico, 1991). Isso acarreta a elevação dos custos e baixa qualidade de alguns produtos fazendo com que os mesmos tenham pouca competitividade no mercado externo (Caranassios et al, 1993).

Na prática industrial, costuma-se classificar os granitos em cinco faixas arbitrárias de dureza designadas pelos números de 1 a 5, de acordo com a facilidade ou dificuldade de usinagem. O material é tratado, portanto, como se fosse homogêneo e isotrópico (S.E.A., 1994). No entanto, estudos anteriores realizados nos Laboratórios de Desenvolvimento de Materiais da Universidade Federal do Ceará e de Tribologia e Materiais da Universidade Federal da Uberlândia (Nogueira et al, 1998) demonstram claramente que a dureza de diferentes materiais tanto à penetração quanto ao risco é muito próxima, não havendo uma correlação direta entre a dureza propriamente dita e a usinabilidade.

Sabe-se que no caso de materiais frágeis, a tenacidade à fratura desempenha um importante papel na remoção de material durante o processo abrasivo (NBr). Por esse motivo, resolveu-se estudar a tenacidade à fratura de quatro granitos com diferentes comportamentos durante a usinagem, a fim de verificar se esse parâmetro poderia explicar a diferença.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Materiais empregados

Inicialmente foram selecionados quatro tipos de materiais de valor econômico e bastante distintos quanto às suas granulometria, composição mineralógica e usinabilidade. Devido à sua coloração, eles serão denominados nesse trabalho, de granitos Verde, Branco, Preto e Cinza. Em seguida foi realizada, na Divisão de Tecnologia Mineral DITEM/NUTEC, a análise petrográfica para determinar os minerais componentes de cada tipo, e suas proporções. A partir desses valores determinou-se uma dureza média para os materiais, pela regra das misturas.

### 2.2. Determinação da tenacidade à fratura

Por não existir uma norma específica universalmente aceita para a determinação da tenacidade à fratura de rochas ornamentais, foi desenvolvida em estudos anteriores, realizados no Laboratório de Desenvolvimento de Materiais da UFC, uma metodologia de ensaio de tenacidade à fratura, empregando-se o método de flexão a quatro pontos em barras pré-trincadas (Lima et al, 1998). As amostras são barras prismáticas retangulares nas quais se introduz um defeito ou trinca de tamanho conhecido. A Figura 1 mostra esquematicamente os tipos de corpos-de-prova empregados nos ensaios:

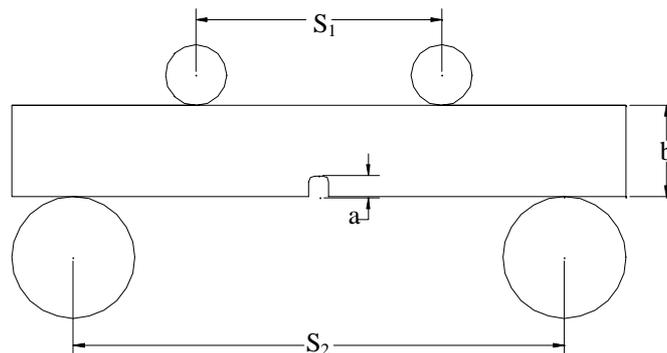


Figura 1- Método de ensaio de tenacidade a fratura por flexão a quatro pontos

A carga de ruptura é medida e são utilizadas as fórmulas a seguir:

$$K_{IC} = [P(S_1 - S_2)a^{1/2}Y]/(2db^2) \quad (1)$$

$$Y = 1,99 - 2,47(a/b) + 12,97(a/b)^2 - 23,17(a/b)^3 + 24,8(a/b)^4 \quad (2)$$

onde,

P: carga na ruptura, em N

$S_1, S_2$ : distância entre pontos de aplicação de carga (m)

a: profundidade do defeito (m)

b: altura da barra (m)

d: largura da barra (m)

O defeito ou pré-trinca foi introduzido por meio de corte com um disco diamantado. Foram realizados 03 ensaios para cada granito, de acordo com a norma brasileira já citada anteriormente. As dimensões dos corpos-de-prova foram 0,2x0,1x0,05 m e com 0,032 m de

profundidade do corte “a” ( Fig. 1). Os ensaios foram realizados em uma máquina universal de ensaios de 6 ton marca MAN na escala de 3 ton e variação de 5 kg e com velocidade de aplicação de carga mantida dentro da faixa de 0,3 à 0,8 MPa por segundo, que é a faixa recomendada pelas normas utilizadas para ensaios com rochas ornamentais (NBr).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Análise petrográfica

A tabela a seguir apresenta os resultados da análise petrográfica para os quatro materiais utilizados neste trabalho. Indicam-se também os valores da dureza Mohs típicos dos minerais encontrados.

