

# **A influência dos aspectos texturais e estruturais na microdureza de rochas ornamentais e a sua relação com fio diamantado**

## **The influence of textural and structural aspects of the microhardness of ornamental rocks and its relationship with diamond wire**

Beatriz Carvalheira Moreira  
Bolsista PCI, Geóloga, M.Sc.

Leonardo Luiz Lyrio da Silveira  
Supervisor, Geólogo, D. Sc.

### **Resumo**

Há alguns fatores não controlados que afetam a eficiência do corte com fio diamantado como dureza, abrasividade, tensões, grau de alteração, descontinuidades, propriedades mineralógicas e texturais das rochas, assim como parâmetros parcialmente controlados ou controlados em função das propriedades da ferramenta de corte e equipamentos. Estes fatores desempenham um papel fundamental na influência da interação entre o desgaste do fio diamantado na tribologia do sistema. O objetivo é investigar a influência da mineralogia, granulometria e aspectos estruturais na microdureza de rochas ornamentais no processo de serragem. Para uma melhor compreensão, foi realizado o teste de Dureza Knoop (HK) que é definido como uma força aplicada por uma ponta de diamante em uma superfície de rocha formando um padrão losangular. Foi possível concluir que há uma relação direta entre as propriedades mineralógicas, texturais e estruturais com a microdureza das rochas e que afeta diretamente nos valores de HK e conseqüentemente no desgaste da rocha e no afiamento ou abaulamento das pérolas do fio diamantado.

**Palavras-chave:** fio diamantado; rochas ornamentais; desgaste; microdureza; tribologia.

### **Abstract**

There are some uncontrolled factors that affect the efficiency of cutting with diamond wire, such as hardness, abrasiveness, stresses, degree of alteration, discontinuities, mineralogical and textural properties of rocks, as well as parameters that are partially controlled or controlled depending on the properties of the cutting tool and equipment. These factors play a fundamental role in influencing the interaction between diamond wire wear and the tribology of the system. The objective is to investigate the influence of mineralogy, granulometry and structural aspects on the microhardness of ornamental rocks in the sawdust process. For a better understanding, the Knoop Hardness (HK) test was performed, which is defined as a force applied by a diamond tip to a rock surface forming a diamond pattern. It was possible to conclude that there is a direct relationship between the mineralogical, textural and structural properties with the microhardness of the rocks and that it directly affects the HK values and consequently the wear of the rock and the sharpening or bulging of the diamond wire pearls.

**Keywords:** diamond wire; ornamental rocks; wear; microhardness; tribology.

## 1. Introdução

A serragem de blocos de rocha em chapas é a primeira etapa do processo de beneficiamento de rochas ornamentais. A serragem de blocos é feita por teares convencionais ou teares de fios diamantados (multifios) que se diferenciam pela polpa composta geralmente por granalha, cal e água nos teares convencionais que geram a Lama de Beneficiamento de Rochas Ornamentais (LBRO), enquanto os teares multifios utilizam somente da água para resfriar, lubrificar e limpar os fios com pérolas diamantadas.

No ano de 2011 a cadeia produtiva de rochas ornamentais foi marcada pelo início da substituição dos teares convencionais com lâminas de aço por teares de fios diamantados o que resulta em uma maior produtividade da serragem, amplia as margens de lucros e aumenta a competitividade das empresas. Espera-se que até 2025, a capacidade de serragem no Brasil poderá exceder 100 Mm<sup>2</sup>/ano sendo que 80% desta capacidade ocorrerá com fios diamantados (ABIROCHAS, 2018).

De acordo com pesquisas anteriores demonstradas, o corte ocorre pela translação do fio diamantado, sob tensão, quando em contato com a rocha. No corte de granitos, por exemplo, estes fios possuem aproximadamente 5,00 mm de diâmetro que é onde estão situadas o suporte para as pérolas diamantadas. Estas pérolas servem de base para a pasta diamantada constituída pela liga metálica que mantém os diamantes fixos que tem o poder abrasivo no corte e estas pérolas possuem em média 7,00 mm. Geralmente, em um metro de fio há de 39 a 43 pérolas, sendo 40 pérolas o mais utilizado

Segundo Ataei et al. (2011) há alguns fatores não controlados que afetam a eficiência do corte com o fio diamantado que dependem das características presentes nas rochas, como: dureza, abrasividade, tensões, grau de alteração, descontinuidades, propriedade mineralógicas e características texturais, bem como parâmetros parcialmente controlados ou controlados em função das propriedades da ferramenta de corte e equipamentos, sendo eles: potência da máquina, velocidade periférica, números de pérolas por metro, número de pérolas em contato com a rocha, raio de curvatura do fio em contato com rocha, quantidade de água utilizada, velocidade de arrasto e dimensões do corte.