Tabela 1- Análises petrográficas

Minerais	Dureza Mohs	% Volumétrica			
		Granito Branco	Granito Verde	Granito Preto	Granito Cinza
Feldspatos	6,0	15	60	45	48
Quartzo	2,5 – 3,0	40	28	-	22
Carbonatos	3,0	10	-	-	-
Micas	2,5 – 3,0	10	5	14	22
Epidotos	6,0 – 7,0	20	-	-	6
Anfibólios	5,0 – 6,0	-	5	16	-
Piroxênios	5,0 – 7,0	-	-	20	-
Acessórios	-	5	2	5	2

Os minerais analisados se subdividem em três tipos: os denominados ‘essenciais’, necessários para a diagnose do tipo de rocha ( quartzo e feldspato, no caso do granito); os ‘varietais’, que podem ou não ocorrer (ex.: micas) e os ‘acessórios’, sempre presentes em pequenas proporções (NITES, 1991).

Geologicamente, o granito é uma rocha constituída essencialmente de quartzo e feldspato, sendo este último o responsável pela coloração. Verifica-se que os materiais chamados de "Granito Verde, Preto e Cinza" se tratam realmente de rochas graníticas (rocha ígnea-plutônica) (DITEM, 1995), enquanto que o chamado granito Branco, na verdade se trata de um meta-conglomerado (cálcio-silicatada ) (DITEM, 1995)

A partir da regra das misturas, pode-se ter uma idéia da dureza Mohrs dos granitos, cujos resultados foram expressos na Tabela 1. Convém salientar que trabalhos anteriores já demonstraram uma boa correlação entre a dureza Mohs e as durezas à penetração e ao risco dos granitos (Nogueira et al., 1998).

Pode-se notar que o Granito branco apresenta 35% de seu volume composto de minerais com dureza Mohs estimada entre 6 e7, o granito verde possui 65% com dureza entre 5 e 6, o granito preto 61% também com dureza entre 5 e 6 e o granito cinza possui 54% de seus minerais constituintes entre 6 e 7. Mesmo considerando a imprecisão dos dados, pode-se ver que os valores de dureza para esses materiais não são muito diferentes.

#### 3.2. Ensaios de tenacidade à fratura

A tabela a seguir apresenta os resultados obtidos nos ensaios de tenacidade à fratura ( $K_{IC}$ ):

Tabela 2: Valores de Tenacidade à Fratura em (MPa).m<sup>-1/2</sup>

<b>Tipo de Granito</b>	<b><math>K_{IC}</math></b>	<b>Desvio</b>
Branco	0,4008	0,1005
Verde	0,4011	0,1365
Preto	0,4049	0,3030
Cinza	0,4082	0,3150

Mesmo os materiais possuindo características físicas (granulometria) e geológicas (composição mineralógica) bastante diferentes, verifica-se que é imperceptível a diferença de fragilidade entre os granitos estudados. Esses materiais apresentaram grande homogeneidade nos resultados, sendo necessário se fazer um número bem maior de ensaios. Mesmo que os valores numéricos pudessem ser questionados em sua exatidão, os quatro granitos tiveram o mesmo comportamento durante os ensaios, enquanto que na prática esses materiais se comportam de maneira diferente em relação ao corte e polimento, por motivos que ainda precisam ser analisados.

#### 4. CONCLUSÃO

No decorrer desta pesquisa pôde-se verificar que o setor de rochas ornamentais, é bastante carente de conhecimentos de caráter científico que fundamentem sua prática, evidenciando, portanto, a necessidade das empresas investirem em pesquisa tecnológica para racionalizarem seus processos.

Apesar de ser de fundamental importância o conhecimento da tenacidade à fratura para se compreender o comportamento de um material frágil quando submetido à abrasão, os resultados do trabalho contestam a validade de se atribuir a apenas um parâmetro isolado (nesse caso a tenacidade à fratura), a diferença de comportamento entre materiais quando submetidos a um processo extremamente complexo como o abrasivo. O ensaio aqui descrito, não obstante necessitar de maior apuro técnico e científico, apresenta potencial para a determinação dos parâmetros de corte e polimento de rochas ornamentais.