As características das rochas, como sua textura, estrutura e composição química dos minerais que as compõem, desempenharão um papel fundamental na influência da interação entre o desgaste do fio diamantado na tribologia no sistema. Esses fatores são os que definirão a capacidade de resistência da rocha aos efeitos físicos e mecânicos envolvidos no processo de corte (RIBEIRO, 2005).

Há dois tipos principais de desgaste na utilização do fio diamantado: o desgaste abrasivo, que está diretamente relacionado à composição mineralógica da rocha e está associado à escala de dureza de Mohs, e o desgaste de arranque ou escarificação, que é causado pela textura da rocha, incluindo a disposição dos minerais, o tamanho dos grãos e a estrutura, que pode envolver falhas, diques, veios ou lineações minerais (conforme explicado por RIBEIRO, 2005).

Para uma melhor compreensão desse sistema tribológico foi realizado o teste de Dureza Knoop (HK) que conforme Quitete & Kahn (2002) é definido como uma força aplicada por uma ponta de diamante em uma superfície de rocha

formando um padrão losangular. Há, portanto, a medida de  $HK_{25}$  que está relacionado ao tipo de desgaste das rochas (abrasivo ou arranque) de acordo com a resistência dos minerais,  $HK_{50}$  que é a dureza média das rochas e  $HK_{75}$  que se refere ao desgaste do material mais resistente e sua interação com o corte realizado nas rochas.

## **2. Objetivos**

O objetivo deste trabalho é investigar a influência da mineralogia, granulometria e aspectos estruturais na microdureza de rochas ornamentais no processo de serragem e revisar as classes de serragem em relação ao desempenho da ferramenta em máquinas multifios.

## **3. Material e Métodos**

### **3.1 Coleta de Amostras e Dados Complementares**

As amostras foram coletadas em uma empresa parceira do setor de rochas ornamentais, no município de Cachoeiro de Itapemirim/ES. Foram fornecidas 6 amostras do grupo quartzito, 4 amostras do grupo denominado exóticas, sendo 3 rochas metamórficas e 1 rocha granítica, 2 amostras do grupo dos mármore e 3 amostras do grupo dos granitos sendo todas rochas ígneas classificadas como granitos e gabros.

As informações complementares como dimensões do bloco, dureza das rochas, velocidade de cala e dados do processo de corte foram fornecidos também pela empresa que disponibilizou as amostras de rochas ornamentais.

### **3.3 Descrição petrográfica**

Na análise petrográfica macroscópica foram identificados os minerais presentes nas rochas, descritas as características texturais e estruturais como granulação e presença de veios e posterior classificação das rochas. Foi utilizado lupa e microscópio digital com câmera de 1600x.

### **3.4 Microdurômetro**

Para análise de microdureza foi utilizado o microdurômetro FM-700 da Future-Tech que utiliza a norma BS EM 14205:2003 que estabelece que as rochas devem estar polidas, com superfície lisa. Este equipamento opera através de uma carga específica aplicada sobre a superfície do material e foi configurado para uma carga de 200 gramas. Essa carga foi aplicada durante 40 segundos no corpo de prova, com uma ponteira de diamante, o que resulta em uma microimpressão denominada de indentação em formato losangular.

Há uma variação no número de impressões a serem feitas, a depender das características texturais da rocha, ou seja, é uma análise subjetiva que varia de acordo com o tamanho dos minerais. Em uma rocha isotrópica são feitas 40 indentações, para rochas heterogêneas são feitas 40 indentações e para rochas muito heterogêneas são feitas 80 indentações. Para este estudo, foram feitas série de 20 e 40 impressões. Este procedimento gera valores de HK que são as microdurezas medidas nas indentações e se obtém valores de  $HK_{25}$ ,  $HK_{50}$  e  $HK_{75}$ .

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1 Descrição Petrográfica

- Quartzitos: rochas metamórficas de granulação fina a grossa, grãos xenoblásticos e composição mineralógica principal de quartzo e minerais acessórios como plagioclásio, k-feldspato, pirita e minerais máficos. Algumas amostras apresentam veios de minerais máficos e uma amostra apresenta clastos de k-feldspato e presença traço de carbonatos.
- Exóticas: neste grupo estão presentes rochas metamórficas com maior movimento como gnaisses ou com presença de grãos pegmatíticos. A mineralogia é composta por quartzo, plagioclásio, k-feldspato, minerais máficos, muscovita, clorita e granada. Em algumas amostras há orientação mineral, marcada pelos minerais máficos e também pelas micas, observa-se oxidação ocorrendo nas amostras devido a presença de minerais ferruginosos como granada e minerais máficos. Sua granulação varia de fina a grossa, com grãos de k-feldspato bem formado e com clivagem aparente, clastos de quartzo.
- Mármore: rochas metamórficas composta principalmente por carbonatos: calcita e dolomita. Há presença de minerais máficos. Ao utilizar o ácido HCL, observa-se que há uma diferenciação entre as amostras, sendo uma com maior teor de calcita devido a maior efervescência e a outra amostra com menor efervescência indicando maior teor de dolomita.
- Granitos: Rochas ígneas de composição mineralógica formada por k-feldspato, quartzo, minerais máficos e granadas bem formadas, sem estrutura visível em amostra de mão. As rochas apresentam granulação fina a grossa e textura holocristalina e fanerítica. A granada contida em algumas amostras está bem formada e com granulação variando de média a grossa.

### 4.2 Microdurômetro

Os dados obtidos no microdurômetro resultou em medidas de HK das rochas que compõem cada grupo de rochas: quartzitos, exóticas, mármore e granitos, ou seja, a dureza de cada amostra. Conforme apresentado por Frisa Morandini e Mancini (1982) *apud* Quitete (2002), o HK25 que representa o primeiro quartil, indica o desgaste por abrasão ou arranque, o HK50 que é a mediana, indica a dureza média da rocha e o terceiro quartil, HK75, representa a influência da dureza dos minerais. Há também o coeficiente de heterogeneidade dado por HK75/HK25.

Na tabela 1 são apresentados os valores de HK das respectivas amostras dos grupos de rochas ornamentais estudados e os dados de cala fornecidos pela empresa que é a velocidade com que o fio diamantado adentra a rocha a ser cortada, sendo medida em centímetros por hora (cm/h).

Tabela 1. Distribuição dos valores em frequência acumulada de HK (MPa) e da velocidade de cala (cm/h).  
Em vermelho, destaca-se os menores valores e em azul, os maiores valores por grupo de rocha ornamental.

Amostras	HK25	HK50	HK75	HK75/HK25	Cala
Quartzito 1	2916,75	7405,00	13464,75	4,62	15
Quartzito 2	3583,00	9051,50	15912,75	4,44	11
Quartzito 3	2479,25	5562,00	9292,75	3,75	11
Quartzito 4	2689,75	5567,00	8882,75	3,30	8
Quartzito 5	2367,00	4799,00	7871,50	3,33	8
Quartzito 6	3033,00	7402,50	13171,25	4,34	9
Exótica 1	3991,25	10098,00	17199,00	4,31	25
Exótica 2	2149,75	7185,00	13905,50	6,47	16
Exótica 3	3736,50	8573,50	14466,00	3,87	15
Exótica 4	2824,25	6988,50	13000,75	4,60	18
Mármore 1	1107,25	2311,50	3845,00	3,47	26
Mármore 2	1464,75	3448,50	6003,50	4,10	13
Granito 1	3985,00	9474,50	16219,75	4,07	26
Granito 2	2318,75	5079,00	8313,50	3,59	20
Granito 3	5621,50	15156,00	26349,00	4,69	13

Quanto aos dados apresentados do grupo quartzito na tabela acima, observa-se que ao comparar os quartzitos 1 e 2 que passaram por 40 indentações, o quartzito 1 apresenta maior coeficiente de heterogeneidade devido à presença de clastos de k-feldspatos, presença traço de carbonato, veio máfico e deformação metamórfica, além de possuir menores valores de HK25, HK50 e HK75. Esses valores de HK indicam que ocorre menor desgaste, possui menor dureza média e menor influência da dureza dos minerais, quando comparado ao quartzito 2.

Outro ponto importante a ser destacado é que o quartzito 1 apresenta maior valor na velocidade de corte (cala), ou seja, a velocidade de descida do fio diamantado será mais rápida devido a maior heterogeneidade, resultando no afiamento do fio devido a diferença mineralógica e textural presente em uma mesma rocha.

Quando analisado os quartzitos 3, 4, 5 e 6 que passaram por 20 indentações, nota-se que as amostras 4 e 5 dispõem de valores menores de HK e de velocidade de corte, que pode ser atribuído a composição mineralógica homogênea e ausência de estruturas que resultam e um coeficiente de heterogeneidade também menor, o que pode ocasionar maior desgaste e conseqüentemente o abaulamento do fio diamantado durante o processo de

serragem.