Além disso, estabeleceu-se uma metodologia de caracterização das rochas ornamentais aliando procedimentos geológicos e metalográficos, além de conhecimentos oriundos da tecnologia mecânica. Essa abordagem, já foi utilizada na medição do grau de polimento de mármore e granitos (Morandini et al, 1993), e certamente poderá contribuir para eliminar o hiato existente entre essas áreas do conhecimento, trazendo ganhos reais para a indústria das rochas ornamentais.

Considerando que os aspectos da dureza e da tenacidade não são suficientes para explicar as diferenças de comportamento, já estão em andamento novos estudos que ampliam a análise para incluir a granulometria e a distribuição das fases, lançando-se mão da microscopia eletrônica e da difração de raios-X.

#### *Agradecimentos*

Os autores gostariam de agradecer o auxílio financeiro do CNPq através de bolsa PIBIC e de Produtividade em Pesquisa, o que tornou possível a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- Bedini, R. et al, **Inovazione Tecnologica e Automazione Nelle Lavorazioni dei Materiali Lapidari.**, Anais do XIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Vol II, pp 562-571, Florianópolis, Brasil, 1993.
- Bonamico, M. de A., **Estratégias para Consolidação do Setor no Mercado Externo. , Rochas de Qualidade** , Edição 110, pp 59-62 de 1991
- Caranassios, A. et al, **Prospettive di Innovazione Tecnologica Nelle Cave Di Granito Brasiliane.**, Anais do II Congresso Ítalo-Brasileiro de Engenharia de Minas, São Paulo, Brasil, 1993.
- Castelo Branco, S.M.A., **Estudo Resíduo de Rochas Ornamentais para Fins Tecnológicos**, Projeto de Pesquisa para concessão de bolsa CNPq-PIBIC,1998.
- Lima, V. X. F., Nogueira, R. E. F. Q., Muniz, A. H., Santos, F. C. **Determinação de Parâmetros para a Racionalização do Corte e Polimento de Rochas Ornamentais**, Anais do 13º Congresso Brasileiro de Ciência e Engenharia de Materiais, Curitiba – PR, Brasil, 6 –10 de dezembro de 1998.
- Morandini, A. E. et al, **Misura del Grado de Lucidità di Elementi Lapidari** , Anais do II Congresso Ítalo-Brasileiro de Engenharia de Minas, São Paulo, Brasil, 1993.
- Nogueira, R. E. F. Q., de Mello, J. D. B., **Avaliação do Comportamento em Abrasão de Granitos Naturais Utilizando Esclerometriz Pendular**, IV Seminário Brasileiro de Materiais Resistentes ao Desgaste. São Paulo, SP, Brasil, 20-22 de Julho de 1998.
- Norma Para Ensaio de Flexão em Rochas Ornamentais**, NBR 12763.
- Relatório de Ensaio DITEM 161/ 95**, Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial- NUTEC, Fortaleza, Brasil, 1995.
- Relatório de Ensaio DITEM 162/ 95**, Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial – NUTEC, Fortaleza, Brasil, 1995
- Relatório do NITES, Estudo Geológico Sobre Mármore e Granitos., Rochas de Qualidade**, Edição 109, pp 78-81 de 1991.
- The Granite Age** , Catálogo técnico da S.E.A. , Itália Utensili Diamantati srl, Itália, 1994.

## PARAMETER DETERMINATION FOR A MORE RATIONAL PROCESSING OF GRANITIC ROCKS BY ABRASION

***Abstract.** Both the complexity of the materials structure and of the abrasive processes involved in the ornamental stone industry preclude a rational approach to the determination of processing parameters. In the case of cutting and polishing operations, wear or material removal is to be maximized while energy expenditure and damages to the part must be kept to a minimum. Crack formation is to be avoided at all costs and the desired gloss is to be achieved. Thus, it is essential to know the petrographic characteristic of each kind of granite, as well as the properties that most influence the abrasive wear of brittle materials. This work attempts to relate the petrographic characteristics of four distinct commercial granites to their hardness and fracture toughness aiming at understanding their different behavior during processing. The number of variables involved and the complexity of the abrasive process suggest the need to incorporate other materials parameters, such as grain-size and distribution and phase distribution to the analysis.*

**Keywords:** Granite, Abrasion, Fracture, Toughness