Já no grupo das rochas exóticas, que são rochas metamórficas muito movimentadas ou com grãos pegmatíticos, é possível visualizar que a amostra 1 possui maiores valores de HK25, HK50 e HK75 e velocidade de corte (cala) quando comparada as outras amostras deste mesmo grupo e apesar do coeficiente de heterogeneidade não ser o maior, também é considerado um valor alto. Ao correlacionar esses dados com uma rocha gnáissica, com presença de granada, em que esse mineral possui uma dureza na escala de mohs entre 6,5 e 7,5, assim como o quartzo que é muito presente possui dureza 7, possivelmente essa rocha durante o processo de corte terá um desgaste maior, maior dureza média e maior influência da dureza dos minerais. Ou seja, mesmo tendo minerais com dureza alta, há uma heterogeneidade alta que irá influenciar na velocidade de corte, atingindo 25cm/h.

Enquanto, ao observar a amostra 2 do grupo de rochas exóticas, constata-se que mesmo os valores de HK sendo menores dentro deste grupo, o maior valor de coeficiente de heterogeneidade encontra-se nesta rocha, devido a variabilidade mineral, textural e estrutural. É relevante mencionar, que neste material, há a presença de clorita que possui baixa dureza na escala de mohs, o que contribui para o corte dessa rocha que também possui alto valor de velocidade de corte.

O conjunto de dados pertencente ao grupo de mármore evidenciou que a amostra 1 composta majoritariamente por calcita possui menores valores de HK e de coeficiente de heterogeneidade, porém um alto valor de velocidade de corte (cala), o que em relação à amostra 2 com presença predominante de dolomita, ocorre o inverso. Essa diferença demonstra uma distinção marcante entre materiais calcíticos e dolomíticos. O menor desgaste observado no mármore 1 pode ser atribuído a menor dureza da calcita na escala de mohs quando comparada a dolomita e também à melhor formação de seus grãos cristalinos e à clivagem mais proeminente. Essa configuração estrutural resulta na formação de planos de fraqueza mais suscetíveis a processos de fratura.

Por fim, no grupo dos granitos, nota-se que o granito 2 possui menores valores de HK e coeficiente de heterogeneidade, isto porque é uma rocha mais homogênea tanto na sua mineralogia quanto na sua granulometria, o que é importante ressaltar que quanto menor a granulometria, maior será o desgaste devido a menor porosidade entre os grãos. Já o granito 3, possui valores extremamente altos de HK o que ocasiona maior desgaste devido a influência da dureza dos minerais, já que esta amostra possui maior concentração de granada e quartzo, além de possuir maior diferença granulométrica entre os grãos e a presença de veios máficos resultando em uma menor velocidade de corte (cala). Tanto o granito 1 como o granito 3 possuem alto valor de coeficiente de heterogeneidade e esta heterogeneidade se dá pela variabilidade mineral.

## **5. Conclusão**

Conclui-se que há uma direta relação entre a composição mineralógica, granulometria e aspectos estruturais na microdureza das rochas. Quanto maior os valores de HK, maior será o desgaste, maior será a dureza média e maior será a influência da dureza dos minerais. Além de que o coeficiente de heterogeneidade está diretamente

relacionado a velocidade de corte (cala) no processo de serragem, pois, quanto maior a heterogeneidade das rochas, maior o afiamento do fio diamantado e conseqüentemente, mais rápido o fio diamantado adentrará a rocha a ser cortada.

Os próximos passos deste trabalho será revisar as classes de serragem existente para que seja feita uma adequação a partir dos dados obtidos de microdureza, sua relação com a classificação das rochas e em qual classe de serragem pertence para contribuir com o aprimoramento das técnicas aplicadas no processo de serragem na indústria de rochas ornamentais

## 6. Agradecimentos

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do projeto de pesquisa ao qual esse trabalho está vinculado (Proc.: 306303/2023-0), ao Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) por conceder o espaço para o desenvolvimento da pesquisa e ao Leonardo Luiz Lyrio da Silveira pela supervisão.

## 7. Referências Bibliográficas

Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS. **O setor brasileiro de rochas ornamentais**. Brasília, 2018.

ATAEI, M; MIKAIEL, R; SERESHKI, F; GHAYSARI N. **Predicting the production rate of diamond wire saw using statistical analysis**. Arabian Journal of Geosciences, Springer Berlin /Heidelberg, 2011, ISSN: 1866- 7511, Earth and Environmental Science, p 1-7. Doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-010-0278-z>.

QUITETE, E.B.; KAHN, H. Dureza Knoop em rochas para revestimento: correlação com desgaste. In: Anais do III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, de 26 a 29 de novembro de 2002, Recife. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. p.83-87.

RIBEIRO, R.P. (2005). Influência das características petrográficas de granitos no processo industrial de desdobramento de blocos. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. USP. São Paulo. 120p.